

ANALISIS PENGENDALIAN CACAT dan PARAMETER OPERASI PROSES *INJECTION MOLDING* dengan MATERIAL *ACRYLONITRILE BUTADIENE STYRENE*

Budi Hartono

Jurusan Teknik Mesin, Universitas Ibn Khaldun, Bogor
JL.KH Sholeh Iskandar km.2 Bogor 16162
e-mail : bo3di_hartono@yahoo.co.id

Abstrak

Salah satu aspek yang penting bagi kelangsungan suatu usaha umumnya dalam industri manufaktur dan lebih khusus pada industri *injection molding* adalah masalah efisiensi baik waktu dan biaya. Terdapat inefisiensi waktu dan biaya pada sebuah perusahaan skala menengah yang bergerak pada proses *injection molding*, karena pada saat memulai suatu pembuatan produk baru setting parameter prosesnya dilakukan secara manual. Salah satu produk yang dihasilkan oleh perusahaan tersebut akan coba dianalisis dari sisi parameter proses terutama pada saat penyetingan awal mesin. Analisis dilakukan dengan menggunakan bantuan perangkat lunak *moldflow* terhadap produk yang dibuat yaitu : *discover* dimana bahan yang digunakan adalah *Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS)*. Dari hasil analisa simulasi diperoleh suatu kisaran parameter operasi yang dapat dijadikan rujukan. Untuk produk *discover* ini diperoleh setting parameter operasi sebagai berikut : temperature leleh material antara 240⁰C sampai 270⁰C, temperature cetakan antara 70⁰ C sampai 80⁰C, tekanan injeksi antara 8,307 MPa sampai 12,931 MPa, waktu injeksi antara 0,64 s sampai 0,87s, gaya penekanan (*clamping force*) antara 3,357 ton sampai 4,866 ton.

Kata kunci : *injection molding*, *temperature leleh*, *temperature cetakan*, *tekanan injeksi*, *waktu injeksi*.

1 PENDAHULUAN

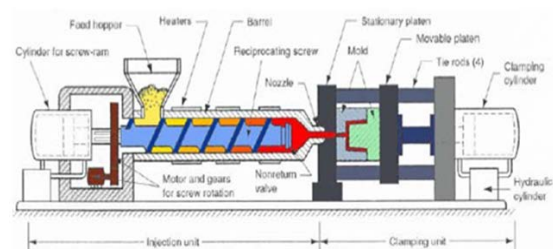
Meningkatnya penggunaan bahan plastic (*polymer*) didunia, dan khususnya didalam negeri harus diimbangi dengan peningkatan kualitas produk yang dihasilkan oleh industry *injection moulding*. Salah satu aspek yang penting dari segi kualitas pada hasil cetakan *injection moulding* adalah produk yang bebas cacat. Suatu perusahaan di daerah depok, sebagai salah satu industry yang menghasilkan produk plastic yang menggunakan mesin *Injection molding*. Salah satu bahan plastic yang digunakan pada perusahaan tersebut adalah *Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS)*, bahan ini memiliki sifat tahan panas, keras, tangguh, tahan terhadap reaksi kimia dan tahan terhadap impack. Dalam menjalankan aktivitas produksinya, seringkali ditemukan cacat produk. Hal yang paling banyak menyita waktu dan biaya adalah pada saat penyetelan parameter proses pada mesin saat awal akan memproduksi suatu benda. Hal itu terjadi karena pada saat awal produksi khususnya produk yang baru, penyetelan parameter proses pada mesin *injection molding* dilakukan dengan cara coba-coba atau *trial and error*.

Penyetelan awal ini membutuhkan waktu yang cukup lama dari beberapa jam sampai beberapa hari tergantung bentuk bendanya. Maka dari itu dilakukan suatu penelitian untuk memperoleh suatu procedure dalam menentukan parameter proses yang cepat dan akurat dalam memproduksi suatu benda, agar diperoleh produk yang bebas cacat.

2 TINJAUAN PUSTAKA

2.1. *Injection Molding*

Injection molding adalah metode pemrosesan material termoplastik yang paling banyak digunakan.



Gambar 1. Mesin *Injection Molding*
[1]

Dalam siklus prosesnya, produk yang akan dibuat melewati suatu siklus produksi yang diawali oleh pelelehan pellet (biji plastic) atau serbuk resin didalam suatu ekstruder, kemudian diikuti dengan injeksi lelehan *polymer* kedalam rongga cetakan dengan menggunakan tekanan tinggi. Parameter proses yang terkait pada proses ini adalah tekanan injeksi, kecepatan injeksi, waktu injeksi dan clamping force. Selanjutnya lelehan *polimer* tersebut ditahan didalam cetakan hingga membeku. Kemudian setelah mengeras didalam cetakan, produk baru dapat dikeluarkan. Pemilihan ukuran mesin yang tepat, didasarkan pada dimensi produk yang ingin dihasilkan. Semakin tipis dan semakin luas permukaan produk yang dihasilkan maka semakin besar mesin yang dibutuhkan. Umumnya luas 1 cm^2 produk membutuhkan 0.5 ton clamping force.

