

NASKAH PUBLIKASI

TUGAS AKHIR

**PEMBUATAN CETAKAN MELALUI METODE
RAPID TOOLING PADA PEMBENTUKAN BOLA PLASTIK
DENGAN PROSES *ROTATIONAL MOLDING***



Disusun Sebagai Syarat Untuk Mencapai Gelar Sarjana Teknik
Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Surakarta

Disusun Oleh :

SETYA BUDI

NIM : D200 110 139

**JURUSAN TEKNIK MESIN FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SURAKARTA
2015**

PEMBUATAN CETAKAN MELALUI METODE

**HALAMAN PENGESAHAN
NASKAH PUBLIKASI TUGAS AKHIR**

Naskah publikasi berjudul “**PEMBUATAN CETAKAN MELALUI METODE *RAPID TOOLING* PADA PEMBENTUKAN BOLA PLASTIK DENGAN PROSES *ROTATIONAL MOLDING***”, telah disetujui dan disahkan oleh Pembimbing utama untuk diusulkan sebagai syarat memperoleh gelar sarjana pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surakarta.

Dipersiapkan Oleh :

Nama : SETYA BUDI

NIM : D200 11 0139

Disetujui pada :

Hari : Rabu

Tanggal : 04 NOVEMBER 2015

Pembimbing Utama

Pembimbing Pendamping



Bambang W. F., ST., MT



Ir. Pramuko IP., MT

Mengetahui,

Ketua Jurusan Teknik Mesin



Tri Widodo Besar Riyadi, ST, MSc, Ph.D

RAPID TOOLING PADA PEMBENTUKAN BOLA PLASTIK DENGAN PROSES ROTATIONAL MOLDING

Setya Budi, Bambang Waluyo F., Pramuko IP.
Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Surakarta
Jl. A. Yani Tromol Pos I Pabelan , Kartasura
Email : setya.zoku@gmail.com

ABSTRAKSI

Mold (cavity) yang selama ini digunakan dalam proses rotational molding terbatas hanya menggunakan bahan dari logam yang memerlukan waktu yang lama dan biaya yang besar. Untuk menekan biaya dan waktu yang lama dalam pembuatan, maka dibutuhkan metode pembuatan mold yang lebih efisien dengan metode rapid tooling. Pembuatan mold dengan metode rapid tooling dilakukan dengan menggunakan bahan utama dari resin (resin tooling) serta dengan cara melelehkan plastik yang kemudian di cetak diatas meja cetakan (3D Printing). Penelitian ini bertujuan untuk meneliti penyusutan, ketebalan, dan cacat produk bola berongga dengan mold yang dibuat dari metode resin tooling dan 3D printing pada proses rotational molding.

Metode penelitian yang digunakan dengan membuat cetakan sebanyak 2 buah, terdiri dari cetakan yang dibuat dengan metode resin tooling yang menggunakan bahan dari resin jenis rencast serta cetakan yang dibuat dengan proses 3D Printing yang menggunakan bahan dari Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS). Pengambilan data dilakukan setelah 24 jam proses rotational molding. Pengukuran penyusutan dilakukan dengan mengukur diameter dari produk dan diameter dari cetakan, pengukuran ketebalan dilakukan dengan mengukur bagian dalam produk menggunakan jangka sorong. Pengamatan cacat produk sink mark, flashing, gelembung udara, serta berlubang dilakukan dengan mengamati hasil produk secara makro.

Hasil penelitian dan pengamatan menunjukkan bahwa produk dengan cetakan 3D Printing lebih sedikit penyusutannya. Ketebalan produk dengan cetakan 3D Printing lebih besar disbanding dengan produk cetakan resin tooling. Cacat produk lebih banyak pada produk dengan cetakan dari resin tooling.

**Kata- kata kunci : Rotational Molding, Rapid Tooling, Resin Tooling,
3D Printing**

PENDAHULUAN

Meningkatnya persaingan di pasar global yang amat pesat pada saat ini menjadi tantangan tersendiri bagi industri manufaktur. Banyak perusahaan yang harus menyesuaikan persaingan global tersebut dengan cara memangkas siklus produksi mereka agar dapat bersaing terus-menerus di era globalisasi saat ini, salah satu cara yang bisa dilakukan untuk menghemat pengeluaran saat ini adalah memproduksi alat-alat cepat (*Rapid Prototyping*), akurat, dan dengan biaya yang lebih rendah (Rahmati, S., dan Dickens, P., 2006). Pembuatan cetakan pada mesin *molding* yang semula banyak menggunakan bahan dari besi atau baja, maka untuk saat ini sudah mulai dikembangkan pembuatan cetakan dengan metode *rapid prototyping* dengan cara *resin tooling* dan 3D *Printing*.

