

## BAB II

### DASAR TEORI

#### 2.1. Pengertian Umum Putaran Kritis

Pada kecepatan tertentu sebuah poros rotor atau rotor diketahui memberikan getaran lateral yang berlebihan. Kecepatan sudut dari suatu poros di mana hal ini terjadi disebut kecepatan kritis atau kecepatan putaran kritis (*critical speed or critical whirling speed*). Pada suatu kecepatan kritis, lenturan (*deflection*) dari poros menjadi berlebihan dan dapat menyebabkan perubahan bentuk (*deformasi*) yang permanen atau strukturnya rusak sebagai contoh cakra (*sudu-sudu*) rotor dari turbin mungkin akan menyentuh cakra yang tetap. Lenturan poros yang besar yang terjadi pada kecepatan kritis dapat menyebabkan reaksi bantalan yang besar dan dapat menyebabkan kerusakan pada bantalan atau kerusakan pada struktur dari pendukung bantalan. Gejala ini dapat terjadi bahkan pada rotor-rotor yang telah dibuat seimbang secara teliti. Sebuah mesin tidak akan pernah dapat beroperasi dalam suatu lama waktu tertentu pada suatu kecepatan yang dekat dengan kecepatan kritis.

##### 2.1.1. Faktor –Faktor yang Mempengaruhi Kecepatan Putaran Kritis.

Ada sejumlah factor yang dapat mengubah harga dari kecepatan kritis yang diperoleh dari persamaan sebelumnya, dimana salah satunya adalah fleksibilitas dari bantalan – bantalan. Anggapan yang umum dalam menghitung kurva lenturan adalah bahwa bantalan merupakan bahan yang kaku dan tidak lentur. Kenyataannya semua bantalan melentur sedikit karena beban – beban yang bekerja padanya. Hal ini menambah lenturan dari poros rotor dan cenderung untuk membuat lebih rendah. kecepatan kritis. Selanjutnya, beberapa bantalan melentur lebih kepada satu arah

dari arah lainnya. Sebagai contoh, kaki – kaki bantalan biasanya lebih fleksibel dalam arah horizontal dari pada arah vertical, dan hal ini mengakibatkan 2 kecepatan kritis untuk poros yang sama. Panjang bantalan juga mempunyai efek pada kecepatan kritis, umumnya makin panjang bantalan makin besar dia menahan poros dari gerakan naik turun. Hal ini mengakibatkan sistem lebih kaku dan dan menambah harga dari kecepatan kritis.

Jika ada lempengan yang besar pada poros dan terutama jika mereka mempunyai diameter yang besar, momen kelembamankutubnya akan menjadi besar dan akan menciptakan *efek giroskop* yang menahan suatu perubahan dalam arah dari sumbu – sumbuhnya. Pada waktu poros mulai berputar, lempeng tersebut menahan kemiringan dari sumbuhnya. Gerakan ini membuat kaku sistem dan menaikkan harga dari kecepatan kritis. Efek ini lebih besar untuk lempeng – lempeng yang lebih dekat pada bantalan dimana kemiringan dari porosnya lebih besar.

Dalam pengetahuan teknik, kita meghadapi rotor – rotor yang bekerja dalam berbagai zat antara (medium). Hal ini seperti pada roda-roda gerinda, fan-fan dan compressor yang beroperasi di udara, ataupun rotor turbin yang beroperasi dalam gas, uap, atau minyak. Media operasai memberikan tahanan gesekan yang disebut redaman.(*damping*), yang mempunyai efek yang kecil pada harga dari kecepatan kritis dan pada dalam prakteknya biasanya diabaikan. Akan tetapi, redaman mengurangi lenturan dinamis dari poros, dan meskipun efek ini adalah kecil untuk suatu rotor yang beroperasi di udara ataupun gas, dia akan dipertimbangkan untuk mesin yang bekerja di air maupun minyak dimana kerapatan zat lebih tinggi.

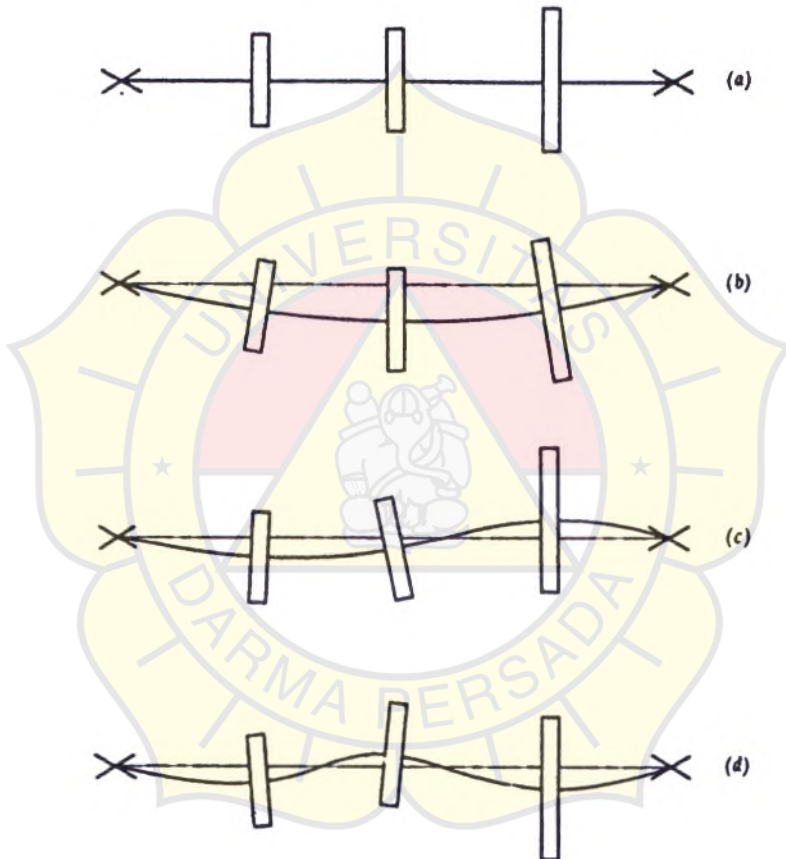
Suatu ikatan yang keras atau ikatan mengkerut untuk hubungan dari kipas, roda gigi, atau kerek, terutama jika hub-nya tebal dan cukup panjang akan menambah kekakuan dari poros dan menaikkan kecepatan kritisnya.



