

## BAB 2

### TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

#### 2.1. Tinjauan Pustaka

Desain adalah kegiatan pemecahan masalah dan inovasi teknologi yang bertujuan untuk mencari solusi terbaik (sistem, proses, dan konfigurasi fisis) dengan menginformasikan terlebih dahulu gagasan inovatif tersebut ke dalam suatu bentuk model, dan kemudian merealisasikannya secara kreatif (Madyana, 1996). Desain alat merupakan proses merancang dan pengembangan alat, metode, dan teknik yang diperlukan untuk memperbaiki efisiensi dan produktivitas suatu proses manufaktur. Berikut ini akan dijelaskan mengenai referensi terkait dari topik penelitian yang akan dilakukan.

##### 2.1.1 Penelitian Terdahulu

Suseno (2013) dalam skripsi yang berjudul “Perancangan Alat Bantu Penyimpanan *Material Automatic Beam Cabinet*” berhasil menemukan rancangan alat bantu penyimpanan material. Metode penelitian yang digunakan adalah metode kreatif. Hasil rancangan mengacu pada permintaan *customer* dengan penentuan desain didapatkan dari analisa tim kreatif dan menggunakan *software catia* dan *autocad*. Hasil yang didapat dari penelitian ini adalah 1 unit alat bantu penyimpanan material *Automatic Beam Cabinet* dengan spesifikasi dimensi panjang 5940 mm, lebar 2100 mm, tinggi 3263 mm, sistem penyimpanan geser, dengan sistem angkat otomatis, berat maksimal *input* kedalam rak 2800 kg, dan berat maksimal *input* ke carry adalah 500 kg.

Saptono (2010) dalam jurnalnya mengangkat topik tentang perancangan dan pembuatan *jig clamping* untuk meningkatkan efisiensi proses permesinan. Metode yang digunakan adalah metode eksperimen terhadap *prototype* analitik (*solidwork*) dan *prototype* fisik (SS 41). Pengujian dilakukan dengan pengujian akurasi, pengujian efisiensi, dan pengujian kekasaran. Hasil penelitian terhadap pengujian yang dilakukan adalah *jig clamping* tersebut terbukti berhasil membuat sebuah produk dengan kualitas yang cukup baik dan dalam waktu yang relatif lebih singkat dibandingkan dengan cara yang lama, walaupun dari sisi kualitas permukaan masih belum baik.

Pranoto (2010) dalam jurnalnya mengangkat topik tentang perancangan dan pengembangan (modifikasi) *jig and fixture* untuk pahat gurdi pada *cutter grinding*

CG-7. Penelitian dilakukan dengan menggunakan metode perancangan dan modifikasi *jig and fixture* yang sudah ada dilapangan. Berdasarkan hasil pengujian dan analisa modifikasi *jig and fixture*, didapatkan perbedaan geometri yang dihasilkan oleh pengasahan dengan bantuan *jig and fixture* modifikasi ini dibanding dengan geometri yang direncanakan atau diinginkan tidak terlalu besar.

Saputra (2008) dalam penelitiannya mengangkat tema tentang pemanfaatan *jig* untuk menurunkan waktu siklus di *line painting* pada proses *paint booth hub front brake* di PT Pakoakuina. Metode yang digunakan adalah dengan membuat *jig* baru dan metode penyesuaian waktu baku menurut *Westinghouse*. Perbaikan (*improvemet*) peralatan kerja perlu dilakukan agar waktu penyelesaian pekerjaan lebih optimal sehingga produktivitas operator meningkat. Hasil pembuatan *jig* tersebut diharapkan dapat membuat proses produksi lebih cepat dari sebelumnya.

Putera (2007) dalam jurnal yang berjudul "Perancangan *Jig* dan *Fixture* Pada Proses Permesinan *Cylinder Liner* Sepeda Motor 2 Tak". Metode yang digunakan adalah perbaikan proses produksi. Perancangan *jig and fixture* serta perencanaan *jig* horizontal dilakukan dengan memperhitungkan gaya potong, gaya *clamping* serta dimensi maksimum *cylinder liner*. Hasil perancangan dan pengujian didapatkan bahwa *jig and fixture* tersebut dapat digunakan minimal untuk dua jenis *cylinder liner* dengan total waktu yang dicapai sebesar 256 detik sedangkan total waktu yang dibutuhkan dengan menggunakan *jig and fixture* referensi adalah 283.

### **2.1.2. Penelitian Sekarang**

Penelitian yang dikerjakan oleh peneliti lebih terfokus pada upaya perbaikan kualitas produk *cup aqua* yang mengalami *flashing* atau cacat produk. Perbaikan yang dilakukan peneliti lebih pada proses perbaikan *wedgeblock mold* di mesin *surface grinding*. Berdasarkan latar belakang yang dibahas di depan, maka permasalahan yang akan dibahas adalah belum efektifnya dan lamanya proses perbaikan *wedgeblock mold* di mesin *surface grinding*. Metode *Design For Manufacturing* (DFM) digunakan untuk menyelesaikan permasalahan yang dihadapi. Hasil penelitian nantinya berupa *angle jig grinding*. Berikut ini ialah tabel perbedaan antar penelitian yang terdahulu dengan penelitian yang sekarang :

**Tabel 2.1. Perbandingan Penelitian Terdahulu dan Sekarang**

<b>Deskripsi</b>	<b>Putera (2007)</b>	<b>Saputra (2008)</b>	<b>Pranoto (2010)</b>	<b>Saptono (2010)</b>	<b>Suseno (2013)</b>	<b>Penelitian sekarang (2013)</b>
Masalah yang dihadapi	Waktu <i>set-up</i> lama, variasi dimensi produk besar, waktu produksi lama sehingga produktivitas rendah	Proses produksi <i>hub front brake</i> memerlukan waktu yang cukup lama	Pengasahan pahat gurdi masih dilakukan secara manual, waktu proses pengasahan lama, kurang memenuhi geometri pahat yang benar, dan keselamatan operator kurang terjamin	Terdapat waktu tunggu produk dan transportasi karena benda kerja (produk) harus dikirim ke departemen (mesin) satu ke departemen lainnya	Belum efektifnya di lantai produksi akibat meningkatnya jumlah material yang rusak karena penyimpanan tidak berjalan dengan baik	Belum efektifnya dan lamanya proses perbaikan <i>wedgeblock mold</i> dimesin <i>surface grinding</i>
Objek penelitian	Perancangan <i>jig and fixture</i>	Pembuatan <i>jig</i>	Perancangan dan modifikasi <i>jig and fixture</i>	<i>Prototype fixture (jig clamping)</i>	Perancangan alat bantu penyimpanan material	Perancangan dan pembuatan <i>angle jig grinding</i>
Metode penelitian	-Perbaikan proses produksi -Survey -Eksperimen	-Metode penyesuaian waktu baku ( <i>westinghouse</i> ) -Survey -Interview -Improvement peralatan kerja	-Survey -Eksperimen	-Eksperimen	Metode kreatif	-Metode kreatif

Tabel 2.1. Lanjutan

Deskripsi	Putera (2007)	Saputra (2008)	Pranoto (2010)	Saptono (2010)	Suseno (2013)	Penelitian sekarang (2013)
Tools Penelitian	-Data eksperimen -Perhitungan mekanis	- <i>Improvement</i>	-Data eksperimen -Analisa	-Data eksperimen - <i>Prototype</i> analitik ( <i>solidworks</i> ) - <i>Prototype</i> fisik (SS 41)	- <i>Requirement list</i> - <i>Brainstorming</i> - <i>AutoCad</i> - <i>Catia</i>	- DFM - <i>Brainstorming</i> - <i>Solidworks</i> - <i>AutoCad</i> - Wawancara dan survei
Output penelitian	- Gambar - <i>Jig and fixture</i> - Hasil uji penelitian	- <i>Jig</i> - Hasil uji penelitian	-Gambar - <i>Jig and fixture</i> -Hasil uji penelitian	- <i>Prototype</i> -Gambar -Hasil uji penelitian	-Alat bantu penyimpanan -Gambar -Hasil uji penelitian	-Gambar - <i>Jig</i> -Hasil uji penelitian
Outcome penelitian	Hasil pengujian digunakan untuk membuktikan bahwa <i>jig and fixture</i> tersebut dapat digunakan minimal untuk dua jenis cylinder liner dengan total waktu dicapai lebih cepat	Hasil pembuatan <i>jig</i> diharapkan dapat membuat proses produksi lebih cepat dari sebelumnya	Hasil pengujian bahwa perbedaan geometri yang dihasilkan oleh pengasahan dengan bantuan <i>jig and fixture</i> modifikasi dibanding dengan geometri yang diinginkan tidak terlalu besar	Hasil pengujian adalah membuat sebuah produk dengan kualitas yang cukup baik dan dalam waktu yang relatif lebih singkat dibandingkan dengan cara lama, walaupun dari sisi kualitas permukaan belum baik	Hasil yang didapat dari penelitian adalah 1 unit alat bantu penyimpanan material <i>Automatic Beam Cabinet</i> , diharapkan mampu mengatasi masalah efektifitas lantai produksi di PT Busana Mulya Textile	Hasil penelitian ini diharapkan dapat dimanfaatkan PT Dynaplast untuk mengurangi jumlah cacat produk

## **2.2. Dasar Teori**

Proses penelitian pembuatan skripsi tentang *jig and fixture* ini ditujukan untuk mengatasi masalah yang dialami oleh PT Dynaplast. Penelitian ini menggunakan teori-teori yang telah ada dan telah dikembangkan agar sesuai dengan proses perancangan.

### **2.2.1. Tool Design**

*Tool design* adalah proses perancangan dan pengembangan alat, metode, dan teknik yang diperlukan untuk memperbaiki efisiensi dan produktifitas proses manufaktur. Ini dapat memberikan mesin industri dan *special tool* yang dibutuhkan untuk keberlangsungan proses produksi sehari-hari dengan kecepatan dan volume yang tinggi. Hal ini akan meningkatkan kualitas produksi dan lebih ekonomis, agar dapat menjamin biaya produk tetap kompetitif. Selama tidak ada satu-pun *tool* atau proses yang dapat menghasilkan semua bentuk manufaktur yang diinginkan, desain *tool* akan selalu berubah dan berkembangnya proses kreatifitas pemecahan masalah (Hoffman, 1996).

Tujuan utama dari *tool design* adalah menurunkan biaya manufaktur, dengan mempertahankan kualitas produk dan meningkatkan produksi. Untuk meraihnya, *tool designer* harus memenuhi tujuan berikut:

1. Menyajikan *design tool* yang *simple* dan mudah di operasikan untuk mendapatkan efisiensi maksimum
2. Mengurangi biaya manufaktur dengan memproduksi *parts* dengan biaya sekecil mungkin.
3. *Design tools* yang secara konsisten dapat memproduksi *parts* dengan kualitas tinggi.
4. Meningkatkan tingkatan produksi dengan adanya *machine tools*.
5. *Design tool* agar sangat mudah dalam pembuatannya dan mencegah kesalahan dalam penggunaannya.
6. Pilih material yang sesuai agar mendapatkan umur *tool* yang dibutuhkan.
7. Mempertimbangkan keselamatan pekerja dalam mendesain *tool*.

Sebagai bagian penting dari proses manufaktur, *tool design* berada pada posisi antara desain produk dan produksi produk. Pertama, perlunya penetapan produk. Lalu, pengembangan gambar dan spesifikasi. Informasi ini diteruskan ke bagian

proses *planning engineer*, bekerja sama dengan *product designer* dan *tool designer*, perencanaan metode yang akan digunakan untuk memproduksi suatu *part*.

