

## M1-008 Pengembangan Cetakan Lilin untuk Pembuatan Master Kedua pada Produksi Perhiasan

Paryana Puspaputra <sup>\*)</sup>, Indra Nurhadi, dan Yatna Yuwana Martawirja

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Mesin dan Dirgantara  
Institut Teknologi Bandung  
Jl. Ganesha 10 Bandung 40122, Indonesia  
Email: [paryana@fti.uui.ac.id](mailto:paryana@fti.uui.ac.id)

### ABSTRAK

Pada tulisan ini akan dibahas mengenai pengembangan rubber-mould sebagai bagian penting untuk mempertahankan kualitas pembuatan master perhiasan, agar produk akhir yang dihasilkan sedekat mungkin dengan kualitas masternya. Pengembangan material master perhiasan yang dapat dimesin dengan kualitas permukaan yang baik dan detil ternyata mengalami kendala pada saat diterapkan untuk produksi massa. Hal demikian terjadi karena material resin tidak tahan panas, sehingga pada saat pembuatan rubber-mould dengan cara vulkanisasi pada temperatur 170<sup>o</sup> C maka master tersebut terdeformasi. Untuk mengatasi hal tersebut penelitian mengenai pembuatan rubber-mould dilakukan dengan tujuan agar material master yang sudah terbukti memiliki sifat mampu mesin yang baik tetap dapat dimanfaatkan untuk meningkatkan efisiensi produksi perhiasan. Pada penelitian ini material karet silikon RTV 585 digunakan sebagai alternatif pengganti karet yang saat ini banyak digunakan, karena memiliki temperatur vulkanisasi pada suhu kamar, murah dan mudah didapatkan. Beberapa permasalahan muncul pada saat pembuatan cetakan lilin, mulai dari porositas karet, teknik pembelahan, hingga sifat fisik material. Dari permasalahan-permasalahan yang diselesaikan didapatkan hasil bahwa silikon RTV 585 dapat digunakan sebagai bahan rubber-mould, namun harus mempertahankan besarnya tekanan injeksi yang diperlukan.

*Kata kunci: perhiasan, lost-wax casting, resin, rubber-mould, silikon RTV 585.*

### 1. Pendahuluan

Indonesia yang dikenal dengan kekayaan alam yang berlimpah, dan dilengkapi dengan kemajuan seni dan budaya di masa lalu, ternyata belum mampu memanfaatkan potensi tersebut untuk menghadapi tantangan global. Diantara permasalahan tersebut adalah bidang produksi benda seni dan perhiasan. Bidang yang sudah sangat lama ditekuni dan dikenal dunia tersebut tidak berkembang dengan baik bahkan semakin terpuruk dan terancam oleh membanjirnya produk asing.

Pergeseran paradigma manufaktur dimana produk tidak lagi *make to stock* namun menjadi *make to order* mengisyaratkan bahwa kecepatan kreasi dan produksi menjadi sangat penting. Untuk dapat berperan dalam persaingan, maka kecepatan kreasi dan produksi haruslah lebih cepat dari umur produk di pasar (PLC, *product life cycle*) tanpa mengesampingkan kualitas produknya.

# Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin (SNTTM) VIII

*Universitas Diponegoro, Semarang 11-12 Agustus 2009*

Memperhatikan hal tersebut, tuntutan produk perhiasan dengan PLC sekitar 20 hari, dan dengan lebih dari 200 variasi model produk perminggu (Kurniawan, Matahari Terbit, 2009), menjadi salah satu tantangan yang cukup menarik dan perlu diselesaikan. Tantangan kreatifitas dan target produksi tersebut penting mengingat adanya data pada tahun 1998 dimana tambang emas menghasilkan 48 ton pertahun, kemampuan produksi Indonesia baru dapat memenuhi 12% dari kebutuhan emas perhiasan dalam negeri yang 120 ton pertahun [1]. Sementara data pada tahun 2007 menyatakan bahwa dengan kemampuan penambangan emas mencapai 170 ton pertahun atau nomor tujuh terbesar di dunia, namun Indonesia tidak tercantum dalam sepuluh besar dunia, baik sebagai pengekspor, maupun pengimpor [1].

