

Studi Pengaruh Ukuran *Shap Corner* Terhadap Cacat *Sink Mark* dan Mampu Alir

Amelia Sugondo¹, Ian H. Siahaan²

Dosen Jurusan Teknik Mesin, Universitas Kristen Petra^{1,2}

E-mail: amelia@petra.ac.id, ian@petra.ac.id

Abstrak

Produk plastik sampai saat ini tidak pernah surut penggunaannya. Banyak sekali dijumpai produk-produk plastik dalam kehidupan sehari-hari, mulai dari kebutuhan rumah tangga, elektronik, hingga otomotif. Hal ini dikarenakan kelebihan dari sifat plastik. Pembuatan produk plastik yang paling banyak dengan menggunakan *injection molding*. Proses pembuatan dengan *injection molding* tidak lepas dari *mold* sebagai cetakannya. Proses pembuatan *mold* dilakukan dengan proses *machining*. Pembentukan radius dari proses permesinan sering diabaikan, padahal sudut tersebut berguna untuk memberikan kemampuan alir dari material plastik leleh. Besar sudut juga mempengaruhi kualitas produk yang salah satunya cacat *sink mark*.

Pada penelitian kali ini akan dilakukan simulasi terhadap suatu produk yang memiliki ketajaman sudut atau radius bagian dalam mulai dari yang tidak memiliki radius (tajam), 0,5 mm sampai 2,5 mm dengan ketebalan benda 1,5 mm. Simulasi ditujukan untuk mengamati kemampuan alir dan kualitas dari setiap produk. Dari hasil simulasi didapatkan bahwa kemampuan alir dari semua variasi radius yang digunakan baik. Produk dengan radius 1,5 mm kualitasnya sempurna berdasarkan simulasi prediksi kualitas, namun pada radius sudut 0,5 mm mengalami cacat paling besar. Pada radius sudut yang semakin besar juga terjadi cacat *sink mark* semakin besar.

Keyword: injection molding, simulation, sink mark, mampu alir

1. Pendahuluan

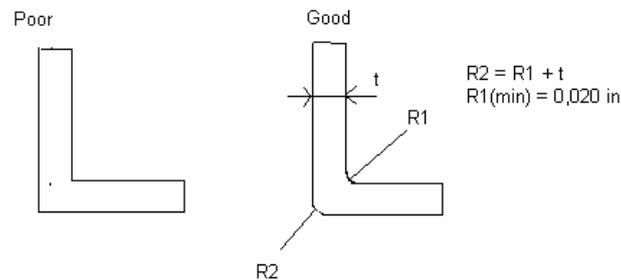
Produk plastik yang digunakan dalam kehidupan sehari-hari banyak dikerjakan dengan menggunakan mesin *injection molding*. Pembuatan produk dengan menggunakan metode ini, selalu membutuhkan *mold* sebagai pencetak material plastik leleh. Kualitas produk selain dipengaruhi oleh parameter proses juga dipengaruhi desain *mold*. Pada waktu mendesain *mold* beberapa persyaratan yang perlu diperhitungkan adalah ketajaman sudut, kemiringan bentuk, ketebalan produk dan lain sebagainya. Untuk merealisasi pembuatan *mold*, diperlukan gambar teknik sebagai sarana komunikasi antara perancang dan pembuat *mold*. Dari gambar yang ada dapat dibuat *mold* sesuai dengan bentuk dan ukuran yang dikehendaki. Proses pembuatannya dapat dilakukan dengan proses *machining*, *wire cut* dan EDM. Dengan proses tersebut, untuk mendapatkan sudut yang tajam akan jauh lebih mudah dilakukan daripada bagian sudut yang memiliki radius. Namun sudut yang tajam dapat mempengaruhi hasilnya berupa produk yang semakin getas daripada seharusnya, adanya konsentrasi tegangan berlebih pada produk, terganggunya proses aliran material. Namun jika sudut dibuat terlalu besar dapat mengakibatkan terjadinya *sink mark* pada benda kerja.

