

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1. Tinjauan Pustaka

Pada dasarnya, optimalisasi adalah sebuah pencarian untuk mendapatkan cara dan variabel terbaik dari sebuah permasalahan. Cara ini diperlukan untuk meningkatkan kualitas produksi, mempercepat waktu perencanaan, dan mengurangi cacat produksi. Dalam kasus yang diangkat oleh penulis, optimalisasi digunakan untuk mendapatkan nilai – nilai variabel terbaik untuk mengurangi cacat pada produksi injeksi plastik. Penelitian tentang optimalisasi produk telah dilakukan oleh peneliti – peneliti terdahulu antara lain sebagai berikut ;

2.1.1. Penelitian Terdahulu

Wijaya (2010) dalam penelitiannya membahas tentang penentuan parameter dan penentuan setting level yang terbaik atau standar performansi yang terbaik dari mesin *thermoforming* untuk material plastik jenis PVC, PolyPhropilene, PolyEthilen. Penelitian ini memberikan informasi tentang setting faktor yang optimal untuk mesin *thermoforming* dalam pembuatan cetakan plastik. Daksa (2012) dalam penelitiannya membahas tentang penentuan parameter yang mempengaruhi kualitas produk *fibercement* sehingga dapat menentukan setting optimal dengan tujuan meminimalkan jumlah cacat produk. Penelitian ini memberikan informasi tentang setting parameter optimal yang meningkatkan kualitas produk *fibercement* dan meminimalkan cacat produk.

Seto (2015), dalam penelitiannya melakukan analisis produk “*Base plate*” menggunakan metode *Taguchi* sebagai penyelesaian masalah. Untuk analisis dari produk tersebut menggunakan *software Moldflow Insight V5*. Penelitian ini memberikan informasi bagaimana cara mengurangi atau meminimalkan cacat produk atau *error* pada setting mesin untuk mendapatkan hasil yang optimal.

Wang (2015), dalam penelitiannya melakukan prediksi *warp* dengan melakukan pengupasan produk *injection molding* yang terdiri dari 2 langkah. Langkah pertama adalah melakukan pemotongan pada produk plastik dan didapatkan permukaan yang halus pada bagian persilangan garis bagian dalam. Persilangan tersebut memebentuk elemen – elemen kecil yang dinamakan *element 1D*. Tahap kedua adalah melakukan pengujian terhadap produk tersebut dengan pengujian *stress* dan pemanasan menggunakan metode 2D *finit element*

(FEM). Hasil akhir didapatkan kurva pada semua titik pada produk yang dipotong dan dilihat apakah pada produk tersebut mengalami *warp* atau tidak.

2.1.2. Penelitian Sekarang

Berdasarkan penelitian yang sudah ada, penulis mendapatkan ide untuk merancang dan menganalisis produk *headpiece kit R67* dengan menggunakan perpaduan antara software *mold flow Adviser 2015* dengan *Pro Engineer WF4*. Berangkat dari keterbatasan PT.X yang tidak memiliki software analisis CAE tersebut, penelitian ini akan menghasilkan analisis *parameter injeksi molding* dan jumlah *runner* dan *gate* yang benar sesuai dengan hasil analisis dari *software*. Metode kreatif *brainstorming* digunakan penulis untuk mendapatkan informasi mengenai latar belakang masalah serta solusi untuk menyelesaikan masalah tersebut. Metode eksperimental *taguchi* digunakan penulis untuk mencari parameter yang berpengaruh dan mencari hasil yang paling signifikan. Dengan membandingkan parameter prosesnya, diperoleh respon primer yang paling berpengaruh yaitu penyusutan (*shrinkage*). Metode ini hanya sampai *orthogonal array* dalam membandingkan parameter proses yang signifikan. Parameter yang dibandingkan adalah suhu cetakan (*mold temperature*), suhu leleh (*melt temperature*), tekanan injeksi (*injection pressure*), waktu injeksi (*injection time*), dan waktu pendinginan (*cooling time*). Analisis dan optimalisasi proses injeksi plastik menggunakan metode CAE (*Computed-aided Engineering*) *moldflow adviser 2015*. Dari hasil respon primer berupa penyusutan yang paling minimal dan solusi *warp* dengan prosentase yang kecil, didapatkan data yang kemudian akan diambil sebagai dasar awal dalam proses analisis *moldflow*. Tahap awal dilakukan dengan *import* produk dari file gambar yang akan disimulasi, dan secara otomatis MFA akan mendiagnosa gambar tersebut. Material plastik menggunakan material yang dipakai pada produk *headpiece kit R67*. *Molding window* dapat digunakan sebagai pembanding dan pendekatan parameter untuk waktu injeksi, suhu *mold* dan suhu leleh. Kemudian, *runner system* dapat ditentukan menyesuaikan dengan bentuk *mold* untuk produk *headpiece kit R67*. Lokasi *gate* yang paling baik dan desain *sprue*, *runner* serta *gate* dapat dibuat ketika proses penentuan *runner system*. Analisis injeksi (*filling*) dilakukan untuk memperoleh hasil berupa waktu injeksi dan memprediksi *weld-line* yang akan terlihat. Dalam proses ini dapat dilihat aliran material ketika mengisi *mold* dan daerah mana saja yang berpotensi terjadi *short shot*. Analisis

packing dilakukan untuk menentukan pembekuan material yang seragam. Dalam proses ini dapat dilakukan optimasi *packing* untuk memperoleh *cycle time* yang lebih baik. *Volumetric shrinkage at ejection* juga diperoleh dan dianalisis hasilnya agar sesuai dengan tuntutan yang diminta *customer*. Perhitungan *clamp force* dan tekanan *packing* dilakukan pada tahap ini untuk menentukan bahwa *clamp force* mencukupi dan lebih besar daripada *cavity force* ketika proses injeksi plastik. Hasil lainnya dari analisis ini berupa *air traps*, yaitu udara yang terjebak atau rongga yang terbentuk karena gelembung udara pada akhir proses injeksi. Pembuatan *air venting* maupun penempatan *ejector* agar efektif membuang udara yang terjebak dapat dilakukan dengan melihat lokasi *air traps*. Terakhir, analisis *cooling* dan *warpage* diproses secara bersamaan. Analisis *cooling* dilakukan untuk menentukan sistem pendingin (*cooling*). Efektifitas pendinginan yang diberikan terhadap proses injeksi dapat diketahui dengan analisis ini. *Cooling quality, temperature variance, Cooling time variance, dan circuit coolant temperature* dapat dilihat dan dievaluasi bersama. Analisis *warpage* adalah analisis yang digunakan untuk melihat seberapa besar produk mengalami deformasi karena pendinginan yang tidak seragam. *Warpage* dapat dihitung besarnya dilihat dari arah sumbu Z. Bila *warpage* produk *headpiece kit R67* ini melebihi nilai yang ditentukan maka perlu perubahan konstruksi kembali atau perubahan setting parameter *mold*. Tetapi bila nilai yang diperoleh dapat diterima, maka nilai tersebut menjadi panduan ketika proses injeksi di lapangan sebagai *quality control* atas penyusutan produk yang maksimal. Hasil analisis CAE *moldflow* akan diverifikasi dengan dibandingkannya *shrinkage* antara hasil simulasi dengan hasil produksi yang sesungguhnya dimana parameter *setting* mesin injeksi yang digunakan sesuai dengan data yang diperoleh dari CAE *moldflow*. Kemudian, hasil dari semua analisis dirangkum dalam sebuah laporan *moldflow*. Laporan tersebut akan digunakan untuk panduan dalam menentukan parameter injeksi yang optimal untuk produk *headpiece kit R67*.

Tabel 2.1. Perbandingan Penelitian Terdahulu dan Sekarang

Nama (Tahun)	Obyek Penelitian	Studi Kasus	Tujuan Penelitian	Metode Penelitian	Software	Output Penelitian
Wijaya (2010)	Material <i>Thermoforming</i>	Lab. Proses Produksi ATMA JAYA	Menentukan parameter dan setting level untuk mesin <i>thermoforming</i> .	<i>Taguchi</i>	<i>Minitab Excel</i>	Skripsi setting faktor optimal untuk mesin <i>thermoforming</i> .
Daksa (2012)	Produk <i>fibercement</i> gelombang	PT. Setiaji Mandiri	Menentukan parameter yang mempengaruhi kualitas <i>fibercement</i> dan meminimalkan cacat produk.	<i>Taguchi</i>	<i>Minitab excel</i>	Skripsi setting parameter optimal untuk meningkatkan kualitas produk <i>fibercement</i> .
Seto (2015)	<i>Base Plate</i> dengan proses injeksi plastik	PUTP dan <i>Work Injection</i> ATMI Surakarta	Menentukan parameter proses optimal pada injeksi plastic untuk minimasi <i>shrinkage</i> .	Taguchi <i>Moldflow</i> <i>Dual - domain</i>	<i>Minitab Excel</i> , <i>Autocad</i> , <i>Inventor</i> , <i>Moldflow</i>	Laporan hasil analisis <i>moldflow</i> dan parameter proses yang optimal pada injeksi plastic untuk meningkatkan kualitas (seminar nasional IDEC dan skripsi)

Tabel 2.1. Lanjutan

Nama (Tahun)	Obyek Penelitian	Studi Kasus	Tujuan Penelitian	Metode Penelitian	Software	Output Penelitian
Wang (2015)	Produk <i>part</i> mobil plastik injeksi <i>molding</i>	<i>National Engineering Research Center for Advanced Polymer Processing Technology, Zhengzhou University, Zhengzhou 450002, China</i>	Analisis <i>warpage</i> menggunakan analisis pemotongan bagian dalam produk injeksi <i>molding</i> .	<i>FEM (Finite Element Mesh)</i>	-	<i>Study</i> kasus dan percobaan memprediksi <i>warpage</i> dengan 4x percobaan dengan produk yang sama namun pemotongan bagian produk yang berbeda.
Peneliti (2016)	<i>Headpiece kit R67</i> dengan proses injeksi plastik	Salah satu industri elektronik terbesar di Kota Kudus Provinsi Jawa Tengah Indonesia.	Menentukan parameter proses yang optimal pada injeksi plastik untuk meminimalkan cacat produk.	Taguchi <i>Moldflow Adviser</i> 2015	<i>Minitab Excel 14, Pro Engineer WF4, Moldflow Adviser 2015</i>	Laporan hasil analisis <i>moldflow</i> dan parameter proses untuk meningkatkan kualitas produk <i>Headpiece kit R67</i> . (jurnal internasional terindeks <i>scopus</i>).

