BAB 2
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kajian Pustaka

Dalam perkembangan topik penelitian ini, ada beberapa hasil yang telah dicapai oleh penelitian sebelumnya yang berkaitan dengan proses pemesinan hingga proses casting perhiasan.

Pada tahun 2013, Martin melakukan penelitian tentang Perancangan dan Pembuatan Alat *Vacuum Casting* yang dapat digunakan untuk industri perhiasan skala kecil dan menengah. Penelitian ini telah berhasil merancang alat *vacuum casting* melalui proses peleburan dan *vacuum casting* terintegrasi dalam satu kesatuan alat (Martin 2013).

Pada tahun 2014, Risma melakukan penelitian tentang Perancangan dan Pembuatan Alat *Vacuum Mixer Gypsum* yang dapat digunakan untuk industri perhiasan skala kecil dan menengah. Alat ini dirancang agar dapat menampung adonan gipsum sebesar 1 – 2 kg dengan ruangan pembuatan adonan gipsum dan ruangan penuangan gipsum dan ruangan penuangan gipsum berada dalam satu kesatuan alat yang terintegrasi dengan vakum *van vibrating* (Risma, 2014).

Pada tahun 2014, Ahmad melakukan penelitian tentang Perancangan dan Pembuatan Alat *Burnout Furnace* untuk Industri Perhiasan Skala Kecil dan Menengah yang dapat digunakan untuk industri perhiasan skala UKM. Penelitian ini telah berhasil merancang alat *Burnout Furnace* yang berfungsi untuk pengeluaran lilin, pengeringan cetakan gipsum dan pengerasan gipsum (Ahmad, 2014).

Pada tahun 2014, Shofia melakukan penelitian tentang Pembuatan Master Cincin Complex Signet Menggunakan Roland Jwx 10 yang bertujuan untuk mendapatkan bentuk *fixture* yang sesuai dalam pembuatan master perhiasan. Dari hasil penelitian Nurul Shofia menghasilkaan *fixture* yang dapat digunakan untuk pemesinan 2 sisi dan pemesinan *rotary*. Hasil pengujian ini adalah terbentuknya master cincin *complex signet* (Shofia, 2014).

Pada tahun 2015, Lilik melakukan penelitian tentang Aksesoris Bermotif Budaya Jogja Menggunakan CNC Roland JWX-10 yang bertujuan mempelajari prinsip kerja dan parameter pembuatan master kepala sabuk, jepitan dasi, dan kepala resleting bermotif budaya Jogja dengan menggunakan mesin CNC Roland JWX-10. Hasil penelitian tersebut adalah proses pembuatan master yang menggunakan proses pemesinan 2 sisi dan terdapat 3 tahap strategi pemesinan yaitu pemesinan *roughing* dengan menggunakan pahat *end mill*, pemesinan semi *finishing* menggunakan pahat *ball end mill*, dan pemesinan *finishing* menggunakan pahat *conical* (Lilik, 2015).

Rangkuman penelitian-penelitian mengenai pembuatan perhiasan dapat dilihat pada tabel 2 – 1.

Tabel 2 - 1 Penelitian sebelumnya dengan penelitian yang dilakukan

No	Penelitian	Judul Penelitian	Hasil Penelitian
1	Ahmad Martin Dagdo Subroto 2013	Perancangan dan Pembuatan Alat *Vacuum Casting* untuk Industri Perhiasan Skala Kecil dan Menengah	Alat *vacuum casting* dengan proses peleburan dan *vacuum casting* terintegrasi dalam satu kesatuan alat dengan berat 14 kg dan mampu mencapai temperatur maksimal 1100°C dalam waktu ± 30 menit dengan konsumsi daya 1600 watt pada 220 volt.
2	Risma Arohcahyana 2014	Perancangan dan Pembuatan alat *Vacuum Mixer Gypsum* untuk Industri Perhiasan Skala Kecil dan Menengah	Alat *vacuum mixer gypsum* dengan dimensi 22x20x60 cm dengan berat 7 kg, dapat menampung adonan gipsum sebesar 1-2 kg, memiliki ruangan pembuatan adonan gipsum dan ruangan penuangan gipsum berada dalam satu kesatuan.
3	Ahmad Nuryaqin 2014	Perancangan dan Pembuatan Alat *Burnout Furnace* untuk Industri Perhiasan Skala Kecil dan Menengah	Alat *burnout furnace* dapat dibuat dengan biaya murah dengan konsumsi daya 2900 watt dan mampu mencapai temperatur 700ºC dengan waktu ± 2.2 jam. Sedangkan untuk mencapai temperatur 1000ºC dibutuhkan waktu 5.45 jam.
4	Nurul Shofia 2014	Pembuatan Master Cincin *Complex Signet* Menggunakan Roland JWX 10	*Fixture* yang dapat digunakan untuk pemesinan 2 sisi dan pemesinan *rotary*. Hasil pengujian ini adalah terbentuknya master cincin *complex signet.*

5	Lilik Kuswiyanto 2015	Pembuatan Master Aksesoris Bermotif Budaya Jogja Menggunakan CNC Roland JWX-10	Proses pembuatan master menggunakan proses pemesinan 2 sisi dan terdapat 3 tahap strategi pemesinan yaitu *roughing*, semi *finishing*, dan *finishing.*
6	Ridho Ramadhoni 2016	Desain dan Pembuatan Bros Bermotif UII	Proses desain bros bermotif UII dan dilanjutkan dengan pembuatan master, pembuatan cetakan silikon, *injection waxing,* pemasangan batu, pembuatan cetakan gipsum, pengovenan, *casting,* dan *finishing* bros