Kondisi yang cukup memprihatinkan tersebut diantaranya terjadi akibat kurangnya keberpihakan teknologi pada bidang yang secara umum dikenal sebagai produk seni yang mengutamakan keunikan dan keindahan tersebut. Bidang yang sebenarnya memenuhi banyak persyaratan sebagai tantangan teknologi manufaktur moderen, baik dari segi kecepatan kreasi, kompleksitas permasalahan, integrasi antar disiplin ilmu yang berbeda, saat ini belum mendapatkan perhatian dan dukungan teknologi. Perhatian pemerintah yang cukup besar pada industri kreatif yang berbasis pada perpaduan inovasi, budaya dan teknologi yang dapat menyerap tenaga kerja dan melestarikan budaya belum juga mengarah pada sektor produk seni dan perhiasan tersebut.

Menyikapi hal tersebut di atas, penelitian mengenai pengembangan material alternatif berupa resin untuk pembuatan master perhiasan (master) ditindak lanjuti dengan pengembangan teknologi pemesinan agar menghasilkan master dengan cepat namun berkualitas tinggi.

Pada perkembangannya, keberhasilan pengembangan resin dan pemesinannya, ternyata belum mampu untuk merealisasi tujuan mempercepat produksi massa berkualitas tinggi. Sifat resin yang tidak tahan panas menjadi masalah pada saat pembuatan cetakan karet sebagai langkah lanjut untuk membuat master kedua, akibatnya geometri master kedua tidak sama dengan masternya.

Untuk mengatasi hal tersebut, pembuatan cetakan karet diteliti dengan memilih karet yang memiliki temperatur vulkanisasi yang tidak mengakibatkan deformasi pada resin akibat temperatur. Dengan penelitian tersebut diharapkan pembuatan produk perhiasan dapat dilakukan dengan kualitas dan kecepatan tinggi.

## **2. Teori**

Pembuatan perhiasan untuk material perak dan emas yang dilakukan dengan metoda *lost-wax casting* sudah dikenal sejak 4000 tahun sebelum masehi. Pembuatan dengan cara tersebut hingga saat ini merupakan yang paling banyak digunakan [2].

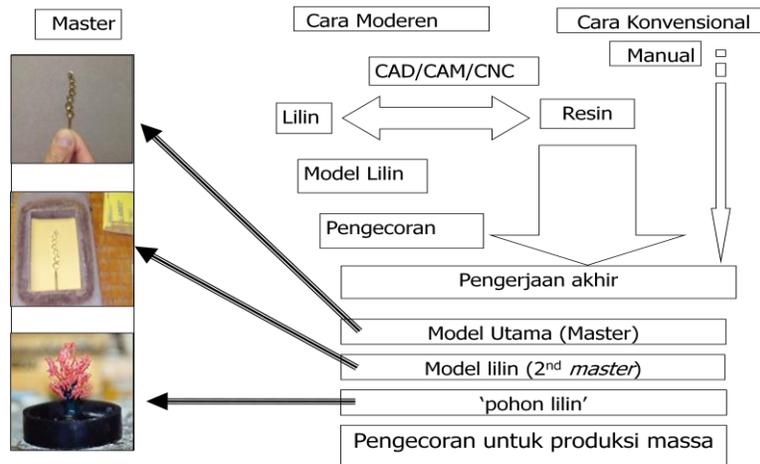
Tahapan yang dilakukan dalam *lost-wax casting* secara garis besar dapat diperlihatkan pada gambar 1.

# Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin (SNTTM) VIII

Universitas Diponegoro, Semarang 11-12 Agustus 2009

Pembuatan master secara konvensional dilakukan dengan menggunakan logam yang lunak agar mudah dibentuk atau dipotong. Cara ini biasa dilakukan secara manual oleh seorang ahli, memerlukan waktu yang relatif lama dan tidak memiliki sifat mampu ulang yang baik.

