

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1. Tinjauan Pustaka

Penelitian dilakukan dengan terlebih dahulu melakukan tinjauan dari penelitian yang sudah pernah dilakukan. Referensi berikut menjelaskan keterkaitan dengan topik yang sedang diteliti.

2.2.1 Penelitian Terdahulu

Penelitian tentang *hip joint* dan komponen pendukung sudah dilakukan oleh beberapa peneliti namun masih pada tahapan optimasi *manufacturing non injection molding* tanpa CAE, pada penelitian sekarang berbasis CAE *manufacturing injection mold* untuk mendapatkan analisis desain optimum. Penelusuran penelitian terdahulu tersaji dalam penjelasan dibawah:

Nugraha (2013), menggunakan material *stainless steel 316L* dalam penelitiannya membahas perancangan dan simulasi pembentukan *hip joint prosthetic* atau *hip joint* buatan dengan proses *cold forming*. Penelitian ini menunjukkan bahwa semakin besar ukuran *femoral stem* maka semakin besar tegangan yang diterima pada saat diberi variabel pembebanan saat tersandung. Proses simulasi *cold forming* yang dilakukan mendapatkan hasil tegangan yang besar, hal ini dipengaruhi karena adanya deformasi plastis yang terjadi terhadap spesimen yang dilakukan.

Amri (2019), dalam penelitiannya membahas pengaruh pendinginan terhadap proses injeksi *molding* dalam pembuatan *acetabular cup* pada *hip joint*. Penelitian ini menunjukkan bahwa pendinginan berpengaruh terhadap adanya *shrinkage* produk. Pengujian ini dibuktikan dengan hasil produk yang menggunakan sistem pendinginan memiliki *shrinkage* yang lebih kecil dibandingkan produk tanpa sistem pendinginan pada saat proses *injection molding*.

Lestari dkk (2019), dalam penelitiannya membahas optimasi parameter dari CNC milling menggunakan metode *Taguchi* dan *Response Surface Methodology (RSM)* pada *surface roughness* dari produk *acetabular cup* berbahan UHMWPE. Pemodelan data eksperimental digunakan untuk membandingkan parameter CNC milling (*spindle speed, feed rate, dan step over*) dengan *surface roughness* dari *acetabular cup* berbahan UHMWPE. Hasil pemesinan *acetabular cup* dengan

mesin CNC milling berhasil membuktikan bahwa metode yang digunakan valid, yaitu pengaruh optimasi *cutting parameter* dengan nilai *surface roughness* yang minimal.

Ninggar (2019), dalam penelitiannya membahas penentuan parameter permesinan optimal pada pengolahan *acetabular cup* berbahan UHMWPE di mesin CNC milling. Penelitian ini menunjukkan bahwa respon optimal dalam penelitian ini adalah nilai R_a mencapai standar ASTM yaitu $\leq 2.00 \mu\text{m}$ dan waktu permesinan yang singkat.

Riyanto (2015), dalam penelitiannya membahas tentang kelemahan metode industri plastik konvensional yang masih bergantung pada hasil injeksi saat proses *trial* serta lamanya waktu yang terbuang untuk *setting* parameter proses yang optimal dan perbaikan pada produk atau *mol*. Hal tersebut berdampak pada banyaknya material plastik yang harus dibuang serta tidak efektifnya proses yang dilakukan. Penelitian ini berhasil memberi masukan berupa metode baru yang menjelaskan konsep dari industri manufaktur plastik secara modern yang berbasis pada *Computer Aided Engineering* (CAE), serta menjelaskan informasi cara meminimalkan cacat produk dengan melakukan *setting* parameter mesin injeksi untuk mendapatkan hasil yang optimal berdasarkan simulasi CAE yang telah dilakukan.

Pratama (2016), dalam penelitiannya melakukan analisis *warpage* hingga mendapatkan parameter injeksi *mold* yang optimal dengan menggunakan aplikasi *Autodesk Moldflow Adviser 2015* pada industri plastik di PT. ATMI Surakarta. Tito berhasil menunjukkan bahwa optimasi pada parameter proses injeksi memakai *Autodesk Moldflow Adviser 2015* dengan memberikan masukan perbaikan berupa penambahan *runner* dan *gate* dari rancangan produk *headpiece kit R67*, berkurangnya proses *trial and error* serta waktu untuk menentukan parameter injeksi yang optimal. Analisis CAE *MFA* juga berhasil memprediksi cacat produk dengan membandingkan parameter *mold temperature*, *melt temperature*, *cooling time*, *injection pressure*, dan *injection time*.

Widyatmoko (2017), dalam penelitiannya membahas optimasi parameter injeksi dengan tujuan meminimalkan *shrinkage*, *warpage*, dan *sinkmark* pada industri *mold* modern menggunakan *software CAE Autodesk MoldFlow Simulation Synergy 2015*. Penelitian ini mendapatkan hasil kombinasi parameter injeksi yang memenuhi permintaan konsumen. Hasil analisis moldflow yang dilakukan juga

mampu membantu bagian produksi dalam mengurangi waktu *trial* dan mendapatkan hasil injeksi yang maksimal, serta memberi masukan kepada *mold engineer* untuk memodifikasi *mold base* yang ada.

Utama (2020), dalam penelitiannya membahas perancangan konstruksi *moldbase* keseluruhan untuk produk *acetabular cup* dari *artificial hip joint* di PT. ATMI Surakarta dengan menggunakan aplikasi *Power Shape*. Rancangan yang telah dibuat nantinya akan diserahkan kepada PT. ATMI Surakarta untuk dilakukan proses *prototyping*.

2.2.2 Penelitian Sekarang

Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan tahapan evaluasi *MoldFlow Adviser*, mendapatkan hasil evaluasi desain produk *hip joint* pada proses *mold*, serta mendapatkan hasil analisis *MoldFlow Adviser* terbaik untuk dilakukan proses pemesinan sehingga mendapatkan hasil pemesinan yang maksimal dengan cacat produk berupa *shrinkage* dan *warpage* yang minimal.

Peneliti terdahulu seperti Nugraha (2013), Amri (2019), Lestari dkk (2019), dan Ninggar (2019) pernah melakukan penelitian dengan spesimen *hip joint*, namun belum menggunakan metode analisis simulasi CAE serta belum ada tahapan evaluasi desain manufaktur yang mampu digunakan sebagai rujukan bagi *mold engineer*, sementara Riyanto (2015), Pratama (2016) dan Widyatmoko (2016) sudah menggunakan metode *Taguchi* dalam penelitiannya dengan bantuan *software* simulasi CAE untuk mendapatkan *setting* parameter injeksi terbaik sehingga mampu mengurangi cacat produk yang dihasilkan.

Berdasarkan penelitian yang sudah pernah ada (Lestari dkk, 2019), muncul gagasan untuk melakukan analisis produk *acetabular cup* dari *AHJ* menggunakan aplikasi *Autodesk Moldflow Adviser*. Berawal dari penelitian *acetabular cup AHJ* terdahulu (Ninggar, 2019; Utama, 2020) yang belum menggunakan analisis simulasi injeksi untuk proses *machining* menyebabkan banyak terjadinya *trial and error* karena *mold engineer* belum mendapatkan *setting* parameter yang optimal. Penelitian saat ini mampu mendemostrasikan tahap evaluasi dan optimasi proses desain manufaktur *mold base* produk *AHJ* menggunakan *software CAE Autodesk MoldFlow Adviser 2016*. Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan *setting* parameter injeksi optimal berdasarkan simulasi yang dilakukan. Hasil analisis dan simulasi yang telah dilakukan bisa menjadi rujukan bagi *mold engineer* untuk melakukan revisi desain manufaktur *mold base* produk *AHJ* maupun dalam proses

machining menggunakan parameter injeksi yang telah disimulasikan. Material yang digunakan dalam simulasi disamakan dengan material yang digunakan pada proses sesungguhnya yaitu UHMWPE (*Ultra High Molecular Weight Polyethylene*).