2.2 CAD (Computer Aided Design)

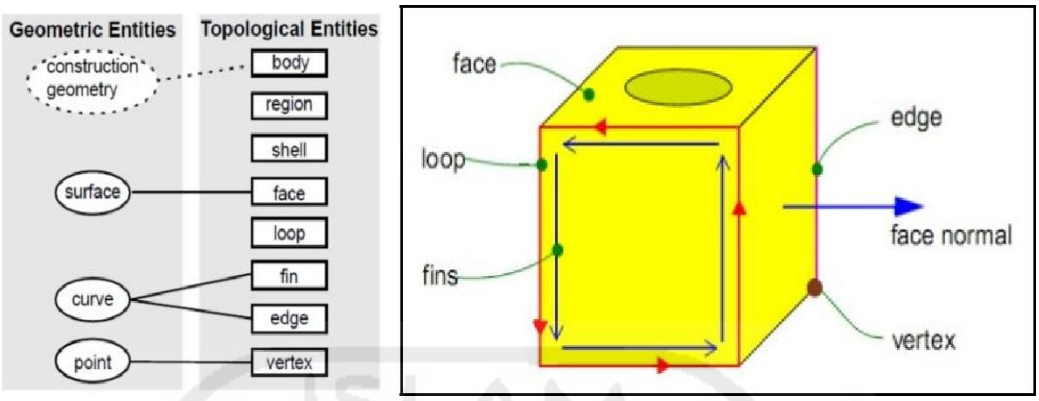
CAD (*Computer Aided Design*) adalah sebuah program komputer yang membantu dalam membuat, memodifikasi, menganalisis dan mengembangkan sebuah desain. Dengan menggunakan CAD memungkinkan seseorang perancang (*designer*) untuk mendesain gambar dengan mentransformasianya secara cepat. Program CAD dapat melakukan *finite element analysis*, *heat transfer analysis*, *streess analysis*, *dynamic simulation of mechanisms*, *fluid dynamic analysis* dan lain-lain. berbagai macam program CAD akan berbeda satu dengan yang lain karena *product line*, *manufacturing prosses*, dan *custumer market* yang berbeda (Grover dan Zimmers 1984).

Berbagai macam *software* CAD yang sering digunakan adalah SolidWorks, Autocad, Inventor, Power Shape, Catia dan lain-lain. *Software-software* tersebut digunakan dalam dunia manufaktur. Sedangkan software CAD yang sering digunakan dalam dunia perhiasan adalah Matrix, Rinoceros dan JewelCAD (Ghang dan Dange 2013).

Saat ini kebanyakan software CAD merupakan aplikasi gambar 3 dimensi ataupun solid model. Solid model memungkinkan untuk menvisualisasikan komponen dan rakitan yang kita buat secara realistik (Anton, 2012).

Prinsip dasar dari sebuah solid modeling adalah geometri dan topologi dapat ditunjukkan pada gambar 2 – 1 (a). Geometri merupakan informasi yang mengandung bentuk yang memiliki parameter seperti titik koordinat sebuah *surface*, kurva, dan titik. Sedangkan topologi menggambarkan konektivitas antara komponen geometri dari sebuah objek. Bentuk topologi dapat berupa sudut,

permukaan, *body* dan lain-lain dapat ditunjukkan pada gambar 2 – 1 (b) (Dankevich, 2010).



Gambar 2 - 1 Prinsip solid modeling (a). Geometry dan Topology (b) Topology entities Sumber : Dankevich (2010)

2.3 CAM (Computer Aided Manufacturing)

CAM (*Computer Aided Manufacturing*) merupakan perangkat lunak yang menghubungkan CAD untuk mengkonversi menjadi produk yang terhubungkan oleh mesin produksi. CAM digunakan juga untuk merancang, mengatur dan mengontrol sistem oprasi manufaktur baik secara langsung atau tidak langsung dengan operator.

Menurut Ghang dan Dange 2013, Sistem CAM dikatagorikan menjadi 2 jenis yaitu:

a. *Subtractive prototyping* merupakan proses pergerakan mesin untuk memotong atau mengurangi beda kerja sesuai dengan bentuk desain yang diperlukan. Proses dapat berupa *milling, tuning,* atau *drilling*.
b. *Additive Prototyping* merupakan proses pemesinan dengan cara menambahkan material bahan perlapisan. Sehingga bentuk yang dihasilkan merupakan kumpulan layer yang tersusun keatas atau sering disebut 3D Printing

2.4 ArtCAM

ArtCAM (*Artistic Computer Aided Manufacturing*) merupakan salah satu *sofware* CAD/CAM dari perusahaan Delcam yang menjadi solusi untuk

pembuatan desain produk seni. ArtCAM memiliki keungulan untuk membangkitkan relief 3D sebuah gambar atau foto secara cepat, sehingga memiliki potensi besar dalam memberikan nilai tambah pada desain produk yang membutuhkan seni artistik. Gambar 2 – 2 berikut adalah beberapa desain produk yang menggunakan relief 3D dari *software* ArtCAM.



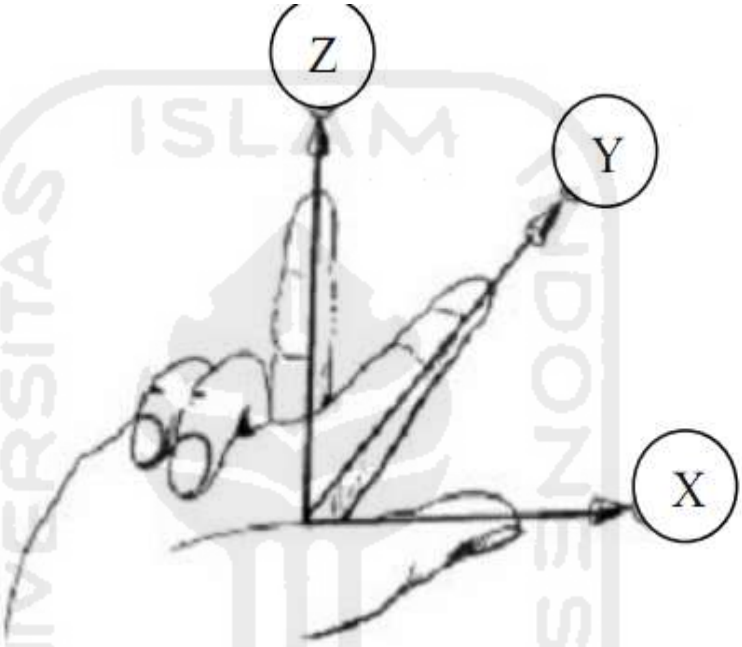
Gambar 2 - 2 Desain Produk yang Menggunakan 3D Relief dari ArtCAM
Sumber: Manual User ArtCAM(2014)

2.5 Mesin CNC

Mesin CNC (*Computer Numerical Controlled*) atau dapat juga disebut kontrol numerik berbasis komputer. Mesin CNC merupakan salah satu perkakas yang banyak dipakai dalam dunia industri manufaktur yang sudah dilengkapi dengan sistem kontrol mengunkanan komputer dan mampu membaca bahasa pemograman yang berkode G, M, T, A, dan lainnya. Kode atau huruf tersebut akan berjalan sesuai desain dan program yang telah dibuat.