2.2. Dasar Teori

Dasar teori digunakan peneliti untuk menyelesaikan permasalahan dengan berpedoman pada teori- teori yang ada. Perlu adanya landasan teori yang kuat untuk mendapatkan hasil penelitian yang optimal dan benar sehingga meminimalisir anggapan atau asumsi.

2.2.1. Computer – aided Engineering (CAE)

Computer – aided Enginnering (CAE) merupakan penggunaan teknologi informasi untuk mendukung *engineer* dalam melakukan tugas - tugas seperti analisis, simulasi, desain, manufaktur, perencanaan, diagnosa, dan perbaikan. *CAE* sendiri biasanya merupakan suatu *software tool* yang telah dikembangkan untuk mendukung kegiatan tersebut. *CAE* sangat penting dalam dunia perindustrian karena dapat meningkatkan efisiensi dari segi waktu maupun biaya. Penggunaan *CAE* biasanya dijumpai pada :

- a. *Stress Analysis* pada komponen atau bagian –bagian komponen dengan menggunakan *FEA (Finite Element Analysis)*.
- b. Thermal dan aliran cairan analisis dengan menggunakan *Computational Fluid Dynamics (CFD)*.
- c. Analisis Kinematik
- d. *Mechanica event simulation (MES)*.
- e. Analisis suatu proses dengan melakukan simulasi pada operasi, seperti *casting, molding, dan die press forming*.
- f. Optimasi pada produk maupun proses.

Sedangkan tahapan pada teknik *CAE* terdiri dari 3 bagian yaitu :

- a. *Pre – processing* mendefinisikan model dan faktor lingkungan yang akan diterapkan pada pengaplikasian proses.
- b. *Analisis Solver* merupakan suatu tahap analisis yang dilakukan dengan menggunakan *software CAE*. Biasanya pada tahap ini memerlukan waktu *running* yang relative lama dan didukung juga dengan komputer dengan spesifikasi yang tinggi karena biasanya kinerja *software* mengharuskan penggunaan komputer yang *high – end*.

Post – processing of results merupakan tahapan akhir pada teknik CAE. Pada tahap ini biasanya ditunjukkan dengan penyajian alat bantu visualisasi dari hasil yang telah dianalisis sebelumnya. Dalam dunia perindustrian plastic modern sekarang ini, kebutuhan akan software CAE sangatlah penting. Software CAE yang sering digunakan ini adalah *moldflow*. Dengan menggunakan software tersebut, *engineer* dapat melakukan perancangan terhadap bentuk *molding* dan melakukan simulasi proses injeksi dengan menganalisis parameter injeksi sampai mendapatkan hasil yang paling optimal ^[21]. (Sumber : Djohari, 2010)

2.2.2. Moldflow Corporations

Moldflow adalah suatu *software* yang digunakan untuk melakukan simulasi proses injeksi pada proses *injection molding*. *Moldflow* merupakan produk dari *Moldflow Corporation* yang merupakan salah satu cabang perusahaan dari *Autodesk Inc*. *Moldflow Corporation* pertama kali didirikan oleh *Colin Austin* di Melbourne, Australia pada tahun 1978 dan sekarang berpusat di *Framingham, Massachusetts*. *Moldflow Corporation* memiliki dua produk utama yaitu *Moldflow plastic Insight* dan *Moldflow plastic Adviser*.

Moldflow plastic adviser memiliki 2 fitur utama dalam melakukan analisis terhadap proses *injection molding*, yaitu *moldflow part adviser* dan *Moldflow mold adviser*. *Moldflow part adviser* digunakan untuk melakukan analisis terhadap satu bagian atau part dari benda yang akan diinjeksi (*single cavity analysis*), sedangkan *Moldflow mold adviser* memiliki kapabilitas untuk melakukan analisis terhadap keseluruhan system yang berhubungan dengan proses injeksi (*multi cavity analysis*).

Dengan bantuan *software* ini, *engineer* dapat melakukan analisis dan simulasi untuk mendapatkan hasil injeksi yang paling optimal tanpa harus mengeluarkan usaha yang sia – sia. Penggunaan *Moldflow* memang dikhususkan untuk dunia *industry molding*, akan tetapi tidak semua industri ini dapat memakai *software* tersebut. Hal ini disebabkan *moldflow* merupakan *software ‘high – end’* dalam dunia *injection molding* dan harga untuk *software* ini relative mahal. Maka dari itu, *software* ini hanya dijumpai pada beberapa industri yang sudah maju dan besar.

A. Kemampuan analisis Moldflow Plastic Adviser

Moldflow sangat membantu dalam melakukan analisis pada proses *injection molding*, karena *software* tersebut memiliki fitur untuk melakukan analisis dan

simulasi yang mudah diproses. Kemampuan analisis yang dapat dilakukan oleh *moldflow* antara lain :

1. *Plastic Filling Analysis* , yaitu :

Mengidentifikasi area dari geometri bagian benda yang mungkin untuk dilakukan injeksi (*manufacturability*) dan masalah kualitas dari injeksi.

- a) Memberikan gambaran secara praktikan/masukan spesifik terhadap desain untuk menyelesaikan masalah yang telah diidentifikasi sebelumnya.
 - b) Memberikan gambaran tentang tekanan yang di distribusikan pada saat injeksi, temperatur permukaan dan orientasi pada permukaan.
 - c) Memprediksikan lokasi *Weld line* dan *Air-trap*.
2. Analisis keseimbangan *Runner (Runner Balance Analysis)* , memberikan solusi analisis dalam menentukan posisi dan ukuran yang tepat agar dapat menghasilkan kualitas produk yang optimal.
3. *Runner adviser analysis* membantu menentukan bentuk runner, gate ,dan sprue secara otomatis. Pada fase ini, kita hanya perlu menentukan terlebih dahulu posisi injeksi yang diinginkan. Setelah itu,system secara otomatis membuat runner, gate ,dan sprue yang paling tepat.
4. Analisis *Sink Mark*, membatu *engineer* untuk memprediksikan letak *sink mark* yang mungkin terjadi setelah proses injeksi selesai.
5. Analisis kualitas *Cooling (Cooling Quality Analysis)*, dapat membantu *engineer* untuk mengidentifikasi dan memperbaiki area yang memiliki suhu tidak merata (lebih tinggi) pada benda untuk menghindari *cycle time* yang lama dan kemungkinan terjadinya *sink mark*.
6. Analisis lokasi injeksi (*Gate Location Analysis*), dapat membantu *engineer* dalam menentukan lokasi injeksi yang paling baik.
7. *Molding Window Analysis*, yaitu :
- a. Dapat membantu menentukan kondisi optimum dalam proses injeksi
 - b. Mengevaluasi sensitifitas tiap bagian pada saat proses injeksi berlangsung.
 - c. Dapat membantu dalam melakukan perbandingan *grade material*, evaluasi terhadap lokasi injeksi dan mendapatkan ukuran dari kualitas benda.
8. *Material Database*, dapat membantu *engineer* memberikan informasi mengenai material-material yang secara umum dipakai dalam proses injeksi

dan terdiri dari kurang lebih sekitar 7500 karakteristik dari *grade material thermoplastik*.

B. Analisis Utama *Moldflow Plastic Adviser*

Pada *Software Moldflow* sendiri terdapat beberapa jenis analisis yang dapat dilakukan, jenis analisis yang dilakukan dapat dipilih sesuai dengan kebutuhan pihak pengguna. Berikut jenis-jenis analisis nya :

1. *Fill Analysis*

Jenis analisis yang menghasilkan data-data yang berhubungan dengan pengisian dan sifat aliran material plastik ke dalam *cavity* selama proses injeksi *molding*.

2. *Cool Analysis*

Jenis analisis yang menghasilkan data-data mengenai temperatur *molding* dan material saat proses injeksi dengan mempertimbangkan faktor/parameter sistem pendinginan pada *molding* yang digunakan.

3. *Gate Location*

Jenis analisis yang menghasilkan data-data mengenai titik terbaik untuk membuat lubang injeksi pada *molding*, lubang inilah yang akan menjadi tempat masuknya material saat proses injeksi nanti.

4. *Geometry Analysis*

Jenis analisis yang menghasilkan data-data mengenai tingkat kompleksitas suatu desain produk yang hendak dianalisis dengan software *Moldflow*. Semakin kompleks desain dan besar ukuran produk tersebut, maka akan dibutuhkan waktu yang lebih lama untuk menganalisisnya.

5. *Pack*

Analisis ini digunakan untuk mengetahui data mengenai besarnya tekanan yang dibutuhkan saat lelehan plastik sudah memenuhi cetakan. Output hasil dari packing ini bertujuan untuk menyeragamkan *shrinkage* agar tekanan yang diberikan seragam. Analisis ini juga bertujuan untuk mencegah terjadinya problem *warping*.

6. *Cool Quality Analysis*

Jenis analisis yang menghasilkan data mengenai *temperature mould* dan material saat terjadinya proses injeksi. Analisis ini mempunyai penyajian yang hampir sama dengan *Cooling Quality Analysis*, hanya saja tidak memperhitungkan faktor sistem pendinginan yang digunakan pada *molding*

namun hanya berdasarkan desain bentuk *mold* dan produk.

