

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1. Tinjauan Pustaka

Teknologi CAD-CAM saat ini terus mengalami perkembangan, tidak hanya untuk membuat produk geometri biasa namun sekarang juga berkembang ke area artistik atau biasa disebut sebagai *Artistic CAD-CAM*. Menurut Departemen Teknologi dan Pelatihan *The Goldsmiths Company* (2010) menyatakan ada beberapa *software CAD* yang bisa digunakan untuk mendesain berbagai jenis perhiasan dan suvenir lain berbahan dasar perak. *Software* tersebut adalah *Rhino*, *3Design CAD6*, *ArtCAM JewelSmith*, *Delcam Designer*, *ArtCAM family*, dan *JewelCAD*. Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, *software ArtCAM JewelSmith* adalah termasuk salah satu *software Artistic CAD-CAM* yang paling mudah digunakan (*easy to use*) dan memiliki banyak fungsi dan fitur (*high versatile product*), sehingga menjadi salah satu *software* yang paling sering digunakan pada industri perhiasan. *Software CAD* memang memudahkan proses pembuatan model sebuah produk cincin artistik, namun tidak hanya sampai pada desain, pengembangan terus berlanjut sampai tahap pembuatan prototipe atau contoh produk, maka sangat disadari perlu ada teknologi pembuatan prototipe secara cepat yang terintegrasi dengan *software CAD* yang lebih dikenal dengan *Rapid Prototyping (RP)*. Teknologi RP yang dikembangkan untuk *Artistic CAD-CAM* harus disesuaikan agar dapat menciptakan sebuah produk yang detil, maka perlu ada penelitian lebih lanjut tentang pengaplikasian teknologi RP yang cocok untuk produk artistik tersebut. Somlak Wannarumon (2011) juga mengatakan hal yang sama dalam jurnalnya "*Review of Computer-Aided Technologies for Jewelry Design and Casting*" bahwa pembuatan produk artistik harus menggabungkan unsur seni, sains, teknik, dan teknologi secara terintegrasi sehingga tercipta produk yang baik. Hal ini sebagai bentuk untuk menjaga kualitas produk artistik agar sesuai dengan standar yang telah dibuat meskipun permintaan bersifat kontinyu. Selain itu proses perancangan juga harus dilakukan secara keseluruhan mulai dari tahap awal yaitu tahap desain sampai tahap produksi. Proses produksi pembuatan cincin artistik berbasis CAD-CAM lebih disarankan menggunakan metode *Investment Casting* dan master produk didapat dari pengaplikasian teknologi RP itu sendiri. Perancangan produk cincin

artistik menurut somlak terdiri dari tiga step dasar yaitu tahap perancangan model CAD, tahap analisis proses dengan *Computer Aided Engineering* (CAE), dan tahap eksekusi proses CAM dengan *Rapid Prototyping*. Fungsi tahap CAE adalah untuk melakukan analisis dan verifikasi apakah proses *Rapid Prototyping* dan *Investment Casting* yang akan dilakukan berjalan baik atau tidak, serta untuk meminimalkan kondisi *trial-error*. *Software* CAE adalah *software* yang baru berkembang jika dibandingkan *software* CAD atau CAM, namun kegunaan *software* ini sangatlah penting untuk melakukan simulasi proses sebelum benar-benar dieksekusi, proses akan menjadi lebih efisien dan efektif. Setelah diverifikasi dengan CAE, maka kemudian dilakukanlah proses pembuatan prototipe (CAM).

Perkembangan teknologi *Rapid Prototyping* untuk *Artistic CAD-CAM* dikembangkan oleh Deepa Saching Ghag dan Jayesh J. Dange (2013) dalam jurnalnya yang berjudul "*Adoptability of CAD/CAM for jewellery Making Industry Using Comparison Technique*", mereka mengenalkan alternatif proses CAM dalam pembuatan prototipe yaitu dengan *Additive Prototyping* dan *Subtractive Prototyping*. Deepa dan Jayesh juga membandingkan beberapa teknologi CAD/CAM yang sering digunakan di beberapa industri *Jewellery* yang sudah sangat berkembang. *Additive Prototyping* adalah metode permesinan untuk membuat sebuah prototipe dengan cara menambahkan material *photopolymer* secara bertahap *layer per layer*, sampai membentuk profil produk yang diinginkan. Teknologi yang digunakan untuk metode ini adalah teknologi *3D Printing*. Sedangkan metode *Subtractive Prototyping* adalah metode permesinan dengan mengurangi material benda kerja sampai membentuk produk yang diinginkan, seperti teknologi *CNC Milling*, Teknologi *CNC Milling* biasa dengan gerakan 3-axis tidak dapat membentuk permukaan produk cincin artistik dengan baik, karena gerakan *cutter* yang terbatas, maka dari itu perlu teknologi *4-axis CNC Milling* agar *cutter* bisa menjangkau seluruh area permukaan cincin. Teknologi *4-axis CNC Milling* sebenarnya adalah aplikasi teknologi *3-axis CNC Milling* ditambah dengan *Rotary Axis Unit* atau biasa disebut dengan *Rotary Table*, sehingga tidak hanya *cutter* yang bergerak namun benda kerja juga bergerak berputar. Perkembangan teknologi CAD-CAM didunia sudah sangat maju, dengan adanya teknologi CAD-CAM ini variasi desain dari produk artistik bisa didapatkan, dan kualitas output produk bisa terus terjaga.