Untuk membuat gerakan pada sebuah mesin CNC, yang harus diperhatikan yaitu menentukan arah gerak sumbu axis. Karena dengan banyaknya jumlah arah gerak sumbu dapat menunjukkan seberapa kuat mesin CNC tersebut menghasilkan produk. Banyakanya jumlah sumbu yang terdapat pada sebuah mesin CNC menandakan produk yang dibuat semakin rumit. Untuk menentukan sumbu pada mesin CNC mengacu pada standar ISO (*Internasional Standards Organisation*) 84 dan DIN (*Deutsches Institut fur Normung*) 66217.

Sumbu mesin CNC memegang peranan penting karena menentukan gerakan pahat *relative* terhadap benda kerja. Untuk mempermudah pembuatan program CNC, ISO telah mengeluarkan standar sumbu mesin yaitu gerakan sumbu Z orientasi bersama dengan gerak *spindle*, sumbu X dengan arah gerak horizontal, kemudian sumbu Y yang mengikuti kaidah tangan kanan sehingga membentuk sumbu X,Y,Z untuk menyatakan gerakan translasi pahat. Arah kaidah tangan kanan dapat dilihat pada gambar 2 – 3.



Gambar 2 - 3 Kaidah Tangan Kanan

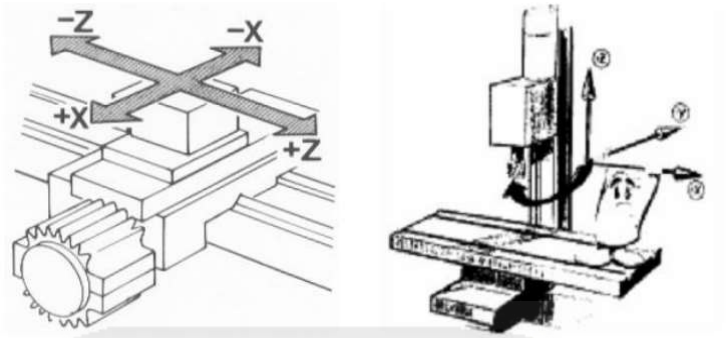
Sumber: Paryanto(2012)

Jumlah axis pada mesin CNC dapat dibedakan menjadi 2 dan 3 *axis*, serta 4 dan 5 *axis*. Pada penelitian kali ini digunakan mesin CNC Roland JWX 10 yang memiliki sumbu 4 *axis*. Berikut keterangan antara mesin CNC 2 dan 3 *axis*, serta 4 dan 5 *axis*.

a. 2 dan 3 *axis*

   Mesin CNC 2 *axis* adalah mesin CNC yang hanya menggunakan 2 arah mata pahat sebagai arah pergerakan yaitu sumbu X dan Y. Sedangkan untuk mesin CNC 3 axis adalah jenis mesin CNC menggunakan 3 arah mata pahat sebagai arah pergerakan yaitu sumbu X, Y, dan Z. Sumbu yang umum digunakan untuk meletakkan pahat

atau motor *milling* adalah sumbu Z. Ilustrasi dari kedua jenis mesin tersebut dapat dilihat pada gambar 2 – 4 (Paryanto, 2012).

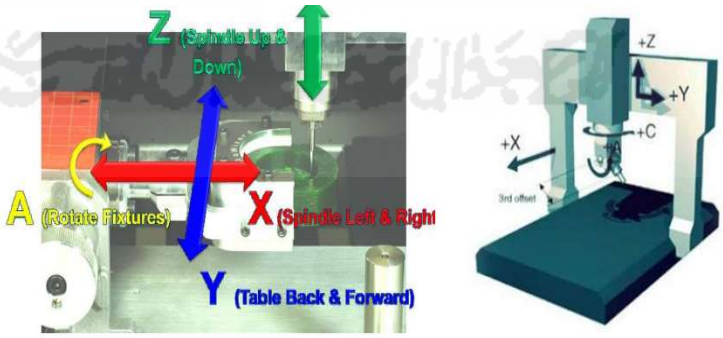


Gambar 2 - 4 (a) Mesin bubut memiliki 2 axis (b) Mesin freis memiliki 3 axis

Sumber: Paryanto (2012)

b. 4 dan 5 *axis*

Untuk membuat produk yang permukaannya lebih kompleks, maka mesin CNC yang digunakan harus memiliki jumlah *axis* yang lebih daripada sebelumnya. Jumlah *axis* yang digunakan yaitu 4 dan 5 *axis*. Untuk arah pergerakan pahatnya, mesin CNC 4 *axis* memiliki gerak X,Y,Z, dan A ataupun B. Sedangkan untuk mesin CNC 5 *axis* mempunyai gerak X,Y,Z,A dan B. Ilustrasi mesin CNC 5 *axis* dapat dilihat pada gambar 2 – 5 (Paryanto, 2012). Mesin CNC Roland JWX 10 merupakan mesin CNC yang memiliki kemampuan 4 *axis* dan mampu melakukan pengerjaan secara *rotary*.



Gambar 2 - 5 (a) Mesin CNC Roland JWX 10 Sumbu 4 Axis (b) Mesin Frais Sumbu 5 Axis

Sumber: Roland University (2008)

Mesin CNC Roland JWX-10 merupakan mesin CNC yang memiliki kemampuan 4 *axis* dan mampu melakukan pengerjaan secara *rotary*. Mesin ini mempunyai fitur sebagai berikut:

a. Mampu melakukan pengerjaan *engrave* master model dengan menggunakan *rotary axis*.
b. Menggunakan profesional CAM *software*.
c. Cocok untuk benda kerja yang berukuran kecil.
d. Mampu mengerjakan benda kerja secara tepat dan presisi.