Dalam pembuatan *rapid prototyping* metode *resin tooling* dipilih karena prosesnya yang murah dan mudah diaplikasikan sehingga dapat menjadi penghemat dalam pembuatan *mold* yang efektif dan efisien. Selain untuk menghemat biaya, metode 3D *printing* dipakai karena metode 3D *printing* merupakan metode yang baru dalam pembuatan *rapid prototyping*, sehingga masih sangat perlu untuk dikembangkan lebih jauh.

TUJUAN PENELITIAN

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka tujuan dari penelitian ini adalah :

- a. Meneliti penyusutan yang terjadi pada pembuatan bola dengan cetakan dari *rapid tooling* menggunakan metode 3D *Printing* dan *resin tooling* dengan proses *rotational molding*.
- b. Meneliti ketebalan dan cacat produk yang terjadi pada pembuatan bola

dengan cetakan dari *rapid tooling* menggunakan metode 3D *Printing* dan *resin tooling* dengan proses *rotational molding*.

BATASAN MASALAH

Berdasarkan latar belakang diatas, penelitian ini berkonsentrasi pada:

- a. Pembuatan cetakan (*mold*) produk bola plastik pada proses *rotational molding* dengan menggunakan metode *resin tooling* dengan bahan *resin rencast* dan metode 3D *printing* tipe *extrusion* dengan teknologi FDM (*Fused deposition modelling*) merk COME 3D dengan bahan ABS (*Acrylonitrile Butadiene Styrene*).
- b. Pembuatan produk bentuk bola dengan proses *rotational molding* dengan menggunakan bahan baku *Resin Polyester*.
- c. Variasi yang digunakan adalah :
 - Produk cetakan (*mold*) metode *resin tooling* = 4 spesimen
 - Produk cetakan (*mold*) metode 3D *printing* = 4 spesimen

TINJAUAN PUSTAKA

Pembuatan *mold* menggunakan metode 3D *printing* pernah dilakukan oleh Sachs E., dkk (2000) dalam pembuatan cetakan mesin *injection molding* dengan pendinginan *conformal* yang ditambahkan dengan menambahkan bubuk *stainless steel* dan paduan tembaga untuk menjamin kerangka dari keropos selama proses pendinginan. Pembuatan *mold* dengan metode *tooling resin* dapat menghemat biaya pembuatan hingga 75% dibandingkan pembuatan dengan dengan cara konvensional, tetapi jika dibandingkan terhadap masa pakai, pembuatan dengan metode *tooling resin* lebih rendah dibanding dengan metode

konvensional (Cheah C. M., Chua C. K., dan Ong H. S., 2002)

Metode *fused deposition modeling* (FDM) dilakukan untuk mencetak *mold injection molding* dengan menggunakan mesin 3D *printing* diteliti oleh Noble J., dkk (2014). Membandingkan proses pembuatan *rapid prototyping* dari proses 3D *printing* yang menggunakan bahan dari *acrylonitrile butadiene styrene* (ABS), mesin CNC untuk aluminium, dan mesin CNC untuk plastik dalam pembuatan cetakan mesin *injection molding*, menghasilkan bahwa proses menggunakan 3D *printing* lebih efektif dan efisien, karena memiliki kemampuan untuk membuat komponen dengan cepat dan menggunakan biaya yang lebih sedikit (Noble J., Walczak K., dan Dornfeld D., 2014).

Fajri A. N. (2011) meneliti tentang penggunaan *resin epoxy* dan *resin polyester* dalam pembuatan produk bola menggunakan *rotational molding* menyatakan bahwa perbandingan ketebalan pada penggunaan *resin epoxy* dan *resin polyester* sebagai bahan pembuatan bola besarnya ketebalan rata-rata pada bahan *resin polyester* lebih kecil yaitu sebesar 1.97 mm dari pada bahan *resin epoxy* yang besarnya 1.98 mm, dan dapat dikatakan lebih baik karena ketebalan dinding diusahakan setipis mungkin yang bisa dikerjakan secara ekonomis. Untuk cacat produk penyusutan (*shrinkage* %) dari hasil penelitian yang paling banyak adalah 0.68% yaitu pada bahan *resin polyester*, sedangkan pada bahan *resin epoxy* hanya sebesar 0.14%. Sedangkan untuk cacat produk gelembung udara yang paling banyak jumlah produk terhadap perbandingan bahan baku yang digunakan adalah produk pada *resin epoxy*, dan cacat produk

gelembung udara yang terendah yaitu produk pada *resin polyester*.