Kembali ke Indonesia, teknologi CAD/CAM ini tergolong teknologi yang baru, namun apa yang dikatakan oleh Somlak Wannarumon (2011) sudah dicoba oleh Ratna Sari (2012) , Stefani (2013) dan peserta kuliah PST (awal 2014), mereka melakukan penelitian tentang aplikasi teknologi *CAD-CAM* dalam pembuatan cincin untuk industri perhiasan. Ratna Sari (2012) melakukan penelitian tentang analisis variasi desain cincin dengan memanfaatkan teknologi *ArtCAM* dan *3D Printing Objet 30 Pro* untuk toko emas Djago Muntilan, Ratna Sari (2012) pada penelitiannya membuat beberapa variasi desain yang kemudian berdasarkan riset pasar yang telah dilakukan terdapatlah empat jenis desain cincin wanita yang memiliki nilai bobot paling besar sebagai pilihan konsumen yang dijadikan desain baru. Hasil desain baru tersebut menjadi tambahan variasi desain bagi toko mas Djago untuk meningkatkan pendapatan. Kemudian dari penelitian Ratna Sari ini dilanjutkan oleh Stefani (2013). Pada penelitiannya Stefani juga membuat alternatif desain untuk *Golden Jewellery* Surabaya untuk meningkatkan omzet penjualan industri tersebut. Perbedaannya adalah pada penelitian Stefani kali ini menggunakan teknologi *Investment Casting* dalam proses pembuatan produk cincin, dan masternya dicetak menggunakan *3D Printing Objet 30 Pro* sebagai aplikasi teknologi *Rapid Prototyping*. Hasil produk cincin mahkota yang dihasilkan memiliki kualitas yang baik, namun pada saat proses produksi *Investment Casting* harus ada tambahan perlakuan yaitu membentuk model lilin. Model cincin hasil *3D Printing* tidak dapat langsung di cor karena tidak dapat lebur dengan baik karena titik lebur *photopolymer (vero white)* lebih tinggi dari titik lebur *wax*, titik lebur *carving wax* berkisar antara 100°C sampai 110°C sedangkan titik lebur *photopolymer* 173°C sampai 178°C (Ramji Pande,2014). Berdasarkan hasil penelitian yang sudah dilakukan oleh Ratna Sari (2013) dan Stefani (2013) yang sama-sama menggunakan teknologi *3D Printing* (metode *Additive Prototyping*) dalam proses CAM pembuatan prototipe, peneliti melihat adanya kekurangan pada proses produksi cincin sebagai resiko menggunakan material *Vero White (Rigid Opaque Photopolymer)* untuk master produk. Kemudian berdasarkan penelitian Deepa Saching Ghag dan Jayesh J. Dange (2013), kali ini peneliti mencoba menggunakan metode alternative lain yaitu Metode *Subtractive* untuk menjawab kekurangan pada penelitian sebelumnya yang telah dilakukan oleh Ratna Sari (2013) dan Stefani (2013) dan hal ini menjadi satu keterbaruan dari penelitian yang akan dilakukan. Selanjutnya penulis akan membandingkan proses dan hasil dari kedua metode ini.

2.2. Penelitian Sekarang

Berdasarkan hasil telaah dari jurnal referensi terkait, penulis mendapat keterbaruan (*State of The Art*) dalam tulisan ini yaitu perlu adanya aplikasi teknologi *Subtractive Prototyping* menggunakan *4-axis CNC Milling* pada proses pembuatan master produk cincin artistik berbahan wax. Tujuan penggunaan teknologi ini adalah untuk menjawab kendala yang dihadapi oleh Ratnasari (2013), Gracia Stefani (2013) dan peserta kuliah PST (2014). Bahan wax dipilih karena material tersebut memiliki karakteristik mudah dibentuk dan titik leburnya tidak terlalu tinggi sehingga proses *Investmen Casting* tidak menyisakan material master produk pada saat pembentukan *mold investment casting (pohon lilin)*. Teknologi *4-axis CNC machining* digunakan pada tulisan ini untuk mendapatkan master produk yang lebih detil berdasarkan *toolpath strategy* dan parameter yang optimal. Metode kreatif dipilih dan digunakan penulis untuk mendapat atribut desain cincin terbaik. Selanjutnya dengan menggunakan *ArtCAM 2013* akan diperoleh model 3D cincin artistik yang siap *running* pada mesin *Rolland Modella MDX-40R*.

Berdasarkan penelitian yang sudah dilakukan terdapat kekurangan mengenai penggunaan metode *Additive Prototyping* dalam proses produksi cincin dengan teknologi *Investment Casting* yang dilakukan di Lab. PP PSTI dan UKM. Metode *Subtractive Prototyping* akan digunakan penulis untuk membuat prototipe wax yang akan dijadikan sebagai master produk dan membandingkannya dengan hasil prototipe dengan metode *Additive Prototyping*. Pembuatan prototipe dengan metode *Additive* menggunakan teknologi *3D Printing*, sedangkan pembuatan prototipe dengan metode *Subtractive* menggunakan teknologi *4-axis CNC Milling*. Proses CAD menggunakan software *PowerShape 2014* dan proses CAM menggunakan software *ArtCAM 2013*, selanjutnya pada tahap proses produksi pembuatan produk cincin menggunakan metode *Investmen Casting*.

Hasil akhir dari tulisan ini diharapkan berupa masukan apakah teknologi *Subtractive Prototyping* pada mesin *Rolland Modella MDX-40* dengan rotary tablenya mampu menghasilkan master produk cincin artistik berbahan wax atau tidak, apakah master produk cincin tersebut juga dapat diproses langsung secara *Investment Casting* di BBKB Yogyakarta.

2.3. Dasar Teori

2.3.1. Perhiasan

Perhiasan merupakan salah satu hasil tambang yang dapat digunakan untuk merias atau mempercantik diri. Perhiasan biasanya terbuat dari emas ataupun perak dan terdiri dari berbagai macam bentuk mulai dari cincin, kalung, gelang, anting, liontin, dan lain-lain. Perhiasan biasa digunakan untuk hadiah, acara pernikahan, tunangan, investasi, aksesoris penampilan, dan lainnya.