Berikut merupakan bentuk dari mesin CNC Roland JWX-10 dapat dilihat pada gambar 2 - 6 dan data spesifikasi dari mesin CNC Roland JWX-10 dapat dilihat pada lampiran.



Gambar 2 - 6 Roland JWX-10

Sumber: User Manual Books Roland JWX-10 (2010)

2.6 Pahat

Pahat merupakan salah satu bagian terpenting dalam proses pemesinan. Sifat pahat harus lebih keras daripada benda kerja yang akan dipotong. Terdapat 5 bahan utama yang umum dipergunakan sebagai bahan pahat yaitu:

a. *Carbon Steel*

   Merupakan bahan pahat yang pertama kali ditemukan. Carbon steel terbuat dari besi dengan kandungan karbon berkisaran antara 0.7-1.2%. Panas yang terjadi pada waktu operasi menyebabkan bahan menjadi lunak, sehingga bahan ini hanya digunakan untuk operasi-operasi dengan *cutting speed* dan *fedding* yang rendah. *Cutting*

maksimum adalah 7.5m/min dan temperatur maksimum yang diizinkan adalah 200^0C.

b. *High Speed Steel* (HSS)

Bahan ini adalah penyempurnaan dari *carbon steel* dengan tambahan beberapa bahan sehingga diperoleh karakteristik pemotongan yang seperti diinginkan. Ada 3 macam bahan yang dihasilkan yaitu:

- Tambahan *tungsen* dan *manganese* menghasilkan HSS I.
- Tambahan *tungsen, chromium,* dan *vanadium* menghasilkan HSS II.
- Tambahan *cobalt* menghasilkan super HSS.

Berikut karakteristik pahat jenis HSS dapat dilihat pada tabel 2 – 1.

Tabel 2 - 2 Karakteristik Pahat HSS

Material	Max Cut Speed (m/mnt)	Max Cut Temp 0C
HSS I	10	260^0C
HSS II	22.5	540^0C
Super HSS	45	870^0C

Sumber: Suwandi (2008)

Dengan kemampuan maksimal *cutting speed* yang tinggi dan temperatur maksimum yang tinggi, memungkinkan bahan ini dipakai pada tingkat permukaan yang lebih tinggi.

c. *Cast Alloy*

Cast alloy adalah bahan gabungan dari bahan utama *tungsten, chromium,* dan *cobalt* yang dituang secara bersamaan. Material yang terjadi adalah material *non ferro* yang kuat, keras, dan mempunyai daya pendinginan yang tinggi sehingga dapat digunakan pada operasi-operasi dengan *cutting speed* 30m/min dan temperatur maksimal 580^0C.

d. *Carbide*

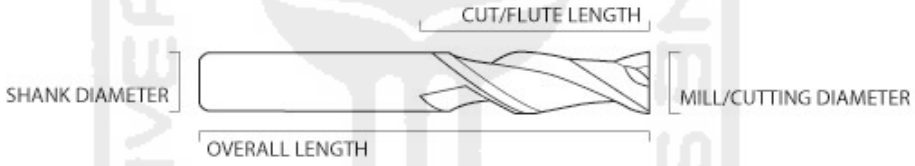
Bahan ini terbuat dari *tungsten* yang dijadikan tepung, detikan dan akhirnya dilelehkan pada suhu yang tinggi (1370^0C). Bubuk *tungsten* pada waktu dipanaskan akan membentuk gabungan yang akhirnya menjadi *solid* dan disebut *carbide*. *Carbide* mempunyai maksimum

cutting speed yang tinggi yaitu 90m/min dan temperatur maksimum 1100^0C, sehingga memungkinkan untuk penekanan *cutting speed* yang tinggi. Kelemahan dari bahan ini adalah sifatnya yang getas, sehingga kejutan tekanan harus dihindari.

e. *Ceramic*

Bahan ini terbuat dari *aluminium oksia* yang dihancurkan, dilelehkan, dan dicampur dengan beberapa bahan yang lain seperti *titanium, chromium, agnese oksida,* dan lainnya. Hasil dari proses tersebut adalah suatu bahan yang disebut *ceramic*. Sifat *ceramic* adalah temperatur kerja yang sangat tinggi sampai dengan 1200^0C, sehingga pemakaian *cutting speed* yang tinggi tidak mempengaruhinya. Namun, kekurangannya adalah sifatnya yang getas sehingga jika terjadi kejutan tekanan akan mematahkan pahat.

2.6.1 Jenis Pahat *End Mill*



Gambar 2 - 7 Struktur Pahat End Mill

Sumber: arch.columbia.edu

a. *Flat End Mill*

Digunakan untuk memotong bentuk datar, namun mudah untuk mengalami kegagalan karena sudut yang sangat kecil dan rapuh. Pahat *flat end mill* dapat dilihat pada gambar 2 – 8.



Gambar 2 - 8 Pahat Flat End Mill

Sumber: Roland university (2008)

b. *Ball End Mill*

Digunakan untuk memotong permukaan melengkung dan bergelombang. Pahat jenis ini paling umum digunakan, biasanya *ball end mill* lebih kuat daripada *flat end mill*. Pahat ini digunakan untuk membuat *fillet* pada permukaan, alur bulat, lubang, bentuk bola, dan untuk pengerjaan bentuk bulat.pahat *ball end mill* dapat dilihat pada gambar 2 – 9.



Gambar 2 - 9 Pahat Ball End Mill

Sumber: Roland University(2008)

2.6.2 Pahat Conical

Pahat *conical* merupakan pahat konus bermata tunggal. Berbentuk runcing dengan sudut paruh yang kecil. Semakin kecil sudut paruh yang digunakan maka semakin detail profil permukaan yang mampu dibuatnya. Namun, batas geometri pahat yang semakin kecil akan rawan terhadap gaya potong yang terjadi (Puspaputra, Indra & Yatna, 2009). Pahat *conical* dapat dilihat pada gambar 2 – 10.



