

PREDIKSI *SHRINKAGE* UNTUK MENGHINDARI CACAT PRODUK PADA *PLASTIC INJECTION*

Agus Dwi Anggono

Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Surakarta

Jl. A.Yani Tromol Pos I Pabelan, Kartosura, 57102

E-mail : agusda@indosat-m3.net

ABSTRAKSI

Plastic injection merupakan proses manufacture untuk membuat produk dengan bahan dasar plastic atau dalam kesempatan ini polypropylene. Pada proses tersebut seringkali terjadi cacat produk seperti pengerutan, retak, dimensi tidak sesuai dan kerusakan saat produk keluar dari mould, sehingga banyak material yang terbuang percuma. Meskipun cacat produk tersebut dipengaruhi banyak factor, tetapi yang paling utama adalah masalah shrinkage, atau penyusutan material setelah terjadi pendinginan. Sangat penting untuk melakukan prediksi lebih awal terjadinya penyusutan setelah pendinginan untuk menghindari cacat produk. Dalam penelitian ini akan dilakukan prediksi shrinkage yang akan digunakan untuk material polypropylene dengan cara perhitungan standar. Pembuatan modeling dalam bentuk 3D (tiga dimensi) injection molding baik cavity maupun corenya dengan menggunakan CATIA, kemudian dilakukan analisis dengan software MoldFlow untuk pembuatan mesh dan memberikan batasan panas pada komponen sehingga dapat diketahui mode penyusutannya. Analisis ini akan memberikan gambaran tentang distribusi panas pada mould dan memberikan tentang gambaran aliran fluida. Pada analisis tersebut dapat dilihat gejala terjadinya cacat produk, jika hal itu terjadi maka perlu dilakukan perubahan shrinkage, sampai diperoleh hasil analisis yang baik..

Kata-kata kunci: plastic injection, cacat produk, shrinkage prediction

PENDAHULUAN

Pada proses plastic injection sering terjadi cacat produk, seperti keretakan, pengerutan pada bagian-bagian tertentu, bentuk tidak sempurna, dimensi produk diluar dari toleransi yang ditentukan dan lain sebagainya yang diakibatkan oleh beberapa factor. Hal itu akan membuat biaya produksi menjadi tidak efisien, karena material banyak yang terbuang dan produk banyak yang cacat. Beberapa factor yang menyebabkan terjadinya cacat produk adalah penempatan titik injeksi yang salah, adanya berbagai variasi ketebalan produk

dan penyusutan yang tidak teratur pada saat pendinginan (H.U. Akay, 2003).

Seperti yang diketahui bahwa plastic yang diinjeksikan ke dalam suatu cetakan mempunyai suhu 260°C dan pada saat terjadi pendinginan suhu antara 45°C – 60°C. Sehingga pada saat dilakukan pelepasan produk dari cetakan, terjadi perubahan bentuk atau deformasi yang diakibatkan oleh tegangan sisa pada proses pendinginan. Oleh karena itu komponen plastic membutuhkan toleransi yang tepat supaya hasilnya tidak berada pada toleransi yang diberikan. Hal itu tidak akan dapat dilakukan tanpa adanya prediksi awal

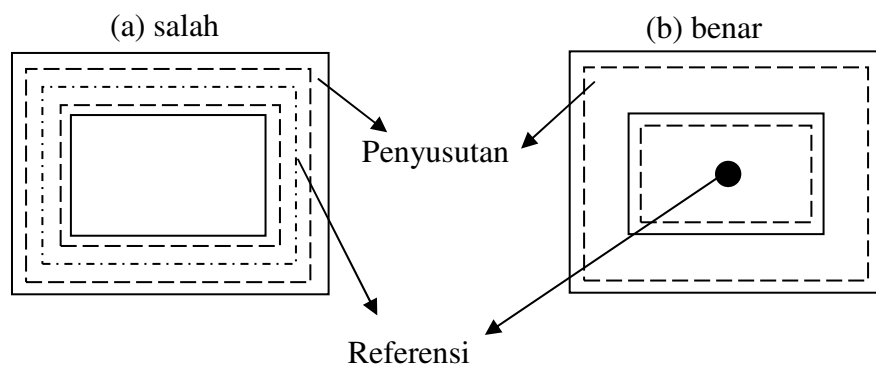
untuk shrinkage dengan menggunakan bantuan software (FEA). Seorang pembuat molding yang berpengalamanpun akan kesulitan menentukan shrinkage yang tepat tanpa menggunakan bantuan software. Perusahaan manufaktur yang baru bergerak dalam bidang plastic injection akan kesulitan membuat molding yang memberikan hasil produk yang baik meskipun dengan bentuk yang sederhana (J. Murbani, 1999).