Luaran penelitian ini berupa tahapan proses analisis CAE pada kasus injeksi *acetabular cup* dari AHJ agar diperoleh parameter injeksi yang optimal untuk mengevaluasi konstruksi mold base *acetabular cup* dari AHJ yang sudah di desain oleh peneliti sebelumnya (Utama, 2020).

Berdasarkan telusuran pustaka yang telah dilkerjakan oleh peneliti secara jelas dapat disajikan pada tabel 2.1.



Tabel 2. 1 Perbandingan Antara Peneliti Sebelumnya dan Sekarang

Peneliti	Objek	Tujuan	Metode	Software	Output Penelitian	Outcomes
Nugraha (2013)	<i>Hip joint prosthetic</i>	Merancang <i>hip joint prosthetic</i> dan mendapatkan hasil analisis tegangan setelah diberikan variasi pembebanan dan rancangan proses manufaktur yang efisien	<i>Cold forming</i>	<i>Abaqus</i>	Mendapatkan hasil pengujian berupa tegangan terbesar yang terdapat pada <i>femoral stem</i> 8mm= 996,2 MPa dan <i>femoral stem</i> 6mm= 964,7 Mpa.	Skripsi
Amri (2019)	<i>Acetabular cup Hip joint</i>	Meneliti pengaruh pendinginan terhadap adanya <i>shrinkage</i> pada saat melakukan proses injeksi <i>molding</i>	<i>Trial and Error, Injection Molding</i>	-	Mendapatkan hasil pengujian berupa <i>shrinkage</i> rata-rata dengan pendingin pada sumbu X= 1,224%, Y= 1,857%, Z= 1,83%. <i>Shrinkage</i> rata-rata pengujian tanpa pendingin pada sumbu X= 1,591%, Y= 2,32%, Z= 2,369%	Skripsi

Tabel 2.1 Lanjutan Perbandingan Antara Peneliti Sebelumnya dan Sekarang

Peneliti	Objek	Tujuan	Metode	Software	Output Penelitian	Outcomes
Lestari, dkk (2019)	<i>Acetabular cup Hip joint</i>	Membuktikan bahwa optimasi parameter dari CNC milling menggunakan metode <i>Taguchi</i> dan <i>Response Surface Methodology</i> (RSM) berpengaruh pada <i>surface roughness</i>	<i>Taguchi, RSM</i>	<i>Solidworks, CAM, Minitab</i>	Berhasil membuktikan bahwa <i>step over</i> merupakan faktor paling signifikan pada <i>Ra</i> dari <i>inner acetabular cup inner</i> dengan presentase 98.20% berdasarkan <i>Taguchi</i> dan RSM dengan variabel terbaik: <i>spindle speed 6500 rpm, feed rate set on 1500 mm/rev dan step over 0.1 mm.</i>	<i>International Journal of Mechanical Engineering and Technology</i> , 10, pp. 1762-1775 (2019)

LesTabel 2.1 Lanjutan Perbandingan Antara Peneliti Sebelumnya dan Sekarang

Peneliti	Objek	Tujuan	Metode	Software	Output Penelitian	Outcomes
Antonieta (2019)	<i>Acetabular cup Hip joint</i> berbahan UHMWPE	Mendapatkan nilai R_a mencapai standar ASTM yaitu $\leq 2.00 \mu\text{m}$ dan waktu permesinan yang singkat	<i>Taguchi, RSM</i>	<i>Minitab, Ms.Excel, PowerMill</i>	Parameter permesinan menghasilkan nilai R_a optimum = $0,77 \mu\text{m}$ dan waktu proses permesinan (T_m) = 186.047,9695 sec.	Skripsi , <i>Draft Journal IJET</i>
Seto (2015)	<i>Base Plate</i> menggunakan injeksi plastik	Menjelaskan konsep manufaktur plastik modern berbasis CAE. Meminimalkan <i>shrinkage</i> pada injeksi plastik dengan penentuan parameter yang optimal	<i>Taguchi, Moldflow, Dual Domain</i>	<i>AutoCad, Inventor, Moldflow, Minitab Excel</i>	Berhasil memenuhi standar kualitas yang ditentukan dengan <i>volumetric shrinkage</i> optimal= 7,612% dan <i>shrinkage</i> rata-rata= 0,4871%. <i>Total cyle time</i> tiap sekali injeksi= 18,9895 detik.	<i>Skripsi, Journal Procedia</i>

Tabel 2.1 Lanjutan Perbandingan Antara Peneliti Sebelumnya dan Sekarang

Peneliti	Objek	Tujuan	Metode	Software	Output Penelitian	Outcomes
Pratama (2016)	<i>Headpiece kit R67</i> dengan proses injeksi plastik	Menentukan parameter proses yang optimal untuk meminimalkan cacat produk pada injeksi plastik	<i>Moldflow Adviser 2015, Taguchi</i>	<i>Moldflow Adviser 2015, Pro Engineer WF4, Minitab Excel 14</i>	Mendapatkan parameter <i>setting</i> berupa <i>mold temperature 55°C, melt temperature 210°C, injection pressure 100 Mpa, injection time 2s, cooling time 14s</i> , dengan <i>shrinkage</i> optimal pada 4.447%	Skripsi Jurnal internasional
Ratmono (2017)	<i>CT103 Casing P1-P2</i> dengan proses <i>plactic injection</i>	Menentukan <i>setting</i> parameter yang optimal pada proses <i>plastic injection</i> untuk meminimalkan <i>shrinkage, sink marks, warpage</i>	<i>Taguchi, Autodesk Simulation, Moldflow Synergy 2015 (dual-domain)</i>	Minitab Excel Autocad SolidWorks 2015 Student Versio	Mendapatkan kombinasi parameter terbaik yaitu= <i>mold temperature 80 °C, melt temperature 320 °C, injection pressure 137 MPa, injection time 2,5 detik, holding time 14 detik dan cooling time 34,5 detik.</i>	Skripsi