2.2. Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS)

Acrylonitrile Butadiene Styrene termasuk kelompok *engineering thermoplastic* yang berisi 3 monomer pembentuk. *Akrilonitril* bersifat tahan terhadap bahan kimia dan stabil terhadap panas. *Butadiene* memberi perbaikan terhadap sifat ketahanan pukul dan sifat liat (*toughness*). Sedangkan *stirena* menjamin kekakuan (*rigidity*) dan mudah diproses. Beberapa *grade ABS* ada juga yang mempunyai karakteristik yang bervariasi, dari kilap tinggi sampai rendah dan dari yang mempunyai *impact resistance* tinggi sampai rendah. Berbagai sifat lebih lanjut juga dapat diperoleh dengan penambahan aditiv sehingga diperoleh *grade ABS* yang bersifat menghambat nyala api, transparan, tahan panas tinggi, tahan terhadap sinar UV dan lain-lain.

ABS mempunyai sifat – sifat :

- a. Tahan bahan kimia
- b. biaya proses rendah
- c. Liat, keras dan kaku
- d. dapat direkatkan
- e. Tahan korosi
- f. dapat dielektroplating
- g. Dapat didesain menjadi berbagai bentuk

ABS dapat diproses dengan teknik cetak injeksi, ekstrusi, *thermoforming*, cetak tiup dan cetak kompresi. *ABS* bersifat higroskopis, oleh karena itu harus dikeringkan dahulu sebelum diproses.

2.3. Rheology

Rheology adalah ilmu yang mempelajari deformasi dan aliran suatu zat dibawah berbagai kondisi. *Rheology plastic* khususnya TPs sangat kompleks tapi teratur. Property material ini merupakan kombinasi antara cairan viskos ideal (deformasi akibat tegangan geser murni) dengan sebuah padatan elastic yang ideal (deformasi elastic murni). Sehingga plastic dapat dikatakan menjadi *viscoelastic*. Sifat mekanik plastic didominasi oleh fenomena *viscoelastic* seperti tegangan tarik, perpanjangan pada saat patah dan energy putus (*repture energy*), yang acapkali merupakan factor pengontrol.

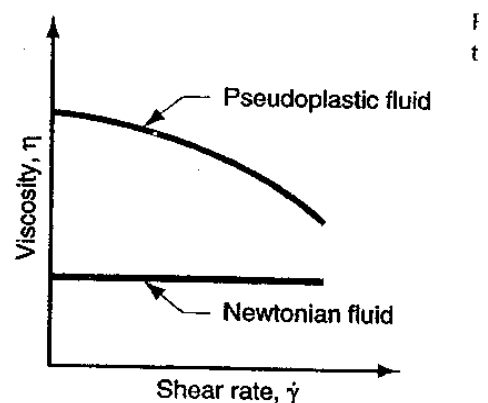
2.4. Sifat Polymer Cair

Untuk membentuk sebuah produk dari *polymer*, maka *polymer* harus dipanaskan sehingga *polymer* mencair. Pada keadaan ini terdapat beberapa sifat dan karakteristik antara lain :

a. Viscositas

Viskositas mempunyai peranan penting dalam proses pembentukan produk karena sebagian besar metoda pembentukan melibatkan aliran cairan *polymer* yang harus melalui suatu celah atau rongga pada cetakan. Karena kecepatan aliran yang besar, maka dibutuhkan tekanan yang signifikan.

Gambar dibawah ini menunjukkan viskositas sebagai fungsi kecepatan regangan pada dua type fluida.



Gambar 2. Hubungan viskositas antara fluida newtonia dan polymer cair [1]

Untuk fluida newtonia (seperti air dan oli), viskositas adalah tetap pada temperature tertentu; tidak berubah terhadap kecepatan regangan. Hubungan antara tegangan geser dan regangan geser adalah proporsional seperti ditunjukkan pada persamaan berikut ini [1] hal.20 :

$$\tau = \eta \dot{\gamma} \quad \text{atau} \quad \eta = \frac{\tau}{\dot{\gamma}}$$

(1)

Dimana:

τ : tegangan geser, Pa (lb/in²)

$\dot{\gamma}$: kecepatan regangan, 1/s (1/sec)

η : koefisien viskositas regangan, Ns/m² atau Pas (lb-sec/in²)

Untuk *polymer* cair, viskositas menurun terhadap kecepatan regangan, ini mengindikasikan bahwa cairan menjadi lebih tipis pada kecepatan regangan yang lebih tinggi. Keadaan ini disebut sebagai *pseudoplasticity* dan hubungan tersebut dapat ditunjukkan pada persamaan berikut [1] hal.20 ;

