

Advanced Materials and Technology Processing

Analisis Kualitas Produk dengan Pengaturan Parameter Temperatur Injeksi Material Plastik *Polypropylene* (PP) Pada Proses *Injection Molding*

Indra Mawardi^{1*}, Hasrin² dan Hanif³

*Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Lhokseumawe, Jl. Banda Aceh-Medan km 280 Buketrata, Lhokseumawe, Aceh, Indonesia

Corresponding Author: ¹ddx_72@yahoo.com, ²hasrinlubis@yahoo.com, ³hanif_polteknl@yahoo.co.id

Abstrak – Proses *injection molding* merupakan salah satu proses pembentukan plastik yang banyak dilakukan. Permasalahan yang sering dialami pada proses ini adalah terjadinya kualitas produk yang jelek akibat terjadinya cacat pada produk. Hal ini dapat memperlambat proses produksi dan meningkatkan biaya produksi. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh parameter temperatur injeksi terhadap kualitas produk penyangga gantungan lemari pakaian. Produk terbuat dari jenis material termoplastik yaitu *polypropylene* (PP). Proses injeksi menggunakan mesin injeksi manual sistem toggle dengan variasi temperatur injeksi 160, 165, dan 170°C. Hasil penelitian menunjukkan pada temperatur injeksi 160 dan 165 °C, kualitas produk masih belum terbentuk sempurna akibat masih banyak cacat yang terjadi. Produk terjadi sempurna pada temperatur injeksi 170 °C. Temperatur injeksi di bawah temperatur leleh akan mengakibatkan cacat lebih dominan terjadi. Cacat-cacat yang terjadi pada proses injeksi produk plastik penyangga gantungan hanger untuk lemari adalah *short shot*, *jetting*, *flashing*, *sink mark* dan *shrinkage*.
Copyright © 2015 Department of industrial engineering. All rights reserved

Kata kunci : *Proses injection molding, temperatur injeksi, kualitas produk, penyangga gantungan hanger.*

1 Pendahuluan

Benda plastik hampir kita temukan di semua tempat, mulai dari bungkus makanan, peralatan elektronik, mobil, motor, peralatan rumah tangga dan sebagainya. Bahan plastik secara bertahap mulai menggantikan gelas, kayu dan logam di bidang industri.

Plastik adalah bahan sintesis yang dapat diubah bentuknya serta dapat juga dipertahankan dan diperkeras dengan cara menambahkan material lain secara komposit ke dalamnya. Walaupun secara umum sifat plastik adalah kurang kuat dan kaku dibanding logam pada umumnya, akan tetapi rasio kekuatan dan berat (*strength to weight ratio*) serta kekakuan terhadap berat (*stiffness to weight ratio*) lebih baik dibanding logam pada umumnya.

Plastik secara umum digolongkan menjadi 3 (tiga) macam, yaitu: *thermoplastics*, *thermosetting* dan

elastomer. Termoplastik (*thermoplastics*) merupakan jenis plastik yang akan melunak jika dipanaskan dan mengeras apabila didinginkan. Contoh bahan termoplastik antara lain: poliethilin, polipropilin, dan PVC (*polivinyll chlorida*). Plastik *thermosetting* akan mengeras bila dipanaskan dan tidak dapat didaur ulang (*recycle*). Contoh plastik *thermosetting* adalah: bakelit, silikon, *epoxy* dan lain-lain. Jenis ketiga dari bahan plastik adalah *elastomer*. Elastomer berasal dari kata *elastic dan mer*. Jenis plastik ini mempunyai sifat seperti karet.

Peningkatan penggunaan produk-produk dari plastik oleh industri karena memiliki beberapa keunggulan. Plastik memiliki sifat mudah dibentuk, ringan, tidak korosif, dan dapat didaur ulang. Plastik mudah dibentuk karena memiliki sifat ulet, lumer dan temperatur leleh yang rendah.