Tabel 2.1 Lanjutan Perbandingan Antara Peneliti Sebelumnya dan Sekarang

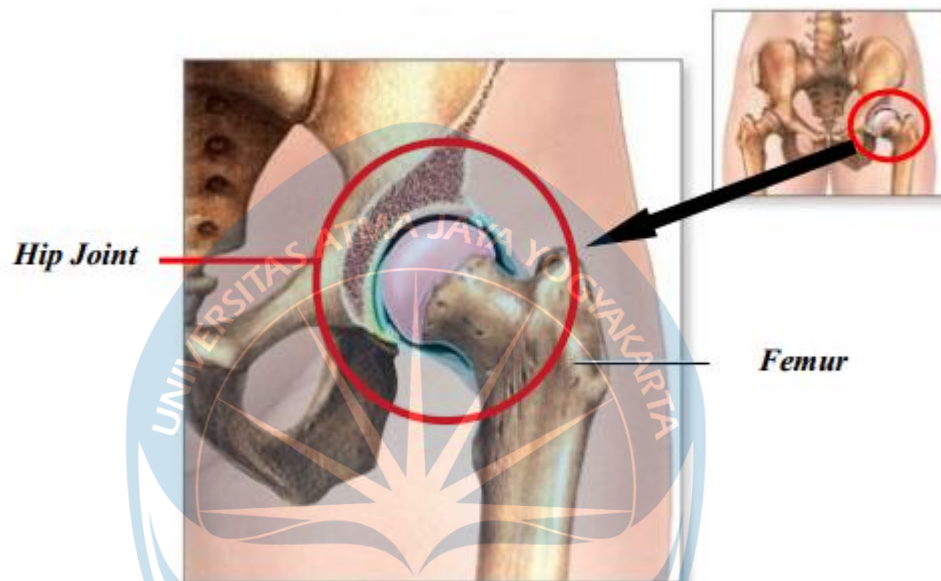
Peneliti	Objek	Tujuan	Metode	Software	Output Penelitian	Outcomes
Utama (2020)	<i>Moldbase</i> produk <i>acetabular</i> <i>cup</i> dari <i>artificial hip</i> <i>joint</i>	Merancang konstruksi <i>moldbase</i> keseluruhan untuk produk <i>acetabular</i> <i>cup</i> dari <i>artificial hip joint</i>	<i>FGD,</i> <i>Weighted</i> <i>Objective</i>	<i>CAD,</i> <i>PowerShape</i>	Menghasilkan rancangan konstruksi <i>moldbase</i> keseluruhan untuk produk <i>acetabular cup</i> dari <i>artificial hip</i> <i>joint</i>	Skripsi
Peneliti (2020)	<i>Core Cavity</i> dari produk <i>acetabular</i> <i>cup artificial</i> <i>Hip Joint</i>	Menentukan parameter optimal yang digunakan untuk perancangan <i>moldbase</i> produk <i>acetabular cup</i> dari <i>artificial hip joint</i>	Desain Eksperimen <i>Taguchi</i> <i>Moldflow</i> <i>Adviser</i>	<i>Autodesk</i> <i>Moldflow</i>	Mampu mendemonstrasikan tahap evaluasi dan optimasi proses desain menggunakan <i>CAE MoldFlow Adviser</i> , serta mendapatkan parameter proses optimal untuk acuan rancangan <i>Moldbase</i> produk <i>Hipjoint</i>	Skripsi

2.2. Dasar Teori

Dasar teori digunakan untuk menyelesaikan permasalahan yang ada dengan berpedoman pada teori-teori yang sudah ada.

2.2.1 Hip Joint

Sambungan hip (*hip joint*) adalah bagian sendi yang vital dalam sistem kerangka tubuh manusia. Sambungan ini berada diantara pangkal tulang paha atas dan pinggul.

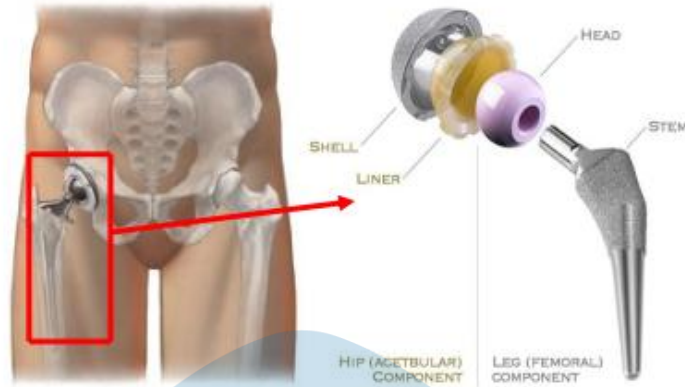


Gambar 2. 1 Bagian *hip joint* di dalam kerangka

(sumber: www.Google.com)

Hip joint dengan kondisi baik atau normal, permukaan tulang rawan dari tulang rawan yang ada pada *hip joint* halus dan rata, sehingga memiliki pergerakan yang mulus pada saat bergerak. Dikarenakan bagian ini tidak memiliki saraf, maka setiap pergerakan yang ditimbulkan tidak memiliki efek rasa sakit. Sedangkan pada penderita *osteoarthritis*, tulang rawan sudah menipis dan terjadi keausan karena gesekan yang menyebabkan permukaan dari tulang rawan dari *hip joint* tidak rata dan bergelombang. Akibat dari penyakit ini, membuat gerakan pada sambungan menjadi tidak lancar, muncul rasa sakit, muncul bunyi ketika bergerak, bahkan bisa menimbulkan pergeseran dari posisi aslinya. Salah satu cara menangani penyakit tersebut adalah dengan menggunakan sambungan tulang pinggul buatan (*artificial hip joint*).

Secara garis besar *artificial hip joint* ada dua bagian, yaitu bagian *femoral component* yang terdiri dari *femoral head* dan *femoral stem* dan bagian *acetabular component* yang terdiri dari *acetabular shell* dan *acetabular liner*.



Gambar 2. 2 Bagian-bagian *artificial hip joint*

(sumber: www.Google.com)

2.2.2 *Mold*

Plastic molding merupakan pembentukan sebuah produk atau benda kerja dengan bentuk sesuai yang diinginkan berbahan dasar material *plastic* atau *compound articles* dengan menggunakan cetakan/*mold* yang diproses dengan cara dipanaskan kemudian diberi tekanan sampai masuk kedalam cetakan.

Tahapan proses yang digunakan dalam *molding* umumnya ditentukan berdasarkan material yang digunakan dengan tujuan mendapatkan sifat-sifat material produk yang dibuat. Selain itu, tahapan proses *molding* bisa dipengaruhi dari bentuk *design* produknya.

Metode dasar dalam *molding* dibedakan menjadi beberapa antara lain *Injection Molding*, *Blow Molding*, *Compression Molding*, dll, yang berdasarkan bahan material plastik yang akan dibuat, *desgin* dari produk, dan faktor yang berpengaruh pada *proses molding*.

2.2.3 *Injection Molding*

Injection Molding merupakan pemrosesan yang dilakukan untuk memproduksi sebuah part atau komponen dengan menggunakan plastik sebagai bahan dasar. Terdapat beberapa bagian dari mesin *Injection Moldin*, yaitu: *mold*, *nozzle*, *piston* dan *heating elements*.

2.2.4 Prinsip Kerja *Injection Molding*

Prinsip kerja *injection molding* adalah dengan memasukan bahan baku plastik pada sebuah tabung pemanas yang kemudian dilelehkan melalui *hopper* (lubang pemasukan). Plastik yang sudah dilelehkan pada temperatur tertentu kemudian didorong keluar melalui *nozzle* untuk diinjeksikan pada cetakan (*mold*). Lelehan plastik yang sudah tercetak pada *mold* lalu didiamkan dan didinginkan selama beberapa saat di dalam *mold* hingga dibuka dan dilepas untuk mengeluarkan plastik yang sudah membeku.

