

Kaji Optimasi Desain Cetakan Injeksi Moulding: Studi kasus pada Unit Pengolahan Limbah Plastik Dinas Kebersihan dan Pertamanan Kota Banda Aceh

Masri Ibrahim, Irwansyah, Eddi Safrizal

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala

Jl. Tgk. Syech Abdurrauf, No. 7, Darussalam, Banda Aceh 23111

E-mail: wansyah_ir@yahoo.com

Abstract

High impact of product damage by injection molds process on polymer waste processing unit was seriously affected to quality and sustainability production. In this study effect of injection mold design was minimized by investigated and redesign injection molding system. The main equipments of injection molding system which is available at Unit Pengolahan Limbah Plastik Dinas Kebersihan dan Peranan Kota Banda Aceh are polymer waste cutting, splitting and cleaning devices and injection molding machine. According to observation conducted previously on current injection molding product and mold found that failure of product caused by mis-design of mould. Products defects occurred are *sink mark*, *weld line* and *air trap*. Mold-Flow software was used to modeling and simulating injection mold process. Based on simulation result and discussion found that defected products have been able minimized. By modifying sprue location and redesign mold, products defect minimized and injection pressure still remain to push polymer to mold inlet at range 0,72-0,48 Mpa

Keyword: Injection molding system, optimization sprue-nozzle location, mold design and molding defects

DAFTAR NOTASI

∇	= vektor operator del, m-1
u	= vektor kecepatan, ms-1
ρ	= densitas, kgm-3
t	= waktu, s
p	= tekanan, kPa
τ	= momentum flux tensor, Nm-2.
	$\tau_{xx} \tau_{yx} \tau_{zx}$ merupakan komponen momentum flux tensor berdasarkan arah perpindahan momentum dan arah kecepatan,
SM	= gaya benda akibat gravitasi, N. dimana S_{Mx} , S_{My} , S_{Mz} , merupakan komponen gaya benda,
SE	= Sumber energi persatuan volum per satuan waktu, W
P_{inlet}	= tekanan fluida inlet, kPa
P_0	= tekanan awal fluida pada lokasi masuk, kPa
T_{inlet}	= temperatur fluida pada gerbang masuk, °C
T_0	= temperatur awal fluida pada lokasi gerbang masuk, °C
$n_{dinding}$	= vektor normal, tegaklurus terhadap permukaan
$T_{dinding}$	= temperatur permukaan luar, °C
$T_{cetakan}$	= temperatur cetakan, °C
P_{depan}	= tekanan fluida pada sisi depan, kPa
K	= konduktivitas termal, W m-1 K-1
Ag	= Panampang dari pembukaan gate, mm2
V	= Volume (mm3)
t	= Waktu pengisian kedalam rongga <i>gate</i> , s
ag	= Percepatan pengisian kedalam <i>gate</i> , mms-2

1. Pendahuluan

Unit Pengolahan Limbah Plastik Dinas Kebersihan dan Peranan Kota Banda Aceh yang bernaung dibawah koperasi Suka Makmur menempati lokasi di desa Panteriek, kota Banda Aceh, Aceh. Fungsi utama unit ini adalah mengolah limbah plastik yang berasal dari kota Banda Aceh dan Aceh Besar menjadi produk olahan plastik menggunakan teknologi cetak tekan ulir (*injection moulding*). Untuk mengolah limbah plastik, unit pengolahan ini dilengkapi dengan satu unit pengolahan limbah plastik terpadu berkapasitas 10 ton limbah plastik perhari. Salah satu produk plastik yang dihasilkan adalah dudukan sikat pembersih sapu plastik. Permasalahan yang dihadapi oleh unit pengolahan sampah plastik tersebut adalah tidak beroperasinya mesin *injeksi molding* di karenakan masih terjadi kegagalan atau cacat pada produk dudukan sikat pembersih sapu plastik. Hal ini diindikasikan sebagai akibat cetakan produk (mould) masih belum baik. Sehingga menghendaki adanya penyempurnaan dan perbaikan cetakan agar dapat menghasilkan produk dudukan sikat pembersih sapu plastik yang baik. Saat ini sampah plastik yang telah digiling oleh mesin penggiling plastik (crusher) tidak dapat di olah menjadi produk baru, sehingga plastik yang telah digiling tersebut dijual ke luar daerah. Diharapkan dengan melakukan penelitian dan pengkajian mengenai optimasi cetakan injeksi *moulding* yang digunakan untuk memproduksi dudukan sikat pembersih sapu plastik dapat membantu proses produksi dengan hasil produk yang lebih baik.