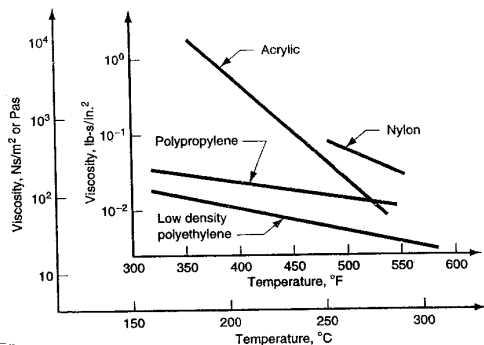
$$\tau = k(\dot{\gamma})^n \quad (2)$$

Dimana;

k : konstanta yang berhubungan dengan koefisien viskositas

n : indeks kelakuan aliran, untuk *polymer* cair $n < 1$

sebagai tambahan terhadap efek dari kecepatan regangan (kecepatan aliran fluida), viskositas *polymer* cair dipengaruhi oleh temperature. Seperti kebanyakan fluida, nilai viskositas akan menurun bila temperature tinggi, hal ini ditunjukkan pada gambar berikut ini.



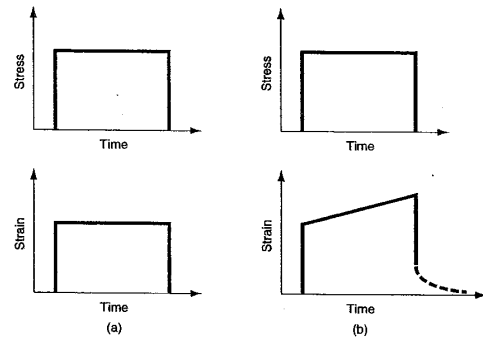
Gambar 3. Viskositas sebagai fungsi dari temperature untuk beberapa *polymer* pada kecepatan regangan 10³ / s [1]

Pada gambar 3, kita dapat melihat, bahwa viskositas *polymer* cair akan menurun bila bila kecepatan regangan dan temperatur meningkat.

b. *Viscoelasticity*

Viscoelasticity adalah sifat material yang menentukan regangan ketika material mengalami beban kombinasi antara tegangan dan temperature terhadap waktu. Untuk

menggambarkan fenomena *viscoelasticity*, perhatikan gambar berikut ini :



Gambar 4. Perbandingan sifat elastic dan viscoelastik : (a) material elastic sempurna (b) material viscoelastik [6]

Dari gambar 4. menunjukkan dua material yang mempunyai respon yang berbeda ketika dibebani tegangan dibawah titik yield selama periode waktu tertentu. Gambar (a) menunjukkan material yang elastic sempurna; ketika tegangan dihilangkan, secara tiba-tiba material langsung kembali ke bentuk semula. Berbeda dengan material pada gambar (b) yang menunjukkan sifat viscoelastik, sejumlah regangan meningkat secara bertahap terhadap waktu ketika diberi tegangan. Ketika tegangan dihilangkan, secara tiba-tiba material tidak langsung kembali ke bentuk semula; sebagai gantinya regangan berkurang secara bertahap. Sebuah model viscoelastik dapat digambarkan pada persamaan dibawah [7] hal.32. Ini menunjukkan hubungan antara tegangan dan regangan terhadap waktu:

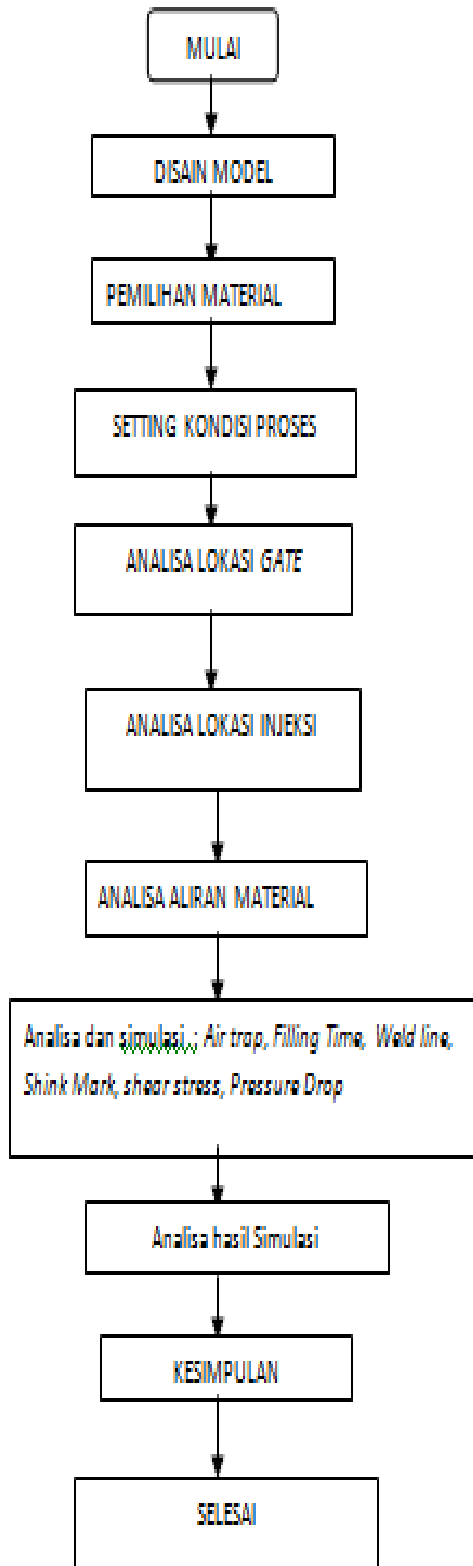
$$\sigma(t) = f(t) \in$$

(3)