2.2.5 Metode Taguchi

Metode Taguchi (*Taguchi Approach*) awal mulanya diperkenalkan oleh peneliti asal Jepang yaitu Dr. Genechi Taguchi, yang menjelaskan tentang sebuah teknik baru penggunaan desain eksperimental untuk mengoptimalkan parameter proses (Roy, 2001). Taguchi memodifikasi matriks *full factorial method* kemudian menyederhanakannya dengan cara mengurangi variasi kombinasi faktor dan mengumpulkan perlakuan kombinasi faktor yang paling memberikan pengaruh serta memberikan data informasi sebanyak-banyaknya terhadap seluruh faktor yang berpengaruh pada respon (Fratila dan Caizar, 2011). Modifikasi matriks ini disebut juga "*orthogonal array*". Dalam melakukan analisis, metode ini menggunakan kalkulasi *means* dan analisis variansi (ANOVA) dan dikombinasikan dengan perhitungan *S/N (signal to noise) ratios*. Kombinasi analisis dalam metode ini berguna untuk mengukur karakteristik tiap faktor dan persentase kontribusi tiap faktor tersebut dalam suatu respon. Metode ini memiliki tujuan untuk meneliti sejauh mana faktor proses yang berbeda dapat mempengaruhi varians dan nilai *mean* karakteristik hasil dari proses tersebut serta faktor apa saja yang dianggap dapat berpengaruh secara signifikan (Roy, 2001).

Metode ini mendefinisikan kualitas produk sebagai selisih antara karakteristik hasil proses dengan nilai yang ingin dicapai (target). Selisih ini didefinisikan sebagai sebuah fungsi. Faktor yang tidak dapat dikendalikan yang menyebabkan terjadinya selisih antara karakteristik hasil proses dengan target disebut dengan faktor *noise*. Faktor ini bisa diklasifikasikan sebagai faktor eksternal. Tujuan utama dari metode ini adalah untuk menghasilkan produk berkualitas pada biaya yang rendah.

Dalam metode Taguchi itu sendiri terdapat tiga kategori target *S/N ratio* yang memfokuskan karakteristik kualitas suatu produk atau proses, tiap kategori adalah sebagai berikut:

a. *Nominal-the-best (ntb).*

Kategori *nominal-the-best* merupakan karakteristik terukur yang bertujuan mencapai nilai target spesifik tertentu. Perhitungan *S/N ratios* menggunakan kategori ini ditunjukkan dengan persamaan berikut

$$\frac{S}{N} = -10 \times \log \sigma^2 \quad (2.1)$$

dimana σ merupakan standar deviasi dari data yang diobservasi

b. *Smaller-the-better (stb).*

Kategori *smaller-the-better* merupakan karakteristik terukur non negative yang bertujuan mencapai nilai target ideal terkecil atau nilai target 0 (nol). Perhitungan *S/N ratios* menggunakan kategori ini ditunjukkan dengan persamaan berikut ditunjukkan dengan persamaan berikut

$$\frac{S}{N} = -10 \times \log \frac{1}{n} (\sum y^2) \quad (2.2)$$

dimana y = data yang diobservasi dan n = jumlah observasi.

c. *Larger-the-better (ltb).*

Kategori *larger-the-better* merupakan karakteristik terukur non negative yang bertujuan mencapai nilai target ideal terbesar atau nilai target ∞ (tak terhingga). Perhitungan *S/N ratios* menggunakan kategori ini ditunjukkan dengan persamaan berikut ditunjukkan dengan persamaan berikut

$$\frac{S}{N} = -10 \times \log n (\sum \frac{1}{y^2}) \quad (2.3)$$

dimana y = data yang diobservasi dan n = jumlah observasi.

Kategori yang dipilih pada penelitian ini adalah “*smaller the better*” karena respon yang diharapkan dalam penelitian ini adalah minimasi respon. Respon yang diminimasi adalah nilai *shrinkage* dan *warpage*.

2.2.6 Parameter Proses Injection Molding

Supaya mendapatkan hasil cetakan yang memiliki kualitas maksimal, maka diperlukan *setting parameter* yang tepat dalam melakukan proses pencetakan produk. Parameter dalam suatu pemrosesan ada yang memiliki sedikit pengaruh, adapula parameter yang memiliki pengaruh signifikan. Umumnya diperlukan beberapa kali hasil percobaan untuk mendapatkan *setting parameter* yang optimal. Berikut beberapa factor-faktor yang berpengaruh dalam *setting parameter*:

A. Melt Temperature

Melt temperature merupakan batas suhu yang digunakan dalam proses pemanasan material hingga meleleh. Hal ini digunakan karena setiap jenis material plastik memiliki titik leleh yang berbeda.

B. Mold Temperature

Mold temperature merupakan suhu pemanasan awal pada cetakan (*mold*) sebelum material plastik leleh dituangkan kedalam cetakan.

C. Pressure Limits

Merupakan batas dari tekanan yang dibutuhkan untuk menggerakkan piston yang akan menekan material plastic leleh. Tinggi rendahnya tekanan yang digunakan akan mempengaruhi proses dan hasil injeksi material plastic. Tekanan yang terlalu rendah berpotensi material tidak keluar atau tidak dapat terinjeksi masuk kedalam cetakan. Sementara tekanan yang terlampau tinggi berpotensi mengakibatkan lelehan material plastik tersembur keluar sehingga proses produksi justru menjadi tidak efisien.

D. Holding Pressure

Merupakan tekanan yang diperlukan *piston* untuk mendorong lelehan material setelah proses injeksi kedalam cetakan selesai dengan tujuan untuk memastikan bahwa material plastik telah mengisi rongga cetakan secara menyeluruh. Dimensi dari cetakan (*mold*) mempengaruhi *holding pressure*. Semakin besar ukuran cetakan maka semakin lama waktu serta besar tekanan yang dibutuhkan.

E. *Holding Time*

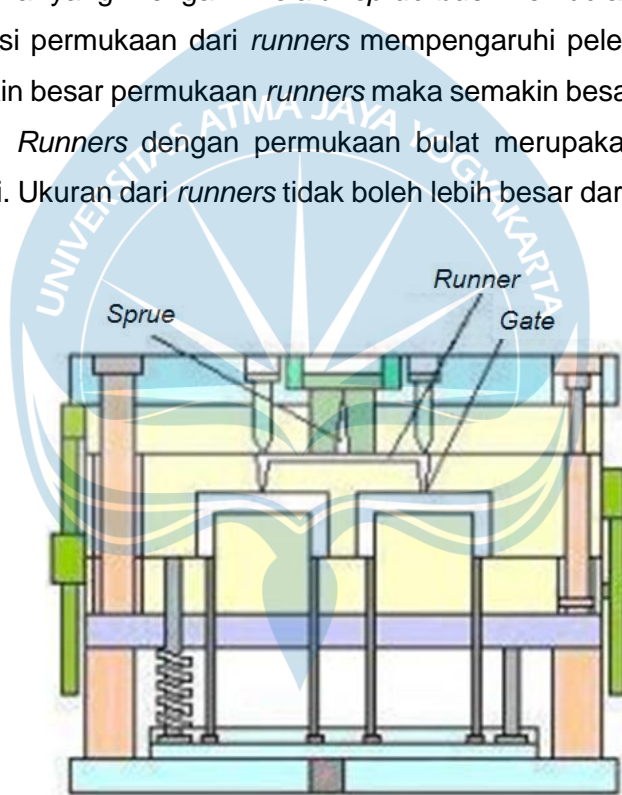
Merupakan waktu yang dihitung mulai saat tercapainya temperatur leleh yang sudah di-*setting* (ditentukan berdasarkan jenis material) hingga seluruh material meleleh secara keseluruhan.

F. *Wall Thickness*

Berkaitan dengan desain dari cetakan secara keseluruhan. Semakin tebal dinding dari sebuah cetakan, maka semakin besar juga kemungkinan adanya *shrinkage*.