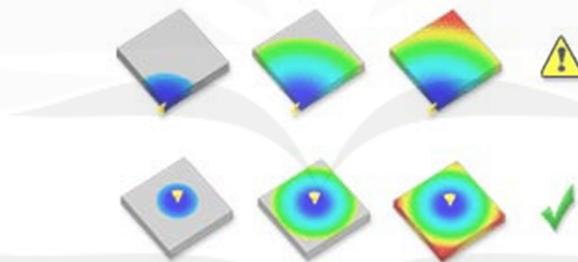
Dari jenis analisis di atas dapat dibagi pula menjadi beberapa sub analisis, sub-sub analisis inilah yang nanti akan menyajikan data yang akan dianalisis oleh para analis yang disesuaikan dengan kebutuhan lapangan. Pada penelitian ini hanya digunakan *Fill Time Analysis*, *Pack Analysis*, dan *Cooling Quality Analysis*.

Berikut ini merupakan jenis-jenis sub analisis yang dapat digunakan saat penelitian ini, yaitu :

a. Fill Analysis

i. *Fill Time*

Sub analisis ini menunjukkan waktu yang dibutuhkan material plastik agar dapat mengisi seluruh bagian *cavity molding* dengan menyeluruh. Selain itu juga analisis ini dapat digunakan untuk mengetahui apakah aliran material akan mengisi *cavity molding* secara bersamaan atau tidak. Aliran material tersebut biasanya ditunjukkan dalam *pattern* warna pada hasil analisis. Suatu pengisian yang baik biasanya ditunjukkan dengan *pattern* warna yang sama dan seimbang pada posisi tertentu.



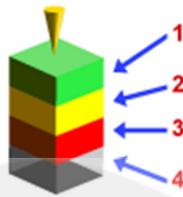
**Gambar 2.1. Perbandingan benar dan salah
(Sumber : Software MoldFlow Adviser 2015)**

ii. *Plastic Flow*

Sub analisis ini menunjukkan bahwa seluruh bagian cetakan *molding* dapat terisi dengan baik dengan parameter tekanan yang telah ditentukan sebelumnya. Jika tekanan yang diberikan terlalu rendah maka ada kemungkinan material tidak akan mengisi seluruh bagian cetakan.

iii. *Confidence of Fills*

Sub analisis ini menunjukkan persentase kemampuan material untuk mengisi seluruh bagian cetakan *molding*, dimana biasanya hal ini ditunjukkan dengan warna pada hasil analisis.

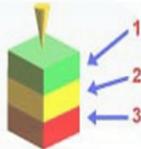


Gambar 2.2. Warna persentase tingkat pengisian *Confidence of Fill*
(Sumber : *Software MoldFlow Adviser 2015*)

(1): *Will definitely fill.* (2): *May be difficult to fill or may have quality problems.* (3): *Will be difficult to fill or will have quality problems.* (4): *Will not fill .*

iv. *Quality Prediction*

Sub analisis ini menunjukkan persentase terhadap tingkat kualitas produk yang nantinya dihasilkan dari proses injeksi. Tingkat kualitas yang ditunjukkan pada analisis ini lebih dipengaruhi oleh desain produk, cetakan *molding*, parameter tekanan, parameter suhu *molding*, dll. Untuk sistem pendinginan hanya mempunyai pengaruh yang minor/minimal terhadap hasilnya.



(1): *Will have high quality.* (2): *May have quality problems.* (3): *Will definitely have quality problems.*

Gambar 2.3. Keterangan warna hasil analisis *Quality Prediction*
(Sumber : *Software MoldFlow Adviser 2015*)

v. *Pressure at the End of Fill*

Sub analisis ini menunjukkan besarnya tekanan yang mendekati ideal dari proses simulasi injeksi *molding*. Analisis ini juga menunjukkan data besarnya tekanan pada lokasi-lokasi tertentu (seperti pada *Sprue, Runner, Gate* dan *Part*) yang dinyatakan dalam warna-warna.

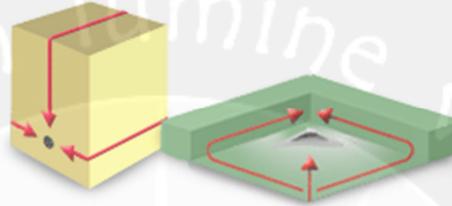
vi. *Temperature at Flow Front*

Merupakan analisis yang menunjukkan besarnya suhu aliran material saat terjadinya injeksi material ke *molding*. Setiap material mempunyai batasan suhu aliran yang ditoleransi berupa *range* nilainya. Jika suhu pada bagian aliran lebih tinggi ataupun lebih rendah dari batas yang ditentukan, maka terdapat kemungkinan terjadi permasalahan pada permukaan produknya nanti (seperti

Short shot, degradasi material, dll)

vii. *Air Traps*

Analisis ini menunjukkan terdapatnya suatu lubang (*bubble*) udara pada bagian dari suatu produk, dimana bagian ini biasanya merupakan tempat bertemu dua atau lebih aliran material saat proses injeksi. Hasil dari *air traps* di kenyataan biasanya berupa lubang kecil pada permukaan produk, dan hal ini mungkin saja dapat ditoleransi pada produk tertentu.



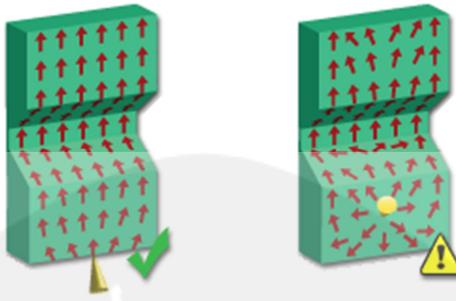
Gambar 2.4. Contoh akibat dari *Air Traps*
(Sumber : *Software MoldFlow Adviser 2015*)

viii. *Weld Lines*

Analisis yang menunjukkan garis yang akan terlihat setelah proses injeksi *molding* nanti. Hal ini terjadi karena perbedaan waktu dan kuantitas bertemu nya kedua aliran material yang telah mengisi cetakan produk pada bagian-bagian tertentu. Garis yang dihasilkan bisa saja mengakibatkan masalah struktural (jika terjadi pada bagian yang nantinya akan menahan sesuatu) dan masalah visual (jika terjadi pada bagian yang harus kelihatan bersih dan halus). Untuk permasalahan *Weld Lines* ini hampir sulit untuk dihindari, namun bisa diminimalisir dengan mempertimbangkan faktor-faktor seperti : besarnya tekanan injeksi, penempatan *gate*, pengaturan suhu yang masih dalam batas rekomendasi, dll.

ix. *Orientation at Skin*

Analisis yang menunjukkan orientasi/kebiasaan arah aliran molekul-molekul material saat terjadinya proses injeksi *molding*. Orientasi arah yang sembarangan dapat memberikan permasalahan pada produk nantinya, seperti : penurunan kualitas, timbulnya *weld lines*, timbul gelembung-gelembung udara (*air traps*), dll. Arah aliran molekul-molekul tersebut ditunjukkan dalam bentuk garis-garis pada simulasi *Moldflow*. Penempatan posisi injeksi yang tepat akan sangat berpengaruh terhadap arah aliran molekul-molekul material tersebut.



**Gambar 2.5. Perbandingan arah aliran yang benar dan salah
(Sumber : *Software MoldFlow Adviser 2015*)**

b. Cool Analysis

i. Circuit Reynolds Number

Analisis ini menunjukkan nilai *reynolds* yang pada sistem pendinginan *molding*. *Reynolds Number* adalah suatu bilangan yang biasanya digunakan untuk mengukur rasio gaya inersia dengan gaya viskos dan mengkuantifikasikan kedua gaya tersebut pada suatu aliran tertentu. Pada analisis ini *Reynolds Number* digunakan sebagai bilangan untuk mengukur tingkat turbulensi yang dihasilkan oleh kegiatan pemindahan panas dari *molding* ke saluran *cooling*. *Reynold Numbers* pada sistem pendingin dipengaruhi oleh diameter pipa pendingin dan volume cairan yang mengalir pada sistem pendingin. *Reynolds number* yang ideal akan membuat pendinginan terhadap *molding* menjadi lebih efektif. Nilai minimal adalah sebesar 4000, namun yang ideal untuk pendinginan yang lebih baik adalah sebesar 10000.

ii. Circuit Coolant Temperature

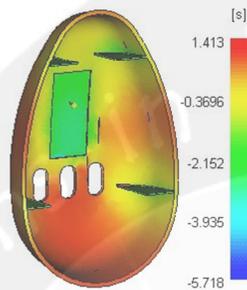
Analisis ini menunjukkan besarnya suhu cairan pendingin yang berada di dalam saluran pendingin pada saat proses injeksi *molding*. Biasanya suhu cairan pendingin akan meningkat pada saat keluarnya cairan dari saluran pendinginan, hal ini terjadi karena perpindahan panas dari *molding* ke saluran pendinginan. Pengaturan suhu pada cairan harus disesuaikan dengan keadaan sekitar dan kebutuhan saja. Tidak selalu semakin dingin suatu sistem pendinginan hasilnya akan semakin baik.

iii. Cooling Time Variance

Analisis ini menunjukkan variasi perbedaan waktu untuk membeku di bagian tertentu pada produk. Variasi waktu nya didasarkan perbedaan terhadap waktu rata-rata pembekuan material menjadi suatu produk. Analisis ini juga dapat

digunakan sebagai dasar oleh analisis untuk melakukan perubahan-perubahan pada sistem pendinginan dan juga membantu untuk menentukan *cycle time* yang diinginkan agar produk yang dihasilkan dapat membeku secara merata di setiap bagiannya.