Perak adalah unsur logam transisi lunak, putih, mengkilap, mudah dibentuk, memiliki simbol kimia Ag (Argentum) dan nomor atom 47. Perak termasuk logam mulia karena tidak mengalami proses korosif, namun perak bisa mengalami proses oksidasi. Proses oksidasi mengakibatkan lapisan kehitaman dan timbul karat pada logam tersebut, beda hal-nya dengan proses korosi.

Perak terdiri dari berbagai jenis yaitu

a. Perak 999

Fine silver disebut juga *pure silver* dan *three nines silver*. *Fine Silver* mengandung 99.9% logam silver dengan hanya 1% kandungan lain. Silver seperti ini biasanya digunakan dalam bentuk batangan untuk komoditas internasional dalam perdagangan dan investasi silver. *Fine silver* telah dipahami sebagai logam yang terlalu lunak untuk digunakan dalam kegiatan sehari-hari.

b. Britania Silver

Memiliki kandungan silver dengan perbandingan minimum 95.84% pure silver dan 4.16% copper atau logam lainnya. Standar Britania ini dibuat di Britain pada tahun 1697 untuk menghindari koin-koin mata uang British dilelehkan untuk dijadikan piring silver.

c. Perak 925

Pada dasarnya perak yang sering digunakan sekarang merupakan campuran logam dan ada beberapa jenis, bergantung pada kadar kemurniannya logam perak tersebut per seribu dari berat keseluruhan metal campuran. Sebagai contoh, silver sterling 925 adalah hasil campuran 92.5% perak dan 7.5% logam metal lainnya (biasanya tembaga).

2.3.2. Proses CNC Milling

Secara teknis, proses permesinan mulai dilakukan orang sejak dikenal mesin koter (*Boring Machine*) yang dibuat oleh Wilkinson pada tahun 1755 yang digunakan untuk membuat mesin uap James Watt, dan menandai dimulainya revolusi industri.

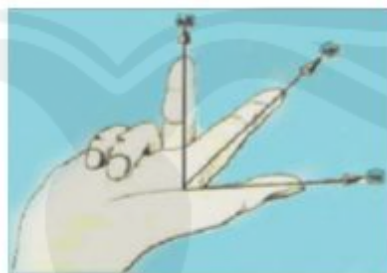
Dalam perkembangannya, teknologi proses permesinan mencapai perkembangan yang sangat pesat setelah digunakannya pengendali numerik (*Numerical Control* atau sering disebut NC) oleh J.T. Parsons pada tahun 1952. Pemrograman mesin NC dapat dilakukan dengan 3 cara, yaitu:

- a. Pemrograman Manual (*Manual Programming*)
Pemrograman ini dilakukan secara langsung pada mesin CNC.
- b. Pemrograman dengan komputer pembantu
Pemrograman dilakukan pada komputer lain.
- c. Pemrograman terintegrasi dengan sistem CAD-CAM

Jenis mesin *CNC Milling*:

- a. Mesin *3-axis CNC Milling*

Sistem persumbuan distandarkan untuk berbagai permesinan dengan sistem koordinat Cartesian. Untuk memudahkan penunjukkan persumbuan mesin CNC 3 Axis, operator berhadapan dengan mesin, lalu buka jari-jari tangan kanan X,Y, dan Z (kaidah tangan kanan) seperti pada gambar berikut:



Gambar 2.1. Gambar Persumbuan 3-Axis dengan Kaidah Tangan Kanan

- b. Mesin *4-axis CNC Milling*

Permesinan 4 axis adalah proses permesinan dengan mesin CNC yang memiliki empat arah gerak axis yakni X, Y, Z, dan A. Tujuan dari drancangnya sistem 4 axis pada mesin CNC adalah supaya mesin mampu menjangkau sisi benda kerja yang tidak bias dijangkau oleh sistem 3 axis (X, Y, Z) yang konvensional, tujuannya agar proses lebih

cepat dan hasil produk lebih sempurna. Pergerakan sistem 4 axis antara lain seperti gambar dibawah ini:

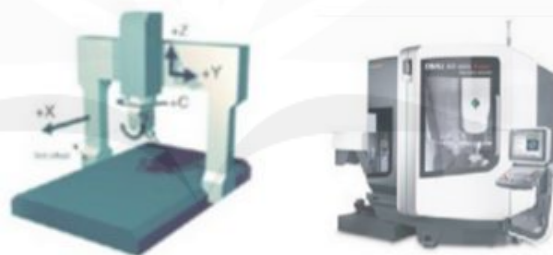


Gambar 2.2. Gambar persumbuan 4-axis

(Sumber: Jurnal Mechanical Engineering Diponegoro University, 2014)

c. Mesin CNC *Milling* 5 Axis

Sumbu CNC mengacu pada kemampuan mesin CNC untuk melakukan lima sumbu yang berbeda secara bersamaan, sebagian besar produsen menggambarkan pergerakan CNC mesin dimulai dengan tiga sumbu utama X,Y,Z, kemudian ditambah A dan C. Sumbu Z adalah sejajar dengan poros bangku, dua lainnya sumbu yang disediakan oleh mesin. Kemampuan untuk memutar mengenai sumbu X dan Y. Sumbu A adalah axis parallel dan berputar pada sumbu X. Axis C berputar sejajar dengan sumbu Y. Sumbu Z merupakan gerakan pemakanan pada mesin.