Kesimpulannya, dari analisa pustaka menunjukkan bahwa jika kecepatan operasi dari sebuah poros dibebaskan sedikitnya 20% dari kecepatan kritis mengakibatkan minimnya gangguan dari getaran.

### 2.1.2. Poros Dengan Sejumlah Lempengan

Poros yang ditunjukkan dalam berikut (a), yang mempunyai 3 lempengan, adalah gambaran dari suatu poros dengan sejumlah lempengan.



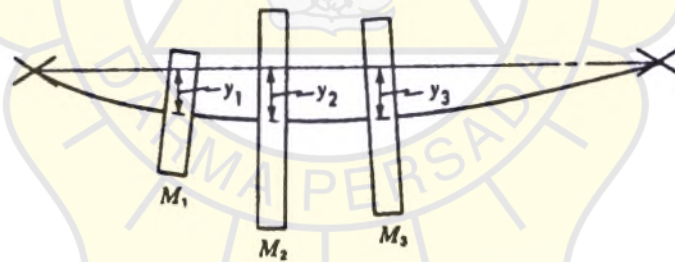
Gambar 2.1: Poros dengan sejumlah lempengan

Poros tersebut dapat dianggap tetap horisontal atau vertikal jika gaya beratnya tidak memberikan pengaruh terhadap kecepatan kritis atau kecepatan pusaran. Sebaliknya poros dapat bergetar secara melintang (*transversal*) dalam bentuk salah satu dari 3 bentuk seperti ditunjukkan dalam Gambar 2.1 (b) sampai (d), dan frekuensinya akan berbeda-beda untuk tiap bentuk. Karena kekakuan dari poros bertambah pada

waktu kita bergerak dari Gambar 22-3 (b), ke (c) dan (d), frekuensi dirinyapun bertambah. Mengingat kecepatan-kecepatan kritis selalu berhubungan dengan frekuensi diri dari getaran melintang, kurva lenturan dalam gambar juga menyatakan bentuk (konfigurasi) dari poros pada kecepatan kritis bertambah.

Biasanya hanya kecepatan kritis terbawah yang dianggap penting karena kecepatan operasi dari mesin lebih kecil dari kecepatan kritisnya yang lebih tinggi. Karena itu kita akan memperhatikan hanya tingkat pertama dari kecepatan kritis atau kecepatan kritis dasarnya.

Frekuensi diri dasar dari getaran *transversal* dari sebuah poros dengan sejumlah lempeng dapat ditentukan dengan metoda *Rayleigh*. Metoda ini didasarkan pada silih ganti yang terus menerus antara tenaga kinetis dan tenaga regangan dalam suatu sistem. Selanjutnya, metoda tersebut menggunakan anggapan bahwa kurva lenturan dinamis untuk poros adalah sama dalam bentuk dengan kurva lenturan statis.



Gambar 2.2: Kurva lenturan statis

Perhatikan poros dalam Gambar 2.2 yang diabaikan massanya dan mendukung sejumlah massa-massa terpusat. Untuk melukiskan metoda *Rayleigh*, kita tentukan ada 3 massa  $M_1$ ,  $M_2$  dan  $M_3$ . Garis utuh menunjukkan sumbu dari poros pada posisi lenturan yang paling jauh sewaktu ia bergetar secara *transversal* dengan frekuensi  $\omega_n$  dalam radian/detik. Lenturan dinamis  $y_1$ ,  $y_2$  dan  $y_3$  dianggap sama dengan lenturan statis yang dihasilkan oleh gaya-gaya berat  $M_1g$ ,  $M_2g$  dan  $M_3g$ . Perpindahan dari poros yang bergetar akan bergerak dengan gerakan harmonis sederhana karena gaya-gaya



pengembalian yang bekerja pada poros yang disebabkan oleh kekenyalannya yang semu sebanding dengan lintasannya. Dalam Bab 2, dalam bab mengenai gerakan harmonis sederhana, kita melihat bahwa untuk sebuah partikel yang mempunyai gerakan harmonis sederhana dengan frekuensi  $w$ , kecepatan maksimum  $V = y_w$ , di mana  $y$  adalah maksimum lintasannya, dan kecepatan maksimumnya terjadi pada waktu  $y = 0$ , jadi dalam Gambar 22-4 proses bergetar mempunyai kecepatan terbesarnya dan tenaga kinetis terbesarnya pada waktu ia mencapai posisi tidak membengkoknya. Tenaga kinetis (KE) untuk sistem tersebut adalah:

$$KE = \sum \frac{1}{2} MV^2$$

dan mengingat  $V = yw_n$

$$KE = \frac{w_n^2}{2} (M_1 y_1^2 + M_2 y_2^2 + M_3 y_3^2) \tag{2-1}$$

Pada waktu poros yang bergetar mencapai posisi lenturannya yang paling besar, semua tenaga kinetisnya hilang dan tersimpan dalam poros sebagai tenaga regangan. Tenaga regangan dapat ditentukan dengan memperhatikan kerja yang dikerjakan pada poros jika ia diperkenankan untuk melentur di bawah gaya-gaya statis,  $M_1g$ ,  $M_2g$  dan  $M_3g$ . Harga rata-rata dari tiap gaya sewaktu ia bergerak sejauh  $y$  adalah  $MG/2$ . Tenaga regangan atau tenaga potensial (PE) dalam poros adalah merupakan jumlah dari kerja yang dibuat oleh gaya-gaya dan adalah:

$$PE = \frac{g}{2} (M_1 y_1 + M_2 y_2 + M_3 y_3) \tag{2-2}$$

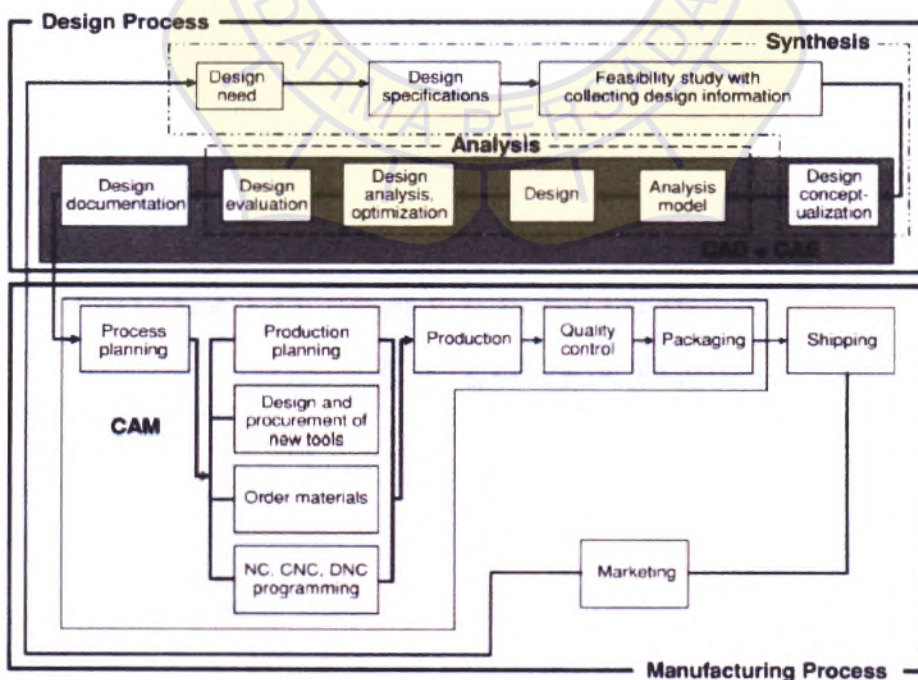
Dengan menyamakan sisi kanan dari persamaan-persamaan (2-1) dan (2-2), kita memperoleh pernyataan frekuensi diri dari getaran melintang (*transversal*) dan kecepatan kritis sebagai berikut

$$w_n = \sqrt{\frac{g \sum My}{\sum My^2}} \tag{2-3}$$

Jika penampang melintang dari poros adalah sama di seluruh panjang poros, lenturan statis dalam persamaan 2-3 dapat secara sangat mudah dihitung dengan menggunakan persamaan untuk lenturan batang yang diberikan dalam buku-buku pegangan teknik tentang mekanika dan dengan menggunakan prinsip superposisi (*principle of superposition*), di mana lenturan pada suatu titik yang ditentukan sepanjang poros adalah sama dengan jumlah dari lenturan-lenturan pada titik itu dengan mempertimbangkan setiap gaya berat yang bekerja pada massa itu sendiri. Contoh berikut ini akan melukiskan metoda tersebut

## 2.2. Teori Pemodelan dan Pemesinan

Sistem CAD/CAM digunakan pada industri di bidang teknik dalam berbagai kegunaan [2]. Seperti *drafting*, disain, simulasi, hingga analisa manufaktur. Suatu produk pada industri dibuat berdasarkan permintaan pasar. Produk ini kemudian digarap melalui dua proses, disain dan manufaktur.



Gambar 2.3 : Bagan proses disain dan manufaktur dengan system CAD/CAM



Sistem CAD/CAM merupakan suatu sistem aplikasi kompleks yang menggunakan perangkat lunak (*software*) dan perangkat keras (*hardware*). *Hardware* pada sistem CAD/CAM merupakan seperangkat komputer yang dilengkapi dengan *mouse* dan *keyboard*. Sedangkan *software*-nya berupa program komputer yang menggunakan bahasa pemrograman utama C dan C++.

*Software* CAD/CAM memanfaatkan struktur data untuk menyimpan geometri dan topologi dari geometri model yang merepresentasikan *part model*.