LANDASAN TEORI

Rapid Tooling

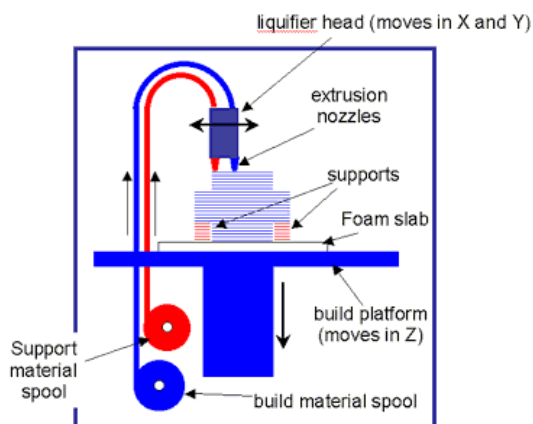
Rapid tooling adalah penggunaan teknik *rapid prototyping* untuk memproduksi *tooling* untuk proses semacam *molding* plastik. *Rapid Tooling* sendiri dibedakan menjadi dua kategori yaitu (<http://www.additive3d.com>) :

- a. *Indirect Tooling* adalah proses pembuatan *tools* yang tidak langsung dibuat untuk sebuah komponen (*part*), melainkan membuat alat (*tools*) untuk membuat alat yang bagian selanjutnya baru digunakan untuk sebuah komponen (*part*). Bagian akhir biasanya plastik, tetapi bisa juga dibuat dari bahan-bahan lainnya.
- b. *Direct Tooling* adalah proses pembuatan alat yang dapat langsung digunakan, seperti pembuatan cetakan (*mold*) dalam membuat sebuah komponen (*part*) atau beberapa komponen (*Assembly*) untuk proses *molding*. Dalam *direct tooling* dibagi menjadi beberapa cara pembuatan seperti *solid steel tooling*, *cast steel tooling*, *laminated steel tooling*, dan *soft tooling*. *Soft tooling* sendiri berarti pembuatan alat atau cetakan dengan proses yang lunak atau mudah, dalam *soft tooling* juga dikenal beberapa cara dalam membuatnya seperti menggunakan *resin tooling* dan menggunakan printer 3D.

3D Printing atau dikenal juga sebagai *Additive Layer*

Manufacturing adalah proses membuat objek padat 3 dimensi atau bentuk apapun dari model digital. Cara kerjanya hampir sama dengan printer laser dengan teknik membuat objek dari sejumlah layer/ lapisan yang masing-masing dicetak di atas setiap lapisan lainnya (<http://blog.finderonly.net/>).

Printer 3D tipe Fused deposition modelling (FDM) seperti terlihat pada Gambar 1 cara kerja FDM menggunakan sebuah *head* (kepala penyemprot) yang dipanaskan lalu digerakkan menurut sumbu x dan y untuk membentuk *layer* menggunakan material plastis yang disemprotkan ke atas *platform*. Material itu akan segera mendingin dan mengeras saat mengenai *platform*. *Platform* kemudian digerakkan turun, dan *layer* berikutnya segera dikerjakan. (<http://www.additive3d.com/>).



Gambar 1 Cara Kerja Fused Deposition Modelling (FDM)

Sumber: <http://www.additive3d.com/>,

Tooling Resin

Tooling resin adalah proses pembuatan sebuah *part* atau komponen dengan proses *casting* yang menggunakan *resin* sebagai bahan utama. *Tooling Resin* merupakan salah satu cara yang bisa digunakan untuk memudahkan dalam membuat sebuah *rapid prototyping* karena prosesnya yang murah dan

mudah diaplikasikan. Alasan memilih proses *tooling resin* adalah sebagai berikut:

- Proses pembuatan dalam waktu yang singkat.
- Perbandingan biaya (cost) yang lebih menguntungkan dibanding menggunakan perkakas konvensional dari baja.
- Memenuhi syarat sebagai perkakas : Akurasi, kekuatan, dsb.
- Tidak memerlukan perkakas yang canggih dalam pembuatannya.

Rotational Molding

Saat ini, industri *rotational moulding* adalah dalam tahap menarik dalam perkembangannya. Satu dekade terakhir telah melihat kemajuan teknis yang penting dan jenis mesin baru, cetakan dan bahan-bahan tersedia. Industri ini telah menarik perhatian dari banyak pemasok utama dan ini telah mengakibatkan investasi yang signifikan. Sektor pasar baru yang penting yang membuka sebagai pembentuk *rotasi* mampu memberikan bagian berkualitas tinggi dengan harga yang kompetitif (Crawford, R.J. 2003).

Rotation molding juga dikenal sebagai *molding rotasi* adalah suatu proses yang bisa digunakan untuk memproduksi produk plastik berongga. *Rotational molding* merupakan alternatif yang sangat kompetitif untuk *blow molding* dan *injection molding* untuk pembuatan produk plastik berongga. Hal ini karena proses *rotation molding* ini menawarkan desain cetakan menciptakan produk yang bebas stress, dengan ketebalan dinding seragam dan bentuk yang cukup rumit dan ukuran produk yang besar (Crawford, R.J. 2003)

Penyusutan (Shrinkage %)

Dalam proses pembentukan plastik cenderung mengalami penyusutan

karena dalam susunan Kristal, molekul-molekul menjadi tersusun lebih rapat.