2.2.7 *Runners*

Memiliki fungsi sebagai penyalur dari material mengalir menuju *core and cavity*. Lelehan material yang mengalir melalui *sprue bush* kemudian masuk ke dalam *cavity*. Dimensi permukaan dari *runners* mempengaruhi pelepasan panas yang terjadi, semakin besar permukaan *runners* maka semakin besar pelepasan panas yang terjadi. *Runners* dengan permukaan bulat merupakan *runners* dengan efisiensi tinggi. Ukuran dari *runners* tidak boleh lebih besar dari ketebalan produk.



Gambar 2. 3 *Runner System*

(sumber: www.Google.com)

Jenis *runners* dibagi menjadi 3, yaitu:

A. *Standart Runners System*

Runners biasanya dibuat langsung pada *mold plate* atau pada plate terpisah yang disebut *runners plate*. *Runners plate* pada umumnya digunakan pada konstruksi *three plate mold* dan dipasang pada plate ke tiga.

B. Hot Runners

Sistem ini pada umumnya digunakan pada kapasitas *mold* yang besar atau produksi massal, terutama yang menggunakan banyak *cavity* .

Keuntungan *Hot runners* :

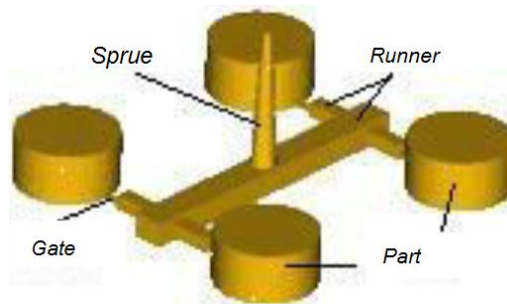
- I. Mampu mengeliminasi *runners* yang terbuang.
- II. Kinerja dari mesin lebih efisien karena tidak ada lelehan material yang terbuang.
- III. Kualitas yang dihasilkan lebih baik, hal ini dikarenakan *runners* sudah otomatis terpotong dan hanya meninggalkan bekas cekungan titik atau bahkan tidak meninggalkan bekas.

C. Cold Runners System

Sistem ini memiliki fungsi yang hampir sama dengan *hot runners* , tetapi digunakan pada temperatur yang berbeda. *Runners* ini digunakan pada temperatur 80^o-120^oC. *Runners* jenis ini umumnya digunakan pada material reaktif seperti *thermosets* .

2.2.8 Gate.

Merupakan jalan masuk dari cairan material yang mengalir melalui *runner* menuju ke bagian dalam dari *mold* . *Gate* memiliki peranan yang penting dalam sebuah proses *injection molding* karena bisa menjadi penentu berkualitas baik atau tidaknya produk yang dihasilkan. *Gate* memiliki fungsi sebagai pengontrol aliran cairan material beserta kondisinya, serta mempunyai fungsi untuk mempermudah pemotongan bagian *runner* yang tidak dibutuhkan. Ukuran dari *gate* juga mempengaruhi hasil akhir dari produk yang dibuat. *Gate* yang memiliki ukuran terlalu kecil beresiko mudah terjadinya *sink mark* . *Gate* yang memiliki ukuran terlalu besar beresiko mudah terjadinya penumpukan gas.



Gambar 2. 4 Contoh gate

(sumber: www.Google.com)

2.2.9 Material Plastik.

Plastik merupakan bahan sintesis yang memiliki keunikan dapat diubah dan diperkeras bentuknya dengan cara menambahkan bahan material lain kedalamnya secara komposit. Material ini sering digunakan karena memiliki rasio kekuatan terhadap berat (*strength to weight ratio*) serta kekakuan terhadap berat (*stiffness to weight ratio*) lebih baik dibanding logam pada umumnya, meskipun secara umum sifat plastic kurang kuat dan kaku dibanding logam pada umumnya. Secara umum plastic digolongkan menjadi 3 macam, yaitu:

A. *Thermoplastics*

Merupakan jenis plastik yang akan meleleh/melunak pada saat dipanaskan mengeras apabila didinginkan.

B. *Thermosetting*

Merupakan plastik yang akan mengeras apabila dipanaskan dan tidak dapat didaur ulang

C. *Elastomer.*

Diambil dari kata *elastic* dan *mer*, merupakan jenis plastic yang memiliki karakter seperti karet.

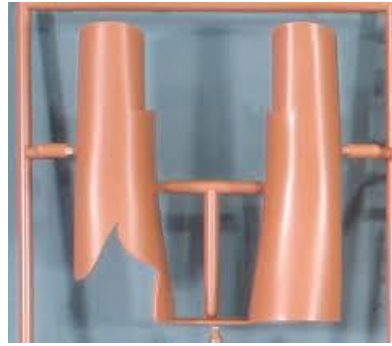
2.2.10 Cacat pada Proses Injeksi Plastik

A. *Shrinkage*

Merupakan cacat pada produk plastik yang diakibatkan oleh penyusutan atau perubahan dimensi produk setelah proses *injection molding* karena perubahan fase dari material cair menjadi padat. *Shrinkage* timbul karena ketidaksesuaian parameter proses injeksi sehingga menimbulkan perbedaan dimensi antara rongga *cavity* dengan ukuran luar produk plastik, dimana produk plastik memiliki dimensi yang lebih kecil. Setiap pembuatan produk menggunakan proses injeksi mold haruslah diperhitungkan nilai dari penyusutan material plastik setelah membeku dan keluar dari cetakan sehingga produk tidak memiliki perbedaan ukuran yang signifikan bila dibandingkan dimensi desain produk.

B. *Short Shot*

Short shot yaitu kondisi diamana, tidak tercapainya kapasitas ideal atau settingan mesin yang sesuai pada saat cairan plastik diinjeksikan ke dalam *cavity*, sehingga cairan plastik yang diinjeksikan sudah mengeras sebelum *cavity* terpenuhi.



Gambar 2. 5 Benda dengan Cacat *Short shot*
(Sumber: *Defect pada produk plastik*, Tresno, 2010)

Kerusakan yang disebabkan oleh adanya sifat fluiditas dan viskositas dari plastik. Performa, kondisi *mold*, mesin injeksi, desain *gate*, *venting* udara serta konstruksi *bushing* merupakan beberapa hal yang dapat mempengaruhi terjadinya dari *short shot defects*.

C. *Flashing*

Flashing bisa diartikan terdapat material yang berlebih ikut membeku pada bagian pinggir dari produk sehingga harus dilakukan pembersihan (*finishing*). *Flashing* bisa terjadi disebabkan kurangnya dari *pressure clamping* sehingga *mold* menjadi tidak rapat pada bagian pertemuan antara dua *plate* yang menyebabkan keluarnya cairan material melalui celah. Ketidaksesuai desain produk dan viskositas material merupakan hal dapat menyebabkan *flashing* terjadi.



Gambar 2. 6 Produk Dengan Cacat *Flashing*
(Sumber: *Defect pada produk plastik*, Tresno, 2010)

D. *Warpage*

Warpage merupakan *defect* pada bagian produk yang melengkung atau bengkok dikarenakan distribusi dari tekanan atau penyusutan (*shrinkage*) yang tidak merata. Faktor-faktor yang menyebabkan terjadinya *warpage* adalah adanya

perbedaan antara *shrinkage* dengan *cooling time* yang bergantung pada kontraksi ketebalan dan permukaan material dari hasil distribusi temperatur *mold. Pressure* yang tidak sesuai, *colling* yang pendek, serta kurangnya *clamping force* juga bisa menjadi penyebab terjadinya *warpage*.