Gambar 1. Tahapan pembuatan perhiasan [1]



Untuk memperbaiki sifat mampu ulang dan meningkatkan kecepatan pembuatan, teknologi CAD/CAM digunakan pada penyiapan pembuatan master. Hasil pemesinan CNC dengan material lilin (*modeling-wax*) maupun resin hasil dari mesin *rapid-prototyping* digunakan sebagai *calon master* untuk pembuatan master. Namun demikian *calon master* tersebut memiliki kekurangan, terutama karena belum dapat langsung menjadi master.

Pengembangan terakhir adalah pengembangan jenis material resin yang memiliki sifat mampu mesin yang baik, sehingga selesai dilakukan pemesinan dengan CNC, material tersebut dapat digunakan sebagai master setelah dilakukan sedikit proses finishing [3]. Pengembangan tersebut sangat signifikan dalam mengurangi waktu produksi dan mengurangi ketergantungan pula terhadap keberadaan ahli pembuat master yang semakin sedikit jumlahnya.

Tahapan proses setelah pembuatan master adalah pembuatan cetakan lilin, dimana master ditutup dengan lapisan karet lalu ditekan, dipanaskan hingga suhu vulkanisasi karet dan didiamkan beberapa saat.

Karet yang didalamnya terdapat master kemudian dibelah dan diambil masternya, sehingga berongga sesuai dengan bentuk dan kualitas master. Pada tahap berikutnya, lilin disuntikkan ke dalam karet berongga. Setelah dianggap dingin, karet dibuka sesuai belahan dan terbentuklah master baru dengan bahan lilin yang disebut master kedua.

Proses produksi massa dilakukan dengan menyusun lilin-lilin master kedua menjadi 'pohon lilin' yang selanjutnya ditanamkan ke dalam gipsum (*investment*). Tahap berikutnya gipsum dipanaskan hingga kering dan seluruh lilin mencair dan mengalir keluar (*burn-out*) sehingga meninggalkan rongga di dalam gipsum yang siap diisi logam cair sesuai material perhiasan yang diinginkan.

Dengan menggunakan metoda biasa sebagaimana tersebut di atas, pengurangan langkah yang berdampak sangat signifikan terhadap penyiapan master, ternyata masih mengalami kendala jika diterapkan untuk produksi massa. Hal tersebut terjadi akibat sifat resin yang tidak tahan terhadap suhu vulkanisasi karet yang biasa digunakan yaitu 170°C, akibatnya terjadi perubahan bentuk pada saat pembuatan cetakan lilin (*rubber mould*) akibat deformasi termal.



Gambar 2. Cetakan lilin dan hasilnya.

Untuk mengatasi hal tersebut, penelitian lanjutan dilakukan dengan memilih material karet yang memiliki suhu vulkanisasi rendah, dengan harapan bahwa master dengan material resin tidak mengalami perubahan bentuk pada temperatur vulkanisasi. Salah satu alternatif adalah Room Temperature Vulcanization, RTV 585.

Sifat-sifat fisik material RTV 585 dapat dilihat pada tabel 1.[4].

Tabel 1. Sifat-sifat karet RTV 585

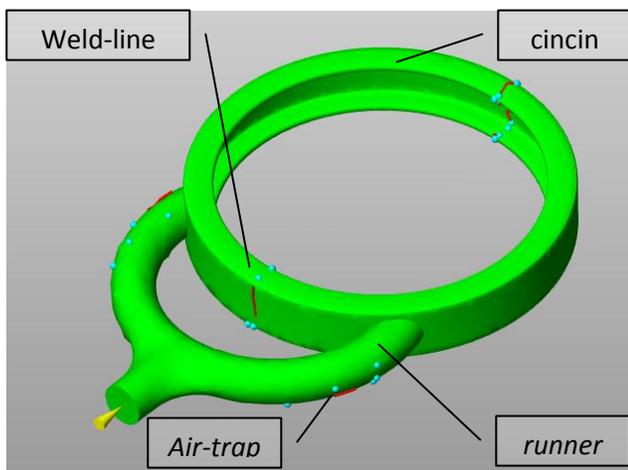
TYPICAL PROPERTIES OF CURED RUBBER			
	CATALYST		
	W/22002	W/22003	W/60R
Specific Gravity	1.21	1.21	1.21
Hardness, Shore A	20	28	27
Elongation, %	400	350	430
Tensile, psi	450	450	600
Tear Strength,	110	110	130
Die B, ppi			
Linear Shrinkage, %	0.3	0.3	NA