Penyusutan sering kali disebabkan oleh beberapa faktor seperti (Fahrurrozi, 2001) adalah :

- Temperatur cetakan yang terlalu tinggi.
- Disain cetakan yang tidak tepat.
- Jarak dan waktu pendinginan yang terlalu cepat.
- Pembekuan cepat pada polimer.

Pada percobaan ini penyusutan (*shrinkage*) dapat dihitung dengan menggunakan rumus berikut (ASTM D6289) :

$$\text{Shrinkage} = \frac{(L_0 - L)}{L_0} \times 100 \% \dots \dots (2.2)$$

Dimana : L_0 = dimensi cetakan (mm)

L = dimensi produk (mm)

Tabel 1 Nilai penyusutan *rotasi molding* (Crawford, R.J. 2003).

Polymer	Shrinkage Range (%)
Polycarbonate (PC)	0,5 – 0,7
ABS	0,4 – 0,9
Polypropylene (PP)	1,0 – 2,5
Polyethylene Terephthalate (PET)	0,3 – 0,5
LDPE	1,5 – 3,5
Polyether ether ketone (PEEK)	0,7 – 1,9

Gelembung udara (mata ikan)

Cacat produk gelembung udara adalah cacat produk berupa titik-titik gelembung udara yang terdapat pada produk plastik dikarenakan bahan baku yang dipakai memiliki kandungan uap air dan udara.

Penyebab terjadinya gelembung udara adalah :

- Gas yang masih terperangkap didalam produk

Flashing (Flash)

Flashing adalah jenis *minor defect* pada material, artinya material masih bisa

dikatakan ok tetapi harus dilakukan pembersihan pada produk. *Flashing* sendiri berarti terdapat material lebih yang ikut membeku di pinggir-pinggir produk.

(<http://www.umgabs.co.jp/en/trouble/molding>)

Penyebab terjadinya *flashing* adalah:

- Desain produk yang kurang sesuai dengan *mold*.
- Viscositas* dari material yang kurang.
- Umur daripada *mold* itu sendiri yang sudah memasuki titik kritis.

Sink mark

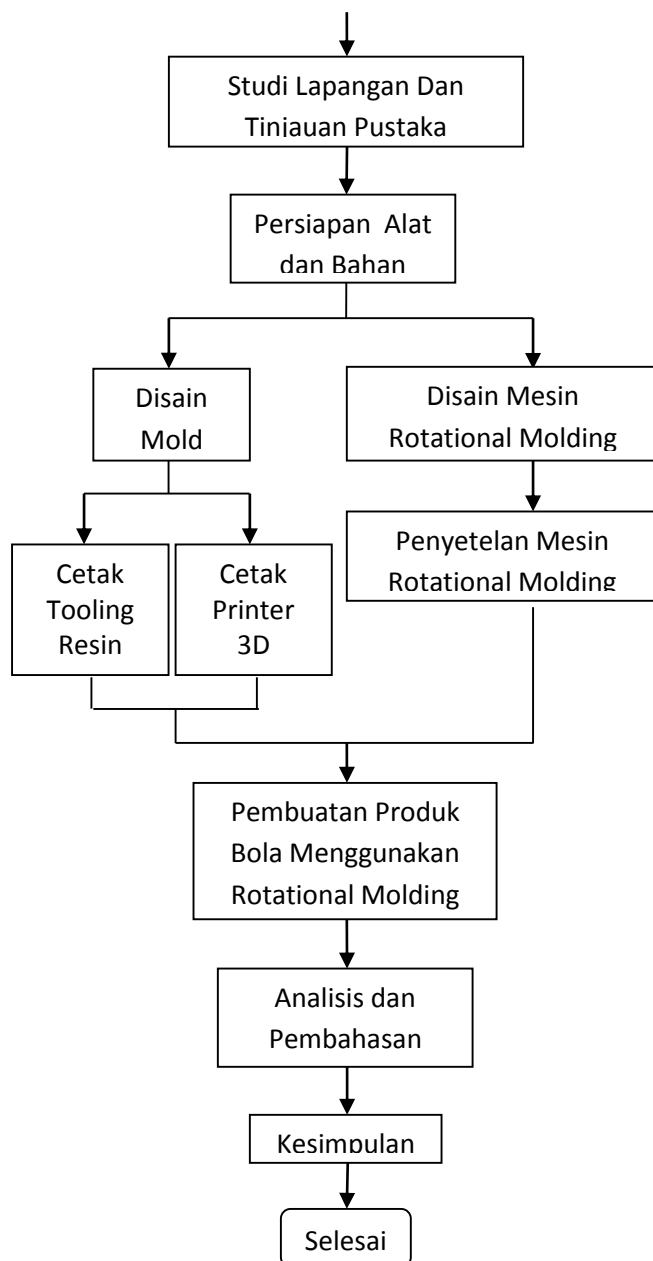
Sink mark merupakan salah satu jenis cacat yang dapat timbul karena kondisi proses yang berbeda. Cacat ini berupa indentasi pada permukaan benda kerja yang biasanya terjadi akibat adanya perubahan tebal dinding secara signifikan. Contoh perubahan dapat berupa *ribs*, *boses*, dan *undercuts*. *Sink mark* 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. (Amelia Sugondo dan Ian H. Siahaan:2008)