### 2.2.2. *Jigs and fixtures*

Hoffman (1996) menyatakan bahwa *Jigs and fixtures* merupakan alat bantu pemegang benda kerja produksi yang digunakan dalam rangka membuat pengadaan komponen secara akurat. *Jigs* merupakan alat khusus untuk mencekam, menyangga atau ditempatkan pada komponen mesin. *Jig* merupakan alat bantu produksi yang tidak hanya digunakan sebagai penempatan dan pencekam benda kerja tetapi juga sebagai *guides* alat potong ketika proses permesinan.

*Jigs* dapat dibagi menjadi 2 klasifikasi umum:

#### 1) *Jigs bor*

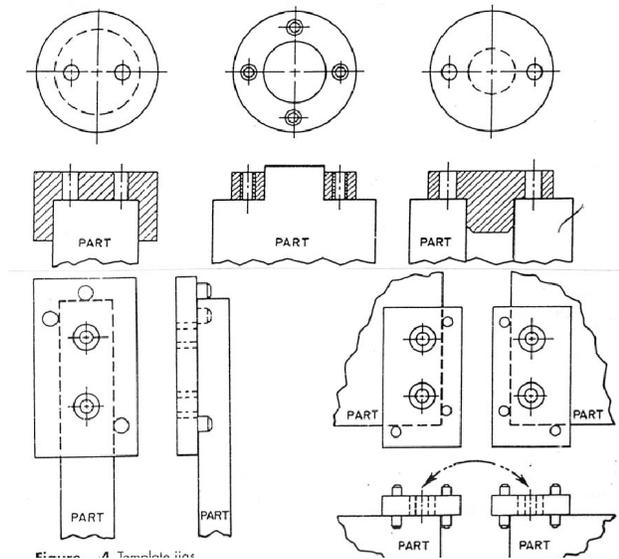
*Jigs* yang digunakan untuk mengebor lubang dengan ukuran lubang yang sangat besar

#### 2) *Jigs drill*

*Jigs* yang digunakan untuk *drilling*, meluaskan lubang (*reaming*), mengetap, *champer*, *counterbore*, *countersink*, *reverse countersink*, *reverse spotface*.

Berikut beberapa tipe *jigs* yang biasa ditemukan dalam industri:

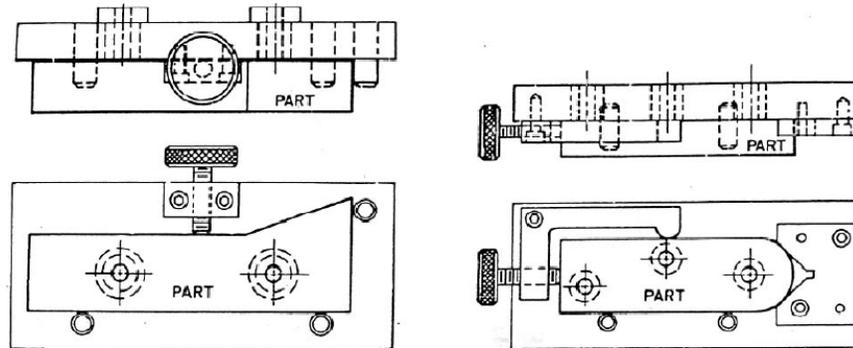
#### 1. *Template jigs*



**Gambar 2.1. *Template jigs* (Hoffman, 1996, pg 9)**

Jenis *jigs* yang digunakan untuk keperluan akurasi daripada kecepatan. Tipe *jig* ini dipasang diatas atau kedalam benda kerja dan biasanya tidak di *clamp*. *Template* adalah tipe *jigs* yang paling mahal dan paling sederhana.

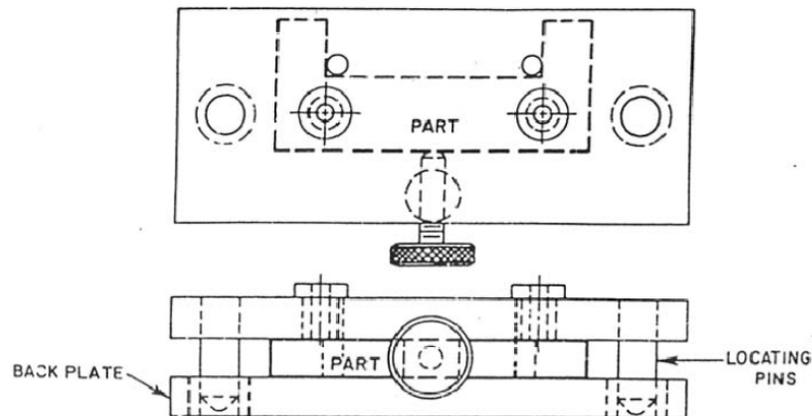
2. *Plate jigs*



**Gambar 2.2. *Plate jigs* (Hoffman, 1996, pg 10)**

Jenis *jigs* yang sama dengan *templates*, perbedaannya *jig* ini mempunyai *clamp* untuk memegang benda kerja. *Jig plate* bisa juga dibuat dengan atau tanpa *bushing*, tergantung jumlah *part* yang dibuat.

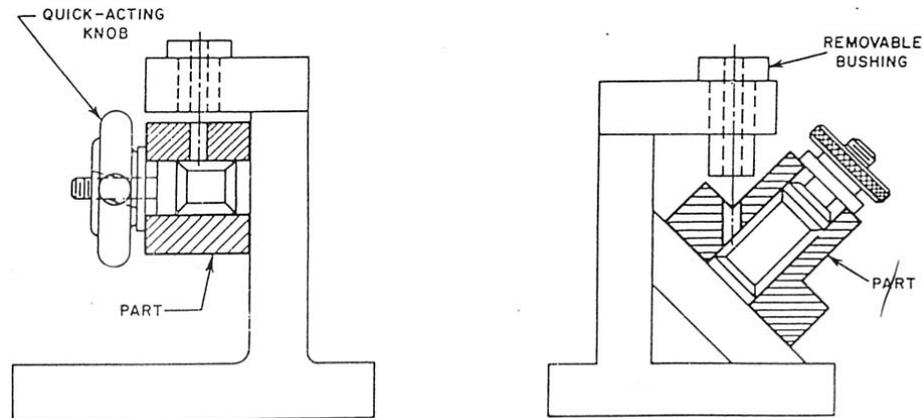
3. *Sandwich jigs*



**Gambar 2.3. *Sandwich jigs* (Hoffman, 1996, pg 11)**

Bentuk *jigs plate* dengan pelat dibelakangnya. Tipe *jigs* ini cocok untuk komponen yang tipis atau lunak yang memungkinkan terjadinya pembengkokan atau lipatan pada *jigs* jenis lain.

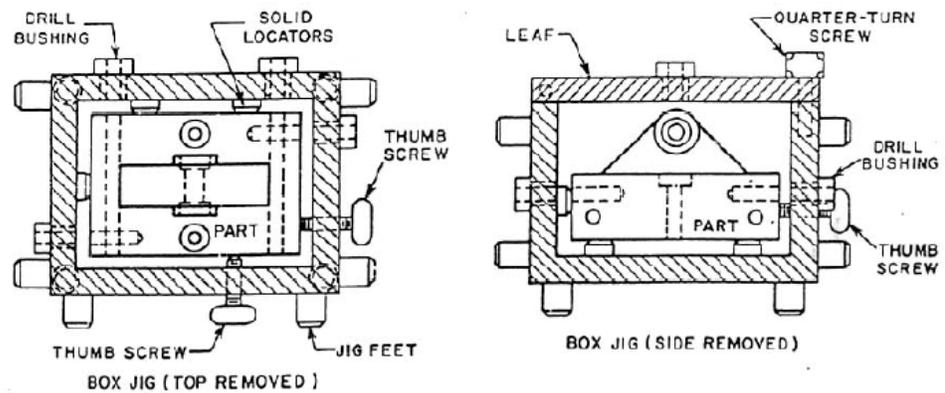
#### 4. Angle-plate jigs



**Gambar 2.4. Angle-plate jigs (Hoffman, 1996, pg 11)**

Jenis *jigs* yang digunakan untuk memegang benda kerja yang akan diposisi dimesin pada sudut yang benar terhadap *mounting locator*.

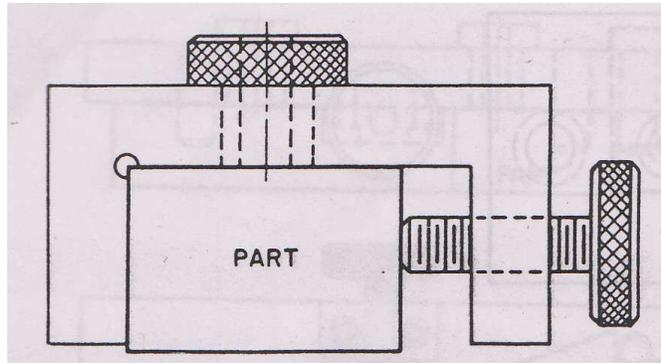
#### 5. Box jigs



**Gambar 2.5. Box jigs (Hoffman, 1996, pg 11)**

Biasanya mengelilingi benda kerja. Jenis *jigs* ini memungkinkan benda kerja diproses pada setiap permukaan tanpa memposisikan ulang benda kerja pada *jigs*.

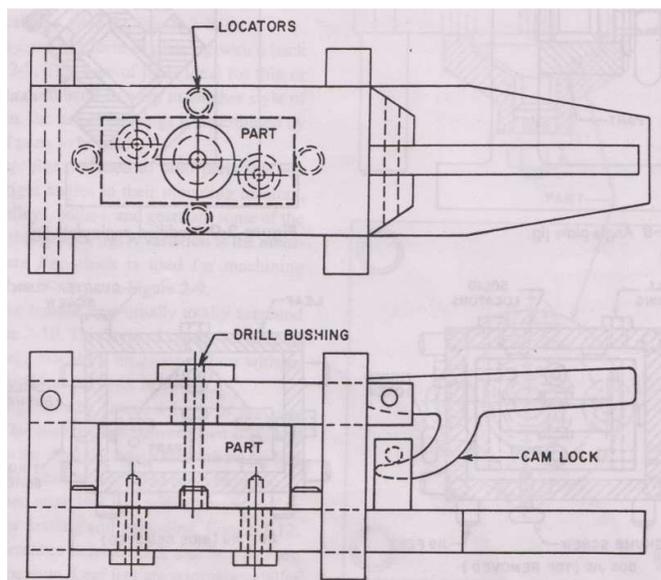
6. *Channel jigs*



**Gambar 2.6. Channel jigs (Hoffman, 1996, pg 12)**

Bentuk paling sederhana dari *box jigs*. Benda kerja dicekam diantara dua sisi dan diproses mesin dari sisi ketiga.

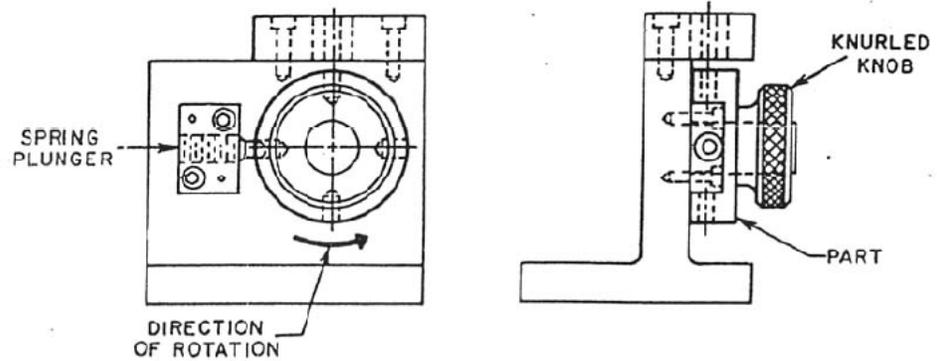
7. *Leaf jigs*



**Gambar 2.7. Leaf jigs (Hoffman, 1996, pg 12)**

*Box jigs* kecil dengan engsel daun untuk kemudahan pemuatan dan pelepasan. *Leaf jigs* biasanya lebih kecil dari *bix jigs*.