E. Sink-Mark.

Sink-Mark dapat dikatakan sebagai perbedaan ketebalan pada permukaan benda, berbentuk cekungan atau lengkungan di permukaan produk. *Sink-mark* dapat dikatakan bukanlah *defect*, namun *sink-mark* dapat digolongkan menjadi *defect* pada produk ketika penilaian kualitas menyangkut aspek penampilan.



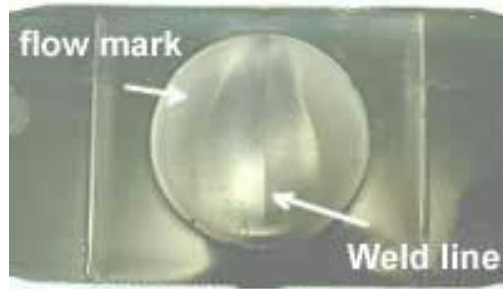
Gambar 2. 7 Produk Dengan Sink Marks

(Sumber: *Defect pada produk plastik*, Tresno, 2010)

Munculnya *sink-mark* bergantung juga dari *shrinkage* dari material plastic yang dibuat. Beberapa hal yang mempengaruhi terbentuknya *sink-mark* yaitu perbedaan antara *temperature core* dengan *cavity*, *loading time* yang terlampau singkat, temperatur dari resin, *injection speed*, *dies temperature*, peningkatan temperatur yang disebabkan oleh putaran screw yang cepat, serta kurangnya kemampuan pendinginan dari *die*.

F. Flow-Mark

Flow-mark merupakan kondisi dimana adanya pola yang muncul pada sekitar area *gate* pada saat cairan material mengalir masuk kedalam *cavity*. Kondisi ini terbentuk karena cairan material yang masuk dan mengisi ke *cavity* telah melalui pendinginan ketika melalui *sprue* dan *runner*. Hasil permukaan produk yang dicetak memiliki pola garis yang searah dengan aliran material akibat dari kondisi cairan material plastic semi padat yang terkena kontak dengan permukaan *mold* bertekanan.



Gambar 2. 8 Produk Dengan *Flow Mark*

(Sumber: *Defect pada produk plastik*, Tresno , 2010)

Penyebab terjadinya *flow-mark* adalah selain karena adanya tekanan yang berubah pada *mold* yaitu karena kecepatan dari aliran pada material terlampau lambat serta *cooling* terlampau cepat.

G. *Colour Streak*

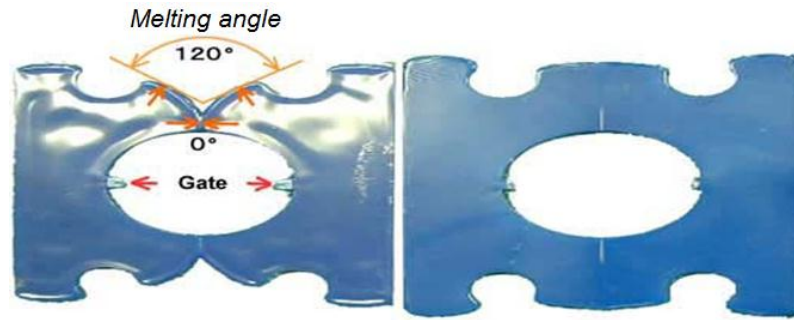
Colour-strike terjadi karena material plastik yang tidak tercampur dengan baik pada proses *mixing*, selain itu dipakainya dua warna atau lebih di sebuah produk mengakibatkan warna dari produk memiliki pola atau belang. Umumnya kondisi ini muncul pada saat setelah pergantian material, dikarenakan sisa-sisa dari material sebelumnya belum sepenuhnya keluar dan terperangkap di dalam *nozzle* atau *manifold*.

H. *Bubbles*

Bubbles merupakan gelembung udara yang terjebak di dalam sebuah produk, hal ini dipengaruhi karena udara yang masih terjebak pada material leleh di dalam *cylinder*. Cacat ini biasanya terjadi ketika udara yang terjebak tidak sempat untuk keluar dari *air venting* ketika proses injeksi material ke dalam *cavity*.

I. *Weld-Line*

Weld-line merupakan kondisi dimana bertemu dan membekunya dua atau lebih aliran plastik leleh secara tidak sempurna. Kondisi ini membentuk sudut pertemuan yang digambarkan dengan simbol "V" pada masing-masing ujung aliran plastik leleh. Penyebab dari kondisi ini dikarenakan adanya *multi point gate* pada *mold*. Munculnya *weld-line* disekitar daerah yang menjadi konsentrasi tegangan bisa mengakibatkan adanya masalah kekuatan dan kadang *weld-line* terlihat seperti *crack*. Cacat ini hampir tidak bisa dihilangkan namun bisa dipindahkan atau diminimalkan.



Gambar 2. 9 Produk Dengan Cacat Weld Line

(Sumber: *Defect pada produk plastik*, Tresno , 2010)

2.2.11 Computer-Aided Engineering (CAE)

Merupakan penggunaan teknologi informasi yang dikembangkan untuk mendukung para *engineer* untuk melakukan desain, simulasi, analisis, perencanaan, *diagnoze*, serta perbaikan. *CAE* memiliki peran yang penting dalam dunia industri manufaktur karena dapat meningkatkan efektifitas dan efisiensi suatu pekerjaan seperti dari segi waktu dan biaya. *Software CAE* sangat dibutuhkan pada industri plastik modern terutama bagi para *engineer* untuk melakukan proses perancangan awal terhadap desain dari cetakan serta melakukan simulasi proses injeksi dengan melakukan analisis parameter injeksi yang digunakan hingga mendapatkan hasil yang optimum.

Terdapat 3 tahapan pada teknik *CAE* yaitu:

- A. *Pre-Processing* yaitu mendefinisikan model serta faktor-faktor yang diterapkan saat pengaplikasian proses.
- B. *Analysist Solver* yaitu tahap analisis yang dilakukan menggunakan *software CAE*. Tahap ini biasanya membutuhkan waktu untuk *running* yang cukup lama serta membutuhkan dukungan perangkat dengan spesifikasi yang tinggi.
- C. *Post – processing of result* yaitu tahapan yang mampu menunjukkan visualisasi dari hasil analisis sebelumnya yang telah dilakukan.

Penggunaan *CAE* biasanya dijumpai pada:

- a. Optimasi proses maupun proses
- b. Analisis proses pada simulasi seperti *molding*, *casting*, dan *die press forming*
- c. *Stress Analysist* pada komponen menggunakan *FEA (Finite Element Analysis)*.

- d. Analisis *thermal* serta aliran cairan dengan menggunakan *Computational Fluid Dynamics (CFD)*

2.2.12 MoldFlow Adviser

MoldFlow adalah *software CAE* yang dipergunakan untuk menganalisis dan simulasi pada proses *injection molding*. Hasil analisis dari *software* dapat dijadikan acuan bagi para *engineer* dalam menentukan parameter yang dipakai dalam proses injeksi plastik. *MoldFlow* mampu mengidentifikasi kesalahan yang mungkin terjadi pada proses injeksi mold serta memberikan masukan perbaikan berdasarkan faktor-faktor yang digunakan.

Pengembangan *software* ini memang dikhususkan untuk *mold industry*, akan tetapi tidak semua industri mampu menggunakan *MoldFlow*, hal ini dikarenakan *MoldFlow* termasuk dalam *software* yang *high-end* dan membutuhkan biaya yang relatif mahal.