Penyebab terjadinya *sink mark* adalah:

- Perbedaan ketebalan produk tetapi bukan dari desain produknya.
- Perbedaan temperature *core* dan *cavity*.
- Loading time* material terlalu cepat.
- Temperatur resin, temperatur *die*, *injection speed* terlalu tinggi atau rendah.
- Kurangnya kemampuan pendinginan dari *die* itu sendiri.

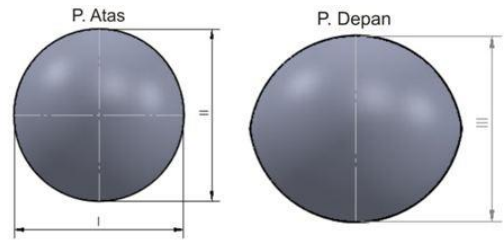
METODE PENELITIAN

Mulai



Gambar 2 Diagram Alir Penelitian

Penelitian ini dijalankan dengan membuat produk yang berbentuk bola seperti pada gambar 3 Produk yang dihasilkan menggunakan 2 buah *mold* yang dibuat dengan metode *resin tooling* dan metode 3D Printing. Hasil produk dari kedua *mold* diatas dilakukan pengukuran penyusutan, ketebalan, dan analisis cacat produk.

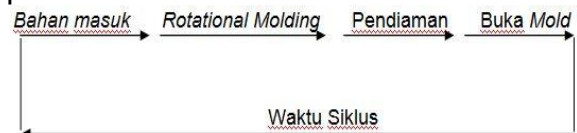


Tabel 2 Spesifikasi Produk

Spesifikasi Produk Bola		
Dimensi Produk	Diameter Luar	60 mm
	Diameter Dalam	56 mm
	Tebal Diinginkan	2 mm
	Tinggi Bola	53 mm
Bahan	Resin Polyester	

Parameter Tetap	Nilai
Waktu Putar Molding	120 menit
Waktu Pendiaman	24 Jam

Waktu siklus merupakan waktu total yang diperlukan untuk mencetak produk. Waktu siklus ini terdiri atas:



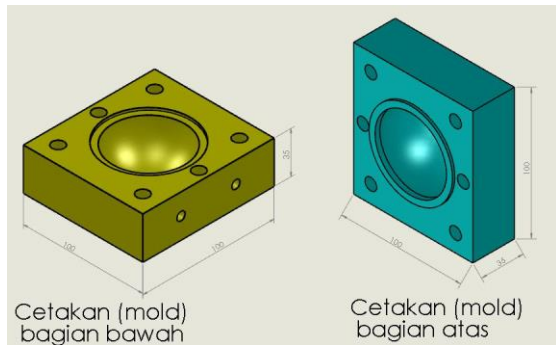
Gambar 3 Waktu Siklus Rotational

Desain *mold*

Spesifikasi *mold* yang direncanakan adalah sebagai berikut :

Tabel 3 Spesifikasi *mold*

Spesifikasi <i>Mold</i>		
Dimensi Produk	Panjang	100 mm
	Lebar	100 mm
	Tinggi	78 mm
	Diameter	60 mm
	Tinggi Cekungan	53 mm
Bahan	ABS (Acrylonitrile Butadiene Styrene) dan Resin Rencast	