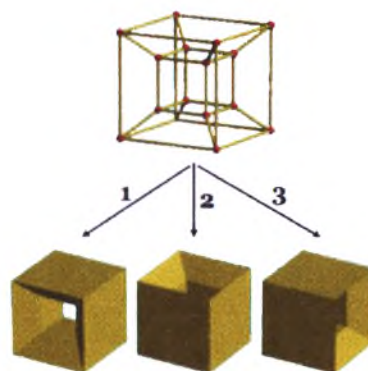
### 2.2.1. Dasar Pemodelan dan Pemodelan Geometri

CAD merupakan teknologi yang berfungsi untuk menciptakan, memodifikasi, menganalisis dan mengoptimasi desain.

Pada awalnya pemodelan dilakukan dengan 3 basis pemodelan geometri, yaitu *wire frame*, *surface* dan *solid* :

- *Wire frame modeling* ★

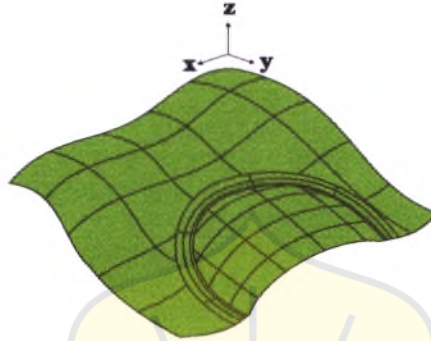
Dasar pemodelan ini merupakan yang pertama kali digunakan. *Wire frame modelling* merepresentasikan suatu obyek dengan kurva ataupun garis tepi dan *vertex* dari permukaan suatu obyek. Basis ini mempunyai banyak kelemahan karena tidak memiliki informasi pada permukaannya sehingga dapat menimbulkan berbagai penafsiran bentuk.



Gambar 2.4 : Ambigu dalam wire frame modeling

- *Surface modelling*

*Surface modeling* merupakan teknologi penerus dari *wire frame modeling*. Dasar pemodelan ini merepresentasikan obyek geometri dengan mendefinisikan deskripsi matematik dari bentuk permukaan obyek.



Gambar 2.5 : *Surface modeling*

- *Solid modelling*

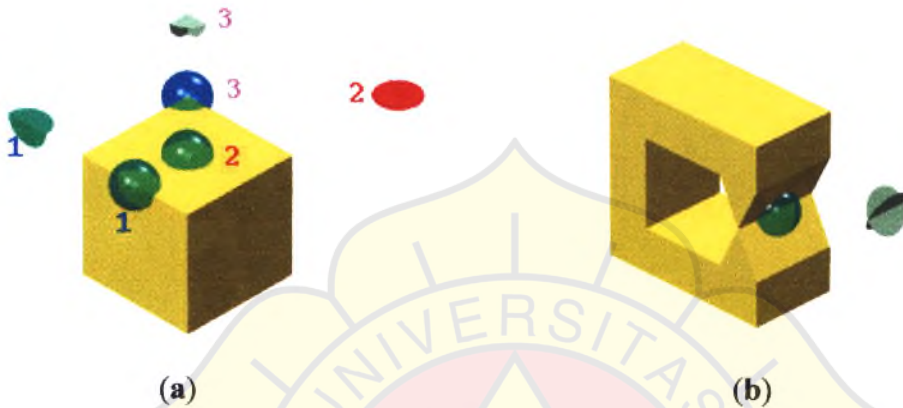
Dasar pemodelan ini merepresentasikan suatu obyek yang bersifat menyeluruh dengan menitik beratkan hubungan volume dari suatu obyek. Keuntungan yang didapat dari dasar pemodelan ini adanya perbedaan yang jelas antara bagian dalam volume suatu obyek dengan bagian luarnya sehingga memungkinkan analisa sifat integral obyek, seperti volume, pusat gravitasi, momen inersia, dan lain – lain. Bentuk representasi awal yg diperkenalkan disebut dengan *two-manifold solid*.



Gambar 2.6 : *Solid modeling*



Sesuai dengan perkembangan teknologi pemodelan, saat ini ketiga dasar pemodelan tersebut digabungkan sehingga dapat merepresentasikan suatu pemodelan geometri lebih baik. Penggabungan ketiganya disebut dengan *non two-manifold solid*. Keuntungan dari *non two-manifold solid* adalah didapatnya variasi yang lebih banyak dalam merepresentasikan suatu model.

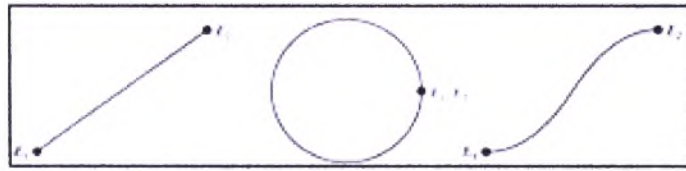


Gambar 2.7 : (a) *two-manifold solid*, (b) *non two-manifold solid*

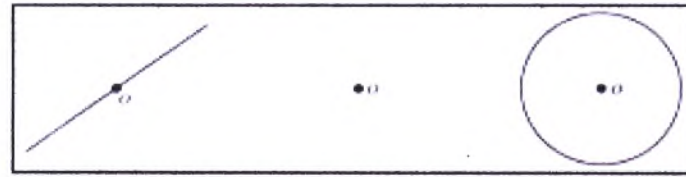
### 2.2.2. Modeling Tools

- *Geometric Modifier*

*Geometric modifier* digunakan dalam semua sistem CAD/CAM [2]. *Geometric modifier* berfungsi untuk mengubah mode *input* dan *output* pada suatu perintah. Keuntungan utama menggunakan *geometric modifier* adalah untuk mengerjakan pemodelan berdasarkan informasi geometri spesifik pada model geometri tanpa harus mengkalkulasi kembali informasi tersebut. Tiga jenis *geometric modifier* yang umum ditemukan ialah *end*, *origin* (pusat), dan *intersection modifier*.



