

OPTIMALISASI PROSES INJEKSI PLASTIK MENGGUNAKAN *MOLDFLOW DUAL-DOMAIN* PADA DESAIN *BASE PLATE*

FX Seto Agung Riyanto¹, Paulus Wisnu Anggoro² dan Cahyo Budiantoro³

^{1,2}Program S1 UAJY ATMI Program Studi Teknik Industri,
Fakultas Teknologi Industri, Universitas Atma Jaya Yogyakarta
Jl. Babarsari No.44 Yogyakarta 55281
Telp. 0274-487711

^{1,3} Pusat Unggulan Teknologi Plastik, Politeknik Atmi Surakarta
Jl. Adisucipto / Jl. Mojo No.1 Karangasem - Laweyan Jawa Tengah 57102
Telp. 0271-714466

Email: ¹seto.riyanto@gmail.com, ²pauluswisnuanggoro@ymail.com, ³cahyobudiantoro@yahoo.com

ABSTRAK

Base plate adalah salah satu bagian dari terminal elektronik untuk industri. Terminal elektronik yang aman, tidak mudah rusak dan tahan terhadap cuaca menuntut bagian *base plate* mempunyai karakter yang kuat, ulet, tahan air, tahan terhadap suhu ekstrem, tahan karat dan mempunyai dimensi yang stabil ketika diassembly. *Base plate* merupakan produk baru yang akan diproduksi oleh Work Injection ATMI Surakarta (WI) menggunakan proses injeksi plastik dengan mesin injeksi Toshiba EC100SX berkapasitas 100ton. Proses injeksi di WI masih menerapkan konsep manufaktur konvensional dengan mengandalkan trial mold untuk memenuhi tuntutan kualitas dari customer berupa minimalisasi volumetrik shrinkage yang tidak boleh lebih dari 10% dan shrinkage produk antara 4% - 7%. Penelitian ini akan membahas tentang lamanya waktu setting parameter proses dan perbaikan mold atau produk sangat tergantung berdasar hasil injeksi pada proses trial pada industri plastik konvensional, dimana material yang terbuang masih tinggi dan berakibat proses tidak efektif serta memberikan metode baru tentang konsep manufaktur plastik modern berbasis CAE. Metode yang digunakan adalah desain eksperimen taguchi dan moldflow dual-domain. Taguchi digunakan untuk mendapatkan parameter proses mesin injeksi yang optimal melalui pembentukan orthogonal array, sedangkan optimalisasi parameter proses dilakukan menggunakan moldflow dual-domain untuk mendapatkan prediksi shrinkage minimal beserta data setting mesin injeksi plastik yang paling optimal. Teknologi CAD Autodesk Inventor 2015 digunakan untuk pembuatan desain *base plate* sedangkan teknologi CAE Autodesk Moldflow Plastic Insight 2015 digunakan untuk analisis proses injeksi plastiknya. Hasil akhir dari penelitian ini menunjukkan bahwa volumetrik shrinkage maksimal pada *base plate* adalah 7,612% dan shrinkage produk rata-rata sebesar 0,4871%. Parameter proses yang optimal adalah pada mold temperature 70°C, melt temperature 235°C, injection pressure 100Mpa, injection time 1,0080 s, dan cooling time 9,7815 s. Total cycle time yang diperoleh adalah 18,9895 s dengan pressure at V/P switch-over 41,67Mpa. Produk *base plate* diharapkan memiliki total volume 46,2861 cm³ dan total beratnya 44,0036 g dengan kualitas yang sesuai permintaan customer.

Kata kunci : injeksi plastik, moldflow, optimalisasi, shrinkage

LATAR BELAKANG

Plastik merupakan material yang mudah dibentuk, praktis, ringan, tidak berkarat, dan tentu saja murah. Hampir di segala sektor kehidupan selalu bisa kita jumpai barang-barang yang terbuat dari plastik, misalnya bahan kemasan minuman maupun makanan, alat-alat rumah tangga, alat elektronik, bahkan dalam dunia otomotif. Salah satu proses manufaktur untuk membuat produk dengan bahan dasar plastik adalah dengan proses injeksi (*plastic injection process*). Proses ini sangatlah kompleks karena melibatkan proses mekanik dan thermal dimana setiap proses sangat berpengaruh terhadap produk hasil injeksi. Proses yang kurang sempurna akan mengakibatkan cacat atau kegagalan pada produk. Cacat yang terjadi pada proses tersebut meliputi cacat penyusutan (*shrinkage*), *warpage*, *weld-line*, *sink-marks*, retak (*residual stress*) dan kerusakan saat produk keluar dari cetakan (*mold*).