2. Proses Manufaktur Plastik

Teknologi proses plastik melibatkan operasi produksi yang sama seperti pada proses produksi logam. Plastik dapat dicetak, dituang, dan dibentuk serta diproses permesinan (*machining*) dan disambung (*joining*). Secara umum pengertian cetak plastik (*plastic mold*) adalah proses pembentukan suatu benda atau produk dari material plastik dengan bentuk dan ukuran tertentu yang mendapat perlakuan panas dan pemberian tekanan dengan menggunakan alat bantu berupa cetakan atau mould [1]. Berdasarkan klasifikasi cetakan dan material plastik yang digunakan, teknologi proses plastik terbagi atas beberapa kelompok, diantaranya *blow moulding*, *compression molding*, *thermo-forming*, *extrusion moulding*, *transfer moulding* dan *injection moulding*. Diantara teknologi tersebut yang baik dalam menghasilkan produk dengan variasi bentuk kompleks adalah *injection molding*. Kunci sukses dalam proses *injection molding* adalah kemampuan mesin meleburkan dan menginjeksikan plastik; jenis plastik yang sesuai dengan *part* yang dibuat; cetakan yang baik; operasi yang baik untuk menghasilkan *cycle time* yang efisien.

3. Desain Cetakan Injection Molding

Cetakan (*mold*) pada proses injeksi molding merupakan komponen vital yang mempengaruhi hasil akhir produk. Pada dasarnya cetakan adalah rongga dari bentuk benda yang akan diproduksi. Sehingga, bila desain dari cetakan kurang optimal mengakibatkan produk cacat atau gagal. Cacat pada produk akhir yang ditemukan pada proses injeksi molding adalah *Sink Mark*, *Weld Line*, *Air trap*. Dalam mendesain cetakan, hal yang harus diperhatikan adalah (1) keseragaman dinding, akan meminimalisasi *sinking*, *warping*, *residual stress* dan meningkatkan *mold fill* serta *cycle time*, (2) menggunakan radius yang sama pada bagian ujung, (3) menggunakan ketebalan seminimal mungkin sesuai dengan proses, material atau desain produk yang diperlukan, (4) memberikan *taper*, untuk mempermudah pengeluaran hasil produk, (5) menggunakan *ribs* atau *gussets* untuk meningkatkan *stiffness* dalam *bending* [3].

4. Aliran Fluida dalam Cetakan

Permasalahan pengisian plastik cair kedalam cetakan dapat diatasi dengan menerapkan persamaan *governing* untuk massa, momentum dan transportasi energi. Persamaan *governing* untuk fluida *incompressible*, adalah sebagai berikut:

Persamaan konservasi massa (kontinuitas) [4]

$$\nabla \cdot \mathbf{u} = 0 \quad \dots\dots\dots(1)$$

Persamaan konservasi momentum pada tiga dimensi, dinyatakan sebagai berikut,

$$\rho \frac{Du}{Dt} = \frac{\partial(-p + \tau_{xx})}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial z} + S_{Mx} \quad \text{untuk momentum} - x \quad \dots\dots\dots(2)$$

$$\rho \frac{Dv}{Dt} = \frac{\partial(-p + \tau_{yy})}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{zy}}{\partial z} + S_{My} \quad \text{untuk momentum} - y \quad \dots\dots\dots(3)$$

$$\rho \frac{Dw}{Dt} = \frac{\partial(-p + \tau_{zz})}{\partial z} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial y} + S_{Mz} \quad \text{untuk momentum} - z \quad \dots\dots\dots(4)$$

dan persamaan konservasi energi,

$$\rho \frac{DE}{Dt} = \left[\frac{\partial(u\tau_{xx})}{\partial x} + \frac{\partial(u\tau_{yx})}{\partial y} + \frac{\partial(u\tau_{zx})}{\partial z} + \frac{\partial(v\tau_{xy})}{\partial x} + \frac{\partial(v\tau_{yy})}{\partial y} + \frac{\partial(v\tau_{zy})}{\partial z} + \frac{\partial(w\tau_{xz})}{\partial x} + \frac{\partial(w\tau_{yz})}{\partial y} + \frac{\partial(w\tau_{zz})}{\partial z} \right] + \text{div}(k \text{grad} T) + S_E \quad \dots\dots\dots(5)$$

Sedangkan kondisi batas pada posisi gate injeksi adalah, Pinlet = P0

Tinlet = T0

pada dinding cetakan,

$$\frac{\partial P}{\partial n_{\text{dinding}}} = 0 \quad \dots\dots\dots(6)$$

Tdinding = Tcetakan

dan kondisi batas pada daerah aliran bagian depan,

Pdepan = 0

Pemilihan saluran gate ditentukan oleh pertimbangan bentuk produk, persyaratan khusus produk, sifat material dan jumlah rongga. Penempatan saluran merupakan salah satu variabel penting dan ikut mempengaruhi hasil kualitas produk yang dicetak [5].