Cured 7 days at 24°C (75°F) and 50% RH

### 3. Percobaan

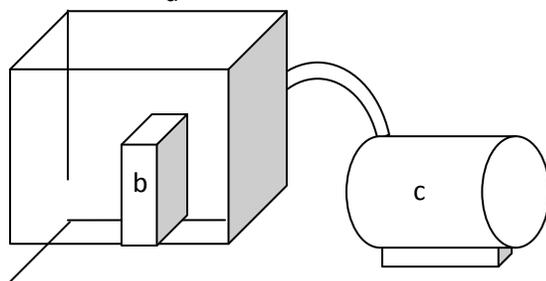
Pembuatan cetakan lilin dimulai dengan analisis penentuan bentuk aliran cairan lilin pengisi pada saat penyuntikan lilin. Penentuan ini sangat penting untuk memprediksi kualitas pengisian cairan lilin berupa kemungkinan adanya udara terjebak, *weld-line* dan tekanan pengisian [5].

Dari hasil analisis menggunakan program metoda elemen hingga didapat hasil sebagaimana gambar 3. Dari hasil analisis tersebut, untuk bentuk *runner* seperti tampak pada gambar 3 tersebut dimana penampang runner berupa lingkaran dengan diameter 3mm, tekanan teoritis yang diperlukan adalah 0,5 MPa, dengan *confidence of fill* yang tinggi.



Gambar 3. Analisis aliran pada cetakan lilin: udara terjebak, *weld-line*.

Setelah analisis dilaksanakan, pembuatan cetakan lilin untuk perhiasan dilakukan dengan *set-up* sebagaimana skema pada gambar 4.



- a. Ruang vakum
- b. Cetakan karet dan wadahnya
- c. Pompa vakum

Gambar 4. Set-up peralatan.

Pada pelaksanaannya, master perhiasan dimasukkan dalam sebuah wadah yang ke dalamnya diisikan cairan campuran silikon dan katalis yang diaduk rata. Untuk meyakinkan kualitas adukan, bahan silikon dengan katalis yang bening diberi pewarna, kerataan warna dapat menjadi indikator kerataan campuran tersebut.

Kualitas cetakan akan sangat dipengaruhi oleh ada tidaknya udara terjebak. Kualitas master yang baik akan menjadi tidak berarti jika masih ada udara yang terjebak di dalam cetakan, untuk itu diperlukan ruangan vakum untuk pengisian silikon. Pemvakuman dapat dilakukan dengan menggunakan pompa vakum, dimana semakin besar kapasitas pompa, akan semakin cepat proses penghilangan udara dari dalam cairan silikon.

Dengan ruangan vakum berukuran 150x200x150, kapasitas pompa vakum 0,5 liter/sec (250 watt) [6], pemvakuman silikon yang akan mulai membeku setelah 2 jam dilakukan selama 15 menit. Waktu pemvakuman menjadi sangat penting karena kelambatan akan mengakibatkan udara tidak bisa keluar dari cairan silikon dan mengakibatkan rongga udara pada cetakan.

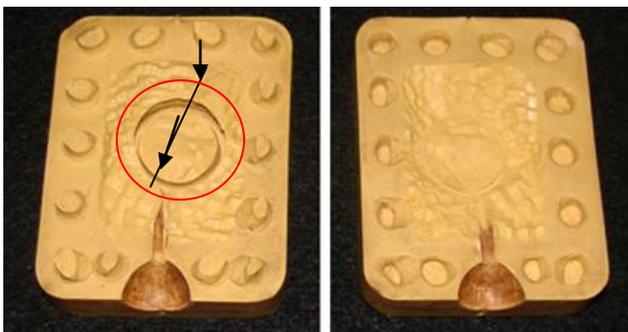
## 4. Hasil dan Diskusi

Berdasarkan pengamatan visual, hasil cetakan silikon dapat merupakan benda pejal tanpa adanya rongga udara di dalamnya. Lebih jauh pembuatan cetakan dengan temperatur kamar tersebut tidak mengakibatkan deformasi pada master perhiasan yang tertanam di dalamnya.