(a)



(b)

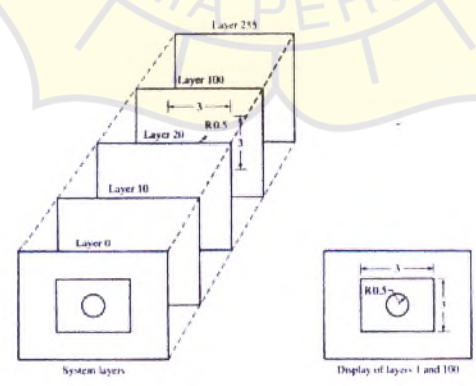


(c)

Gambar 2.8 : (a) end, (b) origin, (c) intersection

- Layer

Operasi ini berfungsi untuk memisahkan beberapa informasi dalam satu model atau part. Informasi biasanya berupa informasi geometri. Layer dapat berfungsi sebagai transparent sheet dalam suatu model.



Gambar 2.9 : layer

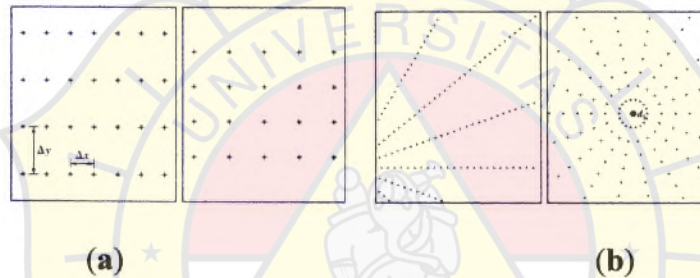


- *Grid*

*Grid* merupakan jaringan yang dibuat dengan penggabungan titik – titik yang mempunyai jarak tertentu. Satu buah titik melambangkan satu *grid point*. Ada 2 jenis *grid* yang tersedia, *rectangular* dan *radial*. Pada *rectangular grid*, 4 buah *grid point* akan membentuk suatu persegi panjang.

*Grid* ini biasanya berfungsi untuk membantu pembuatan sketsa, atau untuk memindahkan suatu *entity* antar titik – titik tersebut.

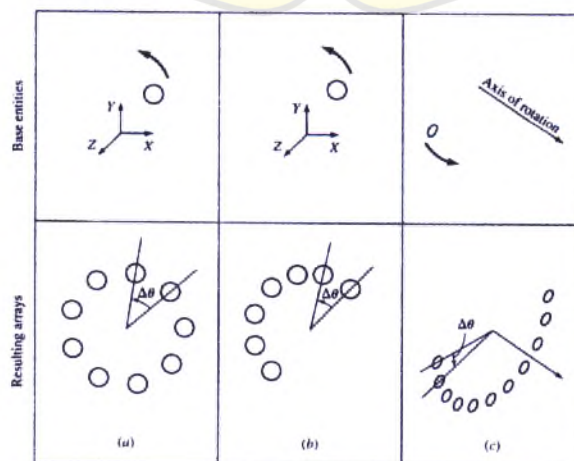
Kegunaan utama *grid* radial pada pembentukkan suatu konstruksi yang bersifat melingkar, *axisymmetric* dan *radial*.



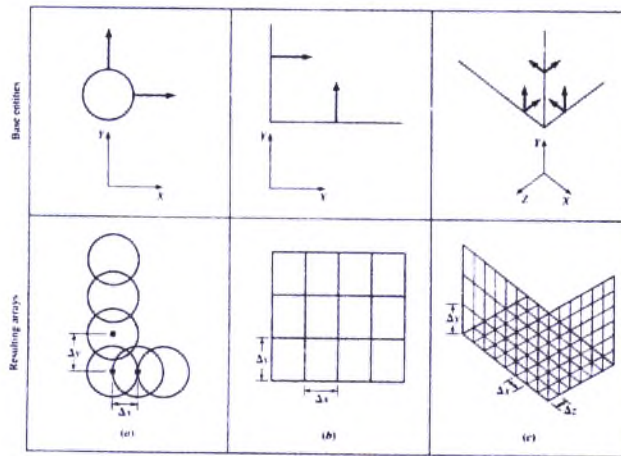
Gambar 2.10 : (a) *rectangular grid*, (b) *radial grid*

- *Geometric Array*

*Geometric array* berfungsi untuk menempatkan *entity* yang identik pada lokasi yang telah ditentukan. Terdapat 2 jenis *geometric array*, yaitu *circular* dan *rectangular*.