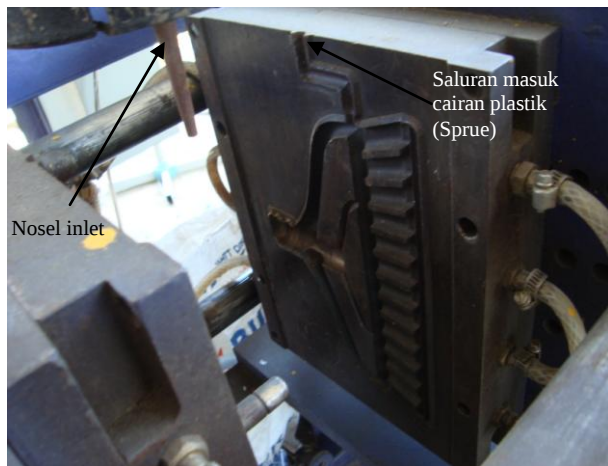
5. Metodologi

Mesin Injeksi molding pada unit pengolahan limbah plastik Dinas Kebersihan dan Pertamanan Kota Banda Aceh, digerakkan oleh motor screw dengan putaran 1450 rpm dan daya 5,5 Hp. Mesin ini dilengkapi juga dengan kompresor berputaran 1990 rpm dan daya 7,5 Hp.



Gambar 1. Mesin injeksi molding pada pabrik pengolahan limbah plastik Dinas Kebersihan Pertamanan Kota Banda Aceh.

Pengamatan mengenai geometri cetakan pada pabrik pengolahan plastik, terlihat pada gambar 2.



Gambar 2. Cetakan injeksi molding pada pabrik pengolahan limbah plastik Dinas Kebersihan Pertamanan Kota Banda Aceh.

Pada gambar 2, terlihat bahwa posisi cetakan dibuat vertikal sehingga arah pergerakan injeksi adalah dimulai dari sisi bagian atas cetakan dimana *sprue* berada, yang selanjutnya bergerak menuju ke bawah atau ke arah sisi samping dudukan sikat pembersih sapu plastik. Pengaruh gaya gravitasi diharapkan dapat membantu pergerakan aliran injeksi yang ada. Namun demikian, sejumlah kegagalan produksi ditemukan, sebagaimana terlihat pada gambar 3.



Gambar 3. Kegagalan produk hasil cetakan injeksi molding pada pabrik pengolahan limbah plastik.

Hal ini mengindikasikan bahwa cacat produk terjadi akibat tidak paralelnya cetakan dan tidak sempurnanya parameter awal cetakan. Untuk memperkuat hipotesis tersebut, dilakukan simulasi proses injeksi *molding* dengan melakukan perubahan desain cetakan terutama penempatan posisi *sprue*. Parameter setup yang ditentukan sebagai input pada perangkat lunak dalam hal ini menggunakan *MoldFlow* 6, adalah material PP,