Gambar 2.3. Gambar persumbuan 5 axis dan 5-axis CNC Milling Machine

(Sumber: Jurnal Mechanical Engineering Diponegoro University, 2014)

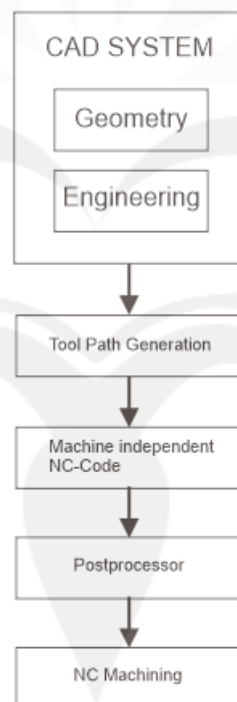
Mengenai mesin 5 axis mempunyai beberapa manfaat, yaitu dapat membuat bentuk kompleks, dakan satu *setup* pada gilirannya hal ini mengurangi waktu dan meningkatkan hasil produksi. Selain itu dengan mengurangi beberapa *setup* waktu dan kesalahan dapat dikurangi.

2.3.2.1 Pemrograman CAD-CAM

Computer Aided Manufacturing (CAM) adalah fungsi dari *software* computer untuk mengontrol mesin dan peralatannya dalam proses peremesinan benda kerja. CAM bertujuan untuk membuat proses produksi menjadi lebih cepat, dengan dimensi yang lebih presisi dan konsisten. *CAM software* digunakan

dalam sistem komputer untuk memudahkan *programer* dalam menghasilkan bentuk kontur dan permukaan yang kompleks (permesinan produk artistik) tanpa menggunakan perhitungan formula matematis yang rumit. Dalam proses manufaktur suatu produk secara umum diawali dengan pembuatan konsep desain produk tersebut, kemudian dilanjutkan dengan pembuatan model 3D menggunakan sistem *Computer Aided Design* (CAD). Setelah permodelan menggunakan sistem CAD selesai, maka model produk tersebut ditransfer kedalam sistem CAM. Dengan sistem CAM akan dilakukan pembuatan lintasan yang akan dilalui *cutter* (*Toolpath Strategy*) diatas produk 3D yang kita buat. Lintasan *cutter* di dalam sistem CAM ini nantinya digunakan sebagai lintasan *cutter* pada proses permesinan sesungguhnya di mesin CNC dengan bantuan NC, dilakukan *post processing* pada lokasi *cutter* (*Cutter Location/ CL data*) di mana mendefinisikan lintasan *cutter*. Dengan *post processor*, maka CL data dapat diubah menjadi G-Code yang dapat dibaca oleh mesin CNC.

Gambar 2.4. menunjukkan poses integrasi *toolpaht strategy/ generation* dalam sistem CAD-CAM.



Gambar 2.4. Proses Integrasi *Toolpath Generation* pada Proses CAD-CAM

(Sumber: Toolpath generation and 3D tolerance, Keun Choi, Young, 2004)

2.3.3. Rapid Prototyping

Rapid Prototyping (RP) dapat didefinisikan sebagai metode-metode yang digunakan untuk membuat model berskala (prototipe) dari mulai bagian suatu produk (*part*) ataupun rakitan produk (*assembly*) secara cepat dengan menggunakan data *Computer Aided Design* (CAD) tiga dimensi. *Rapid Prototyping* memungkinkan visualisasi suatu gambar tiga dimensi menjadi benda tiga dimensi asli yang mempunyai volume. Selain itu produk-produk RP juga dapat digunakan untuk menguji suatu part tertentu. Metode RP pertama ditemukan pada tahun 1986 di California, USA yaitu dengan metode *Stereolithography*. Setelah penemuan metode tersebut berkembanglah berbagai metode lainnya yang memungkinkan pembuatan prototipe dapat dilakukan secara cepat.

Saat ini, pembuatan prototipe menjadi syarat tersendiri pada beberapa perusahaan dalam upaya penyempurnaan produknya. Beberapa alasan mengapa *rapid prototyping* sangat berguna dan diperlukan dalam dunia industri adalah:

- a. Meningkatkan efektifitas komunikasi di lingkungan industri atau dengan konsumen.
- b. Mengurangi kesalahan-kesalahan produksi yang mengakibatkan membengkaknya biaya produksi.
- c. Mengurangi waktu pengembangan produk.
- d. Meminimalisasi perubahan-perubahan mendasar.
- e. Memperpanjang jangka pakai produk misalnya dengan menambahkan beberapa komponen fitur atau mengurangi fitur-fitur yang tidak diperlukan dalam desain.

RP mengurangi waktu pengembangan produk dengan memberikan kesempatan-kesempatan untuk koreksi terlebih dahulu terhadap produk yang dibuat (prototipe). Dengan menganalisa prototipe, insinyur dapat mengkoreksi beberapa kesalahan atau ketidaksesuaian dalam desain ataupun memberikan sentuhan-sentuhan engineering dalam penyempurnaan produknya. Saat ini tren yang sedang berkembang dalam dunia industri adalah pengembangan variasi dari produk, peningkatan kompleksitas produk, produk umur pakai pendek, dan usaha penurunan biaya produksi dan waktu pengiriman. RP meningkatkan

pengembangan produk dengan memungkinkannya komunikasi yang lebih efektif dalam lingkungan industri.

Secara umum teknologi *Rapid Prototyping* terdiri dari dua tipe yaitu *Additive Prototyping* dan *Subtractive Prototyping*. *Additive Prototyping* adalah teknik pembuatan produk dibangun dengan cara menambahkan material secara bertahap (*layer per layer*) sampai membentuk produk keseluruhan, aplikasi teknik ini digunakan pada teknologi *3D Printing*. *Subtractive Prototyping* adalah teknik pembuatan produk dengan cara merencanakan pergerakan *tool* untuk memotong benda kerja secara langsung untuk membentuk produk, aplikasi teknik digunakan pada teknologi *4-axis CNC Milling*.