Fungsi waktu disini dapat dikonseptualkan sebagai sebuah modulus elastisitas terhadap waktu, kita mungkin bias menulisnya sebagai $E(t)$ untuk menunjukkan sebagai sebuah modulus viscoelastik. Disamping itu, temperature merupakan factor yang mempengaruhi sifat viscoelastik material.

3. METODELOGI PENELITIAN

Metodologi yang akan digunakan adalah sebagai berikut :

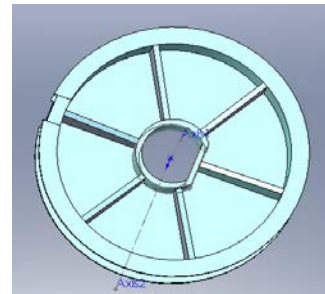
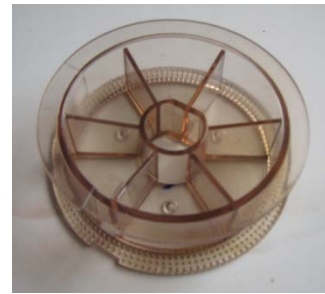


Gambar 5. Diagram Alir Proses Simulasi

3.2. Objek Penelitian

Nama produk : *Discover*

Bahan : *ABS*



Gambar 6. Produk *Discover*

4 HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Simulasi Parameter Proses

Pada setiap awal untuk memproduksi suatu benda, seringkali dilakukan uji coba untuk mendapatkan hasil yang maksimal. Pelaksanaan uji coba tersebut bisa berlangsung dari beberapa jam sampai beberapa hari kerja, tergantung bentuk geometri benda yang akan dibuat. Hal ini disebabkan karena ada lebih dari satu parameter proses yang harus disetting.

Ada beberapa parameter proses yang harus disetting sebelum pembuatan suatu produk pada mesin *injection molding*.

Parameter proses dibagi menjadi dua yaitu :

1. Parameter yang sudah diketahui dalam hal ini adalah temperature leleh dan temperature cetakan, yang diperoleh dari data sifat material.

Dari data sifat property material diketahui bahwa :

- a) Temperature leleh material *ABS* adalah : $200^{\circ}\text{C} - 270^{\circ}\text{C}$
- b) Temperatur cetakan untuk material *ABS* adalah : $40^{\circ}\text{C} - 80^{\circ}\text{C}$

2. Parameter yang akan dicari, yaitu :

- a. Tekanan injeksi (*Injection pressure*)
- b. Waktu injeksi
- c. Gaya pengekaman (*Clamping force*)

Untuk itu akan dilakukan uji simulasi semua contoh produk untuk mengetahui range atau kisaran nilai – nilai parameter proses tersebut. Skenario yang akan dilakukan pada pengujian adalah sebagai berikut :

Tabel 1. Skenario Pengujian Produk

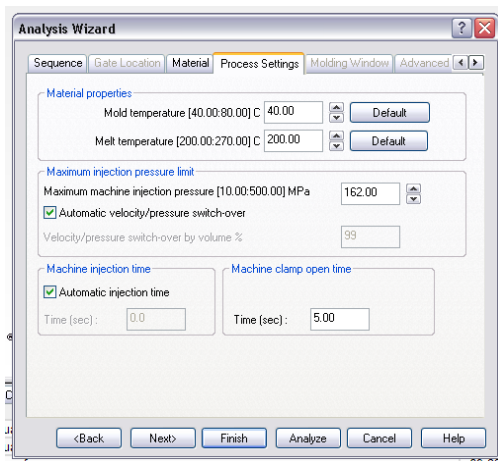
	Temperature	Temperature
--	-------------	-------------

	leleh	cetakan
Percobaan I	200 ⁰ C (temp. minimal)	40 ⁰ C (temp. minimal)
Percobaan II	240 ⁰ C	70 ⁰
Percobaan III	270 ⁰ C (temp. maksimal)	80 ⁰ C (temp. maksimal)

Pada scenario percobaan ini digunakan data temperature dari sifat material itu sendiri yang merupakan suatu rekomendasi untuk proses injection molding jika kita menggunakan bahan ABS.