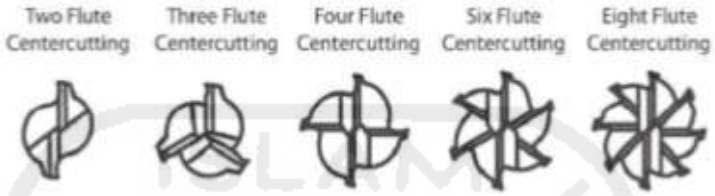
Gambar 2 - 10 Pahat *Conical*

Sumber: Roland University (2008)

Pahat *conical* dapat dibuat dengan diasah sendiri dengan bakal pahat HSS. Geometri pahat *conical* harus disesuaikan dengan aturan yang ada guna mengurangi kegagalan pemesinan dalam bentuk profil benda kerja yang ada.

2.6.3 Flute

Flute merupakan jumlah mata potong yang terdapat pada pahat. Dimulai dari 2 mata potong hingga 8 mata potong. Pada pahat 2 *flute* terdapat 2 mata potong di selubungnya. Ujung sisi di desain untuk dapat memotong hingga *center*. Pisau ini dapat digunakan sebagaimana bor dan dapat juga untuk membuat alur. Macam-macam jumlah *flute* dapat dilihat pada gambar 2 – 11.

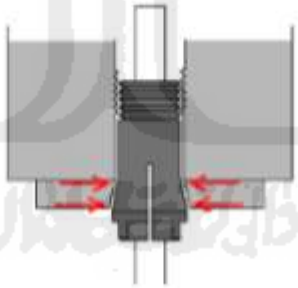


Gambar 2 - 11 Jenis-Jenis Flute Pada Pahat

Sumber: Roland University (2008)

2.6.4 Shank dan Collet

Shank merupakan bagian yang dipegang oleh mesin dan digunakan untuk menghubungkan dengan *collet* pemegang. Ukuran standar *collet* adalah 1/4", 1/8" dan untuk ukuran metrik 6mm dan 3mm. *Shank* dan *collet* dapat dilihat pada gambar 2 – 12.



Gambar 2 - 12 *Shank* dan *Collet*

Sumber: Roland University(2008)

2.7 Jig and Fixture

Menurut Edgard G. Hoffman (1996), *jig and fixture* merupakan alat bantu produksi yang digunakan pada proses manufaktur, sehingga dihasilkan duplikasi *part* yang akurat. *Jig and fixture* biasanya dibuat secara khusus sebagai alat bantu proses produksi untuk mempermudah dalam penyetingan material yang

menjamin keseragaman bentuk dan ukuran produk dalam jumlah yang banyak serta untuk mempersingkat waktu produksi (Edgard G. Hoffman, 1996).

Jig merupakan alat untuk pemegang, pendukung, dan pengarah benda kerja sebagai panduan alat pemotong. *Jig* disebut juga alat untuk mengkontrol lokasi dan gerakan alat lain. Tujuan utama sebuah *jig* untuk memberikan pengulangan, akurasi, dan pertukaran dalam sebuah produk. *Jig* dapat disebut sebagai perangkat yang dapat melakukan kedua fungsi yaitu memegang benda kerja dan membimbing alat (Manufacturing Process 3:47).

Rong dan Zhu (1999), menyatakan bahwa sebuah benda kerja terdiri dari beberapa permukaan bidang atau *surface*. Pada penggunaan sebuah *fixture*, proses penempatan (*locating*) adalah proses penempatan beberapa permukaan benda kerja hingga bersentuhan dengan lokator-lokator yang kemudian dilanjutkan dengan proses pencekaman (*clamping*) benda kerja, sehingga benda kerja stabil selama proses pemesinan. Permukaan-permukaan benda kerja yang bersentuhan dengan lokator tersebut disebut dengan *locating surface* (Rog dan Zhu, 1999).

Inverstment casting merupakan salah satu jenis pengecoran presisi untuk menghasilkan salah satu produk coran yang memiliki bentuk rumit, misalnya ketipisan, kemiringan, kelengkungan variasi radius kecil, kehalusan permukaan produk dan mensyaratkan tingkat kepresisian bentuk dan dimensi. Cara ini semenjak dahulu telah dipakai untuk membuat benda seni rupa secara industri, tetapi sekarang dipakai secara luas dan pesat untuk pengecoran produksi masa atau pengecoran paduan kelas tinggi. (*Surdia, 1996*)

Metode pengecoran ini menggunakan cetakan yang terbuat dari gipsum sebagai cetakan logam cair dan termasuk *non permanent mould casting.* Selain itu, metode ini disebut *lost wax casting* karena menggunakan pola *wax* (lilin) untuk membuat cetakan gipsum, dimana pola lilin tersebut akan dilelehkan setelah pembuatan cetakan gipsum selesai. (*Gunawan, 2003*). Berikut merupakan persiapan yang perlu dilakukan terlebih dahulu sebelum melakukan pengecoran emas dengan menggunakan metode *lost wax casting*, seperti :

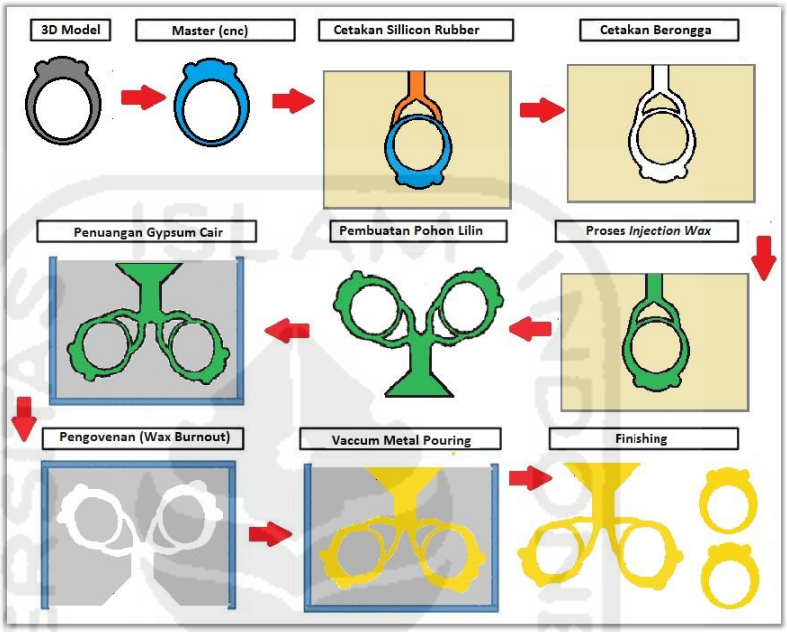
a. Proses pembuatan master utama.
b. Proses pembuatan cetakan karet.

c. Proses pembuatan model lilin dan pohon lilin.

d. Proses pembuatan cetakan gipsum.

e. Proses pengeringan dan pemanasan cetakan gipsum (*Burnout Furnace*).

f. Proses pengecoran (*Casting*).