Gambar 2.5. Teknologi RP, *3D Printing* (kiri) dan *4-axis CNC Milling* (kanan)

2.3.4. Pengecoran (*Casting*)

Pengecoran adalah suatu proses manufaktur yang menggunakan logam cair dan cetakan untuk menghasilkan bagian dengan bentuk yang mendekati bentuk akhir geometri akhir produk jadi. Logam cair akan dituangkan atau ditekan ke dalam cetakan yang memiliki rongga sesuai dengan bentuk yang diinginkan. Setelah logam cair memenuhi rongga dan kembali ke bentuk padat, selanjutnya cetakan dipisahkan dan hasil cor dapat digunakan untuk proses sekunder.

Proses pengecoran sendiri dibedakan menjadi dua macam, yaitu *traditional casting* dan *contemporary casting (non traditional)*.

a. Teknik *Traditional*

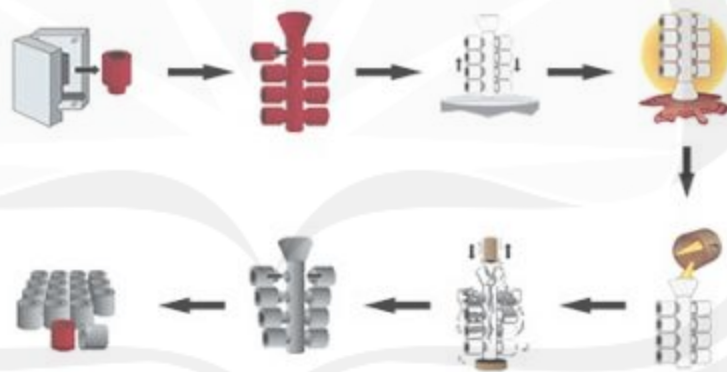
1. Pengecoran dengan cetakan pasir (*Sand-Mold Casting*).
2. Pengecoran dengan menggunakan pasir basah (*Dry-Sand Casting*)
3. *Shell-Mold Casting*
4. *Full-Mold Casting*

5. Pengecoran menggunakan cetakan semen (*Cement-Mold Casting*)
6. Pengecoran dengan sistem *vacuum* (*Vacuum-Mold Casting*)

b. Teknik *non-Traditional*

1. Pengecoran dengan tekanan tinggi (*High-Pressure Dies Casting*)
2. Pengecoran dengan cara diputar (*Centrifugal Casting*)
3. Pengecoran dengan sistem suntik (*Injection-Mold Casting*)
4. Pengecoran dengan cetakan karet (*Investment Casting*)

Pengecoran dilakukan dengan pola ditanam dalam rangka cetakan gips, kemudian pola dihilangkan dengan cara pemanasan sehingga diperoleh rongga cetak, pengecoran ini sering juga disebut *Wax Lost Casting*. Keuntungan dari sistem casting adalah penghematan waktu dan model yang dibuat bisa sama semua. Meskipun begitu proses akhir (*finishing*) dari proses *silver* cetakan ini masih menggunakan tangan di antaranya, pengikiran dan pengamplasan



Gambar 2.6. Alur proses *Investment Casting*

5. Pengecoran dengan sistem tiup, biasa untuk cetakan plastik (*Blow-Mold Casting*)

Non-traditional casting tidak bergantung pada pasir dalam pembuatan cetakannya dan biasanya digunakan untuk menghasilkan produk dengan geometri yang relatif kecil dibandingkan bila menggunakan *traditional casting*. Hasil coran *non-traditional casting* tidak memerlukan proses tambahan untuk penyelesaian permukaan. *Traditional casting* khususnya *sand mold casting* bahan yang digunakan adalah pasir cetak. Keuntungan dari pasir adalah harganya murah, mudah didapat dan cara pembuatannya mudah. Namun

kerugian dari cetakan pasir adalah hanya dapat digunakan satu kali pencetakan sehingga tidak dapat digunakan untuk produksi masal.

2.3.5. Metode Kreatif

Metode kreatif adalah metode perancangan yang memiliki tujuan untuk menstimulasi pemikiran kreatif dengan cara meningkatkan produksi gagasan, menyisihkan hambatan mental terhadap kreatifitas, atau dengan cara memperluas area pencarian solusi (Cross, 1994). Ada dua jenis metode kreatif yang paling dikenal, yaitu metode *Brainstorming* dan metode Sinektik.

a. *Brainstorming*

Brainstorming dapat didefinisikan sebagai suatu cara untuk mendapatkan banyak ide dari sekelompok manusia dalam waktu yang sangat singkat. *Brainstorming* adalah metode yang bertujuan untuk menstimulasi sekelompok orang untuk menghasilkan sejumlah besar gagasan dengan cepat. Orang-orang yang terlibat sebaiknya tidak *homogen* (memiliki kemampuan dan keahlian yang berbeda-beda sehingga penelitian memiliki pemikiran yang terbuka) serta harus mengerti persoalan yang dihadapi dan aturan yang berlaku dalam *brainstorming*. Aturan yang digunakan dalam proses *brainstorming* adalah:

1. Kelompok haruslah bersifat non-hierarkial dan terdiri dari 4-8 orang.
2. Kelompok diharapkan menghasilkan sebanyak-banyaknya jumlah gagasan.
3. Tidak dibenarkan memberikan kritik terhadap setiap gagasan.
4. Gagasan yang terlihat aneh tetap diterima.
5. Usahakan semua gagasan dinyatakan secara singkat dan jelas.
6. Suasana dalam *brainstorming* berlangsung rileks, tenang, dan bebas.
7. Kegiatan sebaiknya berlangsung dalam waktu tidak lebih dari 30 menit.