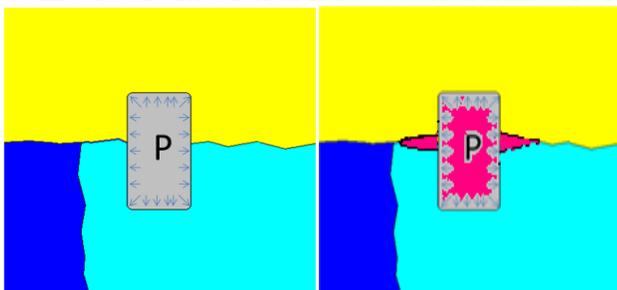
Permasalahan yang patut mendapat perhatian adalah teknik pemotongan/pembelahan karet sangat berpengaruh pada kualitas hasil injeksi lilin cair. Teknik pembelahan lama yang membagi cetakan menjadi dua buah sangat rawan terhadap tekanan injeksi yang terlalu tinggi dan dapat merusak relief cincin.

Gambar 5 menunjukkan pembelahan karet cetakan lilin dengan cara lama dimana karet dipotong menjadi bagian-bagian seperti tampak pada gambar 5. Cara pemotongan tersebut banyak ditemui pada penggunaan material karet yang cukup keras, sehingga tahan terhadap gaya pencekaman yang tinggi.

Gambar 6 merupakan analisis dari penampang melintang bagian dari Gambar 5 yang dilingkari. Dari analisis diperoleh bahwa jika tekanan yang bekerja terlalu tinggi, maka sangat dimungkinkan terjadi celah pada belahan tersebut dan ke dalamnya akan terisi cairan lilin. Jika hal tersebut terjadi maka kemungkinan terjadinya kerusakan pada master kedua sangat tinggi.



Gambar 5. Pembelahan karet cetakan lilin cara lama.



(a)

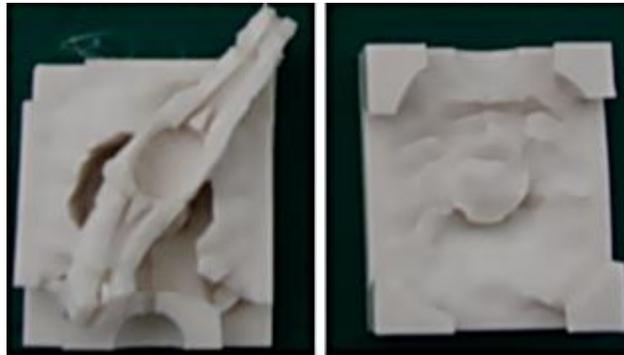
(b)

# Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin (SNTTM) VIII

*Universitas Diponegoro, Semarang 11-12 Agustus 2009*

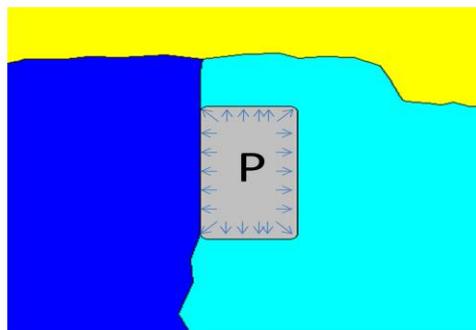
Gambar 6. (a) Analisis pembelahan karet cetakan lilin yang lama, P adalah tekanan pada rongga cincin. (b) Kemungkinan kegagalan pada saat injeksi cairan lilin.

Untuk mengatasi fenomena tersebut, pembelahan karet diatur sehingga gaya-gaya yang terjadi akibat tekanan injeksi maupun gaya yang timbul akibat pembukaan dalam proses pengambilan lilin hasil injeksi sedapat mungkin tidak mempengaruhi geometri perhiasan, apalagi reliefnya. Gambar 7 menunjukkan bagian-bagian belahan karet cara yang baru.