Di dalam dunia industri semakin dituntut adanya peningkatan efisiensi dan produktifitas dalam menghasilkan suatu produk. Salah satu hal yang menjadi tolok ukur dalam menilai produktifitas dan efisiensi suatu industri adalah dengan melihat tingkat cacat produk yang terjadi dalam menghasilkan suatu produk. Dengan tingkat cacat produk yang tinggi suatu industri bisa dikategorikan sebagai industri dengan produktifitas dan efisiensi yang buruk. Hal inilah yang menjadi acuan terhadap dunia industri untuk semakin memperbaiki sistem kerja untuk menurunkan angka cacat produk sehingga diperoleh tingkat produktifitas dan efisiensi yang tinggi.

Secara umum teknologi pemrosesan plastik banyak melibatkan operasi yang sama seperti proses produksi logam. Plastik dapat dicetak, dituang, dan dibentuk serta diproses pemesinan (*machining*) dan disambung (*joining*). Produk plastik dapat diproduksi melalui proses-proses tertentu sesuai dengan kebutuhannya. Proses-proses pembentukan plastik dapat diklasifikasi secara garis besar antara lain: *injection molding* (injeksi), *extrusion* (aliran), *blow moulding* (cetakan tiup) *calendering* (pengerolan), *coating* (pelapisan), *compression* (penekanan), *powder*, *thermoforming* dan lain-lain.

Proses *injection molding* merupakan proses yang paling banyak digunakan dalam memproduksi produk plastik. Proses injeksi dilakukan dengan memasukan bahan baku berupa butiran-butiran plastik melalui hopper dan plastik akan di panaskan dalam barrel. Setelah plastik meleleh dengan temperatur tertentu, maka plastik tersebut didorong keluar dari dalam tabung melalui *nozzle* untuk diinjeksikan kedalam cetakan (*mold*). Selanjutnya benda cetak dibiarkan membeku dan mendingin beberapa saat di dalam cetakan sebelum cetakan dilepas dan dibuka untuk mengeluarkan benda cetak. dan selanjutnya diinjeksikan ke dalam cetakan atau *mold*.

Secara umum, kelebihan proses *injection molding* dibanding proses produksi lainnya antara lain, tidak ada batasan kerumitan desain produk, sehingga dapat menghasilkan variasi produk yang luas, ukuran produk yang dapat dicetak mulai dari produk kecil hingga ukuran besar, dan proses ini juga dapat menghasilkan produk dengan toleransi kepresisian yang sangat baik.

Produk yang dihasilkan dengan proses injeksi plastik tidak terlepas dari masalah cacat produk, seperti; bentuk tidak sempurna, penyusutan, dimensi produk diluar toleransi yang ditentukan, keretakan, dan lain sebagainya. Produk dengan dimensi toleransi dan bentuk yang sempurna tidak mudah didapat, karena terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi. Faktor-faktor tersebut antara lain, yaitu: bentuk cetakan, temperatur proses, besarnya tekanan dan waktu pendinginan.

Dalam proses pencetakan plastik sangat perlu diperhatikan beberapa parameter yaitu temperatur,

tekanan, kecepatan injeksi dan waktu pendinginan. Jika salah satu parameter diabaikan, maka hasil injeksi plastik akan memberikan hasil yang kurang baik seperti; bentuk tidak sempurna, penyusutan, dimensi produk diluar toleransi yang ditentukan, keretakan, dan lain sebagainya pada benda cetakan. Hal ini berakibat banyak material yang terbuang percuma sehingga biaya produksi menjadi tidak efisien. Terjadinya cacat pada produk plastik dapat diakibatkan oleh beberapa parameter, akan tetapi parameter yang dominan adalah akibat temperatur injeksi. Temperatur merupakan variabel kritis yang dibutuhkan agar plastik leleh dan dapat mengisi cetakan.

Pada proses *injection molding* banyak faktor yang mempengaruhi hasil produk, seperti yaitu: bentuk cetakan, temperatur proses, besarnya tekanan dan waktu pendinginan. Untuk membatasi ruang lingkup, maka pada artikel ini hanya dibahas salah satu faktor penyebab utama cacat produk yaitu temperatur injeksi. Produk yang dihasilkan pada penelitian adalah penyangga gantungan hanger untuk lemari pakaian. Material produk terbuat dari thermoplastik jenis *polypropylen*. Proses injeksi dilakukan menggunakan mesin injeksi manual dengan sistem toggle.