Cara-cara *brainstorming* dibagi menjadi 3 sebagai berikut:

1. **Verbal *brainstorming*** adalah mengumpulkan ide dengan cara para peserta saling bertukar pikiran dalam suatu kelompok yang

dilakukan secara verbal dengan tatap muka dan pertemuan langsung.

2. **Nominal *brainstorming*** adalah mengumpulkan ide dengan cara para peserta dalam penyampaian ide dilakukan secara terpisah, tidak saling berinteraksi dengan menuliskan idenya di kertas atau komputer.
3. **Elektronik *brainstorming*** adalah pengumpulan ide dengan bertukar gagasan melalui media elektronik dalam sebuah kelompok, media elektronik yang digunakan biasanya berupa *tools* seperti *Group Support System*.

b. **Sinektik**

Metode sinektik adalah suatu aktivitas kelompok yang mencoba membangun, mengkombinasikan, dan mengembangkan gagasan-gagasan untuk memberikan solusi kreatif terhadap permasalahan perancangan melalui penggunaan berbagai analogi. Sinektik bertujuan untuk mengarahkan aktivitas spontan pemikiran ke arah eksplorasi dan transformasi masalah-masalah perancangan.

Ciri-ciri sinektik adalah tidak mengenal adanya kritik terhadap ide orang lain, pencapaian akhir berupa suatu solusi tunggal dimulai dengan pernyataan permasalahan dari klien atau pihak manajemen perusahaan, dan membangkitkan analogi para peserta. Analogi digunakan untuk membantu membuat pengenalan akan sesuatu yang asing dan untuk membuka batas pengembangan ide yang diupayakan seimajinatif mungkin. Perbedaan sinektik dengan *brainstorming* adalah dalam sinektik lebih mengarah pada usaha keras untuk menghasilkan solusi tunggal yang lebih khusus, tidak lagi membangkitkan sebanyak mungkin ide.

Metode pelaksanaan sinektik meliputi:

1. Membentuk kelompok yang terdiri dari anggota yang selektif.
2. Melatih para anggota kelompok dalam menggunakan analogi untuk membangkitkan aktifitas spontan otak terhadap persoalan.
3. Memaparkan masalah perancangan kepada kelompok sama seperti yang dinyatakan oleh klien atau pihak manajemen perusahaan.

4. Menggunakan banyak analogi, diantaranya adalah analogi langsung, analogi personal, analogi simbolik, dan analogi fantasi.

2.3.6. Matriks Zero-One

Matriks Zero One digunakan untuk menentukan bobot dari setiap atribut atau alternatif. Cara pelaksanaan metode ini dengan mengumpulkan fungsi-fungsi yang tingkatannya sama, kemudian disusun dalam suatu matriks zero one yang berbentuk bujur sangkar, kemudian dilakukan penilaian sehingga matriks akan terisi nilai satu dan nol, kecuali diagonal utama yang berisi x, nilai-nilai pada matriks ini kemudian dijumlah menurut baris dan dikumpulkan pada kolom jumlah.

Kriteria	No	No Kriteria			Total	Rank	Angka Rank	Bobot
		1	2	3				
	1							
	2							
	3							
Total								

Gambar 2.7. Tabel matriks Zero-One

Ranking didapat dari nilai total matriks tersebut, dimana yang mempunyai nilai total yang besar mendapatkan ranking 1 begitu juga sebaliknya. Menentukan angka ranking didapat dari kebalikan jumlah ranking. Misal pada tabel ada 3 ranking, maka ranking 1 mendapatkan nilai 3, ranking 2 mendapat nilai 2 sedangkan ranking 3 mendapat nilai 1. Bobot pada matriks didapat dengan cara membagi angka ranking pada setiap kriteria dengan jumlah angka ranking tersebut, sehingga total bobot 100%. Untuk mencari nilai index pada setiap alternatif yang muncul pada setiap kriteria. Nilai index dicari dengan menggunakan Matriks Zero One pada alternatif terhadap setiap kriteria. Contoh terdapat alternatif A, B, dan C dimana $A > B$, $A > C$, $B > C$, $B < A$, $C < A$, dan $C < B$. *Matriks Zero One* dapat ditulis seperti dalam tabel berikut:

Alternatif	A	B	C	Jumlah	Index
A		1	1	2	2/3
B	0		1	1	1/3
C	0	0		0	

Gambar 2.8. Contoh aplikasi matriks *Zero-One*

2.3.7. Wax (lilin)

Lilin atau wax adalah kelas senyawa kimia yang mudah dibentuk pada suhu kamar. Mereka juga merupakan jenis lipid. Karakteristik lilin akan meleleh di atas suhu 45 ° C (113 ° F) untuk memberikan cairan viskositas rendah. Lilin yang tidak larut dalam air tetapi larut dalam organik, pelarut nonpolar. Semua lilin adalah senyawa organik, baik sintetis dan alami. Lilin adalah senyawa organik yang khas terdiri dari rantai alkil panjang. Lilin alami mungkin berisi ester asam karboksilat dan alkohol rantai panjang atau campuran hidrokarbon tersubstitusi, seperti asam lemak rantai panjang dan alkohol primer. Lilin sintetis hidrokarbon rantai panjang kurang kelompok fungsional. Lilin (wax) dalam dunia industri terdapat 4 jenis dasar:

a. *Animal Waxes*

Lilin hewan paling umum dikenal adalah lilin lebah, tetapi serangga lainnya mengeluarkan lilin. Komponen utama dari lilin lebah digunakan dalam membangun sarang adalah ester *palmitat myricyl* yang merupakan ester dari trikontanol dan asam palmitat. Titik lelehnya adalah 62-65 ° C. Spermaseti terjadi dalam jumlah besar dalam minyak kepala ikan paus sperma. Salah satu konstituen utamanya adalah setil palmitat, ester lain dari asam lemak dan alkohol lemak. *Lanolin* adalah lilin yang diperoleh dari wol, terdiri dari ester sterol.