(a)

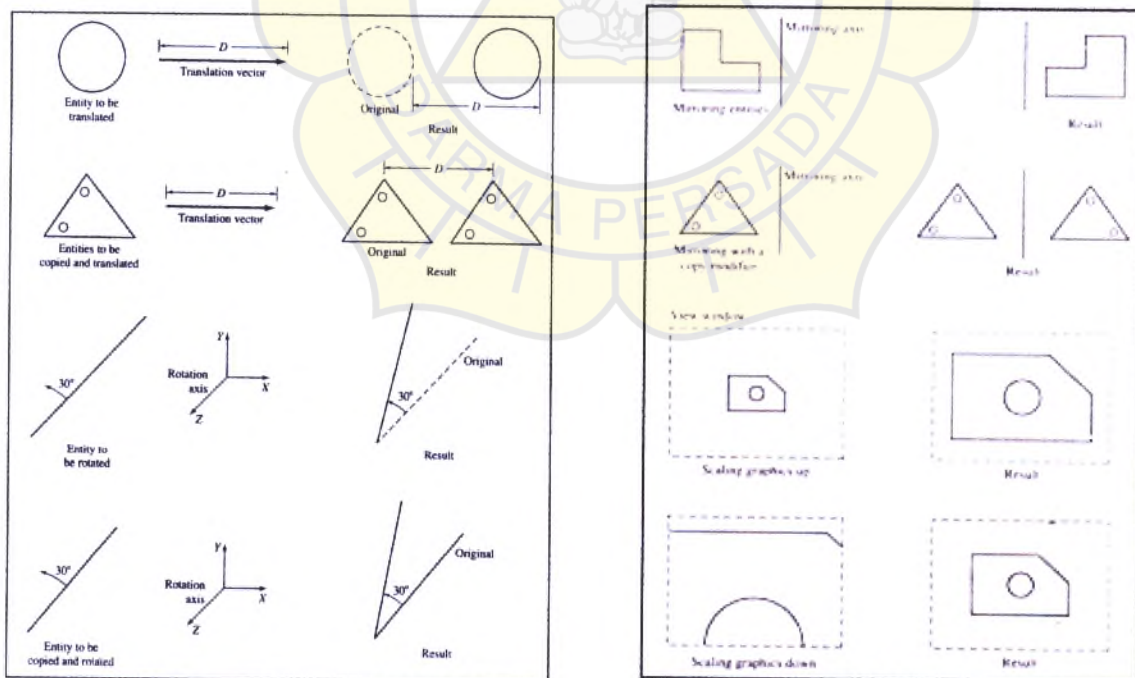


(b)

Gambar 2.11 : (a) circular, (b) rectangular

• Transformation

Operasi transformasi digunakan untuk mentranslasikan *entity* pada suatu jarak tertentu, memutar *entity* (*rotate*), mencerminkan (*mirror*), dan memperbesar atau memperkecil skala pada *entity* tersebut



(a)

(b)

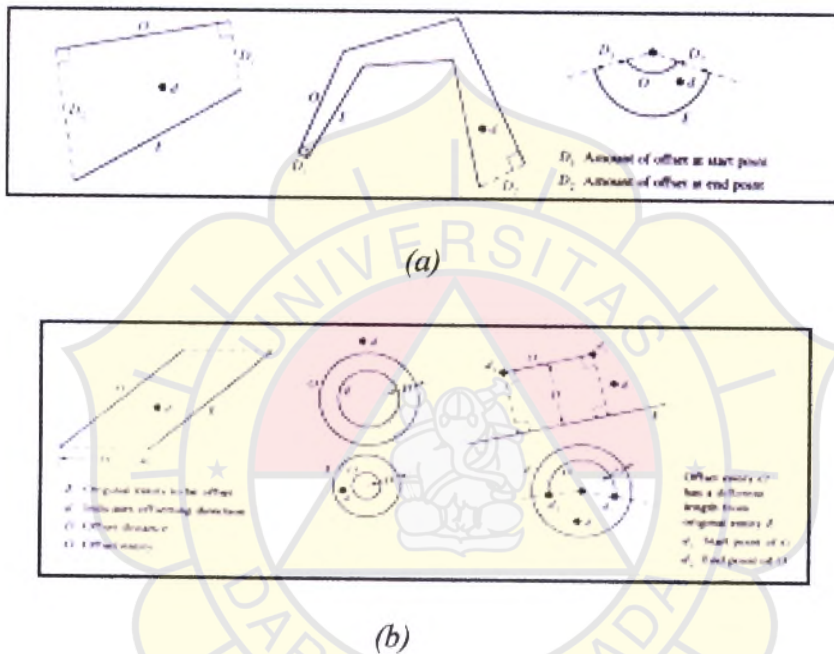
Gambar 2.12 : (a) translasi, (b) rotasi pada entity



- *Offsetting*

*Offsetting* berfungsi untuk membuat sebuah *offset* pada *entity* planar. *Offsetting* terbagi atas 2 macam, yaitu *uniform* dan *tapered*.

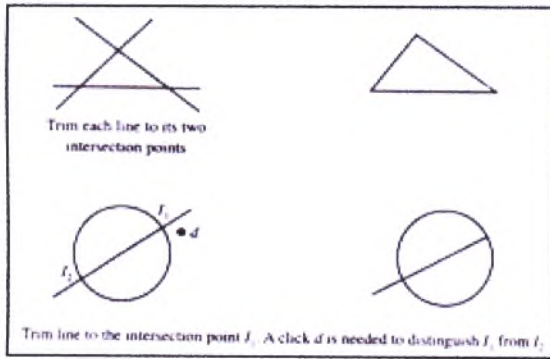
Pada *uniform offsetting*, *entity* hasil *offset* mempunyai tipe yang sama dengan *entity* aslinya, sedangkan untuk *tapered offsetting*, *entity* hasil *offset* mempunyai tipe yang berbeda dari aslinya.