Penelitian dilakukan dengan bervariasi temperatur injeksi berdasarkan temperatur leleh *polypropylen* (PP). Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh temperatur injeksi terhadap cacat produk yang terjadi pada proses injeksi plastik menggunakan mesin injeksi manual sistem toggle.

Teknologi *injection molding* 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. Beberapa penelitian telah dilakukan dan pada umumnya membahas tentang cacat penyusutan. Studi eksperimental pembuatan produk *pneumatics holder* dengan memvariasikan beberapa parameter proses pada mesin *injection moulding* yang ada. Parameter proses meliputi: temperatur leleh (*melting point*), tekanan udara (*air pressure*), waktu penahanan (*holding time*), dan waktu penekanan (*pressure duration*). Hasil studi menunjukkan bahwa pemilihan parameter yang tepat sangat berpengaruh terhadap hasil benda cetak yang diinginkan, sehingga perlu dicari parameter terbaik untuk setiap benda cetak berdasarkan jenis bahan baku plastik yang ada. Selain itu, parameter temperatur leleh sangat signifikan pengaruhnya terhadap cacat *shrinkage* [1].

Beberapa faktor yang menyebabkan terjadinya cacat produk adalah penempatan titik injeksi yang salah, adanya berbagai variasi ketebalan produk dan penyusutan yang tidak teratur pada saat pendinginan [2]. Warpage adalah masalah yang umum terkait dengan cetakan proses injeksi dan sering menjadi sasaran utama oleh mould desainer untuk menghilangkan. Keberadaan warpage dianggap cacat

dan akan diminimalisir. Efek dari perbedaan temperatur inti rongga dan temperatur injeksi dan mengurangi warpage menggunakan metode taguchi. Perbedaan temperatur pada rongga inti dan temperatur injeksi dalam simulasi dan percobaan menunjukkan bahwa perbedaan temperatur cetakan mould membantu untuk meminimalkan nilai warpage [3].

Cacat produk model casing handphone menggunakan simulasi dengan melihat pengaruh tekanan terhadap kualitas produk. Penelitian diawali dengan penentuan parameter proses yaitu temperatur mold, temperatur leleh plastik dan tekanan injeksi. Temperatur leleh plastik divariasikan 2 level sedangkan tekanan injeksi 5 level. Kemudian dilakukan simulasi untuk mendapatkan *confidence of filling* dan *quality prediction*. Dari hasil penelitian, didapatkan bahwa tekanan injeksi maksimum hanya berpengaruh pada temperature leleh plastik yang rendah. Kurangnya tekanan injeksi, dapat mengakibatkan terjadinya short shot dan crack. Selain dengan menambahkan tekanan injeksi, cacat dapat dikurangi dengan menaikkan temperatur leleh plastik. Pada temperatur leleh yang tinggi, kenaikan tekanan injeksi menjadi tidak berarti. Jenis dan luas daerah cacatnya tidak berkurang ketika tekanan injeksi dinaikkan [4].

Penelitian prediksi shrinkage pada produk plastik yang menggunakan material polypropylene dengan cara perhitungan standar telah dilakukan, dimana pembuatan modeling dalam bentuk 3D (tiga dimensi) injection molding dengan menggunakan CATIA, kemudian dilakukan analisis dengan software MoldFlow. Hasil penelitian menunjukkan perbedaan dimensi pada benda yang sesungguhnya dengan dimensi benda hasil simulasi, maksimum 0,85 mm dan nilai minimum sebesar 0,02 [5].