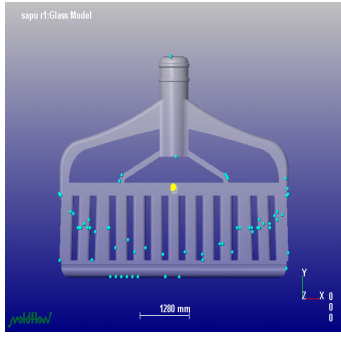
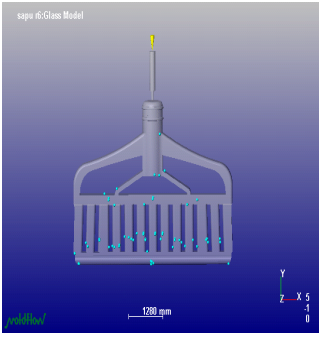
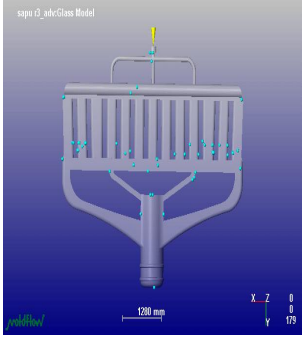
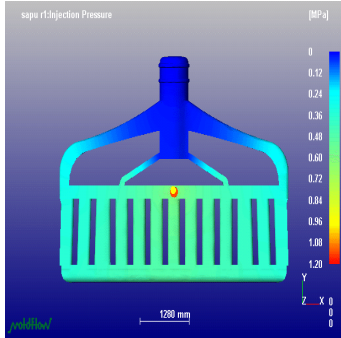
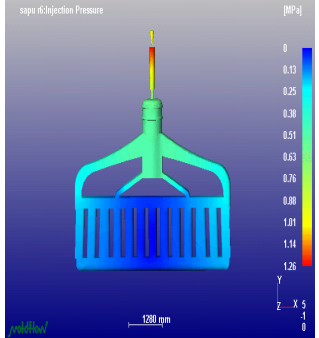
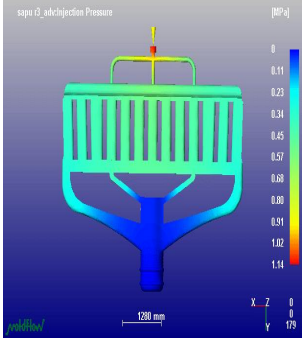
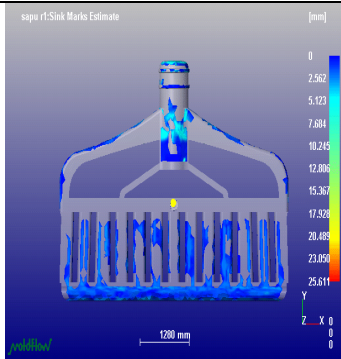
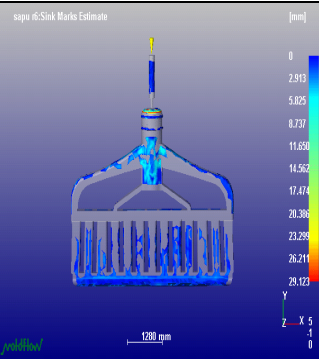
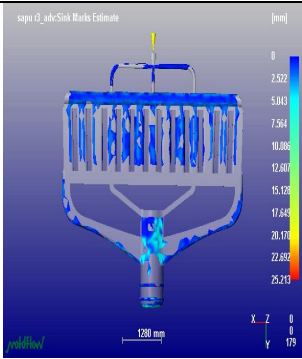
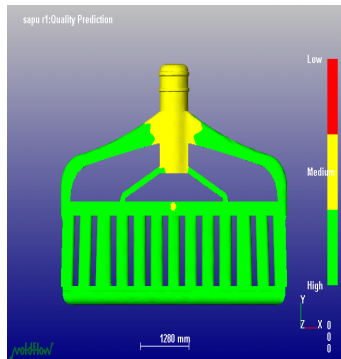
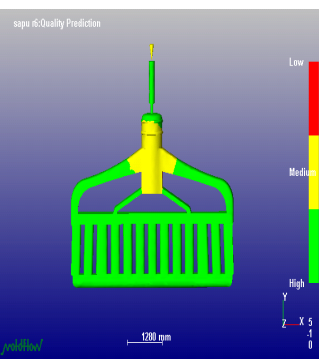
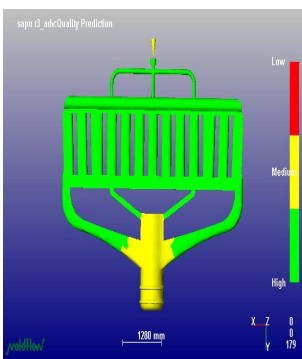
temperatur cetakan 40 °C, temperature *melting* 230 °C, tekanan injeksi maksimum 100 Mpa.

6. Hasil dan Pembahasan

Hasil simulasi awal produk dudukan sikat pembersih sapu plastik dengan dengan model sesuai desain cetakan, diperlihatkan pada gambar 4. Selanjutnya hasil simulasi tersebut dibandingkan dengan hasil simulasi dengan memodifikasi posisi penempatan saluran masuk (*sprue gate*). Bentuk cacat dan kegagalan produk yang terjadi diamati, untuk mengetahui posisi penempatan saluran yang baik dan tepat. Sehingga resiko kegagalan produk dapat diminimalisir.