A. Kemampuan Analisis Moldflow Plastic Adviser

Fitur-fitur yang terdapat pada *Moldflow* memiliki kemampuan analisis yang mampu mempermudah suatu proses *injection molding*.

i. Plastic Filling Analysis

Melakukan identifikasi geometri dari benda yang akan dilakukan injeksi, serta identifikasi kualitas.

1. Memberikan gambaran secara spesifik untuk menyelesaikan masalah terhadap desain yang telah teridentifikasi
2. Memberikan gambaran pendistribusian tekanan pada saat injeksi serta temperatur pada permukaan.
3. Memprediksi lokasi dari *Air-trap* dan *Weld-line*.

ii. Runner Balance Analysis

Mengidentifikasi serta memberikan solusi dalam penentuan posisi dan ukuran yang tepat untuk mendapatkan kualitas produk yang optimal.

iii. Runner Adviser Analysis

Membantu menentukan bentuk *runner*, *gate*, dan *sprue* secara otomatis berdasarkan lokasi injeksi yang telah ditentukan.

iv. Analisis Sink Mark

Memberikan prediksi posisi kemungkinan terjadinya *sink mark* setelah selesainya proses injeksi.

v. Cooling Quality Analysis

Melakukan identifikasi dan perbaikan area dengan suhu yang tidak merata pada produk untuk menghindari kemungkinan *cycle time* yang lama serta munculnya *sinkmark*.

vi. Gate Location Analysis

Memprediksi lokasi injeksi yang terbaik dari benda yang akan dilakukan proses injeksi.

vii. Molding Window Analysis

1. Mengidentifikasi kondisi optimal pada proses *injection*
2. Melakukan evaluasi sensitivitas setiap area benda pada saat proses injeksi
3. Membandingkan *grade material* produk
4. Evaluasi terhadap lokasi injeksi yang sudah ditentukan
5. Mendapatkan hasil ukuran dari kualitas benda.

viii. Material Database

Memberikan informasi-informasi material yang secara umum digunakan dalam proses injeksi. Terdapat setidaknya 7500 karakteristik dari *grade material thermoplastik*. Setiap informasi-informasi yang berhubungan dengan material bisa di *update* sesuai perkembangan saat ini.

B. Analisis Utama Moldflow Plastic Adviser

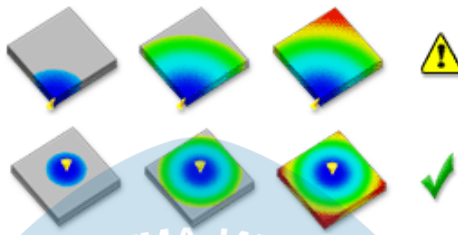
Terdapat beberapa analisis yang dapat dilakukan *MoldFlow* terutama analisis secara spesifik. Analisis yang digunakan dapat ditentukan berdasarkan kebutuhan analisis akan suatu produk. Beberapa analisis yang dapat dilakukan antara lain:

i. Fill Analysis

Jenis analisis yang menampilkan data-data yang berkaitan dengan proses pengisian serta sifat aliran material plastik kedalam *cavity* ketika proses *njection molding* berlangsung. Beberapa sub analisis yang mampu digunakan ketika penelitian antara lain:

5.1. *Fill Time*

Analisis yang menggambarkan lama waktu yang diperlukan oleh material untuk mengisi ke seluruh bagian *cavity mold*. Analisis ini mampu menunjukkan apakah aliran material mampu mengisi ke seluruh bagian dengan waktu yang bersamaan. Aliran material pada saat proses pengisian ditunjukkan dengan *patern* warna pada hasil analisis. Pengisian dapat dikatakan baik ketika *patern* warna memiliki keseimbangan warna pada posisi tertentu.



Gambar 2. 10 Perbandingan Pengisian Material yang Benar dan Salah

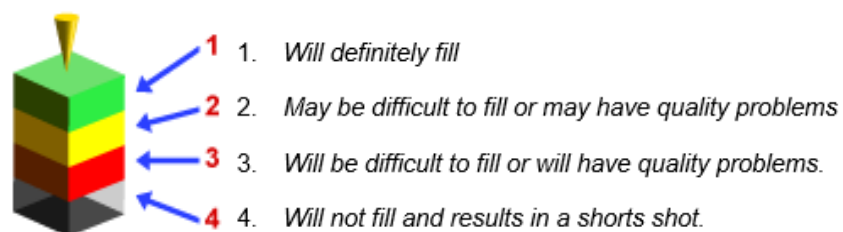
(Sumber: *Software MoldFlow Adviser* 2016)

5.2. *Plastic Flow*

Analisis yang menggambarkan bahwa seluruh area dari cetakan bisa terisi sepenuhnya berdasarkan parameter *injection pressure* yang sudah ditentukan. Penentuan *injection pressure* dapat mempengaruhi hasil dari produk. Tekanan yang rendah berpotensi pada material leleh tidak mengisi cetakan secara menyeluruh.

5.3. *Confidence of Fills*

Analisis yang menggambarkan presentase kemampuan dari material dalam melakukan pengisian secara menyeluruh dari cetakan, dimana biasanya ditgambarkan dengan perbedaan warna pada hasil analisis.

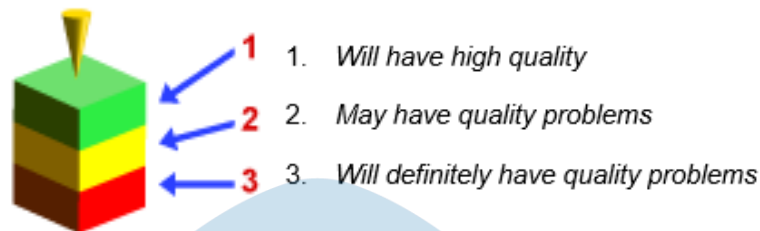


Gambar 2. 11 Warna dari presentase tingkat pengisian *Confidence of Fills*

(Sumber: *Software MoldFlow Adviser* 2016)

5.4. Quality Prediction

Analisis yang menunjukkan besar presentase terhadap tingkat kualitas produk yang dihasilkan. Tingkatan kualitas dari produk yang digambarkan pada analisis ini dipengaruhi oleh desain dari benda, *mold*, parameter suhu, parameter tekanan yang digunakan, dll. Sistem pendinginan memiliki pengaruh *minor*/minimal terhadap hasil.

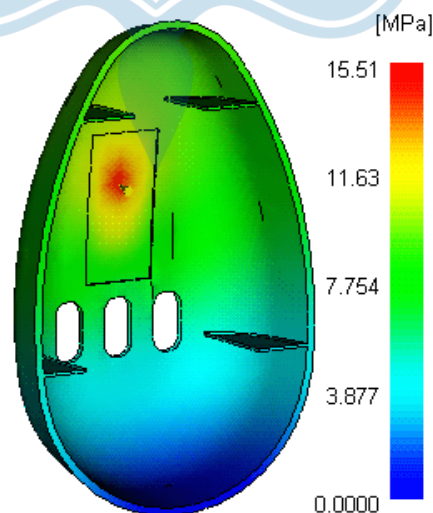


Gambar 2. 12 Keterangan Warna Hasil Analisis Quality Prediction

(Sumber: *Software MoldFlow Adviser 2016*)

5.5. Injection Pressure

Analisis yang menunjukkan besar *pressure* yang mendekati nilai ideal dari proses simulasi *injection molding* analisis ini juga mampu menunjukkan informasi dari besar *pressure* pada titik-titik tertentu (*sprue, gate, runner, parts, dll*) yang digambarkan dengan warna.