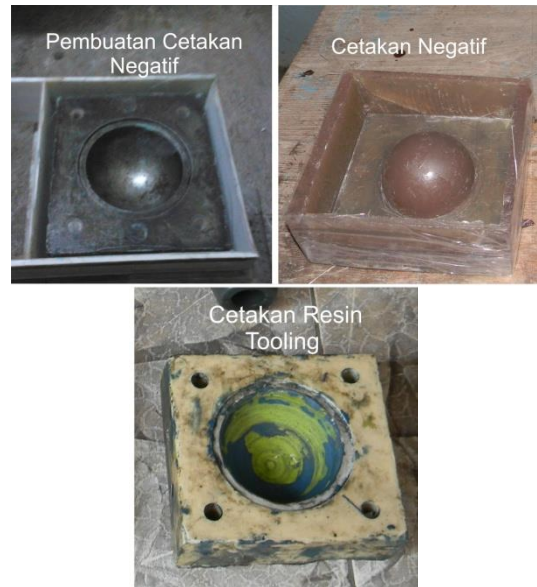


Gambar 4 Disain Mold

Dimensi *mold* ini dirancang sesuai dengan spesifikasi yang ditunjukkan pada tabel 3.2 dengan panjang 100 mm, lebar 100 mm dan ketinggiannya 78 mm, kemudian menggambar *mold* tersebut menggunakan bantuan software *Solid Works* seperti pada gambar 4. Kemudian *mold* ini dibuat dengan menggunakan teknologi *3D printing* yang menggunakan bahan dari ABS (*Acrylonitrile Butadiene Styrene*) dan dibuat dengan metode *tooling resin* yang menggunakan bahan dari *resin rencast*, dimana *mold* berupa cekungan berbentuk bola dengan tinggi 53 mm, yang terdiri dari dua potongan, masing-masing potongan berdiameter *cavity* 30 mm.

Proses Pembuatan Cetakan Resin Tooling

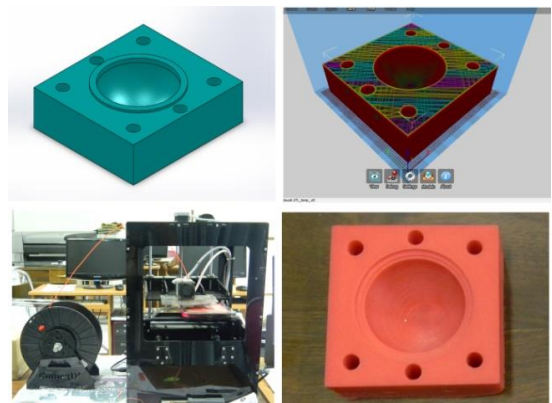
Pembuatan cetakan menggunakan resin *rencast* dengan merk *Araldite*. Proses pembuatan cetakan yang pertama yaitu membuat cetak *negative* dari resin yang dicampur dengan *hardener*, kemudian menuangkan resin *rencast* yang dicampur dengan *hardener* kedalam cetakan *negative*, setelah itu cetakan didiamkan disuhu ruangan selama 7x24 jam pada suhu kamar hingga resin mengeras.



Gambar 5 Mold cetakan resin tooling

Proses Pembuatan Cetakan 3D Printing

Pembuatan cetakan *3D Printing* yang pertama dilakukan disain dengan software *Solidworks*, setelah itu di save dengan format *.stl*. Buka file gambar pada software come *3D* kemudian atur parameter. Setelah itu pilih tombol *slice* pada software, maka gambar akan segera dieksekusi menjadi produk oleh printer *3D* dengan merk *Come 3D*. Proses pencetakan dilakukan dengan cara melelehkan material *Acrylonitrile Butadiene Styrene* (ABS) dengan *heater* dan mencetakkan diatas meja.



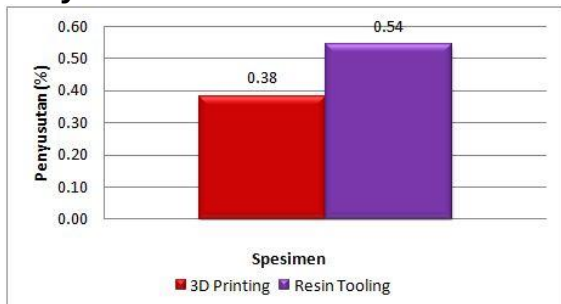
Gambar 6 Cetakan 3D Printing

Alat dan Bahan

Proses rotational menggunakan mesin rotational molding skala laboratotium. Jangka merek Mitutoyo digunakan untuk mengukur dimensi produk setelah disimpan dalam ruang selama 24 jam. Pembuatan produk menggunakan bahan *Resin Polyester* yang didapat dari toko Resinca dengan density 1,40 gr/cm³. Mesin printer 3D menggunakan mesin 3D *Printing* merek COME 3D buatan Cina dengan ukuran meja 12 cm x 12 cm. *Resin* yang digunakan untuk membuat cetakan adalah Resin Rencast CW 2215 dan Hardener REN HY 5610 merek Araldite. Kunci pas digunakan untuk mengunci cetakan agar tidak lepas, dan timbangan yang digunakan untuk menimbang bahan resin.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penyusutan Produk

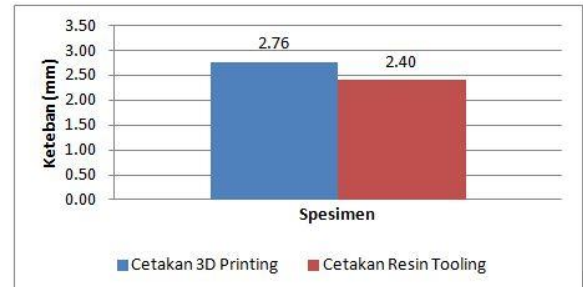


Gambar 7 Histogram Rata- rata Penyusutan

Dari peninjauan histogram rata- rata penyusutan yang ditunjukkan pada gambar 7 menunjukkan bahwa dari percobaan yang dilakukan menggunakan mesin *rotational molding* menunjukkan bahwa rata- rata penyusutan bola dengan cetakan 3D *Printing* lebih sedikit yaitu sebesar 0,38% dibandingkan dengan menggunakan cetakan *resin tooling* yaitu sebesar 0,54%. Dari uraian diatas menunjukkan bahwa pembuatan bola dengan cetakan 3D *Printing* lebih baik

dalam penyusutan dibandingkan dengan pembuatan bola dengan cetakan *resin tooling*.