2. Tinjauan Pustaka

Ketajaman bagian ujung dari komponen pada gambar teknik sering diabaikan, sehingga para pembuat benda juga sering mengabaikannya. Akibat dari ketidakjelasan gambar, bentuk *mold* yang dihasilkan akan memiliki sudut yang tajam. Perancang mengharapkan kondisi tersebut akan terbentuk dengan sendirinya akibat penggunaan *tool*. Sudut tajam seperti terlihat pada gambar 1 dapat mengakibatkan terjadinya konsentrasi tegangan. Faktor yang dapat mempengaruhi peningkatan konsentrasi tegangan yaitu perbandingan dari radius R dengan ketebalan (dinding) benda t. Pengaruh dari radius *fillet* dapat mempengaruhi terjadinya konsentrasi tegangan, semakin kecil perbandingan r/t maka faktor konsentrasi tegangan akan semakin meningkat, demikian pula sebaliknya. Perbandingan yang sering digunakan yaitu 0,5. Pemberian radius selain digunakan untuk memudahkan plastik mengalir melalui *mold*, juga dapat



mengurangi kegetasan dari material. Namun radius yang terlalu besar akan mengakibatkan material yang terbuang semakin banyak selain dapat menimbulkan terjadinya *sink mark*.



Gambar 1. Sudut Bagian Dalam
Sumber: *Injection Molding Handbook*



Gambar 2. Cacat *Sink Mark*

Sink mark seperti pada gambar 2 merupakan salah satu jenis cacat yang dapat timbul karena kondisi proses yang berbeda. Cacat ini berupa indentasi pada permukaan benda kerja yang biasanya terjadi akibat adanya perubahan tebal dinding secara signifikan. Contoh perubahan dapat berupa *ribs*, *bosses*, dan *undercuts*. *Sink mark* juga dapat diakibatkan oleh penyusutan dari plastik leleh selama mengalami pendinginan di dalam *mold*. Untuk mengantisipasinya dapat dilakukan dengan mengalirkan plastik cair secara lebih, menaikkan *holding pressure*, menaikkan tekanan injeksi, namun cara tersebut dapat berakibat pada kemudahan untuk mengeluarkan benda kerja dan dapat membuat *warpage* pada bagian yang tipis. Cara lain untuk mengantisipasi terjadinya *sink mark* dapat dilakukan dengan pemilihan material, desain produk dan melakukan variasi parameter proses.

3. Metodologi Penelitian

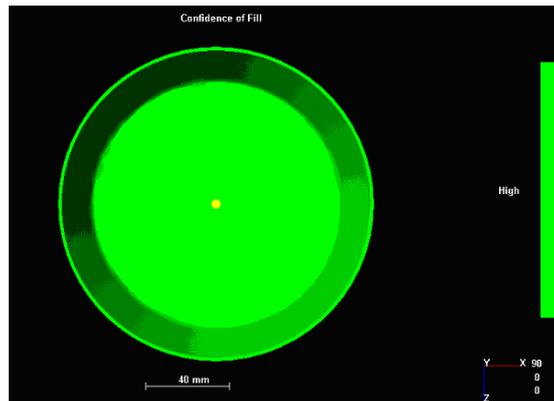
Pada penelitian ini akan dilakukan suatu simulasi dengan menggunakan *software* untuk aliran plastik dalam *mold*. Untuk model yang akan digunakan berupa mangkok dengan berbagai radius pada bagian sudut dalam mangkok. Metodologi yang akan digunakan adalah sebagai berikut:

1. Menentukan dan membuat desain produk yang akan disimulasi. Bentuk yang dibuat sebagai model adalah mangkok dengan diameter alas 120 mm dan diameter bagian atas dibuat 150 mm. Tinggi mangkok yang digunakan sebesar 50 mm.
2. Dalam desain mangkok, sudut bagian dalam diberi radius agar memudahkan terjadinya aliran material. Radius dalam yang akan digunakan adalah 0 mm, 0,5 mm, 1,0 mm, 1,5 mm, 2,0 mm, 2,5 mm. Untuk radius bagian luar dibuat konstan sebesar 2,5 mm.
3. Menentukan jenis material yang akan digunakan yaitu jenis *Polypropylenes PP 7533*.
4. Menentukan parameter proses yaitu temperatur *mold* 38°C dan temperatur leleh plastik 240°C. Tekanan injeksi yang digunakan sebesar 50 MPa.
5. Mendapatkan lokasi *gate* terbaik dengan menggunakan simulasi pada angka pencapaian 0,97 sampai 1.
6. Melakukan simulasi untuk setiap perubahan radius dalam dari mangkok guna mengetahui kualitas hasil dan terjadinya cacat *sink mark*.
7. Melakukan analisa data dan mengambil kesimpulan.