Gambar 2 - 13 Skema Investment Casting

(Ahmad martin, 2013)

a. Pembuatan *master* utama

Master utama dibuat melalui dua cara. Cara pertama *master* dibuat oleh pengerajin yang seringkali disebut sebagai tukang mal. Bentuk, ukuran, dan desain ditentukan oleh seorang desainer kemudian diberikan kepada tukang mal untuk direalisasikan menjadi *master* utama.

Cara kedua melalui proses pemesinan CNC. Cara ini keseluruhan prosesnya menggunakan *software* CAD/CAM/CAE, singkatnya desain yang dibuat melalui *software* CAD dianalisa di *software* CAE kemudian pemesinan dibantu oleh *software* CAM.

Diameter, panjang, dan posisi dari lubang pemasukan (*runner,gate*) yang menempel pada model sangat penting untuk menghasilkan *master wax* yang berkualitas tinggi: diameter lubang *runner* berkisar antara 1 sampai 3 mm untuk desain kecil dan menyesuaikan untuk desain besar. Bentuk dan posisi *gates* harus

tepat dan benar karena akan mempengaruhi pola aliran lilin dalam cetakkan. Untuk model-model yang rumit dan besar, dua atau lebih *gates* dapat dipasang.

b. Pembuatan cetakan karet

Pada umumnya karet ini tersedia dalam bentuk lembaran yang memiliki ukuran tertentu. Karet lembaran tersebut dipotong-potong sesuai dengan ukuran besar kecilnya *master* utama. Umumnya tiap cetakan karet terdiri atas 5 lembar 7 karet yang dilekatkan jadi satu dan *master* utama di letakkan di lembaran ke-2 atau ditengah-tengahnya Kemudian karet-karet tersebut dimasukkan ke dalam oven vulkanisir selama kurang lebih 45 menit dengan temperatur 150° C.

Setelah karet-karet tersebut matang dan menjadi satu, karet akan dibedah untuk mengambil *master* utama di dalamnya dan siap dipakai. *Master* pola dicuci bersih kemudian disimpan atau dapat digunakan untuk membuat cetakan karet lainnya.

c. Pembuatan pola lilin

Pola lilin dibuat dengan menginjeksikan lilin cair ke dalam cetakan karet kemudian membiarkanya dingin di udara bebas. Kualitas pola lilin tergantung pada beberapa faktor seperti setting parameter dari mesin *wax injector,* kualitas cetakan karet, dan ketrampilan pekerja.

d. Pembuatan cetakan gipsum

Cetakan gipsum terbentuk dari bubuk gipsum yang secara kimia dikenal dengan CaSO4 atau kalsium sulfat sebagai komposisi utama. Pohon lilin diletakkan didalam silinder cetakan berongga yang terbuat dari *stainless steel*. Pada bagian bawah silinder diberi karet penahan. Adapun fungsi karet ini menahan gipsum cair yang dituangkan ke dalam silinder agar tidak tertumpah ke bawah.

Bubuk gipsum dicampur dengan air dan diaduk merata dalam mesin *investment mixer.* Silinder yang telah berisi pohon lilin diletakkan didalam mesin vakum untuk divakum terlebih dahulu. Hal ini bertujuan untuk mengeliminir gelembung udara yang timbul berlebihan saat proses penuangan gipsum cair, sehingga dapat menghasilkan cetakan gipsum yang memiliki permukaan cetakaan yang rata, halus, dan padat.

Setelah proses pemvakuman selesai, cetakan gipsum dibiarkan selama satu jam sampai gipsum mengeras. Cetakan gipsum ini masih belum dapat dituangi logam cair, karena masih belum betul-betul keras dan masih mengandung kadar air yang tinggi. Mesin vakum gipsum ditunjukan pada Gambar 2-5 dibawah ini.



Gambar 2 - 14 *Vacuum Mixer Gypsum*
(Risma, 2014)

e. Pengovenan cetakan gipsum

Cetakan gipsum yang masih lunak dan memiliki kadar air yang tinggi perlu dimasukkan ke dalam oven. Tujuannya agar air di dalamnya habis menguap dan gipsum dapat benar-benar keras serta tahan terhadap logam cair. Pada proses ini terdapat 2 proses, yaitu: proses pengeluaran lilin, pengeringan cetakan gipsum, dan pengerasan cetakan gipsum. Untuk tahap pertama proses pengeluaran lilin, atur temperatur oven pada suhu 200^{o}C selama ±1jam. Kemudian proses pengeringan cetakan gipsum pada suhu 300^{o}C selama ±2jam dan proses pengerasan cetakan gipsum pada suhu 700^{o}C selama ±5jam, agar cetakan mampu menahan logam cair (*risma, 2014*).

f. Proses pengecoran (*casting*)

Proses pengecoran dilakukan dengan menuangkan logam cair panas kedalam cetakan. Kualitas produk dengan menggunakn metode *investment casting* juga dipengaruhi oleh mampu alir logam cair. Untuk melelehkan logam dibutuhkan dapur pemanas (*furnace*).

Berikut merupakan penjelasan mengenai kelebihan dan kekurangan *Inverstmen Casting.*

- Kelebihan:

1. Dapat digunakan untuk memproduksi produk dengan dimensi yang rumit dan memerlukan ketelitian tinggi.
2. Produk yang dihasilkan mendekati bentuk yang sebenarnya (bentuk jadi) sehingga proses *finishing* yang diperlukan hanya sedikit.
3. Dapat digunakan untuk memproduksi coran yang mempunyai kekerasan yang sangat tinggi, seperti *stainless steel*.
4. Dapat dipergunakan hampir untuk semua jenis bahan coran.
5. Cocok digunakan untuk produk masal.