Teknologi plastic injection moulding sudah demikian maju, berbagai bentuk dapat dibuat dengan baik. Tetapi dibalik itu semua ternyata terdapat masalah yang sangat rumit berkaitan dengan pembuatan mould dan hasil produk yang diinginkan, yaitu masalah shrinkage (penyusutan) yang terjadi setelah pendinginan. Tiap material mempunyai pola shrinkage yang berbeda, pada penelitian ini akan diteliti untuk material *polypropylen*, material yang sering dipakai untuk produk casing ponsel, tempat makanan dan minuman, mainan anak dan produk lainnya. *Polypropylen* termasuk jenis material thermoplastic, yaitu material yang dapat lunak jika dipanaskan dan mengeras jika didinginkan, dan akan melunak lagi jika dipanaskan lagi.

TINJAUAN PUSTAKA

Kajian Pustaka

Murbani (1999) dalam penelitiannya menyatakan bahwa pada setiap pembuatan mould (cetakan), harus selalu memperhitungkan terjadinya penyusutan (shrinking) setelah terjadi pendinginan dan keluar dari rongga cetakan. Hal itu terjadi karena adanya perubahan fase dari material cair menjadi padat, pasti akan terjadi perubahan volume. Jadi jika dibandingkan dengan ukuran pada mould, ukuran produk akan berbeda, yaitu ukurannya menjadi lebih kecil dibandingkan rongga cavitynya. Sehingga lubang yang ada pada produk akan menjadi lebih kecil dibandingkan ukuran inti (core) pembentuknya. Jika rongga mould dengan ukuran 100 x 50 x 5 mm maka produk jadinya akan mempunyai ukuran 98,4 x 49,2 x 4,92 mm dan apabila didalamnya harus ada lubang dengan diameter 10 mm, maka produknya mempunyai lubang dengan diameter 9,84 mm. Penyusutan material (shrinkage) dinyatakan dalam persen, sehingga pada contoh di atas material shrinkage adalah 1,6%. Arah penyusutan material adalah menuju satu titik referensi dalam benda kerja, jadi tidak mengambil garis tengah yang ada di dalam produk, seperti gambar di bawah ini.



Gambar 1. Fenomena Penyusutan

Gambar 1a menunjukkan prediksi yang salah tentang shrinkage. Penyusutan terjadi kearah garis referensi produk yang berada ditengah, sehingga lubang yang terjadi akan menjadi lebih besar.

Gambar 1b menunjukkan prediksi yang benar tentang shrinkage. Penyusutan terjadi kearah titik referensi yang berada ditengah-tengah produk, sehingga lubang yang terjadi akan menjadi lebih kecil dibanding corenya.

David Kazmer & Kaushik Manek, *University of Massachusetts Lowell* (2003) dalam penelitiannya menyatakan bahwa dalam upaya mengevaluasi pengaruh-pengaruh berbagai kondisi penyusutan (shrinkage) dalam proses injeksi moulding ada empat faktor yang harus diperhatikan, yaitu (1) temperatur mold, (2) temperatur lelehan (*melt temperature*), (3) tingkatan injeksi dan (4) tekanan pemegang (*hold pressure*)

Landasan Teori

Penyusutan material (shrinkage) dinyatakan dalam prosen, sehingga jika dirumuskan:

$$\text{Shrinkage} = \frac{\Delta L}{L} (\%) \dots\dots\dots[1]$$

dimana :

ΔL = besarnya penyusutan

L = ukuran sebenarnya

Prediksi tentang besar dan arah penyusutan (shrinkage) harus dipahami dengan baik dalam pembuatan moulding. Pada waktu menentukan ukuran shrinkage cavity maupun core dilakukan dengan mengalikan ukuran produk dengan faktor shrinkage, dimana faktor shrinkage dengan:

$$\text{Faktor shrinkage (f)} = (1 + \frac{\Delta L}{L}) \dots\dots\dots[2]$$

Misalnya untuk material PS (Polystyrene/Polystyrol), dari daftar tabel shrinkage mempunyai shrinkage 0,4 – 0,6 % maka perhitungan faktor shrinkage adalah $f = (1 + 0,5\%) = 1,005$.