4. Pembahasan



Dari hasil percobaan dengan menggunakan simulasi Moldflow, *mold* dengan dimensi seperti pada bagian metodologi memiliki tingkat keyakinan untuk pengisian yang tinggi. Kondisi ini dikarenakan adanya pemberian radius pada bagian tepi (pertemuan antara dua bidang). Pemberian radius akan membantu memudahkan plastik leleh mengalir melalui *mold* . Perbandingan ukuran radius yang diberikan dengan tebal dinding juga masih dapat diterima untuk plastik leleh dapat mengalir. Selain itu pemilihan material juga menjadi salah satu faktor pendukung tingginya tingkat keyakinan pengisian. Jenis plastik *polypropylene* memiliki kemudahan material mengalir untuk ketebalan dinding hingga mencapai 0,25 mm dibandingkan dengan jenis termoplastik lain. (sumber: *Injection Molding Handbook*). Untuk lebih jelasnya hasil simulasi dapat dilihat pada gambar 3, gambar ini berlaku untuk semua kondisi variasi ukuran radius dalam.



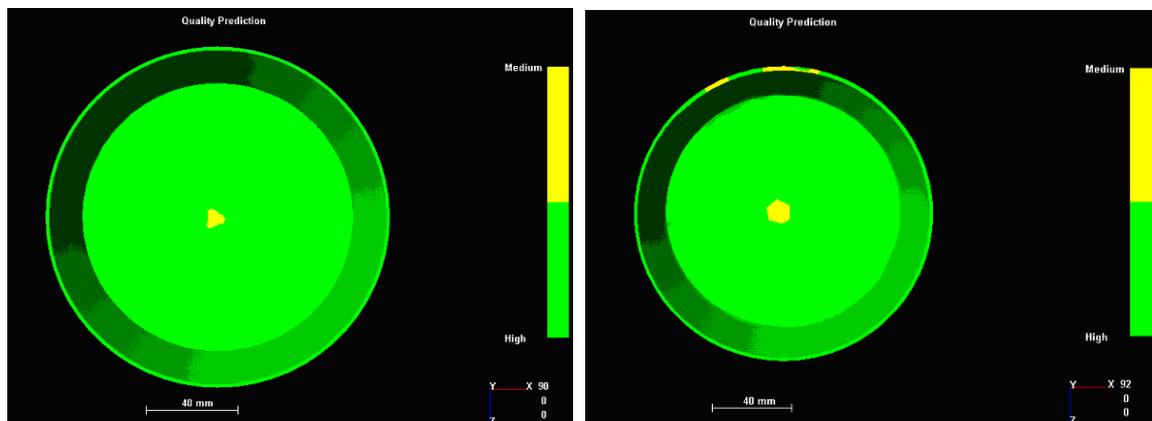
Gambar 3. Tingkat keyakinan Pengisian untuk Semua Variasi Ukuran Radius Dalam

Lain dengan tingkat keyakinan pengisian pada *mold* , perbandingan radius dengan ketebalan (R/t) hingga angka tertentu memungkinkan terjadinya konsentrasi tegangan. Konsentrasi tegangan akan timbul jika perbandingannya kurang dari 0,5. Dari software yang digunakan, analisa terjadinya konsentrasi tegangan tidak dapat dilakukan, sehingga dilakukan perhitungan secara teoritis. Adapun hasil dari perhitungan dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Perbandingan R/T dari Setiap Radius yang Digunakan