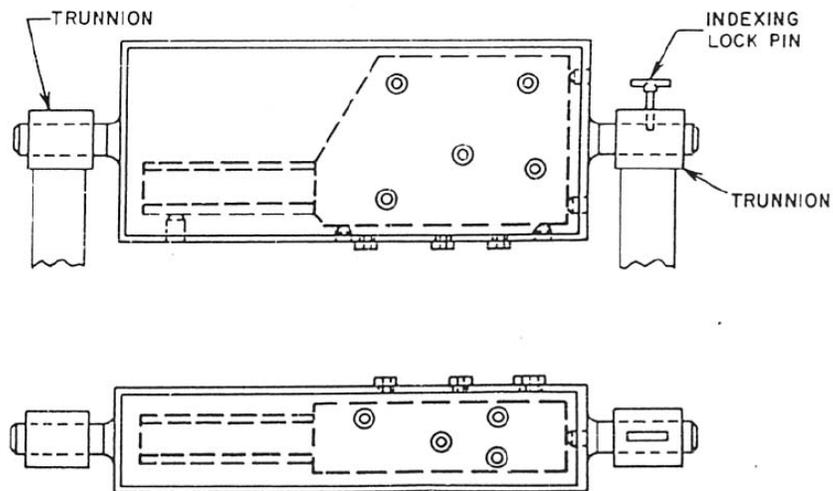
8. *Indexing jigs*



**Gambar 2.8. *Indexing jigs* (Hoffman, 1996, pg 13)**

*Jigs* digunakan untuk meluaskan lubang atau daerah yang diproses mesin lainnya disekeliling benda kerja. Untuk melakukan ini, *jigs* menggunakan komponen sendiri atau pelat referensi dan sebuah *plunger*.

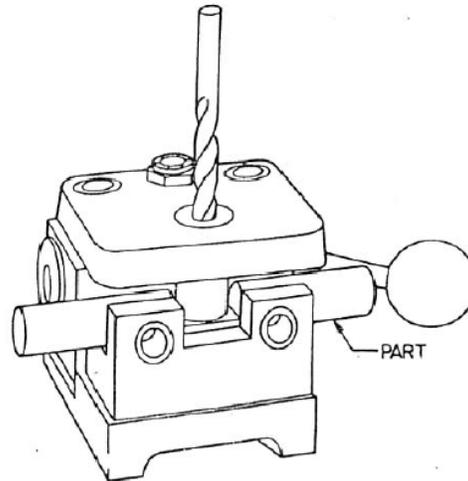
9. *Trunnion jigs*



**Gambar 2.9. *Trunnion jigs* (Hoffman, 1996, pg 13)**

Jenis *jigs rotary* untuk komponen yang besar atau bentuknya unik. Komponen pertama-tama diletakkan didalam kotak pembawa dan kemudian dipasang pada *trunnion*.

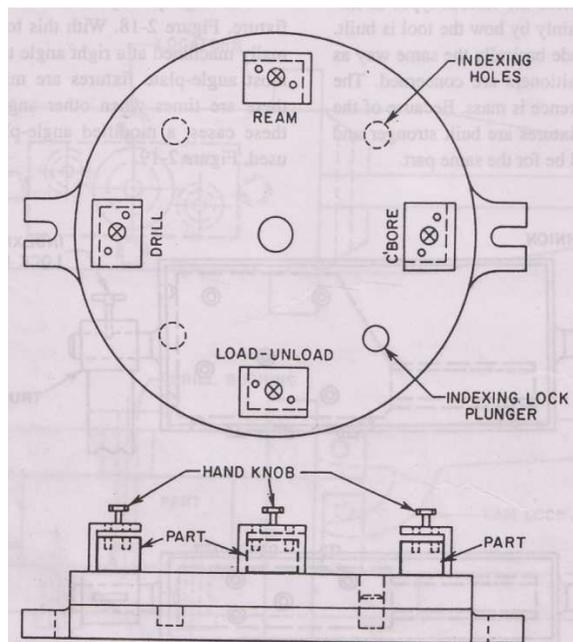
10. Pump jigs



**Gambar 2.10. Pump jigs (Hoffman, 1996, pg 14)**

Jig komersial yang harus disesuaikan oleh penggunanya. Pelat yang diaktifkan oleh tuas membuat alat ini bisa memasang dan membongkar benda kerja dengan cepat.

11. Multistation jigs



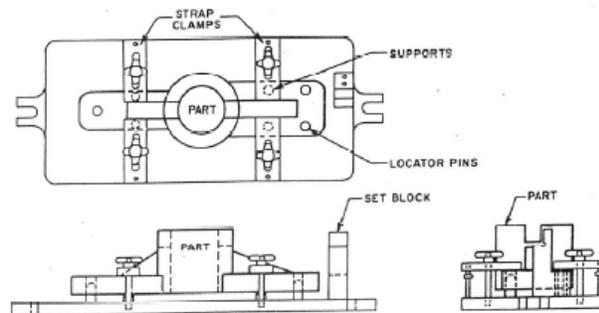
**Gambar 2.11. Multistation jigs (Hoffman, 1996, pg 14)**

*Jig* yang mempunyai bentuk seperti gambar 2.11. Ciri utama *jigs* ini adalah menempatkan benda kerja. Ketika satu bagian megebor, bagian lain *reaming* dan bagian ketiga melakukan pekerjaan *counterbore*. Station akhir digunakan untuk melepaskan komponen yang sudah selesai dan mengambil komponen yang baru.

*Fixtures* merupakan alat produksi yang menempatkan, memegang, dan menyangga pekerjaan dengan aman, sehingga permesinan dapat dilakukan. Jenis *fixture* dibedakan terutama oleh bagaimana alat bantu ini dibuat. Perbedaan utama dengan *jig* adalah beratnya. *Fixture* dibuat lebih kuat dan berat dari *jig* dikarenakan gaya perkakas yang lebih tinggi.

Berikut beberapa tipe *fixture* yang biasa ditemukan dalam industri:

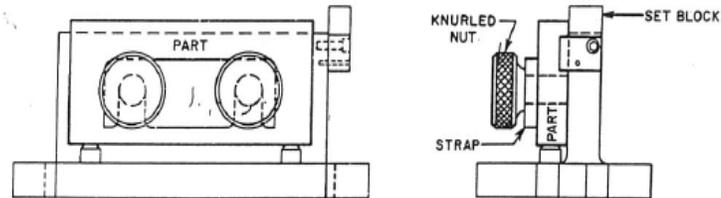
1. *Plate fixtures*



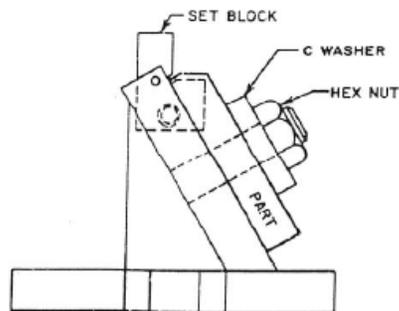
**Gambar 2.12. Plate fixtures (Hoffman, 1996, pg 15)**

Tipe *fixture* ini memiliki bentuk paling sederhana dari *fixture*. *Fixture* dasar dibuat dari pelat datar yang mempunyai variasi *clamp* dan *locator* untuk memegang dan memposisikan benda kerja. Konstruksi *fixture* ini sederhana sehingga bisa digunakan pada hampir semua proses permesinan.

## 2. The angle-plate fixtures



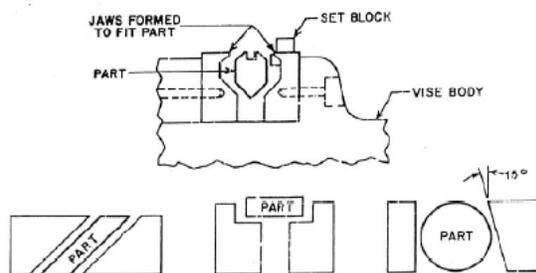
**Gambar 2.13. The angle-plate fixture (Hoffman, 1996, pg 15)**



**Gambar 2.14. Modified angle-plate fixture (Hoffman, 1996, pg 15)**

The angle-plate fixture adalah variasi dari *plate fixture*. Dengan fixture jenis ini, komponen biasanya diproses mesin pada sudut tegak lurus terhadap *locator*-nya. Jika sudutnya selain 90 derajat, *the angle-plate fixtures* yang dimodifikasi bisa digunakan.

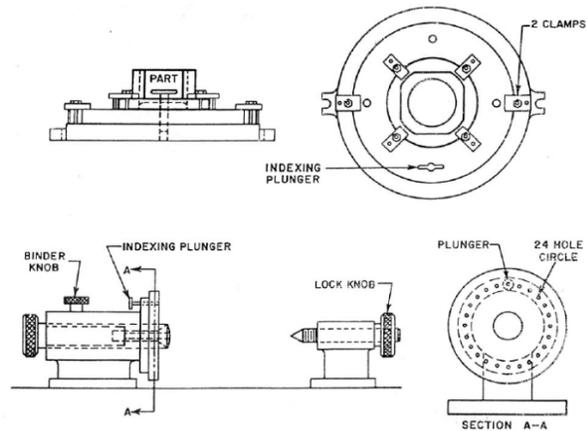
## 3. Vice-jaw fixtures



**Gambar 2.15. Vice jaw fixture (Hoffman, 1996, pg 16)**

*Vice jaw fixture* digunakan untuk permesinan benda kerja yang kecil. Dengan alat ini, *vice jaw* standar digantikan dengan *jaw* yang dibentuk benda kerja.

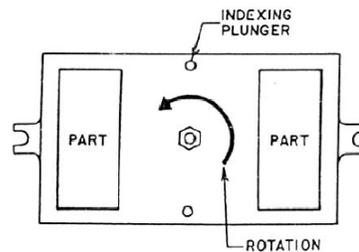
#### 4. Indexing fixtures



**Gambar 2.16. Indexing Fixture (Hoffman, 1996, pg 17)**

*Indexing fixtures* mempunyai bentuk yang hampir sama dengan *indexing jig*. *Fixtures* jenis ini digunakan untuk permesinan komponen yang mempunyai detail permesinan untuk rongga yang detail.

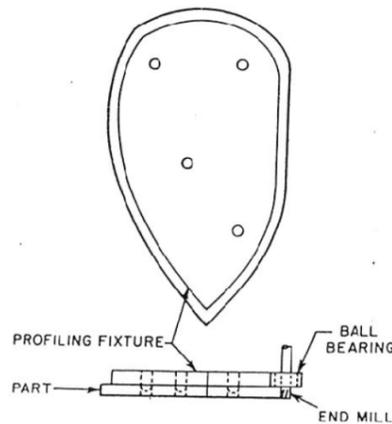
#### 5. Multistation fixture



**Gambar 2.17. Multistation fixture (Hoffman, 1996, pg 17)**

*Multistation fixture* adalah jenis *fixture* untuk kecepatan tinggi, volume produksi tinggi dimana siklus permesinan kontinyu. *Duplex fixture* adalah jenis paling sederhana dari jenis ini dimana hanya ada dua stasiun. Mesin tersebut bisa memasang dan melepaskan benda kerja ketika pekerjaan permesinan berjalan.

#### 6. *Profiling fixture*



**Gambar 2.18. Profiling fixture (Hoffman, 1996, pg 17)**

Jenis *fixture* ini digunakan untuk mengarahkan atau sebagai *guider tools* untuk permesinan kontur dimana secara normal mesin tidak dapat diproses dimesin.