Jadi apabila ingin membuat produk dengan ukuran 38 x 52 x 3,5 mm dengan dua lubang berdiameter 6 mm dan jarak 26 mm, maka ukuran pada mould yang direncanakan adalah:

Ukuran cavity : 38,190x52,260x3,518 mm

Ukuran core : 6,030 mm

Jarak core : 26,130 mm

Waktu minimum untuk pendinginan dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$t_c = \frac{h^2}{\alpha\pi^2} \ln \left| \frac{4 \left(\frac{T_M - T_W}{T_E - T_W} \right)}{\pi} \right| \dots\dots [3]$$

dimana:

t_c = waktu pendinginan minimum

α = thermal diffusivity

h = ketebalan plat

T_W = temperatur dinding mold

T_M = temperatur melt (lelehan material)

T_E = temperatur ejection

Gaya tekanan yang selalu menjaga mould tetap tertutup (clamping force) :

$$F = \frac{P}{A} \dots\dots\dots[4]$$

Dimana :

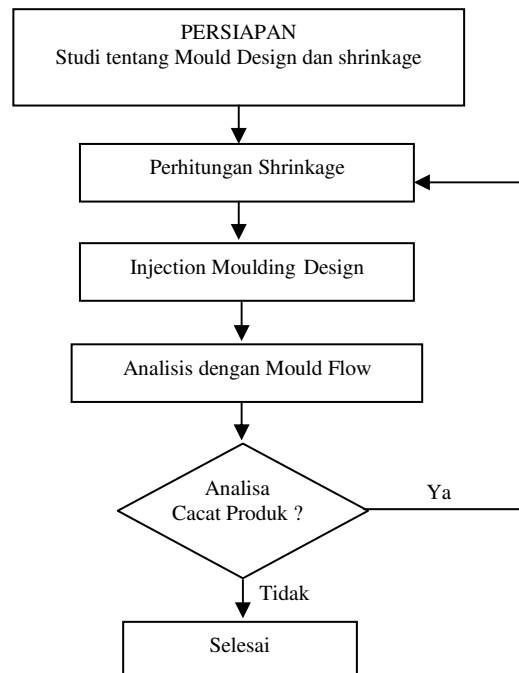
P = tekanan injeksi

A = luas penampang proyeksi rongga cavity pada bidang tegak lurus dengan sumbu

METODOLOGI PENELITIAN

Langkah Analisis

Dalam penelitian ini langkah-langkah yang dilakukan adalah sebagaimana pada gambar 2.



Gambar 2. Langkah Analisis

Analisis dan Diskusi

Proses Pengisian (filling)

Proses *filling* merupakan proses pengisian atau penginjeksian material ke dalam *cavity*. Adapun parameter dari proses *filling* sebagai berikut.

Machine parameters.

- *Clamp force* maksimum = $2,7207 \times 10^2$ ton.
- Diameter *screw* = 70,0000 mm.
- Tekanan maksimum = $1,4700 \times 10^2$ MPa.
- Kecepatan injeksi maks = $3,884 \times 10^2 \text{ cm}^3/\text{s}$

Process parameters.

- Temperatur lingkungan = 25 °C.
- Temperatur leleh = 220 °C.
- Temperatur *cavity* = 40 °C.
- Temperatur *core* = 40 °C.

Dari hasil analisis proses *filling* diperoleh data sebagai berikut.