Dalam penelitian analisis parameter operasi pada proses plastik injection molding untuk pengendalian cacat produk, analisis terhadap cacat produk dilakukan dengan mengembangkan model simulasi empirik yang menggambarkan hubungan antara parameter proses dengan cacat produk yang terjadi, dengan menggunakan Autodesk Moldflow Adviser Software terhadap produk dengan variasi nilai tekanan injeksi, temperatur injeksi serta waktu pendinginan. Dari penelitian didapatkan bahwa tekanan injeksi, temperatur injeksi dan waktu pendinginan berpengaruh terhadap terjadinya cacat produk. Untuk produk stationery TB 650, didapatkan setting yang optimum adalah sebagai berikut; tekanan injeksi (Plnj) = 8.578 MPa, temperatur injeksi (TMelt) = 240 °C, serta waktu pendinginan (tCol) = 20 s [6].

Dalam salah satu penelitian telah berhasil dan memfabrikasi mesin pembentukan plastik secara ekstrusi. Mesin ekstrusi yang dibangun adalah tipe single screw. Selain melakukan rancang bangun, pada penelitian tersebut dianalisis perubahan bentuk produk dengan memvariasikan temperatur proses terhadap temperatur *melting* dari jenis plastik polypropylene. Dari

hasil penelitian tersebut selain telah terbangun sebuah mesin ekstrusi *single screw*, analisis temperatur proses yang sesuai untuk mesin dengan *single screw* pada perbandingan L/D = 14 pada kisaran 170^o s.d 180^o C [7].

Hasil penelitian lainnya melakukan pengembangan mesin injeksi skala kecil. Mesin yang didesain mempunyai konstruksi kecil. Mesin yang dirancang dan dibangun bekerja sebagai sebuah prototipe untuk memproduksi komponen plastik yang sangat kecil. Konsep, desain operasi, dan perakitan dari komponen bagian didasarkan pada perhitungan diameter plunger injeksi, jumlah gigi yang dibutuhkan untuk plunger rak, kecepatan sudut, jumlah revolusi, dan torsi yang diperoleh dari motor listrik dipilih dan pengaruh pada pegangan mesin. Mesin diuji menggunakan plastik jenis polietilen dan hasil yang diperoleh dari tes yang memuaskan [8].

Metode untuk optimalisasi dari proses injeksi molding direview melalui sejumlah pendekatan matematis. Sejumlah pendekatan yang direview antara lain: Taguchi technique, Artificial Neural Networks (ANN), Fuzzy logic, Case Based Reasoning (CBR), Genetic Algorithms (GA), Finite Element Method (FEM), Non Linear Modeling, Response Surface Methodology, Linear Regression Analysis, Grey Rational Analysis and Principle Component Analysis. Kesimpulan dari review beberapa pendekatan di atas adalah ANN, GA, and CBR adalah pendekatan baru dalam penentuan dari proses parameter-parameter molding untuk injeksi [9].

Dalam penelitian dilakukan percobaan pembuatan produk *pneumatics holder* dengan memvariasikan beberapa parameter proses pada mesin *injection moulding* yang ada. Parameter proses meliputi: temperatur leleh (*melting point*), tekanan udara (*airpressure*), waktu penahanan (*holding time*), dan waktu penekanan (*pressure duration*). Hasil studi menunjukkan bahwa pemilihan parameter yang tepat sangat berpengaruh terhadap hasil benda cetak yang diinginkan [1].

Simulasi numerik injection molding telah dilakukan untuk pembuatan spesimen polypropylene acetabular cup pada pengujian sambungan hip. Simulasi dilakukan dengan Moldflow Plastic Insight 5.0 R1, bahan yang digunakan adalah polypropylene PP 1032 dan tekanan injeksi adalah 5, 6, 7, 8, 9, 10, 40, 100 dan 150 MPa. Dari hasil simulasi numerik aliran PP 1032 cair merupakan aliran laminar dan bukan aliran turbulen. Tekanan 10 MPa atau lebih diperlukan untuk memproduksi acetabular cup dengan cetakan terbuat dari baja stavax supreme [10].