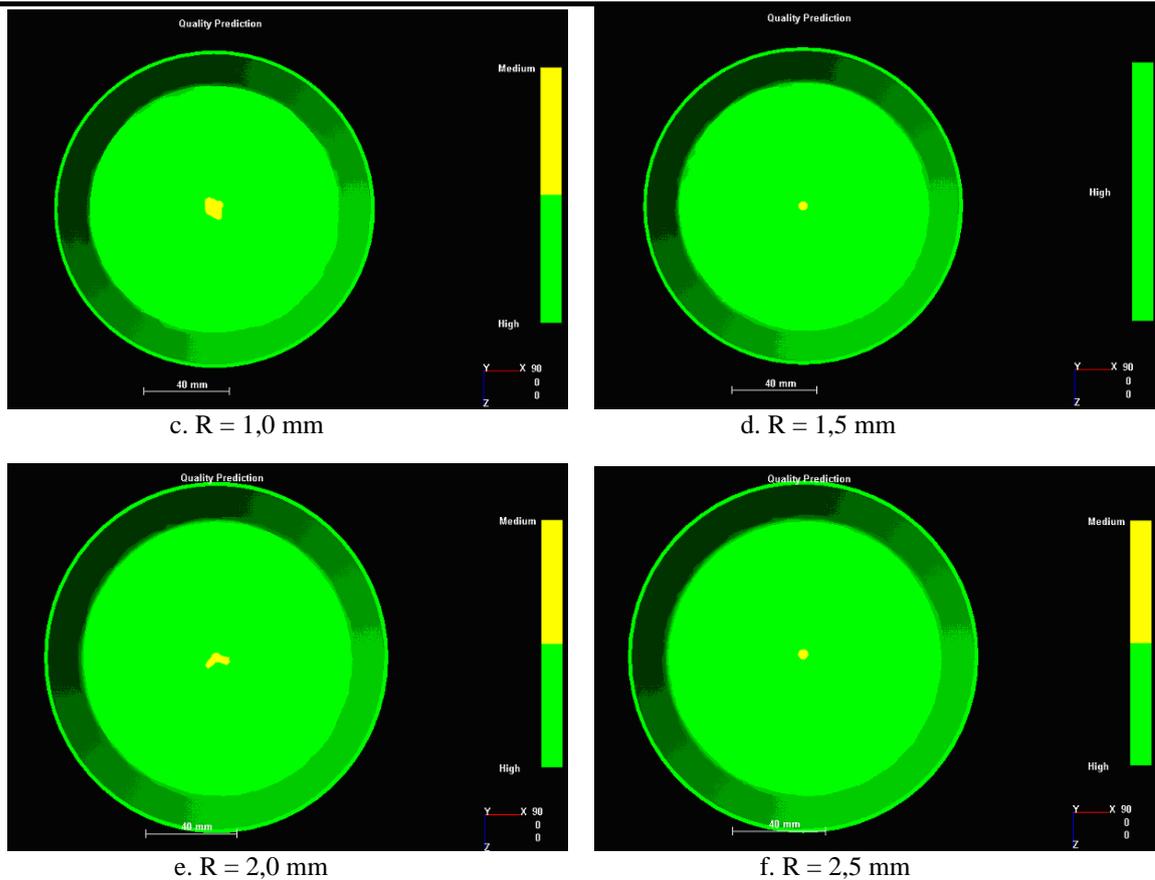
Radius dalam (mm)	0	0,5	1,00	1,50	2,00	2,50
R/t	0	0.33	0.67	1	1.3	1.67

Radius dalam kurang dari 1,0 mm, mengalami konsentrasi tegangan dengan nilai faktor lebih besar dari 1,5, sedangkan R/t diatas 0,5, faktor konsentrasi tegangan lebih kecil dari 1,5. Besarnya faktor ini diberikan dalam bentuk grafik eksponensial, sehingga ketika R/t kurang dari 0,5 akan faktor konsentrasi tegangan akan meningkat tajam hanya dengan perubahan R/t yang kecil. Sebaliknya jika R/t lebih dari 0,5, peningkatannya faktor konsentrasi tegangannya tidak begitu terlihat perubahannya.



a. $R = 0$ mm

b. $R = 0.5$ mm



Gambar 4. Prediksi Kualitas Produk untuk Berbagai Variasi Ukuran Radius Dalam

Untuk hasil yang terkait dengan prediksi kualitas, dapat dilihat pada gambar 4. Pada gambar 4 (a-f) kecuali 4d, terlihat produk mengalami *shear rate* maupun *shear stress* yang melebihi rekomendasi spesifikasi produk. *Shear rate* yang direkomendasikan sebesar 24000 1/s dan *shear stress* sebesar 0,26 MPa. Hal yang membedakan dari ke enam variasi radius dalam hanya luasan terjadinya *shear stress* dan *shear rate*. *Shear rate* yang berlebih dapat mengakibatkan beberapa kemungkinan yaitu penurunan kualitas material, material menjadi lebih getas dan permukaan produk yang kurang baik. Sedangkan jika produk mengalami *shear stress* yang tinggi berarti ada kemungkinan retak pada plastik.