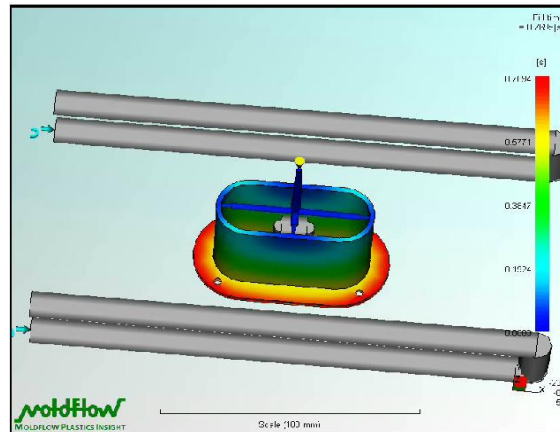
- Volume benda = $21,5953 \text{ cm}^3$.
- Waktu *fil* = 0,7249 s.
- Tekanan injeksi maks = 29,1555 MPa.
- *Clamp force* maksimum = 0,3707 ton.

▪ Volume *sprue* dan *runner* = $0,8500 \text{ cm}^3$.
Hasil analisis di akhir fase *filling* pada benda kerja.

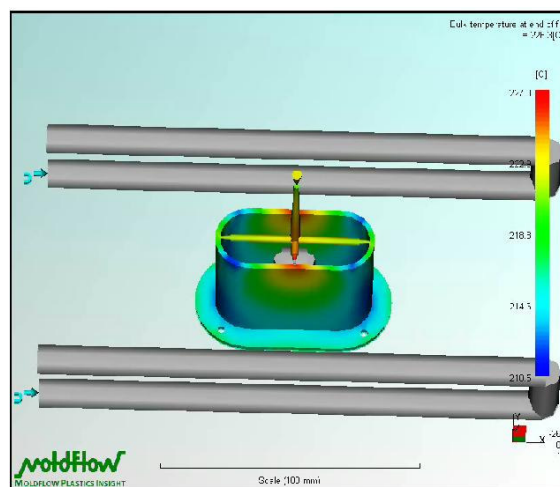
- Temperatur massa maks = 226,416 °C.
- Temperatur massa – 95 % = 222,047 °C.
- Temperatur massa rata-rata = 216,028 °C.
- Temperatur massa min = 210,754 °C.
- Tegangan geser dinding maksimum = 0,2542 MPa.
- Tegangan geser dinding -95% = 0,081 MPa
- Tegangan geser dinding rerata = 0,061 MPa

Hasil analisis di akhir fase *filling* pada sistem *runner*.

- Temperatur massa maks = 226,977 °C
- Temperatur massa – 95 % = 224,795 °C.
- Temperatur massa minimum = 220,533 °C
- Temperatur massa rata-rata = 223,319 °C.
- Tegangan geser dinding maksimum = 0,5285 MPa.
- Tegangan geser dinding -95% = 0,329 MPa
- Tegangan geser dinding rerata = 0,179 MPa



Gambar 3. Waktu Pengisian



Gambar 4. Temperatur

Proses Warpage

Warpage merupakan proses penyusutan produk akibat perubahan fase cair menjadi fase padat. Kesalahan dalam pengambilan besarnya faktor penyusutan pada waktu desain *mould* akan mengakibatkan tidak sesuai dimensi produk dengan yang diharapkan. Perubahan dimensi pada benda dapat dipengaruhi oleh beberapa hal diantaranya *shrinkage*, *cooling* dan *orientation*. Besarnya nilai perubahan dapat dilihat pada hasil analisis dibawah ini.

Adapun hasil analisis proses *warpage* sebagai berikut :

Pergeseran maksimum/minimum pada akhir langkah.

- Sumbu X minimum = $-2,1918 \times 10^{-1}$ mm, maksimum = $9,1744 \times 10^{-1}$ mm.
- Sumbu Y minimum = $-4,5764 \times 10^{-1}$ mm, maksimum = $8,3921 \times 10^{-1}$ mm.
- Sumbu Z minimum = $-3,8432 \times 10^{-1}$ mm, maksimum = $3,9466 \times 10^{-1}$ mm.

Perubahan akibat pengaruh *shrinkage*.