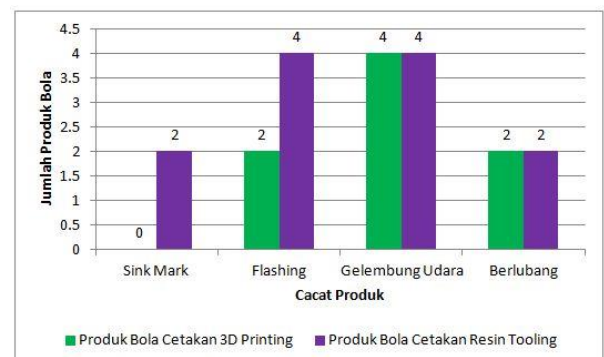
Ketebalan Produk



Gambar 8 Histogram Rata- rata Ketebalan Produk

Dari gambar 8 memperlihatkan histogram rata- rata ketebalan bola yang menggunakan cetakan 3D *Printing* dan *Resin tooling*, diperoleh rata- rata ketebalan bola dengan cetakan 3D *Printing* sebesar 2,76 mm dan ketebalan rata- rata bola dengan cetakan *resin tooling* sebesar 2,49 mm. dari uraian diatas dapat disimpulkan bahwa pembuatan bola dengan menggunakan cetakan dari 3D *Printing* mempunyai ketebalan yang lebih besar jika dibandingkan dengan pembuatan bola yang menggunakan cetakan dari *resin tooling*.

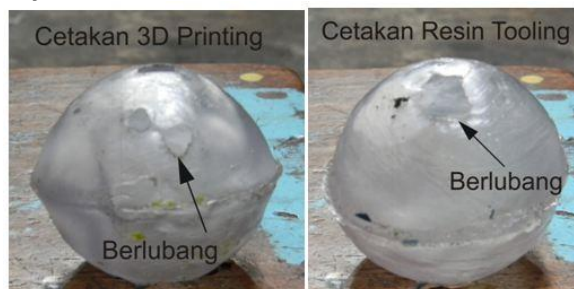
Cacat Produk



Gambar 9 Histogram Cacat Produk Bola

Dari gambar 9 menampilkan histogram cacat produk bola dari cetakan 3D *Printing* dan cetakan *resin*

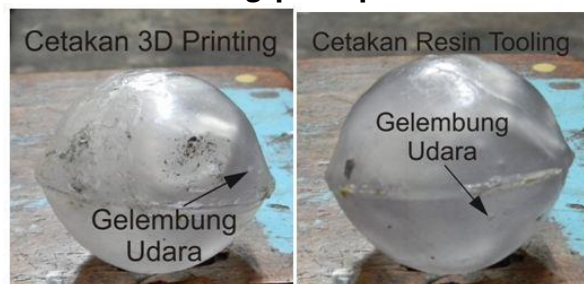
tooling yang meliputi cacat *sink mark*, *flashing*, gelembung udara, dan cacat berlubang, dengan jumlah produk yang terkena cacat pada pembuatan bola dengan cetakan 3D *Printing* untuk cacat *sink mark* sejumlah 0 bola, cacat *flashing* sejumlah 2 bola, cacat gelembung udara 4 bola, dan cacat berlubang sejumlah 2 bola, kemudian untuk cacat produk pada pembuatan bola menggunakan cetakan *resin tooling* untuk cacat *sink mark* sejumlah 2 bola, cacat *flashing* 4 bola, cacat gelembung udara 4 bola, dan cacat berlubang sejumlah 2 bola.