Ada beberapa tahapan proses injeksi plastik dalam industri manufaktur saat ini. Tahapan tersebut dimulai dari permintaan produk atau *mold* dari *customer* yang akan didesain oleh bagian *engineering* menggunakan *software Computer Aided Design (CAD)*. Kemudian, desain yang sudah disetujui oleh *customer* akan direalisasikan dengan membuat *mold* oleh bagian manufaktur dengan menggunakan mesin konvensional maupun mesin CNC yang direncanakan dan dikontrol dengan *software Computer Aided Manufacturing (CAM)*. *Mold* selanjutnya akan diassembling dengan bagian standar lainnya oleh *mold maker* pada saat *finishing*. *Mold* yang telah jadi akan disetujui oleh *designer* dan *customer*, kemudian akan diproses *trial and error* pada mesin injeksi plastik. Cacat produk dan *error* akan diperoleh dalam proses ini. Perbaikan baru dapat dilakukan setelah hasil produk keluar dan dievaluasi cacat produknya. Setting parameter proses yang terbaik dilakukan pada saat ini juga dengan mengamati karakter hasil produk plastik tersebut. Bila ditemukan cacat produksi karena konstruksi *mold*, seperti kesalahan posisi *gate* dan kurangnya *air venting*, *mold* harus direparasi dan dilakukan proses *trial* kembali. Lamanya waktu yang dibutuhkan dalam proses ini menjadikan kerugian bagi industri manufaktur plastik. Proses ini juga membuang material dan tenaga yang lebih banyak untuk mendapatkan kualitas produk sesuai permintaan *customer*. Proses inilah yang kita sebut sebagai konsep manufaktur plastik konvensional dan banyak dilakukan oleh industri manufaktur plastik di Indonesia termasuk di Work Injection ATMI Surakarta (WI). WI memproduksi bagian dari komponen otomotif maupun elektronik yang dipesan oleh perusahaan-perusahaan ternama di Indonesia. Permasalahan di WI seperti juga permasalahan yang dihadapi manufaktur plastik pada umumnya adalah bagaimana meningkatkan kualitas produk dengan mengurangi cacat produksi pada saat berlangsungnya proses *trial* produk plastik di mesin injeksi. Melihat hal itu, proses produksi WI di ATMI Surakarta akan dirancang untuk beralih ke konsep manufaktur plastik modern untuk kedepannya. Peralihan dari konsep manufaktur plastik konvensional ke konsep manufaktur plastik modern dilakukan oleh Pusat Unggulan Teknologi Plastik Politeknik ATMI Surakarta (PUTP).

Konsep manufaktur plastik modern lebih mengedepankan teknologi *Computer Aided Engineering (CAE)* untuk memprediksi jumlah atau jenis cacat maupun *error* pada produk yang dihasilkan sebelum proses injeksi berlangsung pada mesin injeksi plastik. Hasil CAE ini akan sangat berguna sebagai data untuk meminimalisasi cacat ketika produksi, panduan bagi *mold maker* untuk mendesain *mold*-nya dan untuk setting parameter proses di mesin sehingga mempercepat proses *trial and error* yang dilakukan pada mesin injeksi plastik.

Tuntutan kualitas pelanggan tentang bagaimana meminimalisasi *shrinkage* pada produk plastik menjadi fokus utama dalam penelitian ini yang akan dilakukan oleh penulis untuk mendapatkan parameter proses injeksi yang optimal dengan menerapkan konsep manufaktur plastik modern berbasis CAE. Sebagai obyek dalam penerapan konsep ini dipilih produk *Base Plate* yang terbuat dari material *Acrylonitrile Butadiene Styrene High Gloss (ABS HG)*.

METODOLOGI PENELITIAN

Tahapan Penelitian

Fokus penelitian ini adalah meningkatkan kualitas produksi plastik di WI ATMI Surakarta untuk memenuhi tuntutan industri plastik yang cepat, murah, dan berkualitas dengan memanfaatkan keunggulan kompetitif desain produk plastik berbasis CAD/CAM dan CAE sehingga mampu mengurangi *error* pada parameter proses maupun pada cacat produk saat proses injeksi plastik berlangsung. Tahapan penelitian dimulai dengan membuat desain model produk baru yang akan diproduksi dengan program CAD/CAM.

Metode awal menggunakan metode taguchi untuk mencari parameter yang berpengaruh dan mencari hasil yang paling signifikan. Dengan membandingkan parameter prosesnya, diperoleh respon primer yang paling berpengaruh yaitu *shrinkage*. Metode ini hanya sampai *orthogonal array* dalam membandingkan parameter proses yang signifikan.