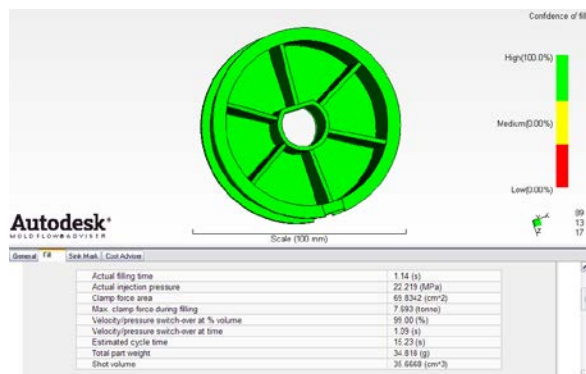
4.2. Data Simulasi Percobaan I

Dari hasil simulasi diperoleh data-data dalam bentuk gambar yang ditunjukkan sebagai berikut :



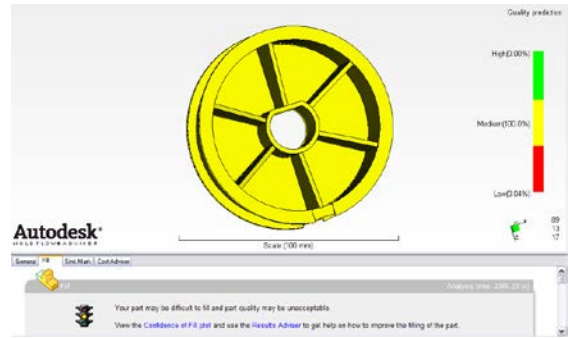
Gambar 7. Data Parameter Percobaan I Produk

Gambar diatas menunjukkan data parameter proses yang dientry kedalam software.



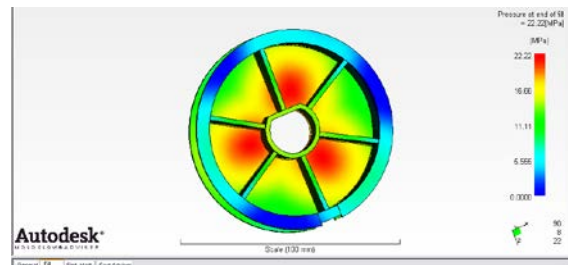
Gambar 8. Profil Confidence Fill Percobaan I

Pada gambar 7 menunjukkan tingkat kepercayaan pengisian plastic cair pada produk, angka 100% pada warna hijau menandakan bahwa rongga cetakan produk mudah diisi oleh plastic cair.



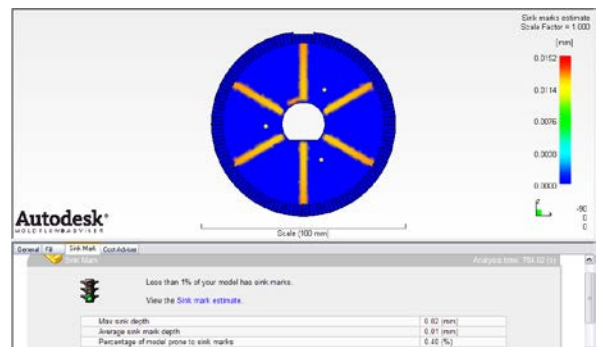
Gambar 9. Profil Quality Prediction Percobaan I

Gambar diatas menunjukkan prediksi kualitas produk, warna kuning yang dominan menandakan bahwa produk pada kondisi operasi ini ada kemungkinan mengalami cacat sehingga tidak dapat diterima. Yang dapat diterima adalah kondisi dimana warna hijau menunjukkan angka 100%, yang berarti bahwa produk yang dihasilkan kemungkinan bebas cacat.



Gambar 10. Profil Presure at end of Fill Percobaan I

Pada gambar 10 menunjukkan tekanan actual pengisian, warna biru menunjukkan tekanan terendah (0 MPa) dan warna merah menunjukkan tekanan tertinggi (22 MPa) yang terjadi pada rongga cetakan.



Gambar 11. Profil Shink Mark Percobaan I

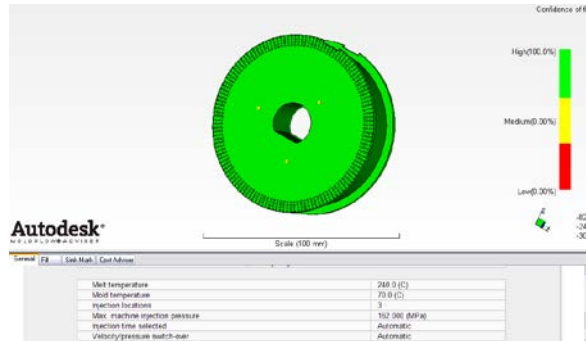
Data dari gambar diatas menunjukkan estimasi cacat sink mark yang mungkin terjadi pada produk tersebut.