b. *Plants Waxes*

Tanaman mengeluarkan lilin ke dalam dan di permukaan kutikula mereka sebagai cara untuk mengontrol penguapan, keterbasahan dan hidrasi. Lilin epicuticular tanaman adalah campuran dari tersubstitusi rantai panjang *hidrokarbon alifatik*, yang mengandung alkana, alkil ester, asam lemak, primer dan sekunder alkohol, diol, keton, aldehid. Dari sudut pandang komersial, lilin tanaman yang paling penting adalah *Carnauba* lilin, lilin

keras diperoleh dari telapak Brasil *Copernicia prunifera*. Yang berisi cerotate ester myricyl, ia memiliki banyak aplikasi, seperti gula dan coating makanan lainnya, mobil dan furniture polish, lapisan benang, papan selancar lilin, dan penggunaan lainnya. Malam nabati lebih khusus lainnya termasuk lilin candelilla dan lilin *ouricury*.

c. *Paraffin Waxes*

Lilin parafin adalah putih atau tidak berwarna lembut padat diturunkan dari minyak bumi, batubara atau serpih minyak, yang terdiri dari campuran molekul hidrokarbon yang mengandung antara dua puluh dan empat puluh atom karbon. Hal ini padat pada suhu kamar dan mulai mencair di atas sekitar 37° C (99° F) dan titik didihnya adalah > 370 ° C (698 ° F). Aplikasi umum untuk lilin parafin termasuk pelumasan, listrik. isolasi, dan lilin. Hal ini berbeda dari minyak tanah, produk minyak bumi lain yang kadang-kadang disebut parafin. Dalam dunia industri *Paraffin Waxes* sendiri digunakan dalam proses *Investmen Casting* atau *Lost Waxing Casting Process* untuk memproduksi material berbahan logam.



Gambar 2.9. Contoh material *Paraffin Waxes*

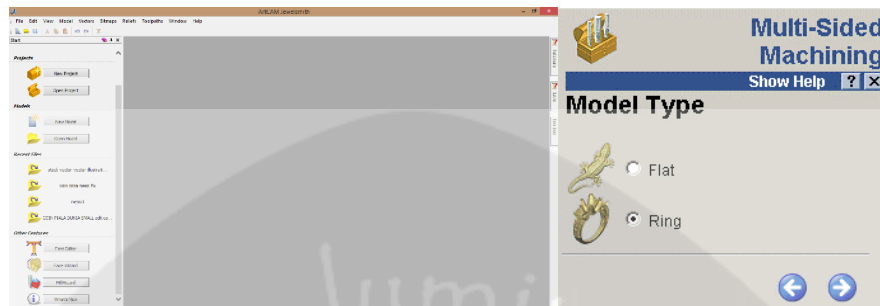
d. *Montan Waxes*

Montan lilin adalah lilin fosil diekstraksi dari batubara dan *lignite*. Hal ini sangat sulit, yang mencerminkan konsentrasi tinggi asam lemak jenuh dan alkohol. Meskipun cokelat gelap dan bau, mereka dapat dimurnikan dan diputihkan untuk memberikan produk komersial berguna.

2.3.9. ArtCAM 2013

ArtCAM 2013 merupakan suatu program perangkat lunak yang sudah dirancang untuk pengrajin dan juga sekaligus *engineer*, karena untuk menghasilkan produk artistik yang baik juga harus mengintegrasikan ilmu seni, sains, teknik dan teknologi. *ArtCAM 2013* disini hadir menjadi jembatan antara aspek seni dan keteknikan tersebut. *ArtCAM* memiliki fitur yang mudah digunakan untuk

mendesain dan memproduksi suatu produk dengan cepat dan mudah, serta berkreasi dengan suatu desain.



Gambar 2.10. Tampilan Utama ArtCAM 2013

ArtCAM 2013 juga dilengkapi dengan kemampuan untuk membuat sebuah prototipe secara cepat dengan menggunakan data CAD atau biasa disebut *Rapid Prototyping*. Software ArtCAM mampu melakukan toolpath generation (CAM) untuk proses permesinan 3-axis CNC Milling dan 4-axis CNC Milling, dengan integrasi proses CAD dan CAM maka proses pembuatan prototipe produk menjadi lebih cepat dan efisien. Salah satu keunggulan ArtCAM 2013 adalah memiliki fitur *Multi-Sided Machining*, yaitu kemampuan mengerjakan seluruh permukaan benda saat bekerja sama dengan *Rotary Axis Unit / Rotary Table*. Berikut tahapan proses machining di ArtCAM 2013.

Persiapan Post Processor di ArtCAM 2013:

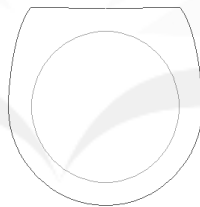
- Copy file Roland_MDX40R-4axis.con dari folder machining roland mdx40\post processor\., pastikan sesuai dengan versi artcam yang dimiliki ke folder instalasi artcam jewelsmith/pro.
- Buka ArtCAM 2013, pastikan tidak ada error. Bila terdapat error maka file diatas dihapus dan ulangi langkah 1.a (pastikan copy dari folder sesuai dengan versi artcam yang dimiliki).