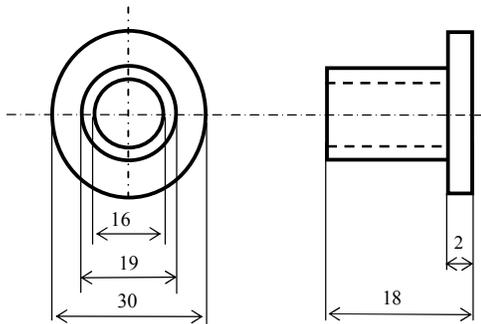
Warpage adalah masalah yang umum terkait dengan cetakan proses injeksi dan sering menjadi sasaran utama oleh mould desainer untuk menghilangkan. Keberadaan warpage dianggap cacat dan akan diminimalisir. Hasil penelitian dari efek perbedaan temperatur inti rongga dan temperatur injeksi dan mengurangi warpage menggunakan metode taguchi. Perbedaan temperatur

pada rongga inti dan temperatur injeksi dalam simulasi dan percobaan menunjukkan bahwa perbedaan temperatur cetakan mould membantu untuk meminimalkan nilai warpage [11].

Penelitian tentang perilaku temperatur melting polimer di dalam single screw dilakukan dengan menggunakan high density polyethylene [12]. Hasil risetnya berupa teknik baru pengukuran proses polimerisasi di daerah plastisiasi dan temperatur melting di dalam ekstruders. Selain itu terdapat pengaruh pendinginan terhadap timbulnya daerah tegangan akibat distribusi temperatur pada layer polimer. Kasus yang diteliti adalah proses ekstrusi coating kabel. Hasil penelitian menunjukkan laju pendinginan berpengaruh signifikan terhadap terbentuknya radiasi stress pada layer polimer selama pendinginan.

2 Metode Penelitian

Pada penelitian ini obyek yang menjadi penelitian adalah produk penyangga gantungan hanger untuk lemari pakaian. Produk penyangga gantungan hanger terbuat dari material thermoplastik yaitu *polypropylene* (PP). Dimensi produk penyangga gantungan hanger untuk lemari pakaian ditunjukkan pada Gambar 1.



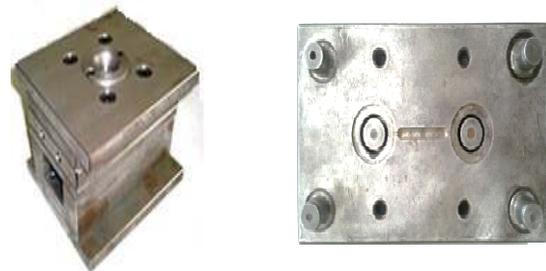
Gambar 1. Dimensi produk penyangga gantungan hanger untuk lemari pakaian

Pembuatan produk penyangga dilakukan pada laboratorium uji bahan jurusan teknik mesin Politeknik Negeri Lhokseumawe. Proses injeksi dilakukan menggunakan mesin injeksi manual dengan sistem toggle yang dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Mesin injeksi manual dengan sistem toggle

Konstruksi cetakan produk penyangga gantungan hanger untuk lemari pakaian didesain terdiri dari beberapa komponen. Cetakan mempunyai dua kaviti atau dua produk dihasilkan dalam sekali injeksi yang dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Konstruksi cetakan dan kaviti penyangga gantungan hanger untuk lemari pakaian

Parameter injeksi seperti tekanan, temperatur cetakan dan kecepatan injeksi dibuat konstan, sedangkan temperatur injeksi divariasikan pada temperatur 160, 165, dan 170°C. Tahap akhir dari penelitian adalah pemeriksaan kualitas produk. Pemeriksaan kualitas produk dengan melihat cacat-cacat yang terjadi pada produk penyangga gantungan hanger pada lemari pakaian yang dilakukan secara visual.

3 Hasil dan Pembahasan

Parameter temperatur injeksi merupakan parameter kritis yang dibutuhkan agar plastik meleleh dapat mengisi rongga cetakan. Pada pengujian ini, penentuan variasi temperatur injeksi didasari pada temperatur leleh (*melting temperature*). Temperatur leleh adalah temperatur dimana material mulai mengalami perubahan dari wujud padat menjadi lelehan.

Pada dasarnya semakin tinggi temperatur leleh maka temperatur proses semakin tinggi. Pada aplikasi industri plastik, temperatur leleh ini digunakan sebagai identitas

material plastik. Temperatur leleh untuk material plastik PP berkisar 155-165 °C. Kualitas produk plastik penyangga gantungan hanger untuk lemari pakaian dengan variasi temperatur injeksi 160, 165, dan 170 °C diperlihatkan pada gambar 4 s.d 6.