Data yang diperoleh antara lain :

- a) Kedalaman *sink* maximum =0.02 mm
- b) Kedalaman *sink mark* rata-rata=0.01 mm
- c) Nilai prosentase kecenderungan *sink mark* = 0,40%

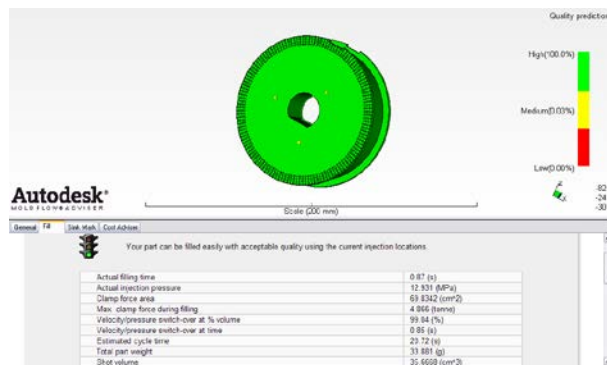
4.3. Data Simulasi Percobaan II

Dari hasil simulasi diperoleh data-data sebagai berikut :



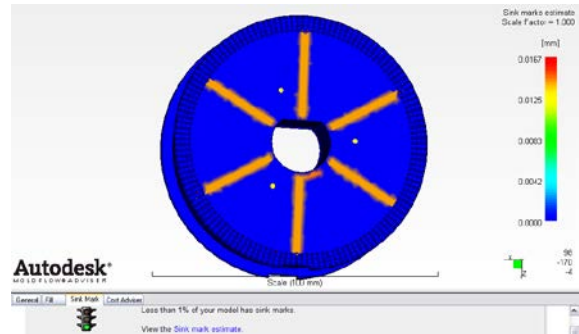
Gambar 12. Profil *Confidence Fill* Percobaan II

Pada gambar menunjukkan tingkat kepercayaan pengisian plastic cair pada produk, angka 100% pada warna hijau menandakan bahwa rongga cetakan produk mudah diisi oleh plastic cair.



Gambar 13. Profil *Quality Prediction* Percobaan II

Gambar diatas menunjukkan prediksi kualitas produk dimana warna hijau menunjukkan angka 100%, yang berarti bahwa produk yang dihasilkan kemungkinan bebas cacat. Sehingga data pada percobaan ini bisa dijadikan referensi parameter operasi.



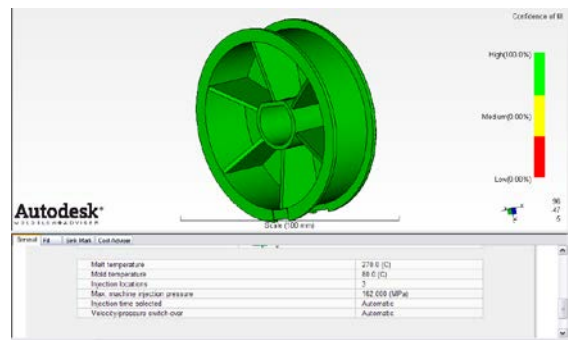
Gambar 14. Profil *Sink Mark* Percobaan II

Data dari gambar 14 menunjukkan estimasi cacat sink mark yang mungkin terjadi pada produk tersebut. Data yang diperoleh antara lain :

- a) Kedalaman *sink* maximum =0.02 mm
- b) Kedalaman *sink mark* rata-rata=0.01 mm
- c) Nilai prosentase kecenderungan *sink mark* = 0,40%

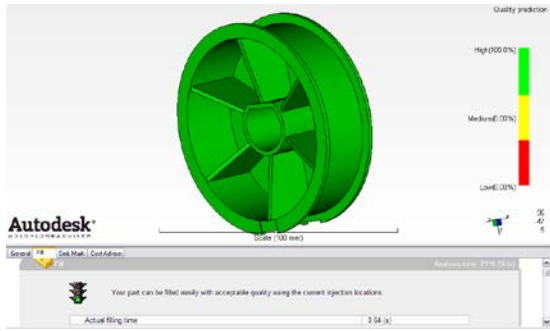
4.4. Data Simulasi Percobaan III

Berikut ini adalah gambar yang menunjukkan hasil simulasi pada percobaan III



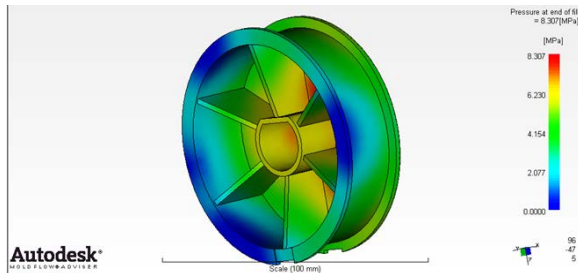
Gambar 15. Profil *Confidence Fill* Percobaan III

Gambar di atas menunjukkan tingkat kepercayaan pengisian plastic cair pada produk, angka 100% pada warna hijau menandakan bahwa rongga cetakan produk akan mudah diisi oleh plastic cair.