#### **2.2.3. Metode perancangan**

Metode perancangan adalah berupa prosedur, teknik-teknik, bantuan-bantuan, atau peralatan untuk merancang. Metode perancangan menggambarkan aktifitas dengan jelas yang memungkinkan perancang menggunakan dan mengkombinasikan proses secara keseluruhan. Walaupun beberapa metode perancangan masih konvensional, telah terjadi pertumbuhan yang penting pada beberapa tahun ini, dimana prosedur yang tidak lagi konvensional lebih dikelompokkan bersama dan dikenal dengan metode perancangan (Cross, 1994)

Metode kreatif adalah metode perancangan yang bertujuan untuk membantu menstimulasi pemikiran kreatif dengan cara meningkatkan produksi gagasan, menyisihkan hambatan mental terhadap kreatifitas, atau dengan cara memperluas area pencarian solusi (Cross, 1994). Ada beberapa jenis metode kreatif yang dikenal, yaitu:

## 1. *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) serta harus mengerti persoalan yang dihadapi dan aturan yang berlaku dalam *Brainstorming*. Aturan yang digunakan dalam proses *brainstorming* adalah:

- a. Kelompok haruslah bersifat *non-hierarkial* dan terdiri dari 4-8 orang.
- b. Kelompok diharapkan menghasilkan sebanyak-banyaknya jumlah gagasan.
- c. Tidak dibenarkan memberikan kritik terhadap setiap gagasan.
- d. Gagasan yang terlihat aneh tetap diterima.
- e. Usahakan semua gagasan dinyatakan secara singkat dan jelas.
- f. Suasana dalam *Brainstorming* berlangsung rileks, tenang dan bebas.
- g. Kegiatan sebaiknya berlangsung dalam waktu tidak lebih dari 30 menit.

Cara-cara *brainstorming* dibagi menjadi tiga, yaitu:

- a. *Verbal Brainstorming* adalah mengumpulkan ide dengan cara para peserta berkumpul bersama dan membagi idenya secara bergiliran
- b. *Nominal Brainstorming* adalah mengumpulkan ide dengan cara para peserta berkumpul dan membagi idenya secara bergiliran.
- c. *Electronic Brainstorming* adalah pengumpulan ide dengan menggunakan bantuan teknologi.

## 2. *Synectics*

*Synectics* adalah suatu aktivitas kelompok yang mencoba membangun, mengkombinasikan dan mengembangkan gagasan-gagasan untuk memberikan solusi kreatif terhadap permasalahan perancangan melalui penggunaan berbagai analogi. *Synectics* bertujuan untuk mengarahkan aktivitas spontan pemikiran ke arah eksplorasi dan transformasi masalah-masalah perancangan (R.Evan James, 1991).

Ciri-ciri *Synectics* 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 *Synectics* dengan *Brainstorming* adalah dalam *Synectics* lebih mengarah pada usaha keras untuk menghasilkan solusi tunggal yang lebih khusus, tidak lagi membangkitkan sebanyak mungkin ide.

Metode pelaksanaan *synectics* meliputi:

- a. Membentuk kelompok yang terdiri dari anggota yang selektif.
- b. Melatih para anggota kelompok dalam menggunakan analogi untuk membangkitkan aktivitas spontan otak terhadap persoalan.
- c. Memaparkan masalah perancangan kepada kelompok sama seperti yang dinyatakan oleh klien atau pihak manajemen perusahaan.
- d. Menggunakan banyak analogi, diantaranya adalah analogi langsung, analogi personal, analogi simbolik, dan analogi fantasi.

### 3. Perluasan Daerah Penelitian

Suatu kondisi biasa dari batas mental untuk berfikir kreatif adalah untuk mengambil batas tipis sampai dimana suatu pemecahan itu dicari. Beberapa teknik kreatifitas merupakan bantuan untuk memperluas area penelitian, yang meliputi transformasi, masukan acak, perancangan banding.

### 4. Proses Kreatif

Rangkaian pemikiran yang agak mirip seringkali terjadi di pemikiran kreatif, dimana para ahli ilmu jiwa menemukan bahwa ada pola umum ini. Pola-pola itu antara lain:

- a. *Recognition* adalah realisasi pertama ataupun pengakuan bahwa masalah itu ada.
- b. *Preparation* adalah aplikasi dari usaha yang dilakukan dengan sengaja untuk memahami masalah tersebut.
- c. *Incubation* adalah periode untuk meninggalkan pemikiran tersebut dalam pikiran, yang membuat alam bawah sadar seseorang mulai bekerja.
- d. *Illumination* adalah persepsi ataupun formulasi dari ide intinya.
- e. *Verification* adalah kerja keras untuk mengembangkan dan menguji ide tersebut.

#### **2.2.4. Morphological Chart**

*Morphological chart* adalah suatu daftar atau ringkasan dari analisis perubahan bentuk secara sistematis untuk mengetahui bagaimana bentuk suatu produk dibuat. Didalam *chart* ini dibuat kombinasi dari berbagai kemungkinan solusi untuk membentuk produk-produk yang berbeda atau bervariasi.

Kombinasi yang berbeda dari sub solusi dapat dipilih dari *chart*, sehingga memungkinkan dapat menuju solusi baru yang belum teridentifikasi sebelumnya. *Morphological chart* berisi elemen-elemen, komponen-komponen atau sub-sub solusi yang lengkap yang dapat dikombinasikan. (Cross, 1989)

Adapun langkah-langkahnya adalah sebagai berikut:

1. Masalah yang harus dipecahkan harus dirumuskan seakurat mungkin
2. Identifikasi semua parameter yang mungkin ada
3. Buatlah sebuah diagram morfologi dengan parameter sebagai baris
4. Isi kolom dengan komponen yang berhubungan dengan parameter tertentu, komponen dapat ditemukan dengan menganalisis produk sejenis atau memikirkan prinsip-prinsip baru
5. Gunakan strategi evaluasi (analisis baris dan pengelompokan parameter) sebagai pembatas solusi utama
6. Ciptakan solusi dengan menggabungkan setidaknya satu komponen dari masing-masing parameter
7. Hati-hati dalam mengevaluasi dan menganalisis solusi yang berkaitan dengan persyaratan desain, dan pilihlah sejumlah solusi utama (minimal 3 solusi)
8. Solusi utama yang dipilih dapat dikembangkan secara rinci dalam bagian yang tersisa dari proses desain.

#### **2.2.5. Weighted Objective**

Metode *Weighted Objective* ini menyediakan peralatan untuk memperkirakan dan membandingkan alternatif perancangan yang menggunakan perbedaan pembobotan obyektif. Metode ini menetapkan pembobotan numerik untuk obyektif dan nilai *numerik* untuk melaksanakan alternatif perancangan yang diukur terhadap obyektif. Tujuan metode ini adalah untuk membandingkan nilai-nilai kegunaan usulan perancangan alternatif pada basis melaksanakan terhadap

perbedaan pembobotan obyektif. Langkah-langkah dalam evaluasi alternatif menggunakan metode *Weighted Objective* adalah:

- a. Pilih kriteria berdasarkan persyaratan yang telah dilakukan dengan tim kreatif
- b. Pilihlah 3 sampai 5 konsep untuk diseleksi
- c. Menetapkan bobot untuk tiap kriteria, kriteria harus sesuai dengan kepentingan dari tim kreatif, untuk menentukan faktor bobot kriteria disarankan membandingkan antar kriteria (peringkat bobot dapat berupa skala 1 sampai 5 atau memutuskan seluruh jumlah bobot misal 100 atau 1)
- d. Buatlah matriks dengan kriteria sebagai baris dan konsep atau solusi dalam kolom
- e. Tentukan nilai atribut bagaimana solusi dapat memenuhi kriteria
- f. Hitung nilai keseluruhan setiap konsep dengan menjumlahkan skor pada setiap kriteria
- g. Solusi dengan skor tertinggi adalah solusi yang akan dipilih.

#### **2.2.6. Design For Manufacturing (DFM)**

Ulrich (2001) menyatakan bahwa biaya manufaktur merupakan penentu utama dalam keberhasilan ekonomis dari produk. Secara ekonomis, rancangan yang berhasil tergantung dari jaminan kualitas produk yang tinggi, sambil meminimasi biaya manufaktur . DFM adalah suatu metode untuk mencapai tujuan ini. Pelaksanaan DFM yang efektif mengarahkan pada biaya manufaktur yang rendah tanpa mengorbankan kualitas produk.

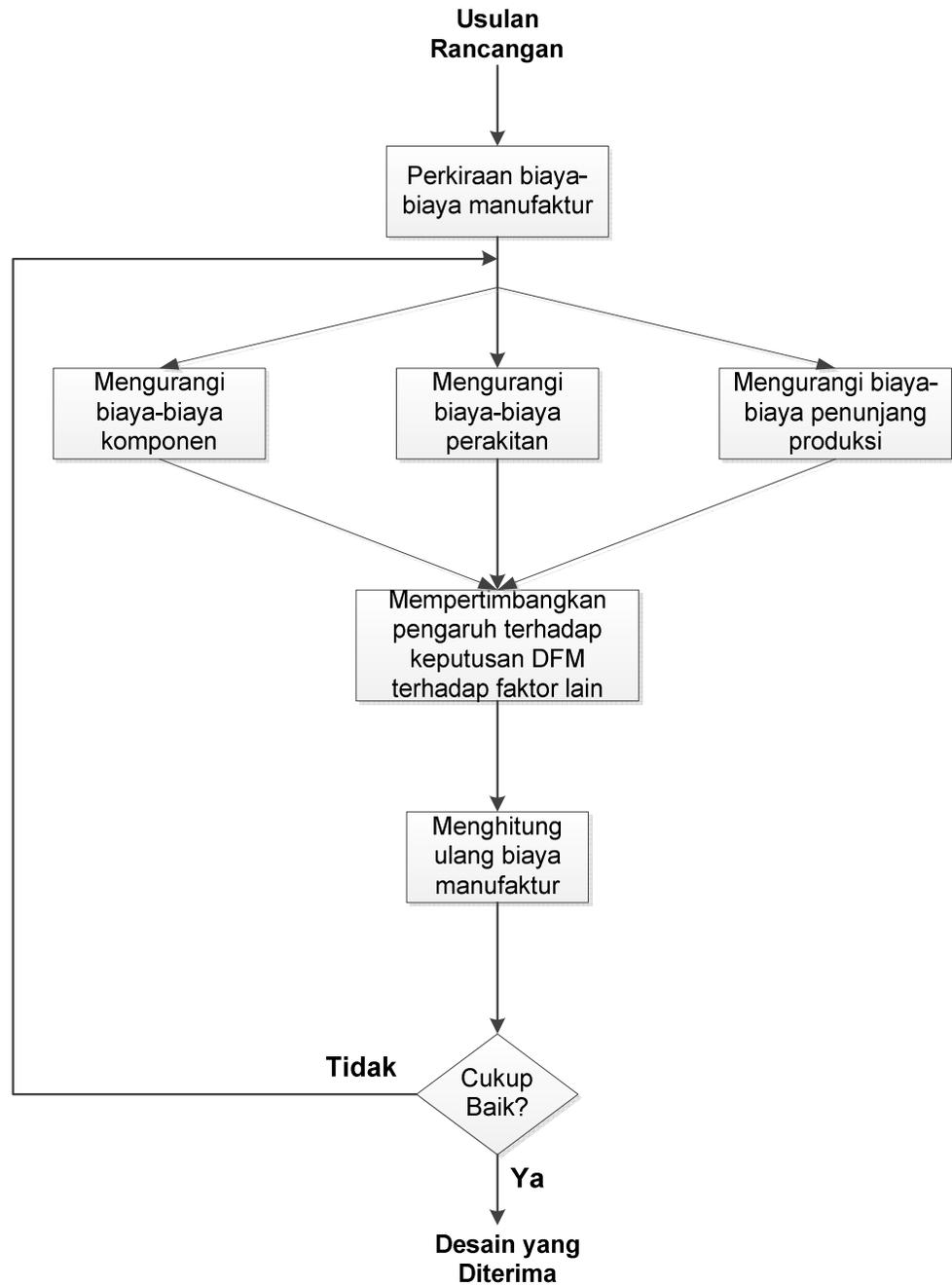
*Design For Manufacturing* (DFM) membutuhkan suatu tim yang secara fungsional saling berhubungan. Perancangan untuk proses manufaktur merupakan salah satu dari pelaksanaan yang paling terintegrasi yang terlibat dalam pengembangan produk. DFM menggunakan informasi dari berbagai tipe, diantaranya:

1. Sketsa, gambar, spesifikasi produk dan alternatif-alternatif rancangan
2. Suatu pemahaman detail tentang proses produksi dan perakitan
3. Perkiraan biaya manufaktur, volume produksi, dan waktu peluncuran produk.