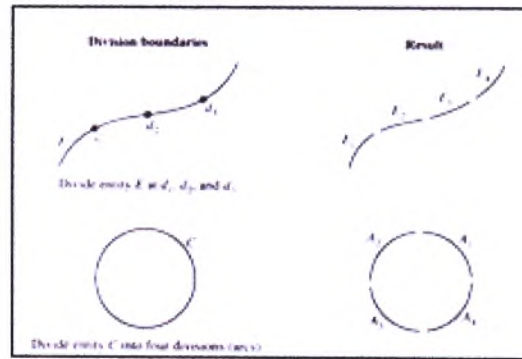
Gambar 2.13 : (a) *tapered offsetting* (b) *uniform offsetting*

- *Editing*

Operasi *editing* terbagi atas *entity trimming*, *entity division*, *entity sketching*, dan *entity editing*. Proses *trimming* digunakan untuk memperbesar atau memperkecil *end point* dari suatu geometri *entity* dengan batas tertentu. *Entity division* berfungsi untuk memisahkan satu *entity* sehingga akan membentuk *entity* yang lebih kecil



(a)



(b)

Gambar 2.14 : (a) entity trimming, (b) entity division

### 2.3. Pengertian Tegangan Dalam Bagian Mesin

Dalam ilmu praktis permesinan, pada bagian mesin ada beberapa macam dalam sebuah gaya yang mana salah satunya atau yang lain dapat kita perhatikan pada dibawah ini:

- a. pemindah tenaga
- b. berat mesin
- c. daya tahan geser
- d. perubahan temperatur
- e. kelembanan pada bagian yang bergesekan

Perbedaan gaya yang diberikan pada bagian mesin, tipe dari tegangannya bermacam-macam, yang mana akan kita bahas dalam hal ini.



### 2.3.1. *Beban*

Tiap gaya yang diberikan pada bagian mesin diatas dapat didefinisikan dalam tiga tipe yang berbeda seperti dijelaskan dibawah ini :

- a. beban tetap
- b. beban varias
- c. beban kejut atau tiba-tiba

### 2.3.2. *Tegangan*

Pada suatu sistem gaya atau tegangan yang dikeluarkan pada body, gaya yang masuk adalah samadengan bagian variasi (perubahan ) dari pada body itu sendiri, dengan melawan gaya keluaran itu sendiri. Gaya masuk pada area per unit ini riap bagian pada body itu diketahui pada unit tegangannya secara matematis.

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

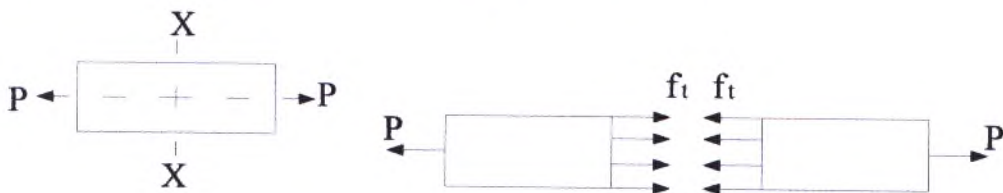
Dimana:

$f$  = Tegangan

$P$  = gaya atau beban yang diterima pada body

$A$  = daerah /area pada body

### 2.3.3. *Tegangan tarik (tensile stress) dan Regangan (strain)*



Gambar 2.15 : Gaya tegangan tarik

Pada dua bagian body yang sejajar dan saling berlawanan diteka  $P$  secara aksial seperti pada gambar 2.15. lalu tegangan induksi tiap tempatnya pada body dikenal dengan tegangan tarik (*tensile stress*). Sedikit pertimbangan akan ditunjukkan daru pada untuk beban lentur, pertambahan panjang itu akan terjadi pada body. Ratio dari pertambahan panjang dari panjang sebelumnya dikenal juga dengan regangan.

Dimana:  $P$  = gaya tegangan aksial pada body

$A$  = area

$l$  = panjang mula

$\delta l$  = pertambahan panjang

tegangan tarik  $f_t = \frac{P}{A}$

dan regangan  $e_t = \frac{\delta l}{l}$

### 2.3.4. Tegangan Tekan (*Compressive Stress*) dan Regangan (*Strain*)

Pada dua bagian body yang sejajar dan saling berlawanan didorong  $P$  secara aksial seperti pada gambar :



Gambar 2.16 : Gaya tegangan paksa

Lalu tegangan induksi tiap tempatnya pada body dikenal dengan tegangan tekan (*compressive stress*). Sedikit pertimbangan akan ditunjukkan dari pada untuk tegangan tekan (*compressive stress*), pengurangan panjang itu akan terjadi pada body. Ratio dari pengurangan panjang dari panjang sebelumnya dikenal juga dengan tekanan paksa (*compressive strain*).