Areas that are plotted as positive values (red) take longer to freeze than the average time to freeze, and areas that are plotted as negative values (blue) freeze more quickly. Zero values in this result indicate the average time to freeze.



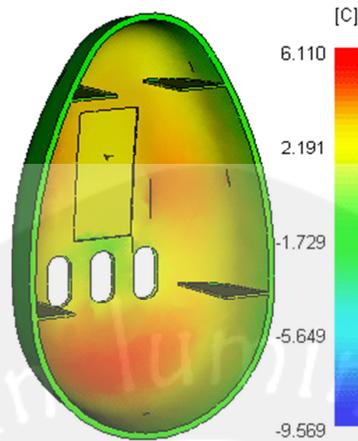
Gambar 2.6. Contoh keterangan Cooling Time Variance
(Sumber : *Software MoldFlow Adviser 2015*)

iv. *Temperature Part*

Analisis menunjukkan besarnya batasan/range suhu bagian-bagian pada produk yang nanti akan dihasilkan oleh proses injeksi *molding* selama proses produksi. Analisis ini bisa dijadikan sebagai dasar untuk mengetahui lokasi bagian produk yang mempunyai suhu lebih tinggi dibandingkan bagian lainnya. Selisih antara temperatur tertinggi dengan temperatur terendah pada bagian produk harus tidak boleh lebih besar dari 10°C , lalu juga variasi temperature permukaan produk tidak lebih dari $10^{\circ}\text{C} - 20^{\circ}\text{C}$ dari *temperature inlet cooling*.

v. *Temperature Variance*

Analisis ini menunjukkan variasi perbedaan temperatur suhu di lokasi tertentu pada benda yang dipengaruhi oleh sistem *cooling* dan desain geometri produk. Variasi temperatur suhunya didasarkan dengan perbedaan terhadap temperatur rata-rata permukaan produk. Hasil yang disarankan agar perbedaan antara temperature tertinggi dan terendah pada analisis ini tidak signifikan, sehingga membuat waktu pembekuan produk hampir sama antar satu lokasi dengan lokasi lain. Keterangan analisis *temperature variance* ini dinyatakan dengan warna biru dan warna merah sebagai indikatornya^[21]. (Djohari, 2010)



Gambar 2.7. Contoh keterangan analisis *Temperature Variance*
(Sumber : *Software MoldFlow Adviser 2015*)

2.2.3. *PRO/ENGINEER*

Pro/engineer adalah salah satu *software* yang banyak digunakan untuk 3D CAD, dan industry pertama yang mengalami keberhasilan untuk sistem pemodelan parameter 3D CAD. Parameter modeling yang digunakan dalam pendekatan adalah parameter, dimensi, fitur dan hubungan untuk mengerti karakteristik desain sebuah produk dan juga sifat – sifatnya. *Pro/engineer* digunakan untuk menciptakan pemodelan 3D yang kompleks dengan tujuan untuk menganalisis dan optimalisasi produk. Model parametrik didefinisikan sebagai sebuah cara untuk mengoptimalisasi dengan memasukan nilai parameter. Parameter input adalah variable atau hubungan yang dapat digunakan sebagai dimensi untuk sebuah model dan dapat digunakan kembali. Sebuah model parametric dapat digunakan kembali karena diimplementasikan dengan model sehingga dapat dimodifikasi dengan mudah. Kebanyakan 2 pendekatan dapat digunakan untuk otomasi parameter, *interfacing dan programing*. Pendekatan interaktif melibatkan kemampuan parametrik yang dapat digunakan kembali dalam sistem untuk membuat model fleksibel. Setelah parameter model telah ditetapkan, pengguna memungkinkan untuk menumbuhkan sistem parameter baru berdasarkan *Ms – excel sheet, visual basic* dan *pro/program*. *Interfacing* dari *pro – e model* untuk otomasi parameter dapat dibuat dengan menggunakan macro dasar visual berdasarkan *MS-excel sheet*. Hal ini dapat mengurangi waktu desain yang kompleks dan meningkatkan kemampuan otomasi suatu produk^[20]. (sumber : J. Shankar, S.Sundar (2014)).

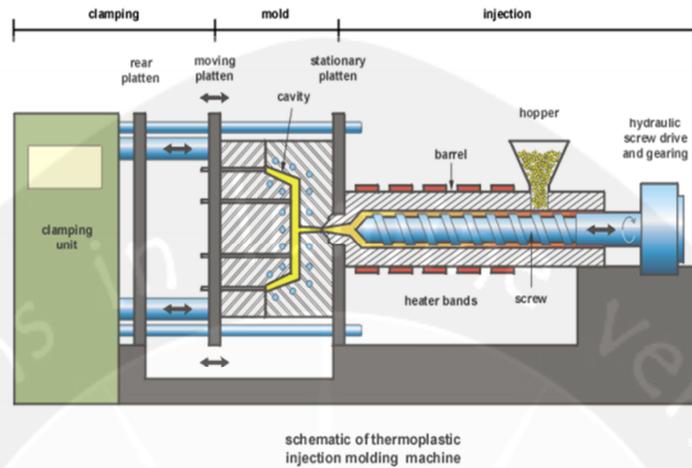
2.2.4. Injection molding

Injection molding pada *polimer* identik dengan pengecoran berterkanan pada logam besi yang merupakan salah satu teknik pembetukan polimer yang paling banyak digunakan. Proses injeksi adalah sebuah metode pemrosesan material thermoplastik dimana material yang didinginkan oleh air (*liquid*) tersebut akan menjadi dingin dan mengeras sehingga bisa dikeluarkan dari cetakan. Ada 2 jenis bahan plastik yang dapat diproses melalui proses *injection molding*, yaitu material *thermoplastic* dan *thermosetting*. Namun lebih dari 90% *injection plastic* memproses material thermoplastik. Untuk termoplastik, waktu satu siklus proses *injection molding* berawal dari pintu mesin injeksi ditutup sampai produk telah dikeluarkan dari cetakan. Jumlah waktunya berbeda – beda, tergantung pada ukuran produk yang diinjeksikan. Parameter yang harus diperhatikan dalam proses *injection molding* adalah dari *temperature* suhu dan tekanan injeksi. Keduanya harus diatur sesuai dengan aliran material plastic yang diinjeksikan ke dalam *mold* (cetakan). Dari proses tersebut dapat dihasilkan beberapa jenis produk yang berbahan dasar plastik, mulai dari benda berukuran kecil sampai dengan benda yang berukuran besar, dan benda tersebut sering kita jumpai di kehidupan sehari-hari.

2.2.5. Metode Injection Molding

Metode *Injection Molding* merupakan proses pembentukan benda kerja dari material *compound* berbentuk butiran yang ditempatkan kedalam suatu *hopper* dan masuk ke dalam silinder injeksi yang kemudian didorong melalui *nozzle* dan *sprue bushing* ke dalam *cavity* dari *mold* yang sudah tertutup. Setelah beberapa saat didinginkan, *mold* akan dibuka dan benda jadi akan dikeluarkan dengan bantuan *ejector*. Material yang sangat sesuai adalah material *thermoplast*. Material ini akan melunak karena pemanasan dan sebaliknya akan memanas lagi bila didinginkan. Perubahan material ini hanya bersifat fisik bukan perubahan kimiawi sehingga memungkinkan untuk medaur ulang material sesuai dengan kebutuhan. Material plastik yang dipindahkan dari silinder pemanas, suhunya berkisar antara 117 °C sampai 274 °C atau sesuai rekomendasi dari manufaktur pembuat material plastik. Semakin panas suhunya, material akan semakin encer (rendah viskositasnya) sehingga semakin mudah diinjeksi ke dalam *mold*. Setiap material memiliki karakter suhu *molding (mold flow index)*. Semakin lunak formulasinya, yang berarti kandungan plastis tinggi sehingga membutuhkan

temperature yang rendah, dan sebaliknya semakin keras formulasinya membutuhkan temperature tinggi.



Gambar 2.8. Bagian Mesin Injection Molding
(Sumber : *How to Make Injection Molds*, Menges, 2001)

Mesin *injection molding* terdiri dari banyak komponen yang tersusun didalamnya. Secara umum komponen utama dari mesin *Injection Molding* dapat dibagi menjadi :

a. *Injection Unit*

Injection unit terdiri dari beberapa bagian dengan fungsi tertentu yang fungsi utamanya adalah menyediakan dan mengalirkan material proses injeksi ke dalam *mold* . Di dalam *injection unit* terjadi perubahan bentuk material dari padat menjadi cair. Hal ini agar material dapat dibentuk sesuai dengan konstruksi *mold* yang digunakan.

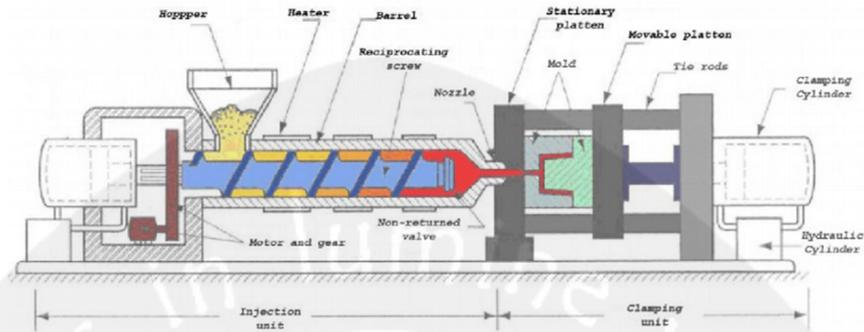
b. *Mold unit*

Mold unit adalah bagian lain dari mesin *plastic injection, molding unit* adalah bagian yang membentuk benda yang dibuat, secara garis besar *molding unit* memiliki 2 bagian utama yaitu bagian *cavity* dan *core* , bagian *cavity* adalah bagian cetakan yangn berhubungan dengan *nozzle* pada mesin, sedangkan bagian *core* adalah bagian yang berhubungan dengan *ejector* .

c. *Clamping Unit*

Clamping unit berfungsi untuk memegang dan mengatur gerakan dari *mold unit* , serta gerakan *ejector* saat melepas benda dari *molding unit* . Pada

clamping unit kita bisa mengatur berapa panjang gerakan *molding* saat di buka dan berapa panjang *ejector* harus bergerak.