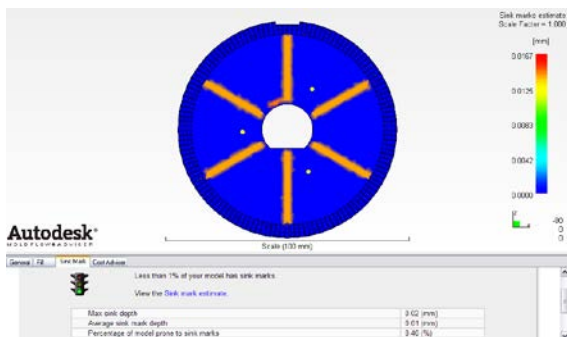
Gambar 16. Profil *Quality Prediction* Percobaan III

Pada gambar 16 menunjukkan prediksi kualitas produk dimana warna hijau menunjukkan angka 100%, yang berarti bahwa produk yang dihasilkan kemungkinan bebas cacat. Sehingga data pada percobaan ini bisa dijadikan referensi parameter operasi.



Gambar 17. Profil *Presure at end of Fill* Percobaan III

Gambar 17 menunjukkan tekanan actual pengisian, warna biru menunjukkan tekanan terendah (0 MPa) dan warna merah menunjukkan tekanan tertinggi (8,307 MPa) yang terjadi pada rongga cetakan.



Gambar 18. Profil *Sink Mark* Percobaan III

Data dari gambar 18 menunjukkan estimasi cacat sink mark yang mungkin terjadi pada produk tersebut. Data yang diperoleh antara lain :

- a) Kedalaman sink maximum =0.02 mm

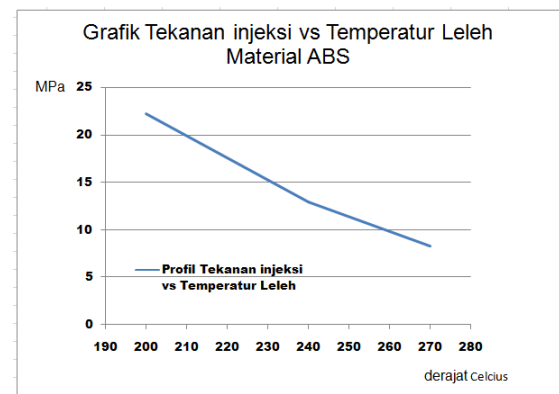
- b) Kedalaman sink mark rata-rata=0.01 mm
- c) Nilai prosentase kecenderungan sink marks = 0,40%

Dari hasil simulasi yang telah dilakukan, maka diperoleh data-data parameter operasi sebagai berikut :

Tabel 2. Data Parameter Operasi hasil Simulasi

Parameter operasi yg dicari	Percob aan I	Percob aan II	Percob aan III	satu an
Waktu injeksi	1,14	0,87	0,64	s
Tekanan injeksi	22,219	12,931	8,307	MP a
<i>Clamping Force</i>	7,693	4,866	3,357	ton
Berat benda	34,818	33,811	33,522	gra m
<i>Cycle time</i>	15,23	20,72	27,52	s
Kedalaman <i>sink mark</i> (max)	0,02	0,02	0,02	mm
Rata-rata kedalaman <i>sink mark</i>	0,01	0,01	0,01	mm
Prosentase kecenderungan <i>sink mark</i>	0,40	0,40	0,40	%

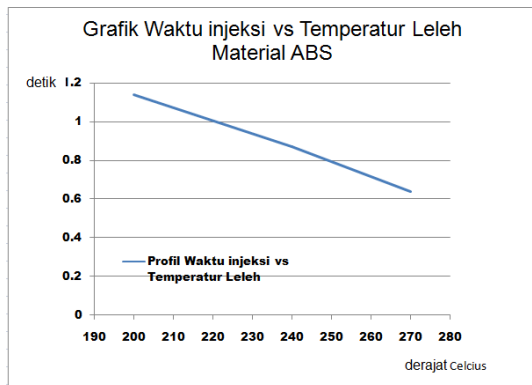
Dari data-data tersebut, kemudian dibuat grafik *trend* hubungan antara parameter proses yang dicari terhadap temperature leleh.



Gambar 19. Grafik Tekanan Injeksi vs Temperatur leleh

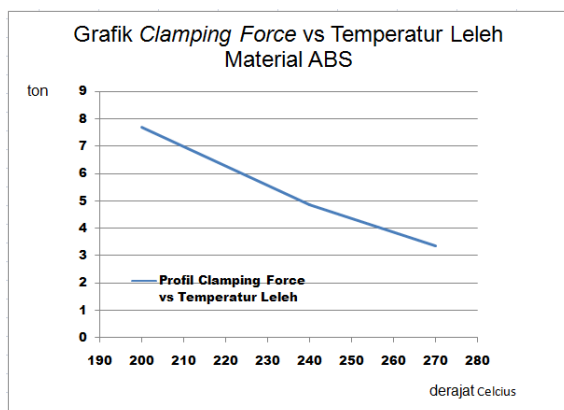
Pada gambar di atas menunjukkan hubungan antara temperature leleh dan tekanan injeksi, dapat disimpulkan makin tinggi temperature

leleh material makin rendah tekanan injeksi. Hal ini dikarenakan semakin tinggi temperature leleh, maka semakin rendah nilai viskositas palstik cair sehingga semakin rendah pula gaya yang diperlukan untuk menekan palstik cair masuk kedalam rongga cetakan.