- Kekurangan

1. Cara ini terbatas untuk produksi coran yang kecil.
2. Cara ini tidak efisien jika digunakan untuk produk dengan jumlah sedikit.

Kualitas produk dengan menggunakn metode *inverstmen casting* juga dipengaruhi oleh mampu alir logam cair.

2.8 Gipsum

Gipsum adalah batu putih yang terbentuk karena pengendapan air laut. Gipsum merupakan mineral terbanyak dalam batuan sedimen, dan lunak bila murni. Gipsum adalah mineral sulfat yang paling umum di atas bumi. Secara fisik, gipsum dikenal sebagai zat kapur sulfate. Gipsum meruapakan bahan baku yang dapat diolah menjadi kapur tulis. Dengan demikian panas, tekanan, percampuran dengan unsur-unsur yang lain dapat menghasilkan berbagai jenis gipsum.

Gipsum adalah zat kapur sulfate (CaSO4). Alam menyediakan dua macam gipsum yaitu anhidrit dan dehydrate. Gipsum yang disuling disebut

dengan anhidrit dibentuk dari 29,4 % zat kapur (Ca) dan 23,5 % belerang (S). Secara kimiawi, satu-satunya perbedaan antara kedua jenis gipsum ini adalah dua molekul air yang ada dalam senyawanya. Dehydrate ($CaSO4 + 2H2O$) berisi dua molekul dan air sedangkan anhidrit ($CaSO4$) tidak berisi molekul air. (Dila Nurdiono, 2012)

Sanusi, (1986) menyebutkan bahwa dalam penggunaan gipsum dapat digolongkan menjadi dua macam seperti dipaparkan di bawah ini :

a. Yang belum mengalami kalsinasi

Digunakan dalam pembuatan semen portland dan sebagai pupuk. Jenis ini meliputi 28% dari seluruh volume perdagangan.

b. Yang mengalami proses kalsinasi

Sebagian besar digunakan sebagai bahan bangunan, plester paris, bahan dasar pembuatan kapur, bedak, untuk cetakan alat keramik, tuangan logam, gigi dll. Jumlah tersebut meliputi 72% dari seluruh volume perdagangan.

Gipsum merupakan perekat mineral yang mempunyai sifat yang lebih baik dibandingkan dengan perekat organik karena tidak menimbulkan pencemaran udara, murah, tahan api, tahan deteriorasi oleh faktor biologis dan tahan terhadap zat kimia (Purwadi, 1993). Selain sifat tersebut, gipsum juga mempunyai sifat mengeras yaitu sekitar 10 menit, oleh karena itu perlu menggunakan bahan kimia untuk memperlambat proses pengerasan tanpa mengubah sifat gipsum (Simatupang, 1985).

Dalam dunia kedokteran khususnya kedokteran gigi, pemilihan jenis jenis gipsum yang digunakan pasti berbeda. Contohnya Gypsum Bonded Investment. Jenis gipsum ini dipergunakan untuk pengecoran logam campur emas kedokteran gigi . Semua logam campur tuang akan mengalami penyusutan sewaktu berubah dari temperatur lebur ke temperatur kamar. Untuk itu diperlukan suatu kompensasi dari bahan tanam yang dipakai agar restorasi logam yang dihasilkan tidak jauh berbeda dari bentuk semula.

Pada saat pemanasan sewaktu proses pengecoran, bahan tanam akan memberikan suatu perimbangan terhadap penyusutan logam tersebut dalam bentuk ekspansi. Adanya silica dengan bentuk struktur kristal yang berbeda-beda

yaitu cristobalite, quartz, trydimite yang pada saat pemanasan dapat memberikan ekspansi, maka penyusutan logam sewaktu membeku dapat diimbangi.

Pemanasan dari ketiga bentuk kristal ini mengalami ekspansi yang berbeda-beda. Ekspansi dapat mencapai hasil yang optimum untuk masing-masing bentak kristal jika temperatur pemanasan yang dipergunakan sesuai dengan temperatur transformasinya. Cristobalit memberikan ekspansi yang terbesar sehingga diperhitungkan dapat mengimbangi penyusutan dari logam campur emas pada saat *casting*.

Proses *casting* sebaiknya dilakukan segera setelah dilakukan proses eliminasi *wax*, karena bila dilakukan setelah terjadi pendinginan akan terjadi keretakan dan distorsi hasil dari *casting* (Nur Amal, 2010).

2.9 Silicon Rubber (RTV52)

Silicone rubber RTV52 tergolong dalam kategori *silicone rubber* teknik, artinya tidak boleh digunakan untuk cetakan makanan. *Silicone rubber* RTV 52 berbentuk cairan putih bersih kental seperti susu. Untuk membuatnya menjadi karet harus dicampur dengan katalisnya. Warna katalis biru menentukan hasil akhir warna pada *silicone rubber* yaitu warna biru (Nurhadi Hadi, 2014). Berikut perbedaan dua jenis macam *silicon rubber* jenis RTV 683 dan RTV 52:

Tabel 2 - 3 Perbedaan Jenis Silicon Rubber

Karakteristik		**Penggunaan**	
RTV 683	**RTV 52**	**RTV 683**	**RTV 52**
Tekstur lebih keras	Tekstur lebih lunak (lentur)	Untuk cetakan master ukuran kecil dan detail, namun kekurangannya adalah agak sulit mengeluarkan hasil cetak karena keras	Cetakan benda benda yang sempit, karna lunak lebih mudah mengeluarkan cetakan master atau hasil cetakannya.

2.10 Wax

Ferris beads merupakan salah satu merk lilin yang digunakan khusus untuk aplikasi produk perhiasan. Ferris beads merupakan jenis lilin yang

dirancang khusus untuk injeksi dengan bentuk butiran kecil. Feris beads memiliki beberapa jenis lilin antara lain : Ferris 1582 biru, Ferris 2054 pink, Ferris 2194 turquoise, Ferris 2194 merah, Ferris 2364 pink, Ferris 3250 biru, Ferris 3250 ruby red, Ferris 1737 aqua, Ferris 2194 aqua, Ferris 2194 biru, Ferris 2195 hijau, Ferris 2364 biru, Ferris 3250 pink dan Ferris 3250 aqua. Setiap jenis Ferris memiliki spesifikasi temperatur injeksi yang berbeda – beda.