Oleh karenanya *Design For Manufacturing* (DFM) membutuhkan peran serta yang sangat baik dari anggota tim pengembang. Usaha-usaha *Design For Manufacturing* umumnya membutuhkan ahli-ahli:

1. Insinyur manufaktur
2. Akutansi biaya
3. Personil produksi
4. Perancang produk

DFM dimulai selama tahapan pengembangan konsep, sewaktu fungsi-fungsi dan spesifikasi produk ditentukan . Ketika melakukan pemilihan suatu konsep produk, biaya hampir selalu merupakan satu kriteria untuk pengambilan keputusan, walaupun perkiraan biaya pada tahap ini sangatlah subyektif dan merupakan pendekatan. Ketika spesifikasi produk difinalisasi, tim pembuat pilihan (*trade-off*) diantara karakteristik kinerja yang diinginkan.



**Gambar 2.19. Metode Design For Manufacturing (DFM) (Ulrich dkk, 2001, hal 225)**

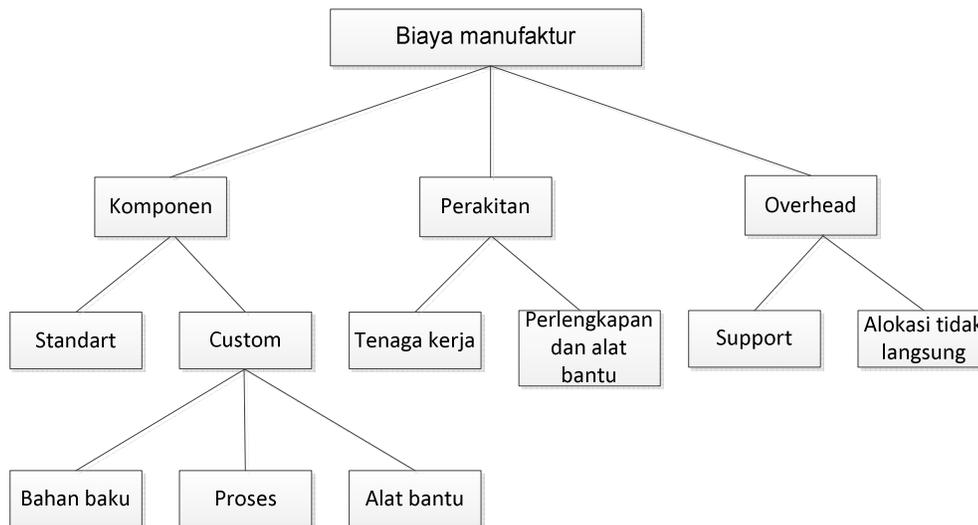
Seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.19, metode DFM dimulai dengan perkiraan biaya manufaktur dari rancangan yang diusulkan. Hal ini membantu tim

untuk menentukan suatu tingkat yang umum dimana aspek-aspek perancangan meliputi komponen rakitan atau pendukungnya adalah berharga. Tim kemudian mengarahkan perhatian pada area yang tepat dalam tahapan yang berurutan. Proses ini merupakan proses yang berulang. Tidak umum untuk menghitung kembali perkiraan biaya manufaktur serta memperbaiki rancangan produk lusinan kali sebelum menyetujui bahwa rancangan tersebut cukup baik. Sewaktu rancangan produk diperbaiki iterasi DFM ini mungkin dilanjutkan malahan hingga dimulainya produksi awal. Pada beberapa poin, hasil rancangan ditetapkan dan beberapa modifikasi lainnya dipertimbangkan sebagai perubahan secara teknis atau menjadi bagian dari pembangkitan produk selanjutnya.

Metode DFM terdiri dari 5 langkah:

1. Memperkirakan biaya manufaktur
2. Mengurangi biaya komponen
3. Mengurangi biaya perakitan
4. Mengurangi biaya pendukung produksi
5. Mempertmbangkan pengaruh keputusan DFM pada faktor-faktor lainnya.

### 2.2.6.1. Memperkirakan Biaya Manufaktur



**Gambar 2.20. Elemen biaya manufaktur dari suatu produk (Ulrich dkk, 2001, hal 227)**

Pada gambar 2.20 menunjukkan satu cara dalam mengkategorikan elemen-elemen biaya manufaktur. Pada pembahasan ini, biaya manufaktur dari suatu produk yang terdiri dari biaya-biaya dalam tiga kategori:

1. Biaya-biaya komponen: Komponen-komponen dari suatu produk mencakup komponen standar yang dibeli dari pemasok. Sebagai contoh adalah motor, chip elektronik, dan sekrup. Komponen *custom* adalah komponen berdasarkan pesanan yang dibuat berdasarkan rancangan pembuat dari material mentah.
2. Biaya-biaya perakitan: Barang-barang diskrit biasanya dirakit dari komponen-komponen. Proses perakitan hampir selalu mencakup biaya upah tenaga kerja dan juga mencakup biaya peralatan dan perlengkapan.
3. Biaya-biaya *overhead*: *Overhead* merupakan kategori yang digunakan untuk mencakup seluruh biaya-biaya lainnya.

Komponen	Material yang Dibeli	Pemrosesan (Mesin + T. Kerja)	Perakitan (T. Kerja)	Total Biaya Variabel per unit	Peralatan & Biaya tidak berulang lainnya, K\$	Umur pakai peralatan, K unit	Total Biaya Tetap per unit	Biaya Total
Saluran Udara								
Mesin cor	12.83	5,23		18.06	1960	500+	0.50	18.56
Pipa pengembalian EGR	1.30		0.15	1.45				1.45
Perangkat PCV								
Katup	1.35		0.14	1.49				1.49
Paking	0.05		0.13	0.18				0.18
Penutup	0.76		0.13	0.89				0.89
Sekrup (3)	0.06		0.15	0.21				0.21
Rakitan Blok Sumber Ruang Hampa								
Blok	0.95		0.13	1.08				1.08
Paking	0.03		0.13	0.08				0.08
Sekrup	0.02		0.09	0.11				0.11
Total Biaya Langsung	17.35	5.23	0.95	23.52	1960		0.50	24.03
Beban Overhead	2.60	9.42	1.71				0.75	14.48
<b>Biaya Total</b>								<b>38.51</b>

**Gambar 2.21. Contoh *Bill Of Material* (BOM) (Ulrich dkk, 2001, hal 228)**

Perkiraan biaya manufaktur merupakan dasar untuk DFM, yang berguna untuk menyimpan informasi ini secara teratur. Gambar 2.21 menunjukkan suatu sistem informasi untuk pencatatan perkiraan biaya manufaktur. Pada dasarnya terdiri dari suatu daftar material (*Bill Of Material*/BOM) yang dilengkapi dengan informasi biaya. BOM adalah suatu daftar tiap komponen produk. Kadang BOM dibuat dengan menggunakan format tertentu dimana rakitan struktur pohon digambarkan dengan dilengkapi dengan nama komponen dan subrakitnya.

Kolom pada BOM menunjukkan perkiraan biaya yang terurai menjadi biaya tetap dan biaya variabel. Biaya variabel mencakup material, waktu mesin, dan upah. Biaya tetap terdiri dari peralatan dan biaya yang tidak berulang seperti peralatan khusus dan biaya *set up*. Umur pakai peralatan digunakan untuk menghitung biaya tetap per unit (jika umur pakai peralatan yang diharapkan tidak melampaui volume umur pakai produk, dimana digunakan kasus volume produk yang lebih rendah). Untuk menghitung biaya total, *Overhead* ditambahkan sesuai dengan gambaran akunting biaya yang diharapkan perusahaan.

### **2.2.6.2. Mengurangi biaya Komponen**

Untuk kebanyakan produk *diskrit* yang sangat bersifat teknik, biaya komponen yang dibeli akan menjadi elemen yang biaya manufaktur yang paling berarti. Bagian ini menginformasikan beberapa strategi untuk meminimalisasi biaya-biaya tersebut.

#### **2.2.6.2.1. Memahami Batasan-batasan Proses dan Dasar-dasar Biaya**

Beberapa komponen mungkin dapat ditentukan harganya secara sederhana, karena perancang tidak memahami kemampuan dasar biaya, dan batasan-batasan proses produksi. Seorang perancang mungkin menetapkan dimensi dengan toleransi yang terlalu ketat, tanpa memahami kesulitan untuk memperoleh akurasi semacam itu dalam produksi. Untuk merancang ulang komponen guna mendapatkan kinerja yang sama seraya menghindari langkah manufaktur yang menimbulkan biaya, perancang harus mengetahui tipe operasi apa yang sulit dilakukan dalam produksi, dan dengan dasar biaya apa.

Proses-proses yang memiliki kemampuan yang tidak mudah dijelaskan, strategi terbaik adalah dengan bekerja langsung dengan orang-orang yang sangat mengetahui proses produksi yang dimaksud. Ahli-ahli manufaktur ini umumnya akan memiliki banyak ide mengenai bagaimana merancang ulang komponen untuk mengurangi biaya produksi.

#### **2.2.6.2.2. Merancang Ulang Komponen untuk Mengurangi Langkah-langkah Pemrosesan**

Kecermatan rancangan yang diusulkan akan mengarahkan pada usulan rancangan ulang yang dapat menghasilkan penyederhanaan proses produksi. Dengan mengurangi jumlah langkah dalam proses pabrikasi umumnya

memberikan hasil pengurangan biaya. Beberapa tahapan proses mungkin tidak diperlukan. Sebagai contoh, komponen aluminium mungkin tidak harus dicat, khususnya jika tidak dapat dilihat secara langsung oleh pengguna. Pada beberapa kasus, beberapa tahap mungkin untuk dikurangi melalui substitusi tahapan proses alternatif.

#### **2.2.6.2.3. Pemilihan Skala Ekonomi yang Sesuai untuk Pemrosesan Komponen**

Biaya manufaktur untuk suatu produk biasanya turun bila volume produksi meningkat. Gejala ini dinamakan skala ekonomi. Skala ekonomi untuk suatu komponen yang dibuat terjadi alasan berikut:

1. Biaya tetap dibagi diantara lebih banyak unit
2. Biaya variabel menjadi lebih rendah karena perusahaan dapat mempertimbangkan penggunaan proses-proses dan peralatan yang lebih luas dan efisien.

#### **2.2.5.2.4. Menstandarkan Komponen-komponen dan Proses-proses**

Prinsip skala ekonomis juga digunakan dalam pemilihan komponen dan proses. Jika volume produksi bertambah, biaya per unit komponen akan berkurang.

#### **2.2.6.3. Mengurangi Biaya Perakitan**

Perancangan Untuk Perakitan (*Design For Assembly/DFA*) kadang dinyatakan sebagai bagian dari DFM yang melibatkan minimasi biaya perakitan.

Pada bagian ini, akan diberikan beberapa prinsip yang berguna untuk mengarahkan keputusan DFM.