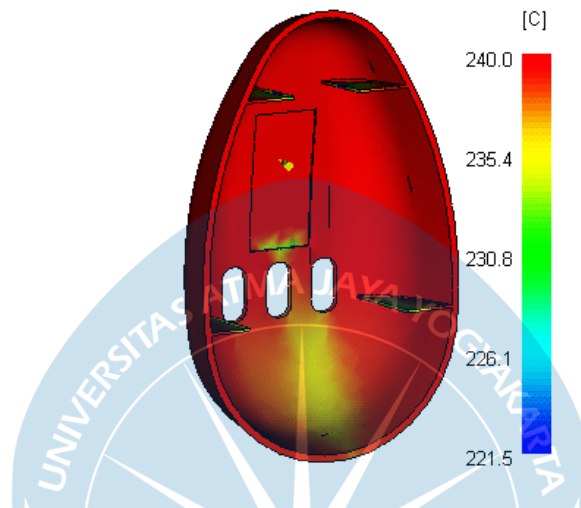


Gambar 2. 13 Simulasi Tekanan Pada Parts

(Sumber: *Software MoldFlow Adviser 2016*)

5.6. *Temperature at Flow Front*

Analisis yang menunjukkan besar dari nilai temperatur aliran material ketika proses menginjeksikan material kedalam cetakan. Setiap material yang digunakan pada dasarnya memiliki batas suhu aliran yang ditoleransikan berupa *range* yang ditetapkan, sehingga ada kemungkinan muncul masalah pada benda (seperti degradasi material, *shortshot*, dll).

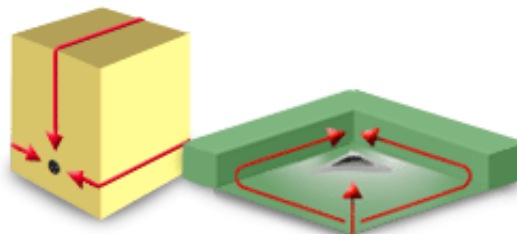


Gambar 2. 14 *Temperature at Flow Front*

(Sumber: *Software MoldFlow Adviser 2016*)

5.7. *Air Traps*

Analisis yang menunjukkan adanya cacat berupa suatu lubang (*buble*) udara pada bagian produk. Biasanya cacat ini muncul pada bagian yang merupakan lokasi bertemunya dua atau bahkan lebih aliran material dari ketika proses *injection* berlangsung. Biasanya *air traps* berbentuk lubang dengan ukuran kecil yang ada pada permukaan produk. Pada beberapa kasus, masalah seperti ini masih bisa ditoleransi.



Gambar 2. 15 Simulasi *Air Traps*

(Sumber: *Software MoldFlow Adviser 2016*)

5.8. Weld Line

Analisis yang menunjukkan cacat berupa garis-garis aliran material yang mungkin timbul setelah proses injeksi. Cacat yang disebabkan karena adanya perbedaan waktu serta kuantitas saat bertemunya aliran material pada saat proses injeksi material di beberapa bagian tertentu. Garis yang muncul pada produk berpotensi menghasilkan masalah visual (jika terjadi pada produk yang mementingkan aspek visual seperti kehalusan, serta bagian yang harus terlihat mulus) dan masalah struktural (jika terjadi pada bagian yang digunakan sebagai penopang atau memperhitungkan kekuatannya). Masalah *Weld Line* biasanya sulit untuk dihindari akan tetapi dapat diminimalkan dengan memperhitungkan beberapa faktor seperti: posisi *gate location*, menggunakan parameter suhu yang masih dalam batas rekomendasi material, dan besar tekanan injeksi yang digunakan.

ii. Cool Analysis

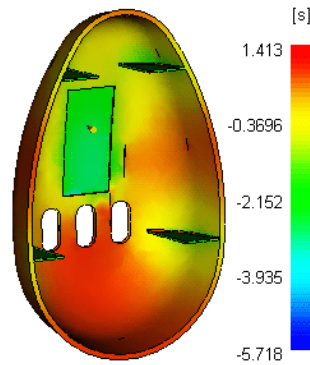
Jenis analisis yang memiliki fokus untuk menghasilkan data-data yang berkaitan dengan temperature dari material dan *molding* pada saat proses injeksi sedang berlangsung dengan pertimbangan parameter/faktor sistem pendinginan pada *molding* yang digunakan. Beberapa sub analisis yang bisa dipergunakan ketika penelitian antara lain:

4.1.1. Circuit Coolant Temperature

Analisis yang menunjukkan data-data dari temperature cairan pada saluran pendingin ketika proses injeksi *molding* berlangsung. Biasanya temperature *coolant* akan meningkat ketika keluar dari *cooling channel*, penyebabnya dikarenakan terjadinya perpindahan panas dari *molding* ke *cooling channel*. Temperatur yang efektif untuk pendinginan adalah yang sesuai dengan kondisi serta kebutuhan area yang didinginkan. Semakin rendah suhu suatu pendinginan tidak menentukan akan mendapatkan hasil yang semakin baik, salah satu faktor penyebabnya adalah setiap material mempunyai nilai titik leleh dan titik beku yang berbeda-beda.

4.1.2. Cooling Time Variance

Analisis yang menunjukkan variasi dari perbedaan waktu pembekuan material pada titik-titik tertentu. Analisis ini juga bisa dipakai sebagai acuan dalam melakukan beberapa perubahan pada *cooling system* serta membantu menentukan *cycle time* yang diinginkan dengan tujuan agar produk yang dibuat mampu memiliki pembekuan yang merata pada setiap bagiannya.



Gambar 2. 16 Contoh Keterangan *Cooling Time Variance*

(Sumber: *Software MoldFlow Adviser 2016*)

4.1.3. *Temperature Variance*

Analisis yang menggambarkan variasi dari perbedaan suhu pada bagian-bagian tertentu dari produk yang dipengaruhi karena *cooling system* serta desain dari geometri produk. Variasi suhunya berpatokan pada perbedaan terhadap suhu rata-rata permukaan produk. Analisis ini memberikan saran agar perbedaan suhu tertinggi dan suhu terendah pada analisis ini tidak signifikan. Hal ini dimaksudkan supaya waktu pembekuan material menjadi produk hampir sama pada tiap titik. Keterangan dari analisis *temperatur variance* ini dinyatakan dalam warna biru dan merah sebagai indikatornya.

iii. *Gate Location*

Jenis analisis yang menghasilkan data-data yang berkaitan dengan lokasi terbaik untuk pembuatan lubang injeksi pada *molding*. Lubang ini menjadi gerbang atau pintu masuknya material kedalam *molding* pada ketika *injection process*.

iv. *Geometry Analysis*

Analisis yang menunjukkan data informasi yang berhubungan dengan kompleksitas sebuah *design* yang akan dianalisis menggunakan *software moldflow*. Semakin besar dan kompleks suatu *design*, maka akan semakin lama waktu yang diperlukan untuk melakukan analisis.

v. *Pack*

Analisis yang dipakai untuk mengetahui data-data tentang besar tekanan yang dibutuhkan saat lelehan material plastik sudah memenuhi cetakan. Tujuan dari analisis ini adalah mencegah terjadinya *problem warpage*, serta bertujuan menyeragamkan *shrinkage* supaya tekanan yang diberikan bisa seragam.