Gambar 2 - 15 Ferris beads
(Gambar 2 - 4 diambil dari http://www.freemanwax.com)

2.11 Saluran Penuangan

Untuk membuat cetakan, dibutuhkan saluran turun yang mengalirkan cairan logam kedalam rongga cetakan, penambah yang memberi cairan logam pada saat logam membeku dan menyusut, dan sebagainya. Besar dan bentuknya ditentukan oleh ukuran, tebal irisan dan macam logam yang di cor. Selanjutnya diperlukan penentuan keadaan-keadaan penuangan seperti temperatur penuangan dan laju penuangan. Karena kualitas coran tergantung pada saluran turun, penambah, keadaan penuangan dan lainnya, maka penentuannya memerlukan pertimbangan yang teliti.

Bentuk dan dimensi *riser* mempengaruhi terjadinya cacat penyusutan pada produk cor cetakan pasir. Bentuk dan dimensi *riser* ini mempengaruhi laju pembekuan cairan logam di rongga cetakan. Hal ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh nilai *casting* modulus terhadap cacat penyusutan. Dengan menggunakan *riser* dengan bentuk dan *casting* modulus berbeda, menunjukkan

bahwa *casting* modulus mempengaruhi terjadinya cacat penyusutan pada produk cor.

Sistem saluran adalah jalan masuk bagi cairan logam yang dituangkan kedalam rongga cetakan. Setiap bagian mempunyai sebutan atau nama tersendiri, dari mulai cawan tuang diaman logam cair dituangkan dari ladel, sampai saluran masuk kedalam rongga cetakan. Bagian dari sistem saluran antara lain sebagai berikut (September, 2013):

a. Cawan tuang (*pouring basin*)

Cawan tuang berfungsi untuk manampung kotoran atau slag (terak) yang ikut terbawa pada saat menuangkan logam dari ladle yang berfungsi juga menampung kelebihan logam cair.

b. Saluran turun (*sprue)*

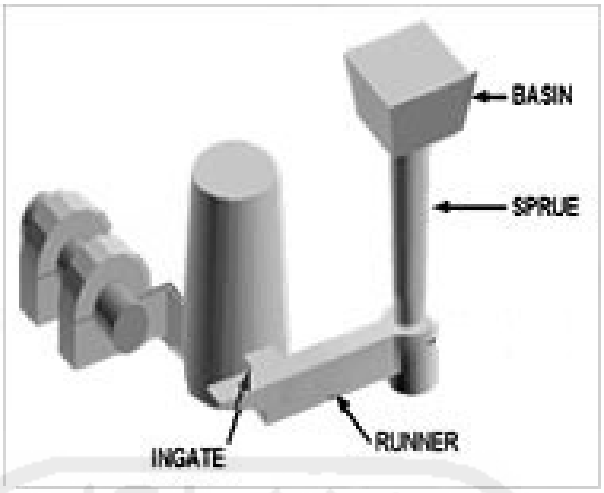
Saluran turun (*sprue*) berfungsi untuk meneruskan lagam cair dari cawan tuang ke runner dan saluran masuk (*gate*).

c. Pengalir (*runner*)

Pangalir berfungsi sebagai saluran utama didalam cetakan yang akan mendistribusikan logam cair kedalam ingate. Selain itu runner berfungsi menahan pengotor atau *impurities* yang terbawa dalam logam cair agar tidak masuk kedalam produk cor.

d. Saluran Masuk (*Ingate*)

Saluran masuk berfungsi untuk mendistribusikan langsung logam cair kedalam rongga produk cor. *Ingate* harus mudah dipotong untuk proses pelepasan produk cor dari bagian sistem salurannya atau biasa disebut *fettling*, oleh karena itu dalam pembuatan *ingate* kita harus memperhatikan ukuran coran, ketebalannya, kondisi cetakan, ukuran dan bentuk *ingate* itu sendiri. Contohnya, prosentase porositas terus mengalami penurunan seiring berkurangnya jumlah saluran masuk (*ingate*) pada cetakan.



Gambar 2 - 16 Sistem Saluran

Besarnya penurunan prosentase porositas disebabkan karena semakin cepatnya laju pembekuan dalam cetakan. Semakin banyak saluran masuk dalam cetakan pasir, maka logam cair akan cepat memenuhi rongga dalam cetakan dan mengalami pembekuan yang seragam, sehingga gas yang ada didalam logam cair akan terdorong keluar dari logam cair.

2.12 Vakum

Vakum adalah ruang hampa. Dimana ruangan yang berisi gas bertekanan rendah atau di bawah tekanan atmosfer. Keadaan vakum sebenarnya tidak berisi materi, tetapi dalam penggunaannya praktis. Keadaan vakum dibedakan menjadi tiga yaitu sebagai berikut:

a. Soft (*low*) vacuum, bila ruangan bertekanan 10 -2 pa
b. Had (low) vacuum, bila tekanan di bawah 10 -2pa
c. Ultrahigh vacuum, bila tekanan di bawah 10 -7pa

Untuk mendapatkan ruang vakum biasa menggunakan pompa vakum. Pompa vakum ini adalah suatu alat untuk mengeluarkan molekul-molekul gas dari dalam sebuah ruangan tertutup untuk mencapai tekanan vakum.

2.13 Mixer

Mixing adalah suatu proses pencampuran bahan sehingga dapat bergabung menjadi suatu homogeny yang bersifat seragam dan memiliki penyebaran yang sempurna. Prinsip pencampuran didasarkan pada peningkatan pengacakann dan distribusi dua tau lebih komponen yang mempunyai sifat yang

berbeda. Pencampuran dapat dikarakterisasi dari waktu yang dibutuhkan, keadaan produk atau bahkan jumlah tenaga yang dibutuhkan untuk melakukan pencampuran (Hazirur, 2010).