Gambar 20. Grafik Waktu Injeksi vs Temperatur leleh

Gambar 20 menunjukkan hubungan antara temperature leleh dan waktu injeksi, dapat disimpulkan semakin tinggi temperature leleh maka waktu yang dibutuhkan semakin kecil pula. Hal ini dikarenakan kecepatan aliran plastic cair semakin meningkat dengan meningkatnya temperature leleh, sehingga rongga cetakan lebih cepat terisi penuh.



Gambar 21. Grafik *Clamping Force* vs Temperatur leleh

Pada gambar 21 menunjukkan hubungan antara temperature leleh dan *clamping force*, dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi temperature leleh maka *clamping force* semakin rendah. Hal ini karena pada temperature leleh yang tinggi, tekanan injeksi yang dibutuhkan semakin kecil sehingga gaya *clamping* untuk menahan tekanan plastic cair didalam rongga cetakan juga semakin kecil

4.3. Pembahasan

Berdasarkan data simulasi, secara umum dapat ditarik kesimpulan bahwa semakin tinggi temperature melt dan temperature mold maka, tekanan injeksi, waktu injeksi dan *clamping force* akan semakin menurun. Hal ini disebabkan karena pada temperature yang tinggi, viscositas plastic menjadi rendah sehingga plastic mudah mengisi rongga cetakan.

Dari hasil simulasi yang dilakukan dengan scenario percobaan I, II, dan II diketahui bahwa range tekanan injeksi antara 22,219 sampai 8,307 MPa, begitu juga waktu injeksi antara 1,14 sampai 0,64 detik dan *clamping force* antara 7,693 sampai 3,357 ton tergantung pada temperature melt dan mold. Tetapi dari scenario percobaan I, pada hasil simulasi *quality prediction* menunjukkan adanya

indikasi bahwa produk yang dihasilkan pada scenario pertama ini akan mengalami cacat (ditunjukkan oleh warna kuning 100% pada hasil simulasi) walaupun tingkat kepercayaan pengisian menunjukkan angka 100%. Sehingga data pada percobaan ini tidak bisa dijadikan sebagai referensi parameter proses, karena didalam mengambil kesimpulan penulis berpatokan pada dua hal yaitu parameter *coenfidence fill* dan *quality prediction* yang harus menunjukkan tingkat 100% pada warna hijau dari hasil simulasi. Oleh karena itu range atau kisaran temperature melt bahan, temperature mold, tekanan, waktu injeksi dan *clamping force* yang disarankan pada produk ini berdasarkan hasil simulasi adalah sebagai berikut :

- a) Temperature leleh : 240⁰C sampai 270⁰C
- b) Temperature cetakan : 70⁰ C sampai 80⁰C
- a) Tekanan injeksi : 12,931 MPa sampai 8,307 MPa
- b) Waktu injeksi : 0,87 s sampai 0,64 s
- c) *Clamping force* : 4,866 ton sampai 3,357 ton

5. SIMPULAN

Dari hasil analisa simulasi dapat disimpulkan untuk parameter proses yang disarankan untuk produk *Discover* yang menggunakan bahan ABS adalah :

- a) Temperature leleh : 240⁰C sampai 270⁰C
- b) Temperature cetakan : 70⁰ C sampai 80⁰C

- | | | | |
|--------------------|-------------|--------------------------|-------------|
| c) Tekanan injeksi | : 8,307 MPa | e) <i>Clamping force</i> | : 3,357 ton |
| sampai 12,931 MPa | | sampai 4,866 ton | |
| d) Waktu injeksi | : 0,64 s | | |
| sampai 0,87 s | | | |

DAFTAR PUSTAKA

1. Donald, V. Rosato. "*Injection Molding Handbook 3rd Edition*", Kluwer Academic Publisher, Massachusetts, 2000.
2. Askeland, D., and Phule, P. "*The Science & Engineering of Materials*", International Student Edition, Thomson, 2006.
3. Ahuru R., Keefe M. "*Simulation of Injection Molding into Rapid-prototyped molds*", Rapid Prototyping Journal, Vol.7 No.1, pp.42-51, 2001.
4. Collins, Christopher. "*Monitoring Cavity Pressure Perfect Injection Molding*",
5. Assembly Automation, Vol.19, No.3, pp.197-202, 1999.
6. Groover, M. "*Fundamentals of Modern Manufacturing : material, processes, and system*", 3rd Edition, John Wiley & Sons, 2007
7. Foguth, R.C., Motwani. "*Method of including material variation in capability study*", The TQM Magazine, Vol.10 No.2, pp. 104-108, 1998.
8. Tata Surdia & Shinroku Saito, "Pengetahuan Bahan Teknik", PT. Pradnya Paramita, Jakarta:1992.