Analisis dan optimalisasi proses injeksi plastik menggunakan metode CAE *moldflow* dengan *software Moldflow Plastik Insight 2015* dan penelitian ini menggunakan jenis *meshing dual-domain*. Data diambil dari hasil respon primer berupa *shrinkage* yang paling minimal sebagai panduan awal dalam proses analisis *moldflow*. Analisis *moldflow* diawali dengan analisis *finith element*. Produk dianalisa bagian strukturnya dengan cara *meshing* yaitu membagi menjadi bagian-bagian yang lebih kecil yang elemennya berupa segitiga. Jenis *meshing* yang diambil adalah *dual-domain* yaitu menghitung produk dengan menggabungkan permukaan model untuk menentukan jumlah elemen. Dalam tahap ini juga dicari *aspect ratio* yang paling baik agar proses injeksi lebih optimal dan meminimalkan *error*.

Analisis *filling* dan *packing* dilakukan untuk menentukan pembekuan material yang seragam. Dalam proses ini dapat dilakukan optimasi *packing* untuk memperoleh cycle time yang lebih baik. *Volumetrik shrinkage* juga diperoleh dan dianalisa hasilnya sehingga sesuai dengan tuntutan yang diminta. Kemudian, analisis *cooling* dilakukan untuk menentukan sistem pendingin (*cooling*). Dengan analisis *cooling* ini, kita dapat mengetahui seberapa efektif pendinginan yang diberikan terhadap proses injeksi.

Analisis *warpage* adalah analisis terakhir yang dapat dilakukan untuk melihat seberapa besar produk mengalami deformasi karena pendinginan yang tidak seragam. *Warpage* dapat dihitung besarnya dilihat dari arah sumbu X, Y atau Z. Bila *warpage* produk *base plate* ini melebihi nilai yang ditentukan maka perlu optimasi *cooling* kembali. Tetapi bila nilai yang diperoleh dapat diterima, maka nilai tersebut menjadi panduan ketika proses injeksi di lapangan sebagai *quality control* atas *shrinkage* produk yang maksimal.

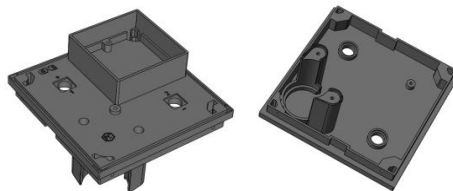
Hasil analisis *moldflow* akan diverifikasi dengan dibandingkan *shrinkage*-nya antara hasil simulasi dan hasil produksi yang sesungguhnya dimana parameter setting mesin injeksi yang digunakan sesuai dengan data yang diperoleh dari *moldflow*.

Produk Eksperimen

Produk yang akan menjadi objek penelitian adalah *Base Plate* yang berfungsi sebagai bagian dari komponen terminal listrik untuk perusahaan elektronik. Spesifikasi produk *base plate* sesuai dengan permintaan pelanggan dapat dilihat pada Tabel 1 dan bentuk produk *base plate* dapat dilihat pada Gambar 1.

Tabel 1. Spesifikasi produk

| | |
|------------------|---|
| Nama Produk | <i>Base Plate</i> |
| Deskripsi Produk | Part komponen terminal listrik bagian bawah untuk perusahaan elektronik |
| Jenis Material | ABS HG Series |
| Warna Produk | Hitam |
| Volume Produk | 462861 cm ³ |



Gambar 1. Produk Base Plate

Produk *base plate* mempunyai dimensi 90.5 x 90.5 x 53.3 mm dan materialnya menggunakan *Acrylonitrile Butadiene Styrene High Gloss* (ABS HG) series dengan spesifikasi seperti yang terlihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Sifat material ABS HG (Moldflow Plastic Insight, 2015)

| | |
|---------------------------|---------------------------|
| <i>Trade Name</i> | ABS HG-173 |
| <i>Manufacturer</i> | LG Chemical |
| <i>Material Structure</i> | Amorphous |
| <i>Melt Temperature</i> | 210°- 250° |
| <i>Max. Shear stress</i> | 0.3 Mpa |
| <i>Max. Shear rate</i> | 50000 1/s |
| <i>Melt Density</i> | 0.96049 g/cm ³ |
| <i>Solid Density</i> | 1,0641 g/cm ³ |

Data Mold base

Mold base akan dirancang menggunakan *mold 2 plate* dengan *single cavity* oleh *tool maker* sesuai dengan permintaan. Desain *runner system* pada *mold* menggunakan *cold runner*. Desain pendingin pada *mold* juga dirancang sesederhana mungkin dengan media pendingin air. Spesifikasi material *mold* ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Spesifikasi material mold base (Moldflow Plastic Insight, 2015)

| | |
|---------------------------------------|-----------------------|
| Material | AISI P20 |
| Mold temperature | 50° - 90° |
| Mold density | 7.8 g/cm ³ |
| Mold specific heat | 460 J/kg-C |
| Mold thermal conductivity | 29 W/m-C |
| Elastic modulus (E) | 2240 Mpa |
| Poissons ratio (V) | 0,392 |
| Mold coefficient of thermal expansion | 1,2e-005 1/C |