Dimana:  $P$  = gaya tekan aksial yang terjadi pada body

$A$  = area body

$l$  = panjang mula

$\delta l$  = pengurangan panjang

*compressive stress*  $f_c = \frac{P}{A}$

dan *tensile strain*  $e_c = \frac{\delta l}{l}$

### 2.3.5. Tegangan Geser (*Shear Stress*) Dan Regangan (*Strain*)

Pada dua bagian body yang sejajar dan saling berlawanan diberi gaya, secara tangential pada daerah yang saling berlawanan. Mengakibatkan kecenderungan pergeseran pada bagian body. lalu tegangan induksi tiap tempatnya pada body disebut dengan *tegangan geser (shear stress)*. Persamaan *strain* yaitu *shear strain* dan pengukuran perubahan angular tegangan geser dapat disamakan secara matematis :

Tegangan geser  $f_s = \frac{\text{gaya.tan gential}}{\text{area.berlawanan}}$

Dalam kasus ini gaya  $P$  tangential kecendryngan gaya geser ditumpu.dimana tegangan geser yang ditumpu bagiannya menyilang yaitu.

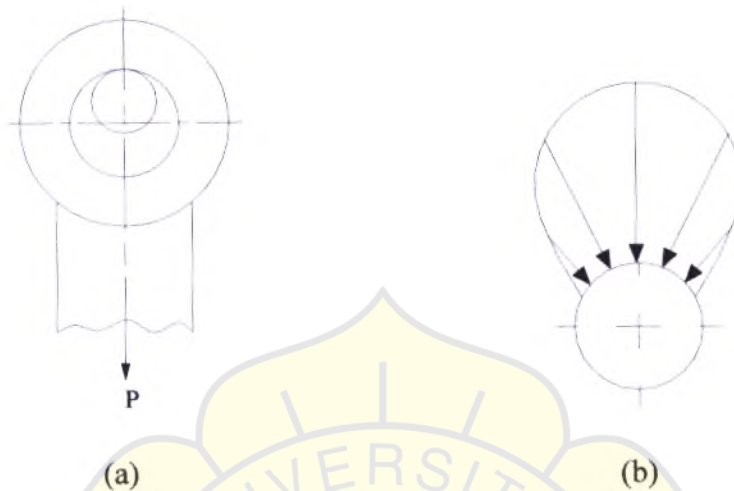
$$f_s = \frac{P}{A} = \frac{P}{\frac{\pi}{4}d^2}$$

dimana  $A$  =area yang ditumpu

$D$  = diameter yang ditumpu

### 2.3.6. Tegangan bantalan

Lokasi tekanan tegangan pada area yang berhubungan jumlah kedua sisinya disebut juga tegangan bantalan.



Gambar 2.17 : Konsentrasi mata pin dan tegangannya (a), pembagian tegangan yang merata (b)

Sebenarnya pembagian pada tegangan bantalan sulit untuk ditentukan Oleh karena itu sebenarnya tegangan bantalan terbagi pada beban yang telah diperhitungkan pada area bantalan dari pin

Dimana:

- $P$  = tegangan yang terjadi pada pin
- $l$  = panjang pin yang berkontak
- $d$  = diameter pin

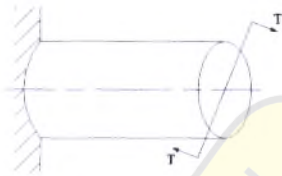
jadi tegangan bantalan,

$$f_b \text{ or } f_s = \frac{P}{l.d}$$

### 2.3.7. Torsi Tegangan Geser

Ketika bagian mesin terpengaruh oleh dua gaya yang sejajar dan berlawanan oleh gaya kople dalam bidang yang yang parallel (torsi/momen puntir), dalam hal ini disebut torsi. Tegangan pada torsi tersebut disebut torsi tegangan geser. Gaya aksial sentrifugal dan maksimum pada bagian luar permukaannya adalah nol. Tegangan geser pada permukaan dapat kita peroleh dari persamaan berikut.

$$\frac{T}{J} = \frac{f_s}{r} = \frac{C\theta}{l}$$



Dimana;

$T$  = torsi atau momen puntir

$J$  = moment kedua dari area bagian yaitu kira-kira aksial polar atau polar moment inersia

$f_s$  = induksi tegangan geser pada permukaan poros atau tegangan maksimum geser

$r$  = radius dari poros

$C$  = modulus kekakuan atau dikenal juga torsi kekakuan dari material poros

$l$  = panjang poros

$\theta$  = sudut dari radian panjang puntir

dari persamaan diatas;

$$\frac{T}{J} = \frac{f_s}{r} \text{ atau } T = f_s \times \frac{J}{r}$$

$$J = I_{xx} + I_{yy} = \frac{\pi}{32} d^4$$



Dimana  $d$  = diameter poros

$$T = f_s \times \frac{\pi d^4}{32} \times \frac{2}{d}$$
$$= \frac{\pi}{16} f_s d^3$$

Kekuatan dari sebuah poros tegangan maksimum torsi yang ditransmisi.

Kemudian dalam proses perancangan kekuatan poros, digunakan sebuah persamaan.

Kekuatan poros untuk sebuah transmisi didapatkan dengan cara.

$$P = \frac{2\pi NT}{4,500}$$

Dimana ;  $T$  = torsi transmisi (kg-m)

$N$  = kecepatan dalam rpm

Dalam satuan S.I unit kekuatan poros pada transmisi (dalam watt)

$$P = \frac{2\pi NT}{60}$$

Dimana;  $T$  = torsi transmisi dalam N-m