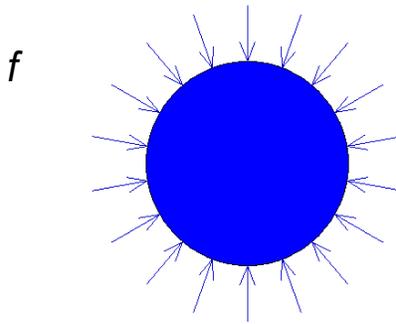


Gambar 7. Pembelahan karet cetakan lilin dengan cara baru.

Analisis gaya-gaya yang terjadi akibat tekanan dilakukan di lokasi yang sama dengan cara pemotongan lama. Gambar 8 menunjukkan bahwa walaupun tekanan injeksi yang dibebankan cukup tinggi, maka kemungkinan munculnya celah yang akan terisi lilin tidak akan mempengaruhi geometri maupun relief perhiasan.



Gambar 8. Analisis pembelahan karet cetakan lilin yang baru, P adalah tekanan pada rongga cincin. Sistem yang terjadi lebih kaku.



Gambar 9. Analisis gaya yang terjadi pada karet cetakan lilin pada sisi bagian dalam cincin.  $f$  adalah gaya akibat tekanan injeksi.

Hal yang perlu mendapat perhatian adalah bagian karet yang berada di sisi dalam cincin. Bagian tersebut menjadi rawan pada saat tekanan injeksi cukup tinggi. Akibat tekanan, bagian tersebut menerima gaya dalam arah radial, sehingga sangat mungkin terjadi deformasi. Meskipun tidak terjadi kebocoran, deformasi ini sangat berpengaruh terhadap radius dalam cincin yang mengecil, akibatnya cincin menjadi lebih tebal.

Mengingat bahwa produk perhiasan dituntut untuk sempurna, kondisi yang berdampak pada ergonomi tersebut harus dihindari dengan cara pengerjaan manual. Jika ini sampai terjadi, maka pemborosan material dan penambahan waktu pengerjaan akan berpengaruh pada biaya produksi.

## 5. Kesimpulan

Cetakan karet untuk perhiasan dapat dibuat dengan material RTV 585 pada temperatur kamar dengan membutuhkan waktu pembekuan total 24 jam.

Masalah teknik pembelahan cetakan perlu mendapat perhatian. Gaya-gaya yang terjadi akibat tekanan injeksi harus diperhitungkan, sehingga tumpahan cairan, jika sampai terjadi, tidak mengenai bagian-bagian penting dari perhiasan. Di samping itu, pembelahan juga harus memperhitungkan cara pengambilan hasil cetakan, sehingga tidak merusak bentuk lilin hasil cetakan.

## Ucapan Terima kasih

Terima kasih diucapkan kepada seluruh rekan sekerja yang sangat mendukung terlaksananya penelitian ini, Furi dan Febri di PrisMATIC, Edi Satrio di ITB serta rekan lain yang tidak dapat disebut semuanya.

## Referensi

1. Pusapatra, Paryana. *Pengembangan Metoda Pemesinan Permukaan Kompleks Berbasis Bitmap*. Proposal Disertasi Doktor, ITB, 2009.
2. World Gold Council. *Jewellery Technology*. [http://www.utilisegold.com/resources/gold\\_technology\\_magazine](http://www.utilisegold.com/resources/gold_technology_magazine), 20 July 2009.

## Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin (SNTTM) VIII

---

*Universitas Diponegoro, Semarang 11-12 Agustus 2009*

3. Paryana Puspaputra dan Risdiyono. *The Application of CAD/CAM Technology for Small Industries in Developing Creative Cultural Design of Art and Jewelry*. Proceeding of The 9th Asia Pacific Industrial Engineering & Management Systems Conference, Bali 2008
4. RHODORSIL<sup>®</sup>. *RTV-585 TECHNICAL DATA SHEET*, Oktober 1998.
5. I-DEAS. Tutorial Mold Flow Project. [http:// www.iutp.univ-poitiers.fr/COURS-DOCS/docu/ideas/SDRCHelp/LANG/French/tutorials/pdf/MF\\_PREP.PDF](http://www.iutp.univ-poitiers.fr/COURS-DOCS/docu/ideas/SDRCHelp/LANG/French/tutorials/pdf/MF_PREP.PDF). 20 Juli 2009.
6. FUJI, *Vacuum Pump Operating Manual*, 2008.