Permintaan customer dalam hal kualitas juga menjadi perhatian dalam penelitian ini selain data produk dan mold diatas. Produk *base plate* tidak boleh memiliki *shrinkage* lebih dari 0.7% dan *volumetrik shrinkage* maksimal 10%. Hal ini karena *base plate* akan diasssembling dengan bagian yang lainnya.

Metode Taguchi

Metode taguchi dipakai hanya untuk menentukan data variasi parameter proses injeksi sebelum dilakukan simulasi dengan *moldflow*. Studi literatur dan observasi dilakukan untuk menganalisis dampak parameter proses terhadap hasil proses produksi. Hasil pengolahan data menunjukkan 5 nominasi faktor yang berpengaruh terhadap respon, yaitu *mold temperature* (C), *melt temperature* (C), *injection pressure* (Mpa), *injection time* (s), *cooling time* (s). Faktor yang berpengaruh dan level yang ditentukan dari hasil wawancara ditunjukkan pada tabel 4.

Tabel 4. Parameter Proses injeksi mold pada produk base plate

| Kode | Nama Faktor | Level 1 | Level 2 | Level 3 | Satuan |
|--------|--------------------|---------|---------|---------|--------|
| Tmold | Mold Temperature | 50 | 70 | 90 | °C |
| Tmelt | Melt Temperature | 210 | 230 | 250 | °C |
| Pinj | Injection Pressure | 60 | 80 | 100 | Mpa |
| I time | Injection Time | 1 | 2 | 3 | Detik |
| C time | Cooling time | 10 | 15 | 20 | Detik |

Parameter proses pada produk *base plate* dipengaruhi oleh 5 faktor dengan 3 level. Jumlah derajat kebebasan yang dibutuhkan dalam studi kasus ini adalah 10, sedangkan derajat kebebasan yang tersedia adalah 26(VOA>VT, 26 > 10). Oleh sebab itu *orthogonal array* yang dipilih adalah L₂₇3⁵ dengan 27 eksperimen. Hasil eksperimen dapat dilihat pada tabel 5.

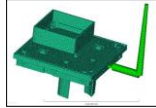
Tabel 5. Hasil eksperimen dengan simulasi moldflow

| Eksperimen | Tmold | Tmelt | Pinj | I time | C time | shrinkage (%) |
|------------|-------|-------|------|--------|--------|---------------|
| 1 | 50 | 210 | 60 | 1 | 10 | 8,516 |
| 2 | 50 | 210 | 60 | 1 | 15 | 8,494 |
| 3 | 50 | 210 | 60 | 1 | 20 | 8,498 |
| 4 | 50 | 230 | 80 | 2 | 10 | 9,570 |
| 5 | 50 | 230 | 80 | 2 | 15 | 9,528 |
| 6 | 50 | 230 | 80 | 2 | 20 | 9,531 |
| 7 | 50 | 250 | 100 | 3 | 10 | 10,260 |
| 8 | 50 | 250 | 100 | 3 | 15 | 10,250 |
| 9 | 50 | 250 | 100 | 3 | 20 | 10,254 |
| 10 | 70 | 210 | 80 | 3 | 10 | 8,383 |
| 11 | 70 | 210 | 80 | 3 | 15 | 8,373 |
| 12 | 70 | 210 | 80 | 3 | 20 | 8,375 |
| 13 | 70 | 230 | 100 | 1 | 10 | 7,859 |
| 14 | 70 | 230 | 100 | 1 | 15 | 7,717 |
| 15 | 70 | 230 | 100 | 1 | 20 | 7,719 |
| 16 | 70 | 250 | 60 | 2 | 10 | 10,572 |
| 17 | 70 | 250 | 60 | 2 | 15 | 10,560 |
| 18 | 70 | 250 | 60 | 2 | 20 | 10,564 |
| 19 | 90 | 210 | 100 | 2 | 10 | 8,545 |
| 20 | 90 | 210 | 100 | 2 | 15 | 8,538 |
| 21 | 90 | 210 | 100 | 2 | 20 | 8,540 |
| 22 | 90 | 230 | 60 | 3 | 10 | 9,424 |
| 23 | 90 | 230 | 60 | 3 | 15 | 9,402 |
| 24 | 90 | 230 | 60 | 3 | 20 | 9,410 |
| 25 | 90 | 250 | 80 | 1 | 10 | 10,652 |
| 26 | 90 | 250 | 80 | 1 | 15 | 10,620 |
| 27 | 90 | 250 | 80 | 1 | 20 | 10,622 |