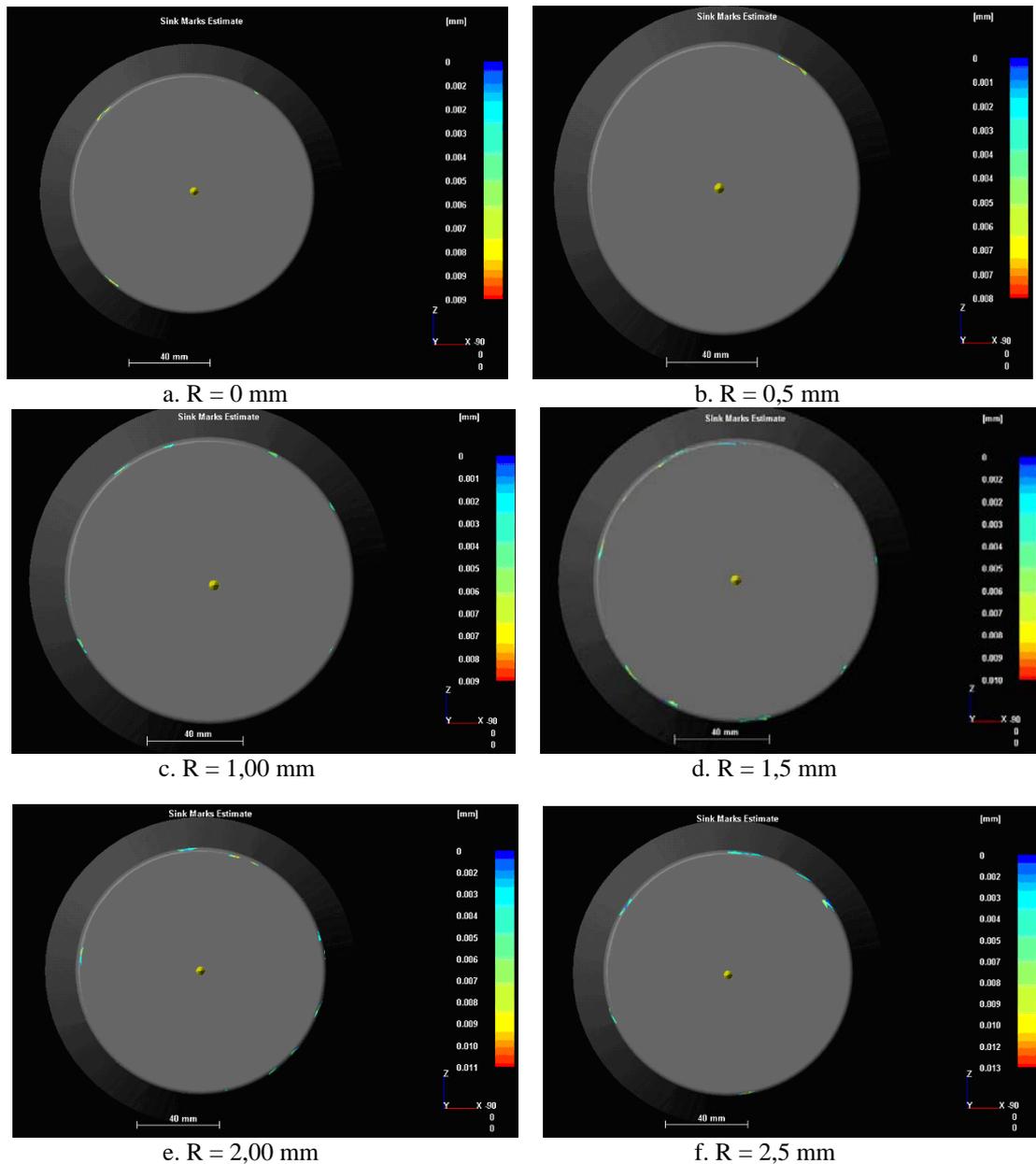
Dari gambar 4d. kualitas produknya tinggi, hal ini disebabkan karena radius yang dimiliki pada model tersebut sesuai persyaratan yaitu $R_2 = R_1 + t$. Dimana R_1 sebesar 1 mm, dengan tebal dinding 1,5 mm maka R_2 yang dibutuhkan sama dengan yang dimodelkan konstan. Kondisi ini akan membuat produk akan semakin mudah mengalir dan cacat akibat *shear stress* dan *shear rate* tidak ada. Namun jika radius dalam ditambah, maka cacat bertambah pada 2,0 mm dan pada radius dalam 2,5 mm cacat menurun akibat ukuran radius dalam dan luar besarnya sama. Dari semua variasi radius dalam, karena ukuran cacat termasuk kecil, maka kualitas produk masih dapat diterima.