Pada temperatur injeksi 160 °C kualitas produk yang dihasilkan tidak sempurna atau cetakan tidak terisi penuh yang dapat dilihat pada Gambar 4. Produk yang tidak terbentuk secara sempurna dapat terjadi dikarenakan temperatur injeksi yang kurang. Temperatur yang kurang panas dapat menyebabkan *misrun* (tidak mengalir cairan dalam memenuhi cetakan) sehingga dapat mengakibatkan terjadinya cacat *short shot* pada produk.



Gambar 4. Kualitas produk pada temperatur injeksi 160 °C

Selain cacat *short shot*, pada benda kerja juga terjadi bentuk bergaris-garis pada permukaan produk yang dikenal dengan cacat *jetting*. Material plastik yang kurang leleh akan cepat mengental akibat bersentuhan dengan cetakan. Plastik yang mengental tersebut terus diinjeksikan ke dalam cetakan, sehingga meninggalkan bekas aliran pada permukaan produk. Kondisi proses ini yang menyebabkan terjadinya cacat *jetting*.

Selain terdapat cacat *short shot* dan *jetting*, pada produk juga terlihat cacat *sink mark* yang ditandai dengan adanya cekungan pada permukaan benda produk. Parameter temperatur leleh juga sangat berpengaruh terhadap terjadinya cacat penyusutan (*shrinkage*) pada produk. Produk penyangga gantungan hanger yang diinjeksi pada temperatur 160 °C, mengalami cacat penyusutan sebesar 2,1%. Cacat susut dapat terjadi akibat perbedaan antara temperatur cairan plastik dengan temperatur cetakan.

Gambar 5 memperlihatkan produk yang diinjeksi pada temperatur 165 °C. Produk mulai terbentuk secara penuh meskipun masih kurang baik (sempurna). Kurang terisinya cetakan disebabkan temperatur injeksi yang masih kurang tinggi sehingga masih terjadinya *short shot* pada produk. Pada kondisi temperatur ini, cacat *jetting* mulai menghilang. Hal ini tidak terlepas dari naiknya temperatur injeksi yang diberikan. Pada temperatur 165 °C, cacat susut terjadi sebesar 1,6%.



Gambar 5 Kualitas produk pada temperatur injeksi 165 °C

Produk yang dihasilkan pada temperatur injeksi 170 °C mempunyai kualitas cetakan yang baik. Cetakan terisi penuh sehingga produk terbentuk secara sempurna (Gambar 6). Temperatur injeksi yang tinggi dapat membantu menurunkan viskositas plastik, yang dapat mempermudah aliran sehingga proses pengisiannya akan lebih mudah.



Gambar 6 Kualitas produk pada temperatur injeksi 170 °C

Pada kondisi ini cacat *short shot* tidak terjadi lagi, akan tetapi cacat *sink mark* dan *jetting* masih terjadi dalam luasan yang kecil. Meskipun sangat kecil, pada temperatur ini mulai terjadi cacat *flashing*. *Flashing* sendiri berarti terdapat material lebih yang ikut membeku di pinggir-pinggir produk. Penyebab *flashing* salah satunya dapat diakibatkan oleh kurangnya tekanan *clamping* cetakan. Pada temperatur injeksi 170 °C, cacat susut yang terjadi sama dengan pada temperatur injeksi 165 °C, yaitu sebesar 1,6%.

Dengan menaikkan temperatur injeksi, dapat meminimalkan cacat dan mengurangi luas daerah cacat yang terjadi. Namun upaya ini masih belum signifikan untuk menghilangkan yang terjadi tanpa diikuti oleh pengaturan variabel lainnya seperti tekanan, kecepatan injeksi dan waktu pendinginan.