Hasil eksperimen dengan simulasi *moldflow* memperlihatkan *volumetric shrinkage* yang diperoleh antara 7% - 10%. Karena permintaan pelanggan yang mengharuskan *shrinkage* lebih kecil dari 10%, maka diambil yang terkecil yaitu pada 7.717%. Proses parameter yang diambil adalah Tmold 70 °C, Tmelt 230 °C, Pinj 100 Mpa, Itime 1 detik, dan Ctime 15 detik. Analisa dan optimasi akan dilakukan pada tahap berikutnya.

Metode Analisis CAE Moldflow

Analisis CAE moldflow menggunakan *software* CAE Moldflow Plastik Insight 2015 (MPI) untuk mengoptimalkan hasil yang diperoleh dari metode taguchi. Namun, sebelum dianalisis prosesnya, produk *base plate* harus dimodelkan terlebih dahulu menggunakan elemen-elemen yang diraktit atau meshing. Penelitian ini menggunakan *meshing dual-domain* untuk menganalisa aliran material plastik secara lebih mendalam. Hasil meshing dapat dilihat pada gambar 2.

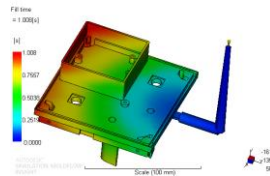


Gambar 2. Meshing Dual-Domain

Penelitian ini harus dapat mendapatkan meshing yang optimal dengan memperhitungkan *intersection detail* dan *surface triangle aspect ratio*. Semua nilai yang dilaporkan di dalam bagian *intersection details* harus nol, hal ini berarti tidak ada bagian terbagi. Rasio geometri dari *meshing* digambarkan dengan bagian aspek rasio permukaan segitiga. Aspect ratio maksimal dari penelitian ini adalah 9.97.

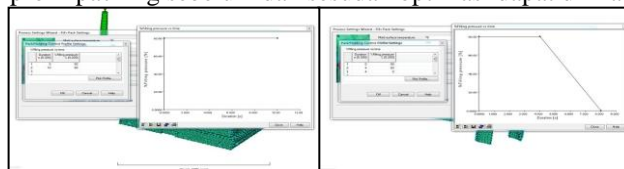
Analisis Filling dan Packing

Analisis *filling* dibutuhkan untuk mengetahui waktu yang diperlukan suatu model untuk dapat terisi penuh dalam sekali proses injeksi. Parameter proses sebelumnya digunakan dalam analisis ini dan hasilnya berupa waktu injeksi optimal pada 1.008 detik. Dari hasil analisa diperoleh waktu filling seperti Gambar 3.



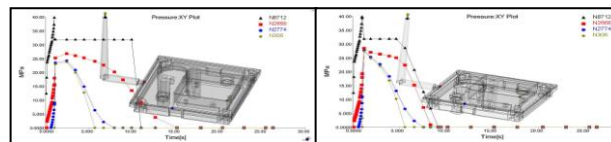
Gambar 3. Hasil analisis waktu pengisian (*fill time*)

Analisis *packing* diperlukan agar material membeku secara seragam. Bagian dari *packing* terdiri dari *packing* dan *holding*. Pada proses ini, hasil yang diperoleh berupa data *holding time*. *Holding time* adalah proses menahan tekanan injeksi hingga keseluruhan material dalam *cavity* membeku atau ujung *gate* sudah membeku sehingga tidak ada lagi tekanan yang dibutuhkan untuk pembekuan material. Optimasi *packing* dapat dilakukan dengan melihat data *frozen layer fraction* dan diambil waktu yang paling optimum saat *gate* membeku. Waktu yang diperoleh saat *gate* membeku adalah 18 detik, maka perlu dibuat profil *packing* untuk mendapatkan waktu *packing* yang efektif dan material dapat membeku lebih seragam. Perbandingan profil *packing* sebelum dan sesudah optimasi dapat dilihat dari Gambar 4.



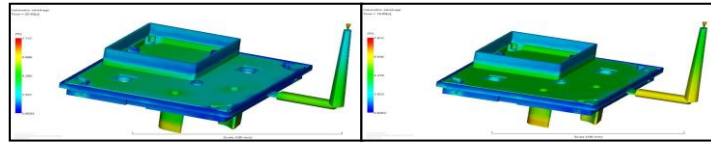
Gambar 4. Perbandingan profil *packing*

Hasil analisis *packing* berdasar profil *packing* yang dibentuk, didapatkan perbandingan tekanan yang signifikan. Tekanan injeksi pada optimasi *packing* lebih merata pada titik-titik yang ditentukan, maka *shrinkage* yang terjadi juga akan merata. Hasil perbandingan tekanan dapat dilihat pada gambar 5.