- Sumbu X minimum = $-4,5764 \times 10^{-1}$ mm, maksimum = $9,1265 \times 10^{-1}$ mm.
- Sumbu Y minimum = $-3,8555 \times 10^{-1}$ mm, maksimum = $8,3169 \times 10^{-1}$ mm.
- Sumbu Z minimum = $-3,1597 \times 10^{-1}$ mm, maksimum = $3,9629 \times 10^{-1}$ mm.

Perubahan akibat pengaruh *orientation*.

- Sumbu X minimum = $-2,1486 \times 10^{-4}$ mm, maksimum = $7,3238 \times 10^{-5}$ mm.
- Sumbu Y minimum = $-2,5897 \times 10^{-4}$ mm, maksimum = $1,6543 \times 10^{-5}$ mm.
- Sumbu Z minimum = $-1,9852 \times 10^{-4}$ mm, maksimum = $2,1357 \times 10^{-4}$ mm.

Perubahan akibat pengaruh *cooling*.

- Sumbu X minimum = $-1,1027 \times 10^{-1}$ mm, maksimum = $2,2519 \times 10^{-2}$ mm.
- Sumbu Y minimum = $-2,5248 \times 10^{-1}$ mm, maksimum = $2,2287 \times 10^{-1}$ mm.
- Sumbu Z minimum = $-9,7260 \times 10^{-2}$ mm, maksimum = $2,0575 \times 10^{-2}$ mm.

Defleksi yang terjadi akibat semua efek pada produk dapat dilihat pada gambar 5a. (*Deflection, All Effects*). Dari gambar tersebut kita lihat defleksi maksimum terjadi pada bagian bibir sebesar

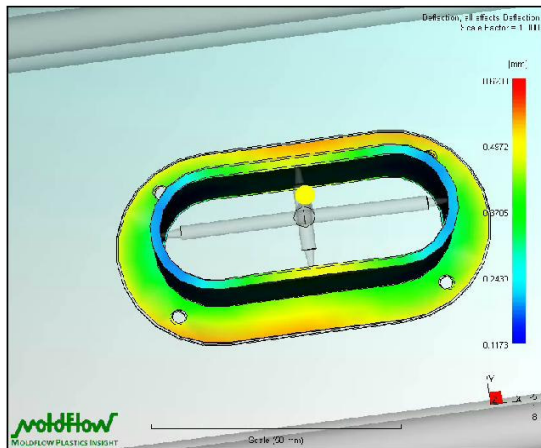
0,5472 mm dan defleksi minimum sebesar 0,2351 mm. Besarnya defleksi yang terjadi pada gambar 5. (*Deflection, All Effects*) maka dimensi benda akan hampir sesuai dengan dimensi yang diharapkan dengan toleransi yang cukup kecil.

Dari gambar 5 dapat diukur dimensi benda hasil simulasi proses *injection plastic moulding* dan membandingkannya dengan dimensi benda sesungguhnya. Adapun hasil pengukuran dapat dilihat pada tabel 1.

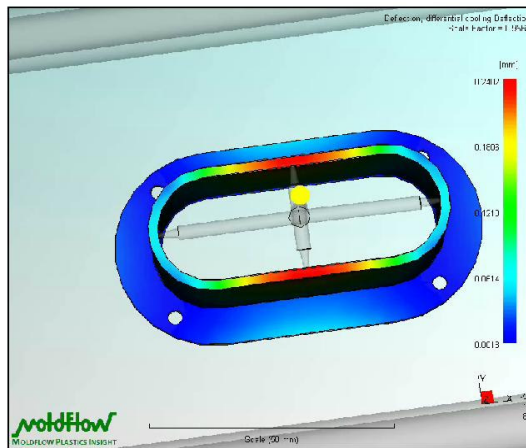
Dari tabel 1 tersebut dapat diketahui perbedaan dimensi pada benda yang sesungguhnya dengan dimensi benda hasil simulasi, nilai perbedaan dimensi maksimum sebesar 0,85 mm dan nilai minimum sebesar 0,02, sehingga benda dapat diproduksi dengan nilai presisi yang cukup kecil.