Dari gambar 5 a-f, ditunjukkan cacat *sink mark* yang terjadi pada model mangkok. Berdasarkan cacat tersebut, dari hasil simulasi menunjukkan bahwa cacat yang terjadi produk dengan variasi radius dalam adalah cukup kecil atau kurang dari 1%. Prosentase yang sedemikian kecil, tidak akan mempengaruhi kekuatan produk, namun secara visual dapat mengganggu kesempurnaan bentuk.

Dari simulasi, dapat dilihat daerah yang mengalami cacat memiliki permukaan berwarna mulai dari biru hingga merah. Warna biru menunjukkan kedalaman cacat yang semakin kecil, semakin kearah warna merah kedalaman cacat semakin bertambah. Dengan meningkatnya ukuran radius dalam, didapatkan bahwa kedalaman cacat semakin bertambah. Kedalaman yang paling rendah dengan ukuran sebesar 0,008 mm yaitu pada radius dalam 0,5 mm. Pada radius sudut dalam 1 mm dan 1,5 mm, kedalaman cacat mencapai 0,009 mm dan bertambah terus hingga mencapai 0,013 mm pada radius sudut dalam 2,5 mm. Hal ini dikarenakan adanya perbedaan ukuran ketebalan pada bagian perpotongan yang semakin bertambah. Pada bagian tersebut



memiliki ketebalan dinding yang lebih besar sehingga proses pendinginan akan membutuhkan waktu lebih lama. Jika pada dinding yang lebih tipis telah membeku dan plastik leleh tidak dapat lagi mengalir memasuki cetakan, maka pada bagian tebal akan mengalami penyusutan yang besar ketika terjadi proses pendinginan.



Gambar 5. Cacat *Sink mark* Produk untuk Berbagai Variasi Ukuran Radius Dalam

Jika dilihat dari lokasi terjadinya cacat *sink mark*, cacat terjadi pada lokasi perubahan ukuran radius dalam. Cacat ini menyebar pada tepi bawah mangkok dan yang paling banyak pada radius dalam 1,5 mm. Pada radius radius dalam 1,0 mm, 0,5 mm, 2,0 mm dan 2,5 mm penyebaran yang terjadi semakin berkurang walaupun kedalaman cacat bertambah.

4. Kesimpulan

Kemampuan alir dari plastik leleh ke dalam *mold* berbentuk model mangkok tidak dipengaruhi oleh variasi ukuran radius dalam dari 0 mm hingga 2,5 mm dan dengan radius luar konstan 2,5 mm. Prediksi kualitas pada model produk, kualitasnya mengalami peningkatan dengan bertambahnya ukuran radius dalam. Kualitas berdasarkan cacat *sink mark* mengalami peningkatan kedalaman cacat dengan meningkatnya radius dalam.



5. Daftar Pustaka

1. Douglas C. Mehl, Kurt A. Beiter, Kos Ishii, *Design For Injection Molding Using Dimensional Analysis to Assess Fillability*, Columbus
2. Rosato, Dominic V., Rosato, Donald V., Rosato, Marlene G., 2000, *Injection Molding Handbook*, 3rd ed, Kluwer Academic Publisher, USA
3. Strong, A.Brent. 2006, *Plastics: Material and Processing*, 3rd ed, Prentice Hall, New Jersey
4. Sen, Chiradeep., 2007, *Desirability of Uniform Section Thickness in Thin Wall Plastic Parts*, DFM Rules
5. _____, 2004, *Solutions for Mold Designers*, MoldFlow White Paper, MPA
6. http://www.apinow.com/index.asp?page=badmolding_sink
7. http://online.sfsu.edu/jge/html/injection_molding.html