Gambar 5. Perbandingan tekanan saat *packing*

Dilihat dari gambar 5, tekanan yang seragam dapat menyeimbangkan *volumetric shrinkage* dimana *volumetric shrinkage* dapat didefinisikan sebagai ratio dari perbedaan antara volume cetakan dan volume produk yang telah membeku (dinyatakan dalam %). *Volumetric shrinkage* harus seragam diseluruh bagian untuk mengurangi terjadinya *buckling* (melenting) dan disarankan nilai penyusutannya harus sama atau kurang dari standar yang disarankan. Hasil analisa *volumetric shrinkage* dapat dibandingkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Perbandingan *Volumetric Shrinkage*

Hasil optimasi memperlihatkan pengurangan shrinkage secara signifikan. *Volumetric shrinkage* awal (0.8020% - 7.717%) tidak merata di semua bagian dan hasil optimasi mendekati nilai *volumetric shrinkage* lebih *uniform* pada permukaan yang ditandai warna hijau yang lebih merata (0.8262% - 7.612%). Dalam penelitian ini, customer meminta *volumetric shrinkage* tidak lebih dari 10%. *Directional shrinkage* diharapkan kurang dari 0.7% bila melihat dari jenis material ABS, dimana hal itu akan dapat dilihat nanti pada analisis *warpage*.

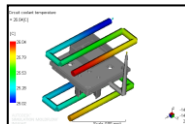
Analisis *Cooling* dan *Warpage*

Waktu pendinginan (*cooling time*) adalah faktor terpenting dari keseluruhan waktu total (*cycle time*) dalam proses plastik *molding*. Apabila tahap *filling* dan *packing* sudah dioptimasi, desain dan optimasi sistem pendingin (*cooling system*) dapat mengurangi total *cooling time*. Dalam banyak kasus, waktu pendinginan mempengaruhi hampir 80% dari total *cycle time* sehingga segala perbaikan waktu pendinginan dapat mengurangi waktu total dan berarti mengurangi biaya.

Optimasi sistem pendingin dipengaruhi oleh dua hal, yaitu kemampuan dari material mold untuk menyerap panas pada saat yang ditentukan dan keseragaman dari distribusi *cooling* ke seluruh bagian untuk mendapatkan kualitas yang baik dengan distorsi yang minimal. Sistem pendingin dipakai untuk menyeimbangkan temperatur permukaan *mold* dan meminimalisasi *cooling time*.

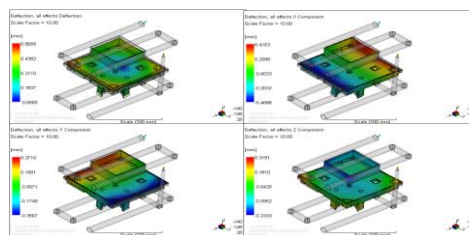
Ada beberapa hal yang harus diperhatikan ketika mendesain sistem pendingin, antara lain: lokasi dan ukuran saluran pendingin (*cooling channel*), tipe saluran pendingin, tata letak dan koneksi saluran pendingin, panjang lintasan, *flow rate* dan transfer panas dari *cooling*, tipe *cooling* serta material *mold*-nya.

Dari analisis *cooling*, dapat dilihat bahwa temperatur *cooling* saat memasuki *inlet* sebesar 25.09 °C dan ketika keluar melewati *outlet* meningkat hingga 26.04 °C. Selisih temperatur hanya 0.95 °C, ini berarti jumlah saluran pendingin sudah mencukupi. Apabila selisih temperatur lebih dari 3 °C, lintasan *cooling* harus di re-desain lagi untuk mencari yang optimal. Normalnya, temperatur *cooling* maksimal adalah 30 °C dan desain lintasan *cooling* pada studi kasus ini sudah memadai. Desain lintasan *cooling* dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Desain lintasan *cooling*

Warpage dapat terjadi karena disebabkan oleh pendinginan yang tidak seragam. *Warpage* didefinisikan sebagai penyusutan produk akibat perubahan fase cair menjadi fase padat. Hal ini disebabkan oleh penyusutan deferensial dari material yang diinjeksi. Biasanya terjadi karena bagian yang tebal menyusut lebih lambat daripada bagian yang tipis. Stress akan terjadi pada perbatasan antara bagian yang tipis ke bagian yang tebal. Bila stress terlalu besar maka akan menyebabkan kerusakan pada model tersebut. Penyebab lain dari *warpage* adalah suhu *mold* tidak seragam, *packing* atau tekanan yang tidak seragam, atau tekanan injeksi, *cooling*, dan suhu terlalu tinggi pada *cavity mold*. Gambar 8 memperlihatkan *warpage* yang menyebabkan defleksi, baik disemua sisi, sumbu X, sumbu Y, maupun sumbu Z.