Tabel 1. Perbandingan Dimensi Benda Sesungguhnya dan Benda Hasil Simulasi

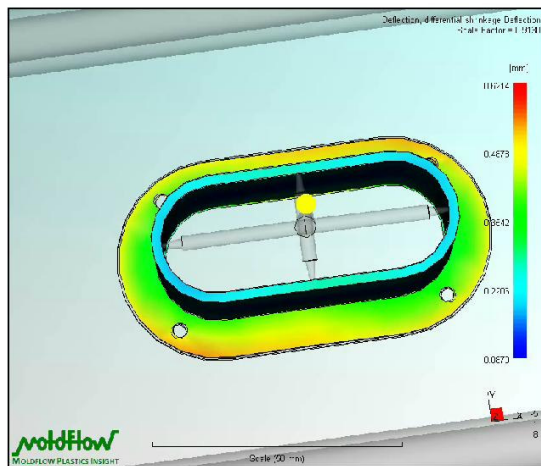
Dimensi Benda sesungguhnya (mm)	Dimensi Benda Hasil Simulasi (mm)	Perbedaan (mm)
35,00	35,85	0,85
20,00	20,065	0,065
11,50	11,47	0,03
10,50	10,56	0,06
16,25	16,75	0,50
1,50	1,52	0,02
3,00	3,05	0,05
2,00	2,03	0,03
52,00	52,05	0,05
12,50	12,40	0,10
56,00	56,82	0,82
58,00	58,65	0,65
60,00	60,74	0,74



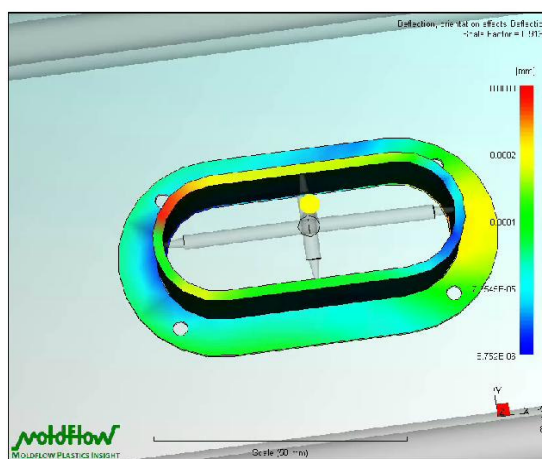
Gambar 5a. Deflection, All Effects



Gambar 5b. Deflection, Cooling Effect



Gambar 5c. Deflection, Shrinkage Effect



Gambar 5d. Deflection, Orientation Effect

KESIMPULAN

Berdasarkan simulasi dan analisis proses *injection moulding* yang telah penulis susun, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut.

- Perancangan gambar atau desain suatu produk dengan menggunakan perangkat lunak CATIA V5 dapat dibuat dengan relatif mudah, dengan tampilan tiga dimensi sesuai dengan produk sesungguhnya.
- Perhitungan faktor-faktor yang berpengaruh dalam proses *injection*

moulding harus direncanakan dengan baik untuk menjaga kualitas produk. Disamping itu, perhitungan faktor-faktor tersebut dapat menjadi acuan untuk menentukan jenis mesin.

- Untuk menghindari kesalahan dimensi pada produk *moulding*, dalam perancangan suatu produk dengan menggunakan perangkat lunak komputer, desain cetakan dibuat dengan memasukkan nilai penyusutan (*shrinkage*) yang disesuaikan dengan material plastik yang akan diinjeksikan.

DAFTAR PUSTAKA

- Akay, H. U., 2003, *Prediction of Shrinkage in Plastic Injected Parts Due to Cooling*, Computer-Aided Engineering Analysis.
- David Kazmer & Kaushik Manek, University of Massachusetts Lowell, 2003, *Prediction Of Production Yields In Injection Molding*, pp 516-520
- Haihong Xu, John Wysocki, David Kazmer, 2003, *Shrinkage Study Of Thermoformed Parts*
- Jack G. Zhou and Zongyan He, 1998, *Rapid Pattern Based Powder Interfering Technique And Related Shrinkage Control*, Department of Mechanical Engineering and Mechanics Drexel University, Journal of Materials and Design, Vol. 19, pp. 241-248.
- Moerbani, J., 1999, *Plastic Moulding*, Jurnal Akademi Teknik Mesin Industri (ATMI) Surakarta.