1. Menyimpan angka

Boothroyd dan Dewhurst (1989) menganjurkan untuk memelihara perkiraan biaya perakitan yang sedang berjalan. Sebagai tambahan untuk angka mutlak ini, mereka mengusulkan konsep efisiensi perakitan. Indeks DFA ditunjukkan dengan rumus sebagai berikut.

$$\text{Indeks DFA} = \frac{(\text{Jumlah komponen minimum teoritis}) \times (3 \text{ detik})}{\text{Perkiraan waktu perakitan total}}$$

## 2. Mengintegrasikan komponen

Jika suatu komponen tidak memiliki kualitas yang diperlukan secara teoritis, maka akan terdapat kandidat untuk mengintegrasikan secara fisik satu atau lebih komponen.

## 3. Memaksimumkan kemudahan perakitan

Karakteristik ideal dari komponen untuk suatu perakitan adalah:

- a) Komponen dimasukkan dari bagian atas rakitan
- b) Komponen lurus dengan sendirinya
- c) Komponen tidak harus diorientasikan
- d) Komponen hanya membutuhkan satu tangan untuk marakit
- e) Komponen tidak membutuhkan peralatan
- f) Komponen dirakit dengan gerakan linier dan tunggal
- g) Komponen terkunci dengan segera setelah penggabungan

### **2.2.6.4. Mengurangi Biaya *Overhead***

Dalam bekerja untuk meminimasi biaya komponen dan biaya perakitan, tim mungkin juga mencapai pengurangan dalam permintaan fungsi pendukung produksi. Sebagai contoh, suatu pengurangan jumlah komponen mengurangi permintaan untuk manajemen persediaan. Suatu pengurangan dalam isi rakitan mengurangi jumlah pekerja yang dibutuhkan untuk produksi sehingga mengurangi biaya pengawasan dan manajemen sumber daya manusia. Komponen standar mengurangi permintaan dukungan teknik dan pengendalian kualitas. Terdapat tambahan beberapa tindakan langsung oleh tim untuk mengurangi biaya pendukung produksi.

### **2.2.6.5. Mempertimbangkan Pengaruh Keputusan DFM Pada Faktor Lainnya**

Dengan meminimasi biaya mnaufaktur tidak hanya merupakan sasaran proses pengembangan produk. Keberhasilan produk secara ekonomis juga tergantung dari kualitas produk, berkurangnya waktu pengenalan, dan biaya pengembangan produk.

#### **2.2.5.5.1. Pengaruh DFM Pada Waktu Pengembangan**

Waktu pengembangan dapat menjadi sangat berharga. Keputusan DFM harus dievaluasi untuk melihat pengaruhnya pada waktu pengembangan, seperti pengaruh juga pada biaya manufaktur.

#### **2.2.5.5.2. Pengaruh DFM Pada Biaya Pengembangan**

Biaya pengembangan sangat simetris dengan waktu pengembangan. Maka perhatian yang sama mengenai keterkaitan antara kerumitan dan waktu pengembangan digunakan untuk biaya pengembangan.

#### **2.2.5.5.3. Pengaruh DFM Pada Kualitas Produk**

Sebelum melakukan keputusan DFM, tim seharusnya mengevaluasi pengaruh keputusan pada kualitas produk. Dibawah kondisi ideal ini, tindakan untuk mengurangi biaya manufaktur juga akan memperbaiki kualitas produk.

#### **2.2.5.5.4. Pengaruh DFM Pada Faktor-faktor Eksternal**

Keputusan perancangan mungkin memiliki implikasi melebihi tanggung jawab suatu tim pengembangan tunggal. Dalam batasan ekonomis, implikasi ini mungkin dipandang sebagai masalah eksternal. Dua masalah eksternal adalah komponen yang digunakan kembali dan biaya umur pakai.

### **2.2.7. Mekanika Teknik**

Pada semua konstruksi teknik bagian-bagian pelengkap suatu bangunan haruslah diberi ukuran-ukuran fisik tertentu. Bagian-bagian tersebut haruslah diukur dengan tepat untuk dapat menahan gaya-gaya yang sesungguhnya atau yang mungkin akan dibebankan kepadanya (Popov,1976).

#### **2.2.7.1. Tegangan**

Satuan kekuatan bahan biasanya didefinisikan sebagai tegangan pada bahan. Beberapa insinyur mempergunakan terminologi tegangan atau total tegangan sinonim dengan beban atau gaya dan satuan tegangan atau intensitas beban jika dikaitkan dengan intensitas beban per satuan luas.

$$\sigma = \frac{P}{A}$$

Keterangan :

$\sigma$  = Tegangan (N/m<sup>2</sup>)

P = Gaya (N)

A = Luas (m<sup>2</sup>)

### 2.2.7.2. Regangan

Untuk memperoleh satuan deformasi atau regangan  $\varepsilon$ , lebih nyata membagi perpanjangan  $\delta$  dengan panjang yang telah diukur, dengan demikian diperoleh

$$\varepsilon = \frac{\delta}{L}$$

Tetapi regangan dihitung, mengukur hanya harga rata-rata regangan.

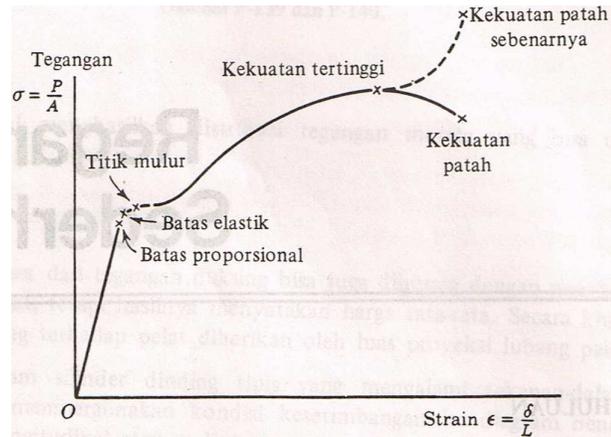
Pernyataan regangan yang benar pada setiap kedudukan adalah

$$\varepsilon = \frac{d\delta}{dL}$$

Dimana  $d\delta$  adalah perpanjangan diferensial dari panjang diferensial  $dL$ . Berarti, persamaan tersebut menetapkan regangan rata-rata dalam panjang yang sangat kecil sehingga regangan tetap disepanjang panjang tersebut

### 2.2.7.3. Hubungan Tegangan dan Regangan

Pada gambar 2.22 menunjukkan diagram tegangan-regangan. Dapat dicatat bahwa kita tidak menggambarkan beban terhadap pertambahan panjang, cukup beban atau tegangan satuan digambarkan terhadap perpanjangan satuan, secara teknis dikenal sebagai regangan. Dari sini kita menarik kesimpulan hubungan terkenal pertama yang diberi dalil oleh Robert Hook, pada tahun 1675, bahwa tegangan sebanding dengan regangan. Hukum Hook's mengatakan bahwa karena regangan jadi gaya, berkaitan dengan total ke gaya total dan tidak mengenal batas proporsional ini.



**Gambar 2.22. Diagram Tegangan-regangan (Ferdinand L, 1985.)**

Bentuk ini dikenal sebagai hukum Hooke. Semula hukum Hook semata-mata menunjukkan bahwa tegangan sebanding dengan regangan, tetapi Thomas Young dalam tahun 1807 memperkenalkan konstanta kesebandingan yang dikenal sebagai modulus Young. Selanjutnya nama ini digantikan oleh *modulus elastisitas*.

Hubungan antara tegangan dan regangan dapat dinyatakan dengan rumus sebagai berikut:

Keterangan :

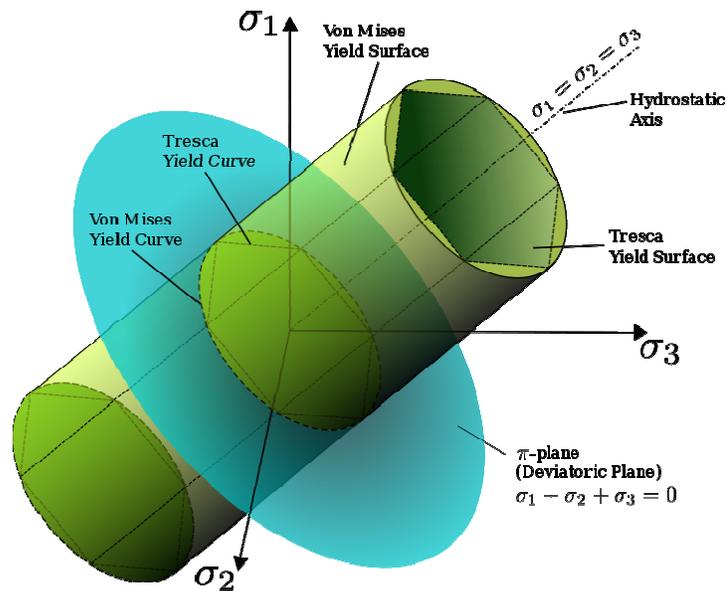
### 2.2.8. Von Mises

Kriteria kegagalan *Von Mises* (1913) berbasis teori energi distorsi maksimum ( yang disebut teori tegangan geser oktahedrak atau juga teori Maxwell-Huber-Hencky-Von Mises) sering digunakan untuk memperkirakan *yield* pada bahan ulet.

Von Mises kriteria menyatakan bahwa kegagalan terjadi ketika energi distorsi mencapai energi yang sama untuk yield/ kegagalan. Secara matematis, hal ini dinyatakan sebagai,

—

Persamaan diatas merupakan principal stress yang ditunjukkan pada gambar dibawah ini.



**Gambar 2.23. Von Mises 3D (dikutip dari <http://en.wikipedia.org/wiki/vonmises>)**

Teori kegagalan *Von Mises* lebih sering digunakan dibandingkan dengan teori tegangan geser maksimum dalam menentukan kegagalan lelah (fatigue), terutama akibat beban tarik atau tekan yang berulang – ulang dan beban tarik atau tekan geser.

### 2.2.9. SolidWork

SolidWork merupakan *software 3D mechanical CAD (computer aided desain)* yang dijalankan diatas microsoft windows dan dikembangkan oleh Dassault System SolidWorks Corp. SolidWork saat ini digunakan oleh lebihdari 2 juta teknisi dan desainer yang tersebar di 165.000 perusahaan dunia.

SolidWork menyediakan 3 template utama dalam pembuatan gambar atau modeling, yaitu:

#### 1. Part

*Part* merupakan sebuah objek 3D yang terbentuk dari features. Sebuah *part* bisa menjadi sebuah komponen pada suatu rakitan dan juga bisa digambarkan dalam bentuk 2D pada sebuah *drawing*. *Feature* adalah

bentukan dan operasi-operasi yang membuat *part*. *Base feature* merupakan *feature* yang pertama kali dibuat. *Extention file* untuk komponen SolidWork adalah .SLDPRT.