Hasil Simulasi	Keterangan
	Hasil simulasi udara yang terperangkap (<i>air trap</i>), dominan terjadi pada di hampir setiap ruang rongga sempit, yang dapat menghasilkan cacat <i>void</i> pada produk.
	Hasil simulasi menunjukkan cacat <i>sink mark</i> terbesar yaitu 7,7 mm terjadi pada pangkal dudukan sikat sapu yang juga, sedangkan pada bagian sekat 2,6 mm.
	Hasil simulasi kualitas produk menunjukkan bahwa adanya cacat kualitas pada pangkal dudukan sikat sapu. Kemungkinan terjadi gagal pada bagian berwarna merah.
	Hasil simulasi penurunan tekanan hingga 0 Mpa, dalam waktu 87,49 detik. Laju penurunan tekanan rata-rata sebesar 1,56 Mpa.

Gambar 4. Kegagalan produk hasil cetakan injeksi molding pada pabrik pengolahan limbah plastik.

No	Rancangan optimasi I	Rancangan optimasi II	Rancangan optimasi III	Simulasi
1				Air Traps
2				Injection Pressure
3				Sink Marks
4				Quality Prediction

Perbaikan desain cetakan dilakukan dengan bervariasi posisi penempatan *sprue*. Hal ini dilakukan untuk meminimalisir perubahan desain cetakan menyeluruh. Dari hasil simulasi optimasi cetakan, diperoleh untuk kondisi rancangan optimasi II sebaran *air trap* sangat dominan dibanding dengan rancangan optimasi lainnya. Hal ini diindikasikan sebagai akibat cepatnya laju pendingin yang terjadi pada plastik cair karena jarak alir yang cukup jauh.

Disamping itu penurunan tekanan terjadi pada lokasi yang jauh dari posisi aliran masuk awal. Rata-rata penurunan tekanan yang terjadi dimulai pada 70 Mpa menuju ke 40 Mpa. Sedangkan estimasi *sink mark* sebesar 7,6 mm terjadi pada rancangan optimasi III.

Berdasarkan hasil analisa pada setiap rancangan optimasi yang diajukan, maka rancangan optimasi I ditetapkan sebagai acuan desain modifikasi cetakan injeksi molding unit pengolahan limbah plastik Dinas Kebersihan dan Pertamanan Kota Banda Aceh.

7. Kesimpulan

Hasil simulasi desain cetakan injeksi molding dengan melakukan perubahan penempatan posisi *sprue* ternyata dapat meminimalisir cacat-cacat hasil cetak. Hal ini dapat diamati dari perbandingan terhadap cetakan awal. Ditemukan bahwa desain cetakan injeksi molding hasil optimasi rancangan I memperlihatkan prosentase sebaran cacat yang sedikit. Untuk cacat *air traps* yang terjadi jauh lebih berkurang, cacat *sink marks* yang terjadi berkurang 2 mm, kualitas hasil cetak terlihat lebih seragam pada seluruh permukaan, dan tekanan injeksi pada produk awal masih cukup besar pada bagian masuknya 0,72-0,48 Mpa. Sehingga hasil proses berdampak keluarnya cairan plastik melalui celah cetakan. Sedangkan pada produk optimasi penurunan tekanan injeksinya disesuaikan sehingga mengurangi tekanan berlebih dan menghindari cacat produk.

Daftar Pustaka

1. De Garmo, J.T. Black, Ronald A.K. Material and Process in Manufacturing, 8th Edition, Prentice Hall, USA, 1997.
2. Faisal S.M, Irwansyah. Masri Ibrahim. “Analisa Produk Hasil Simulasi Proses Injection Molding Menggunakan Perangkat Lunak Mold Flow”, Univ. Syiah Kuala, 2009.
3. Hariyanto, G, Anggono W, “Improving Quality of injection mold Using Moldflow Software Simulation Case Study: New Design Plastic Cup”, Yogyakarta, 2006.
4. Jiajun Shen , “Design and Molding Simulation of a Plastic Part”, Rensselaer Polytechnic Institute, Hartford, Connecticut, USA, Apr, 2010.
5. Li Ji-quan. et. all., “Single Gate Optimization for Plastic Injection Mold”, Shanghai Jiao Tong University, Journal, Shanghai, 2006.
6. S.R. Pattnaik, D.B. Karunakar, P.K. Jha, “Application of Computer Simulation for Finding Optimum Gate Location in Plastic Injection Moulding Process”. IJAERS/Vol. I/Issue II/January-March, 2012.