Gambar 2.9. Bagian Detail Plastik Injection Machine
(*How to Make Injection Molds, Menges, 2001*)

Mesin *Plastic Injection* terdiri dari beberapa bagian, yaitu :

a. Motor dan *Transmission Gear Unit*

Bagian ini berfungsi untuk menghasilkan daya yang digunakan untuk memutar *screw* pada *barrel*, sedangkan *transmission unit* berfungsi untuk memindahkan daya dari putaran motor ke dalam *screw*, selain itu *transmission unit* juga berfungsi untuk mengatur tenaga yang disalurkan sehingga tidak terjadi pembebanan yang terlalu besar.

b. *Cylinder Screw Ram*

Bagian ini berfungsi untuk mempermudah gerakan *screw* dengan menggunakan momen *inersia* sekaligus menjaga perputaran *screw* tetap konstan, sehingga dapat dihasilkan kecepatan dan tekanan yang konstan saat proses injeksi plastic dilakukan.

c. *Hopper*

Merupakan tempat untuk menempatkan material plastic sebelum masuk ke barrel. Alat ini biasanya digunakan untuk menjaga kelembapan material plastic sebab apabila kandungan air terlalu besar pada udara dapat mengakibatkan hasil dari proses injeksi tidak optimal.

d. *Barrel*

Merupakan tempat *screw* dan selubung yang menjaga aliran plastic ketika dipanasi oleh *heater*. Fungsi dari *heater* ini adalah untuk memanaskan plastic sebelum masuk ke dalam *nozzle*.

e. *Screw*

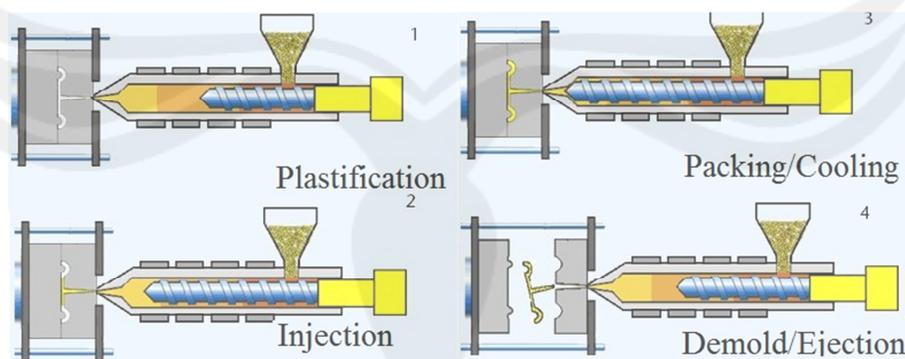
Reciprocating screw berfungsi untuk mengalirkan plastik dari *hopper* ke *nozzle*. Material dari *hopper* akan tertarik mengisi *screw* ketika *screw* berputar dan selanjutnya dipanasi lalu didorong ke arah *nozzle*.

f. *Nonreturn Valve*

Valve ini berfungsi untuk menjaga aliran plastik yang telah meleleh agar tidak kembali saat *screw* berhenti berputar.

2.2.6. Proses Dalam Injection Molding

Proses injeksi dimulai dari plastik dalam bentuk butiran atau bubuk ditampung dalam sebuah *hopper* (tempat penampungan plastik pada mesin yang berfungsi sebagai input material) kemudian turun ke dalam *barrel* secara otomatis (karena gaya gravitasi) dimana material plastik dilelehkan oleh pemanas yang terdapat di dinding barel dan oleh gesekan akibat perputaran *screw* injeksi. Plastik yang sudah meleleh diinjeksikan oleh *screw injeksi* (yang juga berfungsi sebagai *plunger*) melalui *nozzle* ke dalam cetakan yang didinginkan oleh air. Produk yang sudah dingin dan mengeras dikeluarkan dari cetakan oleh pendorong *hidrolik* yang tertanam dalam rumah cetakan, selanjutnya diambil oleh manusia atau menggunakan robot. Pada saat proses pendinginan produk secara bersamaan di dalam barrel terjadi proses pelelehan plastik sehingga begitu produk dikeluarkan dari cetakan menutup, plastik leleh bisa langsung diinjeksikan.



Gambar 2.10. Injection Molding Process

(Sumber : *Modelling and Simulation for Micro Injection Molding Process*, Lei

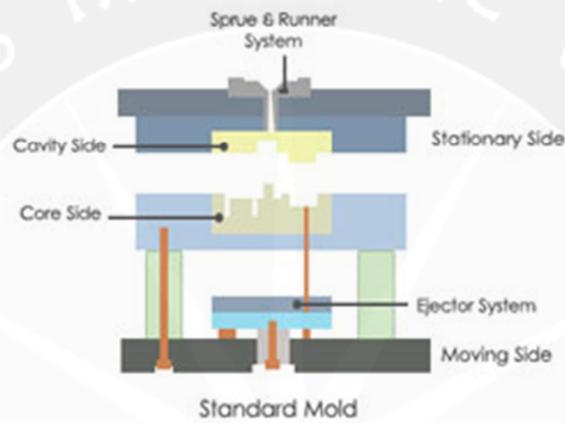
Xie . dkk, 2011)

Rancangan konstruksi *mold*

Ada beberapa alternatif untuk jenis konstruksi standard dari *mold* injeksi, berikut ini konstruksi *mold* yang bisa menjadi perbandingan dalam menentukan desain yang optimal.

1. Standard *Mold*

Adalah tipe *mold* dasar yang merupakan jenis minimum untuk membuat *mold* injeksi plastik.



Gambar 2.11. Standard *Mold*

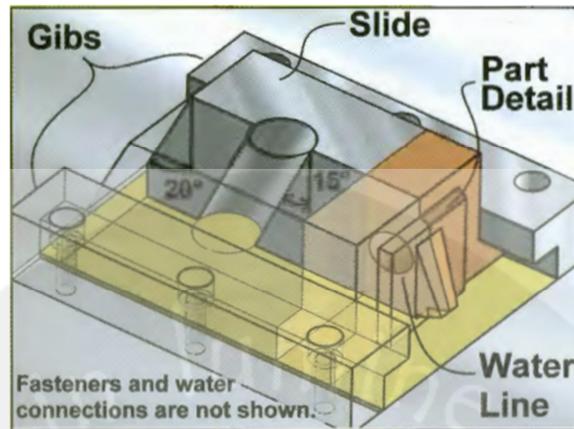
(Sumber : *Injection molds: 130 proven designs, Gastrow, 2006*)

Karakteristik dari *standard mold* antara lain adalah:

- Stationary side* (minimal satu plat) biasa di sebut *cavity side* , bagian ini adalah bagian yang diam ketika proses injeksi dilakukan, pada bagian ini terdapat *sprue* , yaitu bagian yang bertemu dengan *nozzle* mesin injeksi, bagian inilah yang menerima aliran material cair pertama kali.
- Moving plate* , bagian yang bergerak ini minimal terdiri dari, *core side* yaitu kebalikan dari *cavity side* , bagian ini adalah bagian yang membentuk produk bagian *core* , pada bagian ini terdapat *ejector* yang berfungsi untuk menekan produk dari *mold* sehingga produk dapat keluar dari *mold* setelah proses injeksi dilakukan.

2. Slider *Mold*

Adalah konstruksi *mold* yang digunakan ketika produk yang dibuat mempunyai *undercut* . Slider akan bergerak karena adanya batang pin yang memiliki sudut kemiringan tertentu.



Gambar 2.12. Konstruksi slider
 (Sumber : *Modern mold & Tooling March 1999 – February 2000*)

3. Three Plate Molds

Mempunyai karakteristik yaitu adanya *stripper plate* yang berfungsi untuk memotong runner langsung ketika *mold* terbuka. *Mold* ini memanfaatkan tarikan dari core base yang telah dilengkapi dengan *screw rubber* untuk membuka *stripper plate* lalu memutuskan *runner* .

2.2.7. Runners

Berfungsi sebagai saluran tempat mengalirnya material menuju *core* dan *cavity* . Permukaan yang lebih besar akan menyebabkan pelepasan panas yang makin besar. *Runners* dengan permukaan bulat adalah runner yang memiliki tingkat efisiensi yang tinggi.

Jenis *runners* dibagi menjadi 3 bagian, yaitu :

1. Standard Runners system

Sistem ini memiliki karakteristik :

- a. *Runner* biasanya langsung dibuat pada *mold* plate atau dibuat pada satu plate sendiri yang disebut *runner plate* .
- b. *Runners* plate ini biasanya digunakan pada konstruksi tipe *three plate mold* dan dipasang pada plate ketiga.

2. Hot Runners

Sistem hot runners polpuler digunakan dalam produksi massal atau dengan kapasitas *mold* yang besar, terutama yang menggunakan banyak *cavity* .

Keuntungan :

- a. Sistem ini dapat mengeliminasi *runners* yang terbuang

b. Tidak ada lelehan material yang terbuang sehingga kinerja dari mesin injeksi itu sendiri lebih efisien.

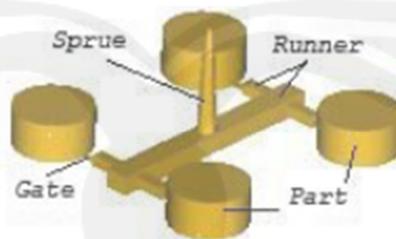
c. Kualitas yang dihasilkan lebih baik karena runners sudah otomatis terpotong dan hanya meninggalkan bekas cekungan titik dan bahkan bisa juga tidak meninggalkan bekas.