## 2. *Assembly*

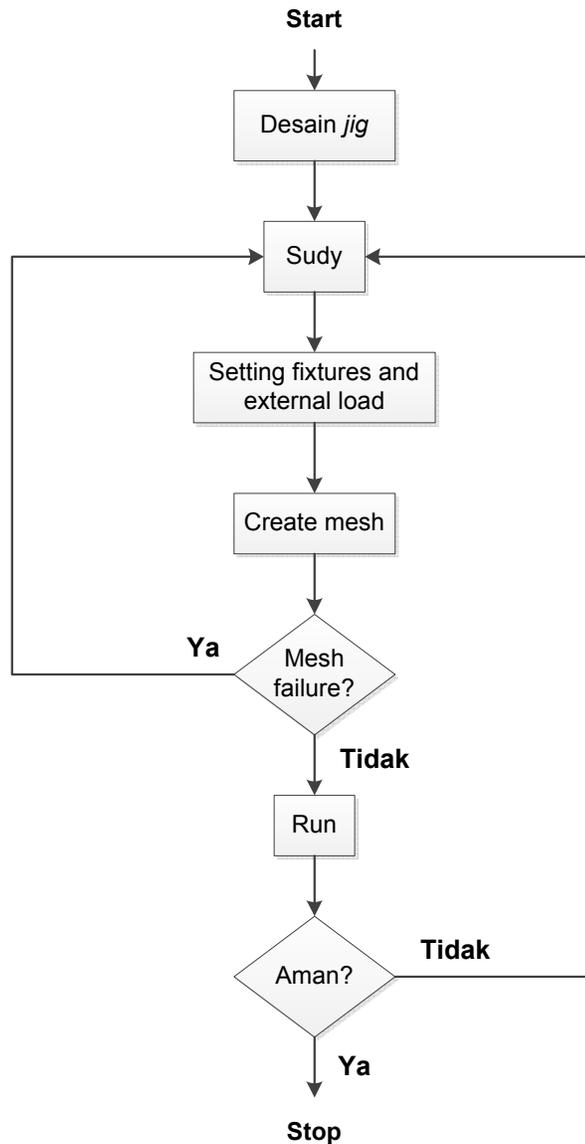
*Assembly* merupakan sebuah dokumen dimana *parts*, *features* dan *assembly* lain (*sub assembly*) dipasangkan atau disatukan bersama. *Extention file* untuk SolidWork *assembly* adalah .SLDASM.

## 3. *Drawing*

*Drawing* merupakan *template* yang digunakan untuk membuat gambar kerja 2D atau 2D *engineering drawing* dari *single component (part)* maupun *assembly* yang sudah kita buat. *Extention file* untuk SolidWork *drawing* adalah .SLDDRW.

SolidWork *simulation* merupakan tool yang berfungsi untuk menganalisis kekuatan sebuah desain *part modeling*. Dengan adanya *simulation* ini sangat membantu sekali untuk mengurangi kesalahan dalam membuat desain. Akurat tidaknya suatu desain yang dibuat dipengaruhi juga dengan beberapa faktor seperti material benda, *restrain* (bagian diam dari part), dan *loads* (beban) yang diberikan.

Untuk menganalisis suatu desain menggunakan *software* SolidWork diperlukan langkah-langkah seperti dibawah ini:



**Gambar 2.24 Langkah-langkah Simulasi Pada SolidWork 2012**

### **2.2.10. Milling**

Proses mesin milling adalah proses yang menghasilkan chips (bram). *Milling* menghasilkan permukaan yang datar atau berbentuk profil pada ukuran yang ditentukan dan kehalusan atau kualitas permukaan yang ditentukan.

Pengerjaan dengan mesin milling memiliki 3 gerakan utama, yaitu:

1. Gerakan pemotongan

Sisi potong *cutter* yang dibuat berbentuk bulat dan berputar dengan pusat sumbu utama

2. Gerakan pemakanan

Benda kerja digerakkan sepanjang ukuran yang akan dipotong dan digerakkan mendatar searah gerakan yang dipunyai oleh alas

3. Gerakan penyetelan

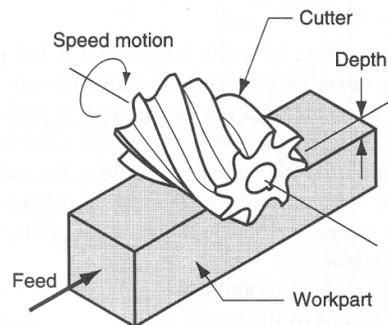
Gerakan untuk mengatur posisi pemakanan, kedalaman pemakanan dan pengembalian, untuk memungkinkan benda kerja masuk ke dalam sisi potong *cutter*, gerakan ini dapat juga disebut gerakan pengikatan.

Tenaga untuk pemotongan berasal dari energi listrik yang diubah menjadi gerak utama oleh sebuah motor listrik. Gerakan utama melalui sebuah transmisi diubah untuk menghasilkan gerakan putar pada *spindle* mesin *milling*. *Spindel* mesin *milling* adalah bagian dari sistem utama mesin *milling* yang bertugas untuk memegang dan memutar *cutter* sehingga menghasilkan gerakan pemutaran atau gerakan pemotongan.

Gerakan pemotongan pada *cutter* jika dikenakan pada benda kerja yang telah dicekam akan menimbulkan gesekan sehingga menghasilkan pemotongan pada bagian benda kerja. Ini dapat terjadi karena material penyusun *cutter* mempunyai kekerasan di atas kekerasan benda kerja.

Terdapat dua tipe dasar pengoperasian pada mesin *milling*, yaitu:

1. *Peripheral milling*



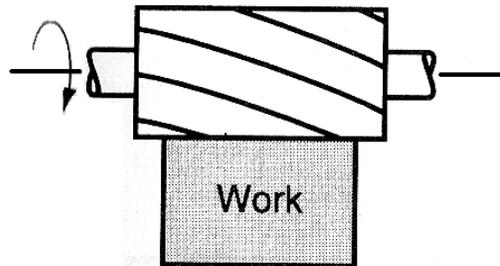
**Gambar 2.25. Pheriperal Atau Plain Milling**

(Sumber : Fundamental of Modern Manufacturing, Groover, Mikell P., 1996)

*Peripheral milling* juga biasa disebut dengan *plain milling*, dimana poros *tool* sejajar dengan permukaan luar benda yang diproses, dan proses tersebut dilakukan dengan memotong bagian tepi dari sekeliling *cutter*.

Beberapa macam tipe *peripheral milling* adalah:

a) *Slab milling*

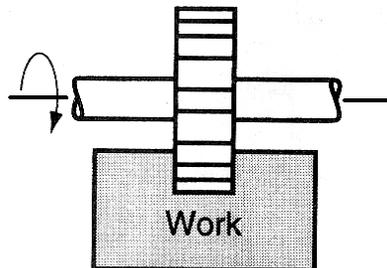


**Gambar 2.26. Slab Milling**

(Sumber : Fundamental of Modern Manufacturing, Groover, Mikell P., 1996)

Lebar *cutter* yang digunakan melebihi lebar benda kerja pada kedua sisinya.

b) *Slotting*



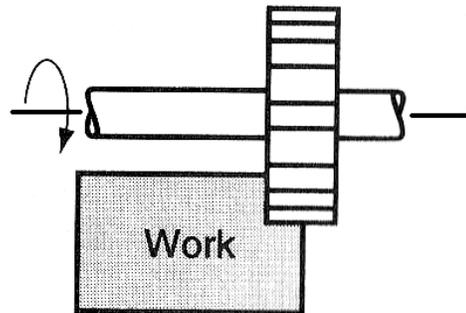
**Gambar 2.27. Slotting atau Slot Milling**

(Sumber : Fundamental of Modern Manufacturing, Groover, Mikell P., 1996)

Lebar *cutter* yang digunakan kurang dari lebar benda kerja. Proses ini ditujukan untuk membuat *slot* pada benda kerja. *Slotting* disebut juga dengan *slot milling*. Jika *cutter* yang digunakan sangat kecil maka

dapat digunakan untuk memotong benda kerja menjadi dua bagian, disebut *saw milling*.

c) *Side milling*

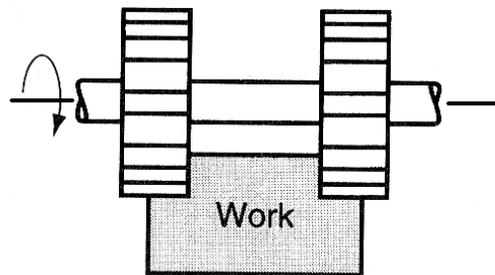


**Gambar 2.28. Side Milling**

(Sumber : Fundamental of Modern Manufacturing, Groover, Mikell P., 1996)

Proses pengerjaan pemotongan dilakukan di bagian sisi benda kerja.

d) *Straddle milling*

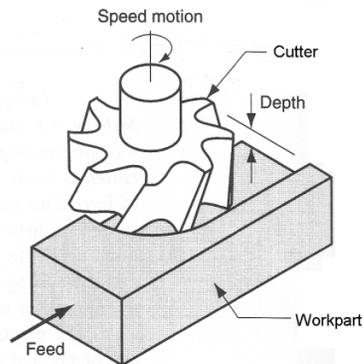


**Gambar 2.29. Straddle Milling**

(Sumber : Fundamental of Modern Manufacturing, Groover, Mikell P., 1996)

Pemotongan yang dilakukan memiliki bentuk yang hampir sama dengan *side milling*, hanya saja pemotongan dilakukan pada kedua sisi secara bersamaan.

## 2. *Face milling*



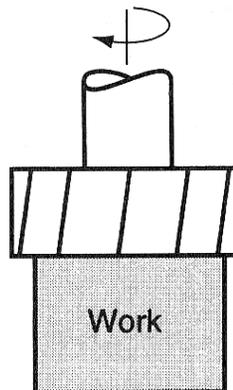
**Gambar 2.30. *Face milling***

(Sumber : Fundamental of Modern Manufacturing, Groover, Mikell P., 1996)

*Face milling*, dimana poros *tool* tegak lurus dengan permukaan benda yang diproses. Pada proses penyayatan dilakukan oleh tepi *cutter* pada sekeliling bagian luar *cutter*.

Beberapa macam tipe *face milling*:

a) *Conventional face milling*

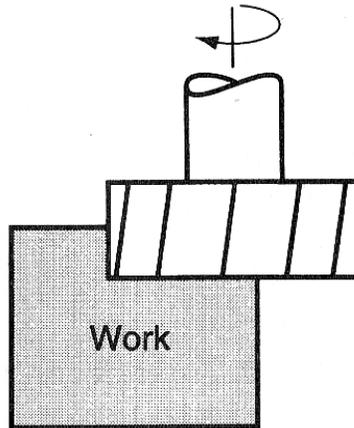


**Gambar 2.31. *Conventional Face Milling***

(Sumber : Fundamental of Modern Manufacturing, Groover, Mikell P., 1996)

Diameter *cutter* yang digunakan berukuran lebih besar daripada lebar benda kerja.

b) *Partial face milling*

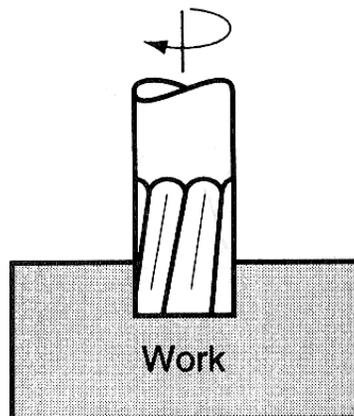


**Gambar 2.32. Partial Face Milling**

(Sumber : Fundamental of Modern Manufacturing, Groover, Mikell P., 1996)

Proses pemakanan dilakukan oleh sisi-sisi *cutter* pada salah satu sisi dari benda kerja.

c) *End milling*

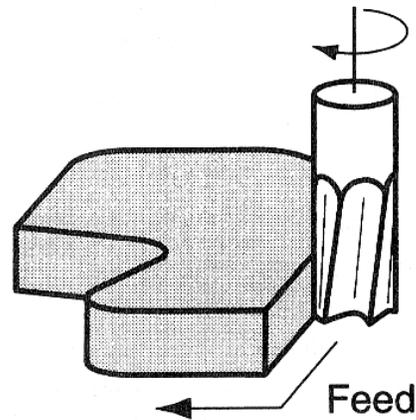


**Gambar 2.33. End Milling**

(Sumber : Fundamental of Modern Manufacturing, Groover, Mikell P., 1996)

Diameter *cutter* yang digunakan lebih kecil dari lebar benda kerja.