Persiapan Toolpath Template:

- Buka ArtCAM 2013, buat project dengan nama misal: template kemudian OK.
- Pilih *new component*, pilih *3 axis shank* atau *rotary shank*.
- Pilih ukuran cincin misal asia, ukuran 3½, kemudian *next*.
- Pastikan lingkaran luar yang dipilih. Kemudian masuk ke *toolpath tab*.

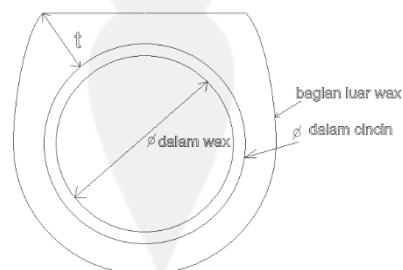
- e. Pilih *machine relief*.
- f. Pada kolom *machine relief*, pilih *selected vector, raster*.
- g. *Raster angle 0* artinya arah pemakanan akan mengelilingi cincin, bila pencekaman tidak sempurna, maka akan selip.

Raster angle 90 artinya arah pemakanan akan searah dengan sumbu X, relatif aman.
- h. *Allowance roughing* misalkan 0.3mm.
- i. *Tolerance* 0.002 – 0.005 (akan berakibat kehalusan relief dan lama kalkulasi).
- j. Set machine safe Z misal 30 – 50mm.
- k. Pilih *tool* pada *library*, sesuai dengan *tool* yang dimiliki untuk *roughing*. Bila tidak ada silakan membuatnya.
- l. Untuk *roughing* yang terpenting adalah tebal material awal wax. Pada *Artcam jewelsmith* menganggap bahwa tebal material = $\varnothing$ paling luar material – $\varnothing$ dalam cincin.



Gambar 2.11. Desain material awal

Maka untuk tebal sebagai berikut:



Gambar 2.12. Keterangan material awal

T (tebal secara diagonal yang paling besar) = bagian terluar wax – $\varnothing$ dalam cincin

Misal $t = 10$

Hasilnya dimasukkan pada *Do Multiple Z Passes*.

m. Material jangan didefinisikan.

n. Masukkan nama untuk memudahkan identifikasi *toolpath*.

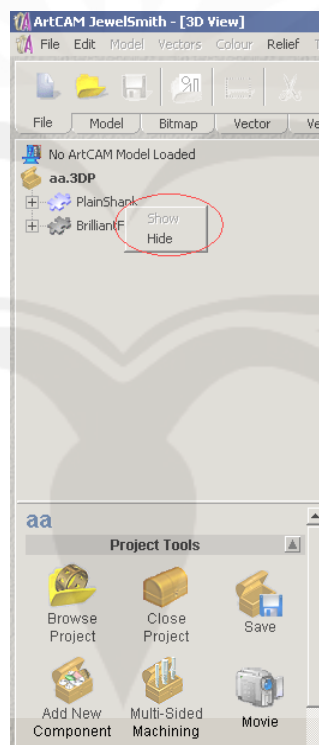
Misal: Ruf_bn2_t8 → berarti *roughing* dengan *ball nose* 2mm, untuk tebal material 8mm

o. Klik *Later*

Untuk *finishing*, lakukan hal yang sama dengan langkah diatas tetapi *allowance* 0, agar pada proses *finishing* tidak menyisakan material kerja.

Langkah Pembuatan *Toolpath Strategy*:

- a. Buka project yang sudah dibuat di *Artcam 2013*.
- b. Pastikan part yang akan diproses jangan disembunyikan. Klik kanan pada *part* kemudian pilih *show*. Karena *Artcam* hanya akan memproses yang kelihatan saja.



Gambar 2.13. Gambar *Project Tools* pada *ArtCAM 2013*

c. Pilih *multi-sided machining*

- d. Pilih *edit setting*
- e. *Model Type* - pilih *Ring*, kemudian *next*
- f. *Model size* akan otomatis mendeteksi diameter dalam cincin, kemudian *next*
- g. *Machining Orientations* – pilih *Rotary-Axis*, kemudian *next*.
- h. *Rotary-Axis template* dan pilih *template toolpath* sesuai yang telah kita buat
- i. Pilih *Roland MDX40(4AXIS)-Rotary X – A* untuk *post processor*nya
- j. *Jig diameter* adalah diameter dalam dari *wax*
- k. *Bridges* adalah pemegang untuk cincinnya, setting jumlahnya, lebar dan tebalnya, kemudian *accept*
- l. Hasil *toolpath* dapat dilihat di folder tempat penyimpanan project cincinnya.
Misal: C:\shared documents\artcam files\jewelsmith
project\cincinku\machining
- m. Setting mesin dengan *control panel Roland MDX-40*:
 - *Setting Z* dengan *sensor Z attachment*
 - *Setting Y centre*
 - *Setting X* sesuai dengan kebutuhan *wax* dan letak dari model

Buka program *drop out*, pilih program file yang akan dijalankan satu per satu dari *roughing* dulu kemudian *semi finish* atau *finishing*.

2.3.10. Perhitungan Total Biaya Produksi

Perhitungan total biaya produksi cincin terdiri dari dua macam yaitu biaya pembuatan master produk dan biaya proses produksi. Biaya master produk terdiri dari biaya material dan biaya lama permesinan, kemudian biaya proses produksi terdiri dari biaya material logam mulia dan biaya proses Investment Casting. Perumusan perhitungan dapat dilihat dibawah ini:

$$\text{Total Biaya Produksi} = \text{Biaya Master Produk (1)} + \text{Biaya Proses Produksi (2)}$$

$$\text{Biaya Master Produk (1)} = \text{Biaya Material} + \text{Biaya Lama Pemakaian Mesin}$$

$$\text{Biaya Proses Produksi (2)} = \text{Biaya Material Logam} + \text{Biaya Proses Investment Casting}$$