3. Cold Runners System

Runners type ini memiliki fungsi yang mirip dengan hot runners, tetapi digunakan pada *temperature* yang berbeda. *Cold Runners* digunakan pada *temperature* 80^o-120^oC. Runners jenis ini digunakan pada material yang reaktif seperti karet dan *thermosets*.

2.2.8. Gate

Merupakan pintu masuk untuk leburan material yang mengalir dari *runner* ke *inside mold*. Fungsinya untuk mengontrol aliran cairan material maupun kondisinya, penempatan *gate* yang benar adalah yang paling dekat dengan dinding *product* yang paling tebal. Selain itu, fungsinya adalah untuk memudahkan dalam melakukan pemotongan (*cutting*) bagian *runner* yang tidak dipakai. Kalau *gate* terlalu kecil, mudah menyebabkan terjadinya *sink mark*, sebaliknya kalau terlalu besar menyebabkan mudahnya terjadi penumpukan gas. *Gate* memegang peranan penting dalam proses *injection molding* karena dapat menentukan jadi atau tidaknya produk yang dibuat.



Gambar 2.13. Contoh Gate
(*Mold Dictionary*, IMDIA, 2006)

2.2.9. Material Plastik

Istilah plastik mencakup produk polimerisasi sintetik atau semi-sintetik. Mereka terbentuk dari kondensasi organik atau penambahan polimer dan bisa juga

terdiri dari zat lain untuk meningkatkan performa atau ekonomi. Ada beberapa polimer alami yang termasuk plastik. Plastik dapat dibentuk menjadi film atau fiber sintetik. Nama ini berasal dari fakta bahwa banyak dari mereka "*malleable*", atau memiliki properti keplastikan. Plastik di desain dengan variasi yang sangat banyak dalam properti yang dapat menoleransi panas, keras, "*reliency*" dan lain-lain. Digabungkan dengan kemampuan adaptasinya, komposisi yang umum dan beratnya yang ringan memastikan plastik digunakan hampir di seluruh bidang industri. Beberapa proses manufaktur yang menggunakan bahan dasar plastik dalam kegiatan produksinya adalah Injection Molding, Extrusi, *Thermoforming* dan *Blow Molding*.

1. Jenis Plastik

Secara umum plastik digolongkan menjadi dua macam, yaitu:

- a. *Termoplastik*, Merupakan jenis plastik yang bisa didaur-ulang/dicetak lagi dengan proses pemanasan ulang. Contoh: polietilen (PE), polistiren (PS), ABS, polikarbonat (PC).
- b. *Termoset*, merupakan jenis plastik yang tidak bisa didaur-ulang/dicetak lagi. Pemanasan ulang akan menyebabkan kerusakan molekul-molekulnya. Contoh: resin epoksi, bakelit, resin melamin, urea-formaldehida.

2. Penggunaan plastik secara umum

Plastik memiliki berbagai sifat dan jenisnya, begitu juga dalam penggunaannya. Beberapa jenis plastik yang paling sering digunakan secara umum dalam kehidupan sehari-hari adalah :

- a. *Polypropylene* (PP) adalah *thermoplastic polymer*, yang dibuat oleh industri kimia dan digunakan dalam berbagai aplikasi, termasuk kemasan makanan, tekstil, alat tulis, komponen plastik, peralatan laboratorium, dan komponen otomotif.
- b. *Polystyrene* (PS) merupakan salah satu jenis plastik yang banyak ditemukan dalam keperluan sehari-hari dan merupakan jenis plastik yang dapat di daur ulang. Plastik jenis ini biasanya digunakan untuk kemasan sabun, kemasan makanan, peralatan makanan, gelas *disposable* dan kepingan CD.
- c. *Acrylonitrile butadiene styrene* (ABS) adalah *thermoplastic polymer* yang digunakan untuk bertujuan membuat benda menjadi ringan, kaku, yang biasanya digunakan untuk alat-alat musik, otomotif yang meliputi roda, lampiran, pelindung kepala gigi, penyangga pinggir untuk furniture dan panel kayu, dan mainan.

d. *Polyethylene terephthalate* (PET) merupakan *thermoplastic polymer* yang sering digunakan dalam pembuatan kemasan minuman botol, toples plastik, pastik film dan kemasan pembungkus yang *microwaveable*.

e. *Polyester* (PES) biasanya digunakan untuk membuat botol, film, kain terpal, kano, *liquid crystal display*, *hologram*, *filter*, *dielectric film* untuk kapasitor, film isolasi untuk kawat dan *insulating* kaset.

f. *Polyamides* (PA) (*Nylons*) merupakan bahan plastik yang berserat dan biasanya sering digunakan untuk bahan dasar fiber, komponen sikat gigi, dan komponen otomotif.

g. *Poly vinyl chloride* (PVC) adalah *thermoplastic polymer* yang juga banyak digunakan dalam dunia industri dalam pembuatan bahan bangunan seperti Pipa, kawat eletrik dan bahan konstruksi lainnya.

h. *Polyurethanes* (PU) adalah jenis plastik yang biasa banyak digunakan untuk alat otomotif, rumah-tangga, komponen elektronik dan dapat berperan sebagai pelapis atau perekat pada suatu benda.

i. *Polycarbonate* (PC) adalah jenis plastik yang biasa digunakan bila ingin memproduksi suatu benda yang memiliki kejernihan produk yang tinggi (transparan atau pun dapat memantulkan cahaya). Contohnya dalam pembuatan lensa kaca mata dan *compact disc*.

j. *Polyethylene* (PE) adalah *thermoplastic* komoditi berat yang digunakan dalam produk konsumen (terutama di kantong plastik belanja).

2.2.10. Metode Kreatif

Ada beberapa metode perancangan yang memiliki maksud untuk membantu mendorong pemikiran yang kreatif. Pada umumnya mereka bekerja dengan usaha untuk menambah mengalirnya ide-ide dengan menghilangkan batas mental yang menghalangi kreativitas atau oleh melebarnya area penelitian untuk penyelesaian yang dibuat (Cross, 1994). Cara-cara yang terdapat dalam metode ini antara lain :

1. Brainstorming

Ini adalah sebuah metode yang banyak membangkitkan besar ide-ide, yang kemudian sebagian ide itu akan dibuang, tetapi beberapa ide yang menarik diidentifikasi dan berharga untuk ditindak lanjuti.

Tahap ini biasanya dilakukan dalam suatu kelompok kecil yang terdiri dari 4 sampai 8 orang. Tiap-tiap anggota memberikan idenya, kemudian ketua

kelompok mengumpulkan semua ide untuk dievaluasi. Aturan yang digunakan dalam proses *brainstorming* adalah:

- a. Kelompok haruslah bersifat non-hierarkial dan terdiri dari 4-8 orang
- b. Kelompok diharapkan menghasilkan sebanyak-banyaknya jumlah gagasan.
- c. Tidak dibenarkan memberikan kritik terhadap setiap gagasan.
- d. Gagasan yang terlihat aneh tetap diterima.
- e. Usahakan semua gagasan dinyatakan secara singkat dan jelas.
- f. Suasana dalam *brainstorming* berlangsung rileks, tenang dan bebas.
- g. Kegiatan sebaiknya berlangsung dalam waktu tidak lebih dari 30 menit.

Cara-cara *brainstorming* dibagi menjadi tiga, yaitu *verbal brainstorming*, *nominal brainstorming*, dan *electronic brainstorming*.

- a. *Verbal brainstorming* adalah mengumpulkan ide dengan cara para peserta berkumpul bersama dan membagi idenya secara bergiliran.
- b. *Nominal brainstorming* adalah mengumpulkan ide dengan cara para peserta berkumpul dan membagi idenya secara bergiliran.
- c. *Electronic brainstorming* adalah pengumpulan ide dengan menggunakan bantuan teknologi.

2. Metode Sinektik

Pemikiran yang kreatif seringkali digambarkan pada pemikiran analogis, pada kemampuan untuk melihat persamaan atau hubungan antara topik-topik yang jelas perbedaannya. Penggunaan pemikiran analogis telah terbentuk pada metode perancangan kreatif yang diketahui sebagai *synectic*. *Synectic* berbeda dengan *brainstorming*, dimana kelompok mencoba untuk bekerja bersama menuju solusi tertentu, daripada membangkitkan sejumlah besar ide (Cross, 1994). Metode pelaksanaan sinektik meliputi:

- a. Membentuk kelompok yang terdiri dari anggota yang selektif
- b. Melatih para anggota kelompok dalam menggunakan analogi untuk membangkitkan aktivitas spontan otak terhadap persoalan
- c. Memaparkan masalah perancangan kepada kelompok sama seperti yang dinyatakan oleh klien atau pihak manajemen perusahaan.
- d. Menggunakan banyak analogi, diantaranya adalah analogi langsung, analogi personal, analogi simbolik, dan analogi fantasi.