d) *Profile milling*

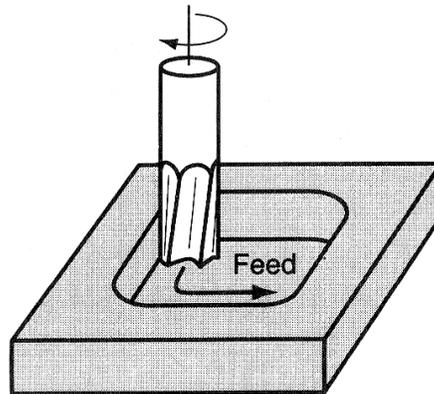


**Gambar 2.34. Profile Milling**

(Sumber : Fundamental of Modern Manufacturing, Groover, Mikell P., 1996)

Bentuk dari *end milling* yang proses pemakanan cutternya dilakukan pada sekeliling benda kerja.

e) *Pocket milling*

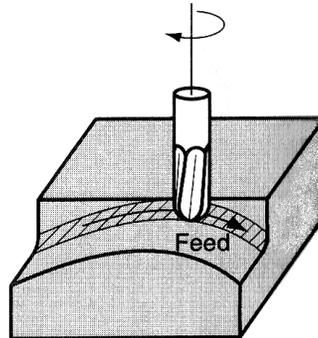


**Gambar 2.35. Pocket Milling**

(Sumber : Fundamental of Modern Manufacturing, Groover, Mikell P., 1996)

Bentuk dari *end milling* yang digunakan untuk mengerjakan proses *milling* untuk bagian yang dalam sehingga memiliki permukaan yang rata.

f) Surface counterering



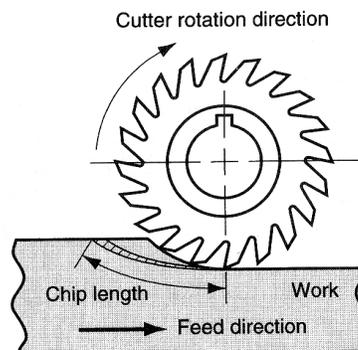
**Gambar 2.36. Surface Countering**

(Sumber : Fundamental of Modern Manufacturing, Groover, Mikell P., 1996)

*Cutter* yang digunakan biasanya berbentuk bola pada ujungnya atau disebut dengan ballnose. Proses ini dilakukan untuk mendapatkan bentuk permukaan tiga dimensi yang berbentuk lengkung.

3. Pada proses pengerjaan di mesin *milling*, terdapat dua jenis proses penyayatan yang ditinjau dari arah putaran *cutter* terhadap gerakan benda kerja, yaitu:

a) *Conventional milling*

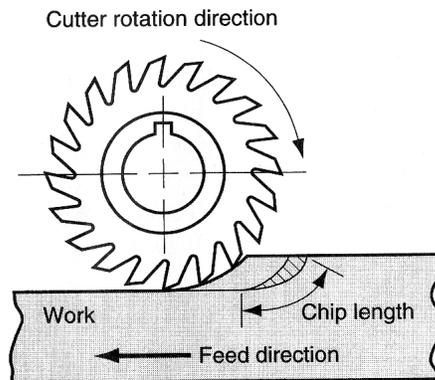


**Gambar 2.37. Conventional milling**

(Sumber : Fundamental of Modern Manufacturing, Groover, Mikell P., 1996)

Pada proses conventional milling arah benda kerja berlawanan arah dengan putaran *cutter*, sehingga *cutter* mulai menyayat pada bagian bawah benda kerja.

b) Climb milling



**Gambar 2.38. Climb Milling**

(Sumber : Fundamental of Modern Manufacturing, Groover, Mikell P., 1996)

Benda kerja bergerak searah dengan putaran *cutter*. Gaya potong akan menyebabkan *cutter* lebih mudah tumpul.

### 2.2.11. Grinding

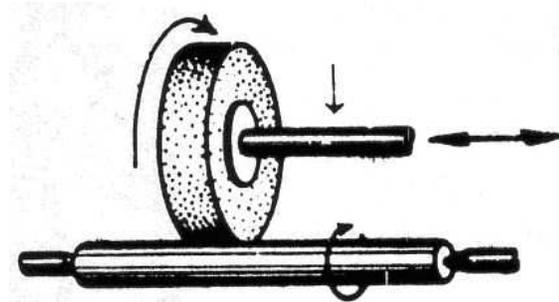
Mesin gerinda silindris adalah alat pemesinan yang berfungsi untuk membuat bentuk-bentuk silindris, silindris bertingkat, dan sebagainya.

Berdasarkan konstruksi mesinnya, mesin gerinda silindris dibedakan menjadi empat macam, yaitu:

1) Gerinda silindris luar

Mesin gerinda ini cocok untuk penggerindaan poros (*shaft*) yang silindris/konis. Gerakan penggerindaan dapat memanjang (*longitudinal*) atau melintang (*plunge*). Bentuk-bentuk khusus pada poros/shaft dapat digerinda dengan menggunakan roda gerinda profil. Gerakan meja diatur oleh hidrolik, yang dapat diatur panjang pendek langkahnya. Untuk benda kerja yang konus, meja mesin diputar sebesar setengah sudut konus. Kepala spindle (*spindel head*) dengan motor penggerak dan penyangga (*tailstock*) jaraknya dapat diatur menyesuaikan dengan panjang pendeknya

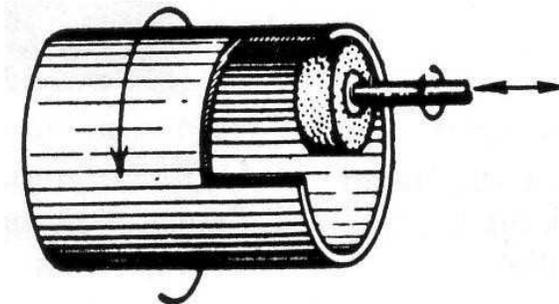
benda kerjayangan digerinda. Kedalaman penggerindaan dilakukan dengan memajukan rodagerinda.



**Gambar 2.39. Pengerjaan Benda Dengan Mesin Gerinda Silindris Luar**

- 2) Mesin gerinda silindris dalam.

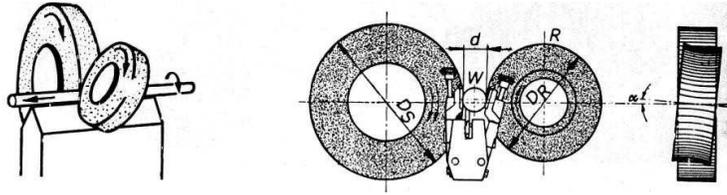
Mesin gerinda ini di gunakan untuk menggerinda lubang-lubang yang silindris dan tirus dikerjakan pada mesin ini. Pada dasarnya gerakan-gerakan pada internal grinding sama dengan eksternal grinding. Putaran roda gerinda pada proses ini relatif lebih cepat karena diameter roda gerinda yang digunakan kecil.



**Gambar 2.40. Pengerjaan Benda Dengan Mesin Gerinda Silindris Dalam**

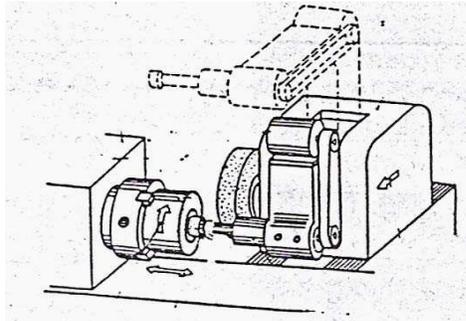
- 3) Mesin gerinda silinder luar tanpa center

mesin gerinda silindris luar adalah dimana benda kerja yang digerinda tidak dicekam secara khusus. Benda kerja di masukkan atau digerakkan pada batang dukungan antara roda gerinda dan roda pengatur. Putaran yang pelan dan desakan yang ringan dari roda pengatur menyebabkan gerakan maju dan berputar pada benda kerja. Penggerindaan dilakukan dalam beberapa kali lintasan, sampai ukuran yang diinginkan tercapai.



**Gambar 2.41. Pengerjaan Benda Dengan Mesin Gerinda Silindris Luar Tanpa Center**

- 4) Mesin gerinda silindris universal.  
 Sesuai namanya, mesin gerinda jenis ini mampu untuk menggerinda benda kerja dengan diameter luar dan dalam baik bentuk silindris dan tirus.



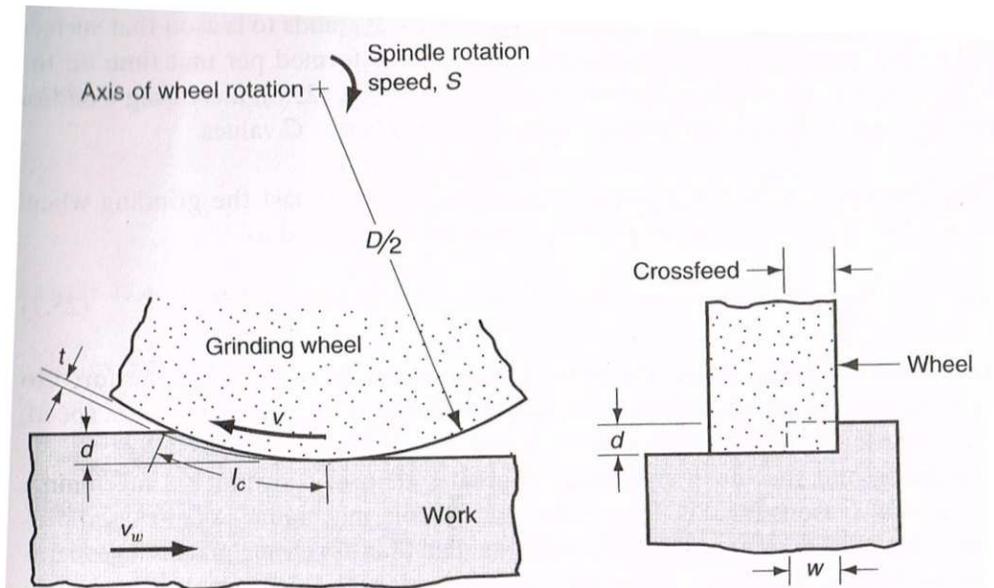
**Gambar 2.42. Pengerjaan Benda Dengan Mesin Gerinda Silindris Universal**

- 5) Mesin gerinda tangan  
 Mesin gerinda tangan digunakan untuk pekerjaan-pekerjaan non-finnishing, atau lebih kepekerjaan bench work. Jenis benda yang dikerjakan oleh mesin ini relatif lebih bervariasi. Tipe gerinda jenis ini biasanya digunakan untuk mengurangi ketajaman sudut benda kerja dan juga untuk pembuatan jalur kampuh pada las.



**Gambar 2.43. Gerinda Tangan**

Kondisi pemakanan pada proses grinda dicirikan oleh kecepatan pemakanan dan ukuran pemakanan yang sangat kecil, dibandingkan dengan *milling* dan proses permesinan lainnya. Seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.44 terdapat prinsip dasar dari proses gerinda.



**Gambar 2.44. Proses Gerinda**

(Sumber : Fundamental of Modern Manufacturing, Groover, Mikell P., 1996)

Kecepatan permukaan roda gerinda ditentukan oleh kecepatan rotasi roda gerinda.

$$v = \pi \cdot D \cdot N$$

Keterangan :

v = Kecepatan permukaan roda gerinda (m/min)

N = Kecepatan spindle (rev/min)

D = Diameter roda gerinda (m)

Pada proses gerinda terjadi tumbukan yang diakibatkan oleh gerakan dari roda gerinda dan benda kerja maka akan menimbulkan sebuah gaya potong yang diakibatkan oleh adanya energi.

$$U = \frac{F_c \cdot v}{V_w \cdot w \cdot d}$$

Keterangan :

U = Energi 35 (J/mm<sup>3</sup>)

V<sub>w</sub> = Kecepatan meja gerinda (mm/min)

w = Lebar pemakanan (mm)

d = *Depth of cut* (mm)