Gambar 8. Defleksi akibat *warpage*

Dari gambar 8 diatas, dapat dilihat bahwa defleksi yang terjadi pada produk *base plate* adalah sebagai berikut:

| | |
|--------------------------|--------------------------|
| Deflection, all effects | = 0.0565 mm - 0.5655 mm |
| Deflection, X components | = -0.4098 mm - 0.4163 mm |
| Deflection, Y components | = -0.3567 mm - 0.3710 mm |
| Deflection, Z components | = -0.2333 mm - 0.3191 mm |

ANALISIS HASIL DAN PEMBAHASAN

Verifikasi Hasil analisis CAE moldflow

Hasil analisis CAE digunakan sebagai panduan dalam membuat mold dan setting parameter mesin injeksi. Kemudian, hasil produk yang telah diproduksi dengan mesin injeksi akan diukur dimensinya dan dibandingkan dengan ukuran pada simulasi. Produk yang akan diukur adalah produk yang baik sesuai dengan *quality control*. Selisih dari ukuran produk dan hasil simulasi dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Hasil pengukuran dimensi dan *shrinkage* produk *base plate*

| Dimensi produk | Dimensi Cavity | Dimensi hasil injeksi | Shrinkage hasil injeksi | Dimensi hasil simulasi | Shrinkage hasil simulasi | Selisih pengukuran |
|----------------|----------------|-----------------------|-------------------------|------------------------|--------------------------|--------------------|
| 90,5 | 90,9525 | 90,52 | 0,4755% | 90,5362 | 0,4577% | 0,0162 |
| 90,5 | 90,9525 | 90,51 | 0,4865% | 90,5815 | 0,4079% | 0,0715 |
| 53,3 | 53,5665 | 53,31 | 0,4788% | 53,2474 | 0,5957% | 0,0626 |

Shrinkage yang terjadi pada produk *base plate* tidak lebih dari 0.7%, ini berarti *shrinkage* yang dihasilkan sesuai dengan permintaan *customer*. Produk *base plate* telah memenuhi kualitas yang diinginkan oleh *customer* dan siap untuk diproduksi massal

Parameter Hasil Analisis CAE moldflow

Hasil analisis CAE *moldflow* berupa parameter proses injeksi secara keseluruhan dapat dirangkum sebagai berikut:

Informasi Umum

| | |
|-----------------|------------------------------------|
| Project Name | = Base_plate_study |
| Version | = Moldflow Plastic Insight 2015 |
| Processing Type | = Thermoplastics injection molding |
| Machine Name | = Toshiba EC100SX |
| Material Name | = ABS HG-173 : LG Chemical |

Spesifikasi Mesin

| | |
|-----------------------------|-------------|
| Max. injection Pressure | = 100 Mpa |
| Screw intensification ratio | = 10 |
| Machine response time | = 0.2 s |
| Machine max. clamp force | = 100 tonne |

Setting Suhu

| | |
|------------------------|----------|
| Melt temperature | = 235 °C |
| Mold cavity side temp. | = 70 °C |
| Mold core side temp. | = 70 °C |

Setting Injeksi

| | |
|--------------------------|------------------------------|
| Injection control method | = Injection time |
| Injection time | = 1.0080 s |
| Nominal flow rate | = 46.2861 cm ³ /s |

Packing presse profile

| Duration (s) | Pressure (Mpa) |
|--------------|----------------|
| 0.2000 | 32.1794 |
| 4.0000 | 32.1794 |
| 4.0000 | 0.0000 |

| | |
|--|---------------------------|
| Cooling time | = 9.7815 s |
| Cycle time | = 18.9895 s |
| Part volume to be filled | = 42.3567 cm ³ |
| Sprue/runner/gate volume to be filled | = 3.9294 cm ³ |
| Total volume (part + cold runners) | = 46.2861 cm ³ |
| Total weight (part + runners) - during filling | = 42.1315 g |
| Total weight end of packing | = 44.0036 g |
| Maximum Clamp force - during filling | = 9.8348 tonne |