2.2.11. Cacat Produksi Pada Proses Injeksi Plastik

A. Penyusutan (*Shrinkage*)

Pada setiap pembuatan *mold* harus diperhitungkan akan adanya penyusutan material setelah produk plastik membeku dan keluar dari rongga cetaknya. Hal ini terjadi karena ada perubahan fase dari material cair menjadi material padat, pasti akan mengalami perubahan volume. Jadi bila dibandingkan dengan ukuran pada *mold* , maka ukuran produknya akan berbeda, yaitu ukuran luar benda kerja akan lebih kecil dibanding rongga *cavity* -nya. Penyusutan material (*shrinkage*) dinyatakan dalam persen, sehingga jika dirumuskan:

$$\text{shrinkage} = \frac{\Delta L}{L} (\%) \quad (2.1)$$

Arah penyusutan material adalah menuju ke sebuah titik referensi didalam benda kerja, artinya tidak boleh mengambil bidang atau garis yang ada didalam benda kerja. Untuk mengendalikan *shrinkage* pada perhitungan pembuatan *cavity* atau dalam proses produksi, dibutuhkan suatu faktor yang dikalikan dengan ukuran pada produk tersebut jika besarnya *shrinkage* dari suatu material plastik diketahui.

$$\text{Faktor Shrinkage (f)} = (1 + \Delta L) \quad (2.2)$$

Contoh :

Dari Tabel *shrinkage* untuk material PS (*polystyrene*) = 0,4 - 0,6%, maka perhitungan faktornya adalah $f = (1+0,5\%) = 1,005$

Untuk lebih jelasnya dapat digambarkan bila kita membuat produk dari material PS dengan ukuran luar 38 x 52 x 3,5 mm yang mempunyai dua lubang diameter 6 mm dan jaraknya 26 mm, maka ukuran pada *mold* yang direncanakan adalah :
Ukuran *cavity* = 38,190 x 52,260 x 3,518 mm

Ukuran *Core* = 6,030 mm

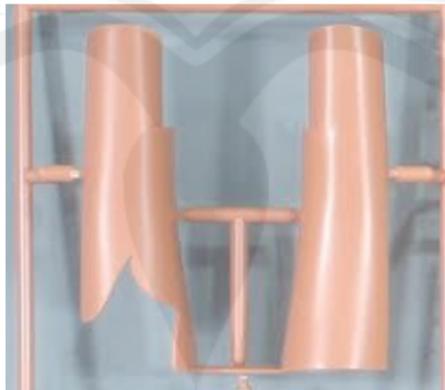
Jarak *Core* = 26,130 mm

Dalam perhitungan faktor *shrinkage* diatas mengambil harga *shrinkage* rata-rata yaitu 0,5% dari tabel dengan pertimbangan bahwa kondisi *mold* optimal.

Namun pada *mold* yang mempunyai bentuk tidak sederhana, ukuran-ukuran yang ekstrim misalnya panjang dan tipis, atau mempunyai banyak perbedaan ketebalan dengan adanya bulatan atau tonjolan untuk tempat ulir dan sebagainya, maka penentuan faktor ini akan lebih sukar. Pada kasus semacam ini, dikenal adanya istilah penyusutan kearah memanjang (*longitudinal shrinkage*) maupun melintang (*transversal shrinkage*) terhadap benda kerjanya, sehingga perhitungannya menjadi semakin kompleks. Kadang-kadang bahkan sering terjadi hal-hal yang tidak bisa diprediksi lebih dahulu, misalnya suatu bentuk yang simetris namun ternyata menghasilkan penyusutan yang berbeda. Setelah diamati lebih teliti ternyata perbedaan penyusutan ini disebabkan oleh kurang sempurnanya pendinginan *mold* (*cooling*). Faktor lain yang bisa mempengaruhi besarnya penyusutan adalah jumlah dan penempatan *gate*, ada tidaknya rib penguat pada benda kerja, besarnya tekanan injeksi dan tekanan penahan injeksi (*holding pressure*), penguat material (*reinforcement*) serta masih banyak faktor lainnya. Maka, untuk benda kerja yang mempunyai tuntutan kestabilan bentuk serta harus berpasangan (*matching*) dengan benda lainnya, sebaiknya dipilih bahan yang dalam daftar material mempunyai harga *shrinkage* yang kecil, sehingga perubahan ukuran tidak terlalu besar.

B. Short Shot

Short Shot adalah suatu kondisi dimana, plastik leleh yang akan diinjeksikan kedalam *cavity* tidak mencapai kapasitas yang ideal atau sesuai settingan mesin. Sehingga plastik yang diinjeksikan kedalam *cavity* mengeras terlebih dahulu sebelum memenuhi *cavity*.



**Gambar 2.14. Produk defect (*Short Shot*)
(Defect pada produk plastik, Tresno, 2010)**

Penyebab cacat ini karena karakteristik viskositas dan fluiditas dari plastik. Desain gate dan keberadaan *venting* udara serta konstruksi bushing juga dapat berpengaruh. Selain itu, performa dan kondisi *mold* serta mesin injeksi juga mempengaruhi terjadinya short shot.

C. *Flashing (Flash)*

Flashing adalah jenis minor *defect* pada material, artinya material masih bisa dikatakan bagus tetapi harus dilakukan pembersihan (*finishing*) pada produk. *Flashing* sendiri berarti terdapat material lebih yang ikut membeku di pinggir pinggir produk.

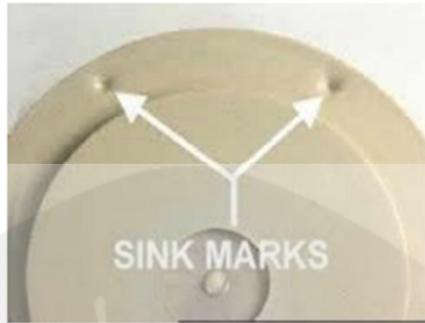


**Gambar 2.15. Produk *Flashing*
(Defect pada produk plastik, Tresno, 2010)**

Flashing terjadi karena kurangnya *pressure clamping* pada *mold* sehingga *mold* menjadi kurang rapat pada pertemuan antara dua *plate* dan pada saat injeksi material ada yang keluar lewat celah. Desain produk yang kurang sesuai dan kurangnya viskositas material juga dapat menyebabkan terjadinya *flashing*.

D. *Sink-mark*

Sink-mark merupakan cekungan atau lengkungan yang terjadi pada permukaan luar pada komponen yang dibentuk dan dapat juga berarti perbedaan ketebalan pada permukaan benda. *Sink-mark* bisa saja bukan termasuk *defect*, tetapi bila menyangkut pengaruh penampilan, *sink-mark* dapat diberlakukan sebagai *defect* pada produk yang memperhatikan kualitas penampilan. Fenomena ini sering menjadi masalah sebagai cacat tetapi masih tergantung pada kualitas produk. *Sink-mark* tergantung pada *shrinkage* material plastik itu sendiri.'

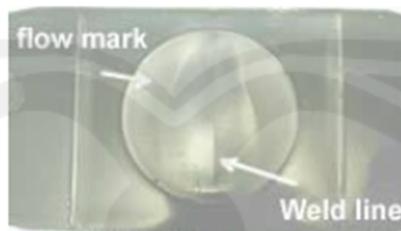


**Gambar 2.16. Produk *Sink-mark*
(Defect pada produk plastik, Tresno, 2010)**

Biasanya, perbedaan *temperature core* dan *cavity* serta *loading time* material yang terlalu cepat dapat menyebabkan *sink-mark*. *Temperature resin*, *temperature die*, *injection speed* yang terlalu tinggi atau rendah dan kurangnya kemampuan pendinginan dari *die* serta peningkatan suhu karena putaran *screw* terlalu cepat berpengaruh juga terhadap cacat ini.

E. *Flow-mark*

Kondisi *flow-mark* digunakan untuk menggambarkan fenomena dimana terdapat pola bergaris, terbentuk di sekitar *gate* pada saat material mengalir memasuki *cavity*. Dalam hal ini, plastik yang telah didinginkan *sprue* dan *runner* yang selanjutnya didinginkan oleh *cavity* dan mengisi dalam viskositas tinggi, akibatnya plastik yang kontak dengan permukaan mold bertekanan dalam kondisi semi-padat dan garis-garis tegak lurus terhadap arah aliran material terbentuk pada permukaan produk yang dicetak.



**Gambar 2.17. Produk *Flow-mark*.
(Defect pada produk plastik, Tresno, 2010)**

Ada beberapa faktor yang mempengaruhi terjadinya *flow-mark*. Kecepatan alir material yang terlalu lambat atau kecepatan pendinginan yang terlalu cepat dapat menyebabkan *flow-mark* selain karena perubahan tekanan yang terjadi pada *mold*.

F. Colour Streaks

Fenomena *colour streaks* terjadi karena adanya dua campuran atau lebih warna pada suatu produk yang menyebabkan warna produk tersebut menjadi belang. Biasanya *colour streaks* terjadi sehabis pergantian material, dimana masih ada sisa-sisa material lama yang masih terperangkap di dalam manifold atau *nozzle*. Material yang tidak bercampur dengan baik pada saat proses *mixing* juga dapat menyebabkan *colour streaks*.

G. Bubbles

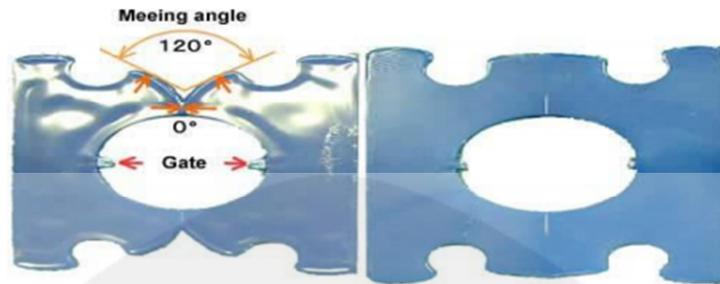
Bubbles dapat dibilang sebagai gelembung udara yang terperangkap dalam produk. Biasanya terjadi pada saat proses injeksi material kedalam *cavity* ketika udara tidak sempat keluar melalui *air venting*. Cacat ini juga dapat dipengaruhi oleh gas yang masih terperangkap dengan material cair dalam *cylinder*.

H. Jetting

Jetting adalah garis semburan di permukaan produk yang dimulai dari sisi *gate point* karena aliran turbulen material. Plastik yang dengan suhu relatif rendah diinjeksikan kedalam *nozzle* selama tahap awal *molding*, setelah bersentuhan dengan cetakan, material ini menjadi sangat kental dan terdorong terus kedalam cetakan yang akhirnya meninggalkan bekas aliran. Penyebabnya bisa karena ukuran *gate* yang terlalu kecil sehingga *speed* material yang diinjeksikan menjadi cukup cepat atau temperatur material yang terlalu rendah dan viskositas material menjadi tinggi yang mengakibatkan resistensi terhadap material menjadi besar.