4 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian, dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Pengaturan parameter temperatur injeksi sangat berpengaruh terhadap kualitas produk plastik, baik dari dimensi maupun tampilan produk.
2. Produk penyangga gantungan hanger yang diinjeksi pada temperatur injeksi 170 °C menggunakan mesin injeksi manual sistem toggle, menghasilkan kualitas produk yang lebih baik dibandingkan temperatur 160 dan 165 °C.
3. Semakin rendah temperatur injeksi terhadap temperatur leleh maka kecenderungan cacat yang terjadi semakin besar

Ucapan Terimakasih

Penulis menyampaikan terima kasih atas bantuan dana penelitian Hibah Bersaing yang diberikan Dikti melalui Dana DIPA Politeknik Negeri Lhokseumawe Tahun Anggaran 2015.

Daftar Pustaka

- Pengujian Sambungan Hip. *Prosiding Seminar Nasional Teknoin 2008 Bidang Teknik Mesin.*
- [11] Shayfull,Z., M.F. Ghazali, M. Azaman, S.M. Nasir, N.A. Faris. 2010. Effect of Differences Core and Cavity Temperature on Injection Molded Part and Reducing the Warpage by Taguchi Method. *International Journal of Engineering & Technology IJET-IJENS December 2010 Vol: 10 No: 06.*
- [12] Noriega, P.M., Osswald and Ferrier, N. In Line Measurement of the Polymer Melting Behavior in Single Screw Extruders, *Journal of Applied Polymer Engineering, Vol. 24, No. 6, 2004.*
- [1] Firdaus, Soejono Tjitro, Studi Eksperimental Pengaruh Parameter Proses Pencetakan Bahan Plastik Terhadap Cacat Penyusutan (Shrinkage) Pada Benda Cetak *Pneumatics Holder, Jurnal Teknik Mesin Vol. 4, No. 2, Oktober 2002: 75 – 80, Universitas Petra Surabaya (2002).*
- [2] Akay, H. U., *Prediction of Shrinkage in Plastic Injected Parts Due to Cooling, Computer-Aided Engineering Analysis (2003)*
- [3] Shayfull,Z., M.F. Ghazali, M. Azaman, S.M. Nasir, N.A. Faris. Effect of Differences Core and Cavity Temperature on Injection Molded Part and Reducing the Warpage by Taguchi Method. *International Journal of Engineering & Technology IJET-IJENS December 2010 Vol: 10 No: 06 (2010).*
- [4] Amelia Sugondo, Willyanto A, Ian HS, Minimalisasi Cacat dengan Pengaturan Tekanan Terhadap Kualitas Produk pada Proses Injection Molding dengan Menggunakan Simulasi, *Prosiding Teknosim 2007, Jurusan Teknik Mesin dan Industri FT UGM (2007)*
- [5] Agus D A, Prediksi *Shrinkage* Untuk Menghindari Cacat Produk Pada *Plastic Injection, Jurnal MEDIA MESIN Vol. 6 No.2 Juli 2005 Universitas Muhammadiyah Surakarta (2005)*
- [6] Dadi Cahyadi, Analisis Parameter Operasi Pada Proses Plastik Injection Moulding Untuk Pengendalian Cacat Produk, *Jurnal SINTEK, Vol. 8 No. 2, 2014 Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Jakarta (2014).*
- [7] Indra, M. 2007. Analisis Bentuk Ekstruded Polypropylene Akibat Perbedaan Temperatur Proses Menggunakan *Single Screw Extrusion. Jurnal Sistem Teknik Industri Vol. 8. No.1, pp 41-46, 2007.*
- [8] Oyetunji, A. 2010. Development of Small Injection Moulding Machine For Forming Small Plastic Articles For Small-Scale Industries. *Journal of Engineering Science and Technology, Vol. 5, No. 1 (2010) 17 – 29.*
- [9] Bharti, P.K. 2010. Recent Methods For Optimization Of Plastic Injection Molding Process –A Retrospective And Literature Review. *International Journal Of Engineering Science And Technology Vol. 2(9), 2010, 4540-4554.*
- [10] Agung, S.D. 2008. Simulasi Numerik *Injection Molding* Untuk Pembuatan Spesimen *Polypropylene Acetabular Cup* Pada