Hasil Flow analysis

| | |
|------------------------------|-------------------------|
| Fill time | = 1.0080 s |
| Pressure at V/P switch-over | = 41.67 Mpa |
| Temperature at flow front | = 2310 C |
| Max. clamp force required | = 23.19 tonne |
| Vol. shrinkage | = 7.612 % |
| Vol. shrinkage at ejection | = 6.536 % |
| Time to reach ejection temp. | = 72.24 s |
| Sink-mark | = 4.492 % |
| Shear stress at wall | = 0.175 Mpa |
| Shear rate | = 1379.4 (1/s) |
| Throughput | = 47.73 cm ³ |

Hasil Cool Analysis

| | |
|-----------------------------|---------------------|
| Circuit coolant temperature | = 25.02°C - 26.04°C |
| Circuit flow rate | = 4.234 lit/min |
| Circuit metal temperature | = 29.29°C - 32.44°C |
| Circuit pressure | = 0.216 - 2.701 kpa |
| Average temperature, part | = 46.73°C - 152.2°C |
| Average temp., cold runner | = 32.51°C - 157.6°C |

Verifikasi data hasil simulasi menunjukkan bahwa hasil analisa dengan analisis CAE moldflow ternyata tidak jauh beda dengan proses injeksi plastik secara realitas. Analisa CAE moldflow dapat dipertanggungjawabkan dan diterima sebagai proses simulasi untuk mempercepat proses produksi.

SIMPULAN

Output dari penelitian ini berhasil menunjukkan bahwa optimalisasi proses injeksi plastik di PUT P ATMI Surakarta menggunakan analisis CAE *moldflow (moldflow plastic insight 2015)* berhasil meningkatkan kualitas produk *base plate* dengan mengurangi proses *trial and error* dan menggantinya dengan analisis CAE *moldflow* untuk memperoleh prediksi cacat pada produk, dimana dalam penelitian ini adalah *shrinkage* dan mendapatkan setting parameter proses yang optimal. Hal ini menunjukkan bahwa WI dan PUTP ATMI Surakarta dalam waktu sekitar enam bulan telah mampu menerapkan konsep manufaktur plastik modern berbasis CAE dengan hasil maksimal.

Hasil parameter setting pemesinan yang paling optimal pada produk baseplate adalah pada kondisi *mold temperature* 70 °C, *melt temperature* 235 °C, *injection pressure* 100 Mpa, *injection time* 1.008 detik, dan *cooling time* 9.7815 detik. Berdasarkan parameter tersebut akan didapatkan *Volumetric Shrinkage* optimal pada 7,612% dan *shrinkage* rata-rata hasil simulasi adalah 0.4871%. Hasil tersebut telah memenuhi standar kualitas yang diminta oleh *customer*. Total volume *base plate* adalah 46.2861 cm³ dan total beratnya adalah 44.0036 g. Total *cycle time* yang dibutuhkan oleh produk *base plate* dalam sekali injeksi adalah 18.9895 detik.

Selanjutnya, data hasil analisis CAE dapat dipakai sebagai panduan bagi *engineer mold maker* industri plastik di Indonesia dalam membuat konstruksi *mold*, sebagai panduan dalam menentukan setting parameter optimal di mesin injeksi dan sebagai alat untuk memverifikasi produk plastik sebelum diproses lanjut di mesin injeksi.

PUSTAKA

- Autodesk,. (2010). Autodesk Moldflow Insight Performance. Jakarta: Autodesk
- Bellavendram, Nicolo,. (1995). Quality by Design: Taguchi Techniques for Industrial Experimentation. London: Prentice Hall.
- Budiyantoro, Cahyo,. (2007). Analysis and Optimization of Injection Molded Parts using Fusion and 3D Elements of Moldflow. Germany: Polymer Technology University of Aalen.
- Chen, Wu-Lin., Chin-Yin Huang and Chi-Wei Hung,. (2010). Optimization of Plastic Injection Molding Process by Dual-Response Surface Method with Non-Linear Programming. Emerald. Vol. 27, No. 8. Pp. 951-966.
- Gastrow, Hans,. (2006). Injection molds: 130 proven designs. Germany: Hanser Gardner Publications
- Goodship, V., (2004). Practical Guide to Injection Moulding. Arburg: Rapra Technology Limited
- Menges, Georg,. (1999). How to make injection molds. Germany: Hanser Gardner Publications
- Moerbani, J., (1999). Plastic Moulding. Solo: ATMI Surakarta
- Oktem, H., (2012). Modeling and Analysis of Process Parameters for Evaluating Shrinkage Problems During Plastic Injection of a DVD-ROM Cover. ASM International, Vo. 21, No.1. Pp. 25-32
- Riyanto, Seto Agung. (2014). Laporan pelaksanaan pelatihan tidak bergelar dalam negeri bidang pemodelan sistem injeksi molding berbasis metode elemen hingga. Solo: ATMI Surakarta