I. Weld-line

Weld-line terjadi ketika dua atau lebih aliran lelehan material yang bertemu dan membeku dengan tidak sempurna yang digambarkan dengan garis "V" sempit pada kedua ujung aliran lelehan material. Fenomena ini terjadi pada saat menggunakan sisipan atau *multi-point gate*. Secara teori, cacat ini tidak dapat dihilangkan tetapi hanya dapat diminimalisir atau dipindahkan. *Weld-line* kadang terlihat seperti *crack* dan kehadiran *weld-line* pada daerah konsentrasi tegangan dapat menyebabkan masalah kekuatan. *Weld-line* harus segera ditanggulangi.



Gambar 2.18. Produk *Weld Line*
(Defect pada produk plastik, Tresno, 2010)

J. *Black Spot*

Black spot atau bintik hitam atau goresan pada permukaan produk terjadi karena kerusakan thermal. Adanya material sisa yang terjebak dalam heater atau kontaminasi produk oleh zat yang tidak diperlukan yang menyebabkan black spot. Kecepatan screw yang terlalu tinggi sehingga menyebabkan degradasi material juga mempengaruhi cacat ini.

K. *Stringing*

Stringing adalah fenomena dimana bagian *string-line* pada plastik terbentuk pada saat *mold* open, kemudian sisa material yang tertarik tersebut terjebak didalam *mold* dan pada saat *shot* selanjutnya menyebabkan ketidakrataan hasil produk. Biasanya disebabkan oleh temperatur *nozzle* yang terlalu tinggi.

L. *Warpage*

Warpage atau *twisting* digunakan untuk menjelaskan bagian dari produk yang bengkok atau melengkung karena ketidakrataan distribusi tekanan pada produk. Faktor yang menyebabkan *warpage* adalah perbedaan antara *shrinkage* dan *cooling time* yang tergantung pada kontraksi kedua permukaan dan ketebalan komponen dari hasil distribusi temperatur *mold* . Bisa jadi karena *injection pressure* yang terlalu tinggi atau terlalu rendah dan *cooling* terlalu pendek dan kurangnya *clamping force* dapat menyebabkan *warpage*.

2.2.12. Metode Taguchi

Metode Taguchi dicetuskan oleh Dr. Genichi Taguchi pada tahun 1949 saat mendapatkan tugas untuk memperbaiki sistem telekomunikasi di Jepang. Metode ini bertujuan untuk memperbaiki kualitas produk dan proses serta dapat menekan biaya dan resources seminimal mungkin. Metode Taguchi sering disebut *robust design* karena menjadikan produk *robust* (kokoh) terhadap noise. Definisi kualitas menurut taguchi adalah kerugian yang diterima oleh masyarakat

sejak produk tersebut dikirimkan. Oleh karena itu, kualitas harus didesain kedalam produk bukan sekedar memeriksanya dan kualitas terbaik dicapai dengan meminimalkan deviasi dari target. Produk harus didesain sehingga kokoh terhadap faktor lingkungan yang tidak dapat dikontrol. Biaya kualitas harus diukur sebagai fungsi deviasi dari standar tertentu dan kerugian harus diukur pada sebuah sistem. Metode taguchi merupakan pengendalian kualitas yang preventif, sebagai desain produk atau proses sebelum sampai pada produksi di tingkat *shop floor*. Oleh karena itu, metode taguchi dilakukan pada saat awal dalam *life cycle product* yaitu perbaikan pada awal untuk menghasilkan produk (*to get right first time*). Tujuan dari fungsi taguchi (*loss function*) adalah untuk mengevaluasi kerugian kualitas secara kuantitatif yang disebabkan adanya variasi (Bellavendram, 1995). Menurut Bellavendram (1995), aktivitas quality control (QC) terbagi menjadi dua, yaitu:

1. Off-line QC

merupakan aktivitas pengendalian kualitas di dalam proses dan pembuatan desain produk sebelum diproses manufaktur. Pada dasarnya merupakan tindakan pencegahan supaya proses manufaktur yang akan berjalan menghasilkan produk cacat yang minimum. Pengendalian kualitasnya dilakukan sebelum proses produksi berlangsung. Aktivitas *off-line QC* sangat mendukung dalam aktivitas *on-line QC* karena dapat mengoptimalkan desain produk dan proses. Tiga tahap pada desain proses tersebut adalah:

a. System Design

System design merupakan tahap awal berkaitan dengan pengembangan teknologi. Pada tahap ini dibutuhkan pengetahuan teknis yang luas untuk menilai dalam pengembangan produk atau proses.

b. Parameter Design

Parameter design merupakan tahap kedua dimana berkaitan dengan penekanan biaya dan peningkatan kualitas dengan menggunakan metode perancangan eksperimen yang efektif. Pada tahap ini akan ditentukan nilai-nilai parameter yang kurang sensitif terhadap *noise* lalu akan dicari kombinasi level parameter yang nantinya dapat menggunakan *noise*.

c. Tolerance Design

Tolerance design adalah tahap dimana akan dilakukan pengendalian faktor-faktor yang mempengaruhi nilai target dengan menggunakan komponen yang bermutu tinggi dan biaya yang tinggi.

2. On-Line QC

adalah aktivitas pengendalian kualitas pada saat proses manufaktur. Pada aktivitas *on-line* QC biasanya digunakan *Statistical Process Control* (SPC) dimana tindakan perbaikan akan dilakukan apabila pada saat produksi dihasilkan produk cacat yang tidak memenuhi spesifikasi. Pada dasarnya *on-line* QC merupakan tindakan pengendalian kualitas yang setelah proses produksi berlangsung.

2.2.13. Karakteristik Kualitas Menurut Taguchi

Karakteristik kualitas (*variable respons*) adalah suatu ketentuan obyek yang diharapkan dari suatu produk atau proses. Secara umum setiap karakteristik kualitas memiliki suatu target. Ada tiga karakteristik kualitas yang dikelompokkan berdasarkan nilai targetnya, yaitu (Bellavendram, 1995):

1. *Nominal Is The Best*

Karakteristik *Nominal Is The Best* adalah pengukuran karakteristik dengan nilai target yang spesifik yang ditentukan oleh pengguna (*user-defined*).

2. *Smaller Is Better*

Karakteristik *Smaller Is Better* adalah pengukuran karakteristik yang *nonnegative* dimana target idealnya adalah nol.

3. *Larger Is Better*

Karakteristik *Larger Is Better* adalah pengukuran karakteristik yang *nonnegative* dimana target idealnya adalah tak terbatas.

2.2.14. Orthogonal Array dan Matrik Eksperimen

Orthogonal array adalah suatu matrik yang elemen-elemennya disusun menurut baris dan kolom. Kolom merupakan faktor atau kondisi yang dapat diubah dalam eksperimen. Baris merupakan keadaan dari faktor. *Array* disebut *Orthogonal* karena level-level dari faktor berimbang dan dapat dipisahkan dari faktor yang lain dalam eksperimen. Maka, *orthogonal array* sebagai matrik seimbang dari faktor dan level yang sedemikian rupa sehingga pengaruh suatu faktor atau level tidak baur (*counfounded*) dengan pengaruh faktor atau level yang lain. Matrik Eksperimen adalah matrik yang memuat sekelompok eksperimen dimana faktor dan level dapat ditukar sesama matrik. Melakukan eksperimen dengan menggunakan bentuk matrik khusus (*orthogonal array*) bertujuan agar dapat dilakukan pengujian terhadap pengaruh beberapa paramater secara efisien dan

merupakan teknik penting dalam perancangan yang kokoh (*robust desain*). *Orthogonal array* digambarkan seperti gambar dibawah ini:

$L_9(3^4)$

Orthogonal Array $L_9(3^4)$ diartikan sebagai *orthogonal array* yang mempunyai 4 faktor dengan 3 level dan eksperimen dilakukan sebanyak 9 kali. Uraian untuk notasi diatas adalah:

- a. Notasi L, merupakan informasi yang ber.dasarkan pada penyusunan faktor *latin square*. Penyusunan *latin square* adalah penyusunan *square* matriks dengan pemisahan faktor-faktor yang berpengaruh. Sehingga notasi L menggambarkan informasi *orthogonal array*.
- b. Jumlah baris, merupakan jumlah eksperimen yang dibutuhkan pada saat menggunakan *orthogonal array*.
- c. Jumlah kolom, merupakan jumlah faktor yang dapat dipelajari dalam *orthogonal array* yang dipilih.
- d. Jumlah level, merupakan jumlah level dari faktor faktor yang digunakan dalam eksperimen. Bentuk standar *orthogonal array* dari Taguchi dijelaskan pada tabel dibawah ini.

Tabel 2.2. Orthogonal array standard dari Taguchi
 (Quality by Design: Taguchi Techniques for Industrial Experimentation,
 Bellavendram, 1995)

2 level	3 level	4 level	5 level	Level gabungan
$L_4(2^3)$	$L_9(3^4)$	$L_{16}(4^5)$	$L_{25}(5^6)$	$L_{18}(2^1 \times 3^7)$
$L_8(2^7)$	$L_{27}(3^{13})$	$L_{64}(4^{21})$	-	$L_{32}(2^1 \times 4^9)$
$L_{12}(2^{11})$	$L_{81}(3^{40})$	-	-	$L_{36}(2^{11} \times 3^{12})$
$L_{16}(2^{15})$	-	-	-	$L_{36}(2^3 \times 3^{13})$
$L_{32}(2^{31})$	-	-	-	$L_{54}(2^1 \times 3^{25})$