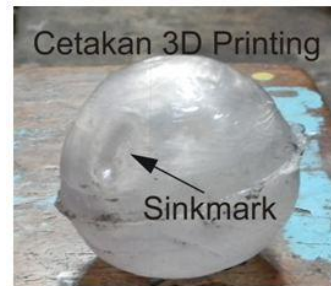
Gambar 10 Cacat berlubang pada produk bola



Gambar 11 Cacat produk *Flashing* pada produk bola



Gambar 12 Cacat produk gelembung Pada produk bola



Gambar 13 Cacat produk *sinkmark* pada produk bola

KESIMPULAN

Dari hasil percobaan pembuatan cetakan bola pada proses *rotational molding* dengan menggunakan *printer* 3D dan *resin tooling*, maka dapat mengambil kesimpulan hasil sebagai berikut:

1. Dari hasil pencetakan bola menggunakan cetakan 3D *Printing* dan *resin tooling* menggunakan mesin *rotational molding* menunjukkan bahwa penyusutan bola menggunakan cetakan 3D *Printing* mempunyai penyusutan yang lebih kecil yaitu sebesar 0,38 % dibandingkan dengan menggunakan cetakan *resin tooling* dengan penyusutan sebesar 0,54%.
2. Dari hasil pengukuran ketebalan dan analisa bola menggunakan cetakan 3D *Printing* dan *resin tooling* menggunakan mesin *rotational molding* menunjukkan bahwa rata-rata ketebalan paling rendah terjadi pada produk bola dengan cetakan *resin tooling* sebesar 2,4mm, dan rata-rata ketebalan bola dengan cetakan 3D *Printing* sebesar 2,76mm. Untuk cacat produk bola dengan cetak 3D *Printing* bisa dikatakan lebih baik dibandingkan dengan cetakan *resin tooling*, karena bola dengan cetakan 3D *Printing* mempunyai jumlah cacat produk lebih sedikit.

DAFTAR PUSTAKA

- Adi W. S., 2008, *Pengembangan Teknologi Rapid Prototyping Untuk Pembuatan Produk- Produk Multi Material*, Rotasi, vol 10, Nomor 1, (Januari 2008).
- Annual Book of Standart*, D 6289-98, *Standart Test Methode for Measuring Shrinkage from Mold Dimensions of Molded Thermosetting Plastics*, ASTM 1998.
- Carter P. W., 2007, *Advances In Rapid Prototyping And Rapid Manufactur*, Brigham Young University, Brigham.
- Chua C. K., Cheah C. M., Ong H. S., 2002, *Rapid Moulding Using Epoxy Tooling Resin*, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, vol 20, p. 368-374
- Crawford R.J., James L. T., 2002, *Rotational Molding Technology*, Plastics Design Library William Andrew Publishing, New York.
- Crawford R.J., Kearns M. P., *Practical Guide to Rotational Moulding*, Queen's University, Bealfast. Diakses dari [http://en.wikipedia.org/wiki/File:Rotational Molding Proses](http://en.wikipedia.org/wiki/File:Rotational_Molding_Proses). Diakses Mei 2015
- Fajri A. N., 2011, *Studi Perbedaan Penggunaan Resin Epoxy Dan Resin Polyester Sebagai Bahan Pembuatan Bola Pada Proses Rotational Molding*, Tugas Akhir S-1, Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Surakarta, Surakarta.
- Febriantoko B. W., Arnowo H. W., 2008, *Studi Peningkatan Siklus Injeksi Dan Pengurangan Prosentase Penyusutan Pada Produk Injeksi Plastik Dengan Mold Tipe Laminated Steel Tooling*, Prosiding Seminar Nasional Teknologi Bidang Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Surakarta, Surakarta.
- Gibbons G. J., Segui-Garza J. J., and Hansell R. G., *Low-cost Resin Infusion Mould Tooling For Carbon Fibre Composites Manufacture*, Published in Proceedings of the Institution of

Mechanical Engineers, Part G: Journal of Aerospace Engineering, vol. 224(4), p. 511-518

<http://id.wikipedia.org/wiki/Poliester> Diakses Mei 2015

Hsun T. C., Jung Liu S., 1999, *An Experimental Study Of Foamed Polyethylene in Rotational Molding*, Polymer Engineering And Science, Department of Mechanical Engineering, Chang Gung University, vol.39,(September 1999),no. 9

Muralidharan B., Summerscales J., 2013, *Resin Infusion Under Flexible Moulding Technique By In-Molud Gel Coating Using A Flow Medium*, Indian Journal Of Applied Research, vol.3 (July 2013), Issue:7, ISSN-2249-555X, p.292-293

Rahmati S., Phill D., 2006, *Rapid Tooling Analysis of Stereolithography Injection Mould Tooling*, International Journal of Machine Tools & Manufacture, Manufacturing Engineering Group, Mechanical Engineering Department, University of Imam Hussain, vol. 47 (November 2006), p. 740-747

Vakharia Y. M., 2005, *Rapid Prototyping for Rotational Molding with Composite Tools*, SME Journal vol.11, no.1, (Februari 2005), p.1-4. Diakses 27 Mei 2015 dari Society of Manufacturing Engineers.

<http://www.sme.org/cgi-bin/getmag.pl?&&1q05rp01&000007&2005/1q05rp01&ARTP2005>

Yuan L., 2008, *A Preliminary Research On Development Of A Fiber-Composite, Curved FDM System*, A Thesis Submitted for The Degree of Masters of Engineering, Department Of Mechanical Engineering, National University of Singapore.