MEKANIKA DALAM ILMU TEKNIK

Mekanika teknik atau dikenal juga sebagai **mekanika rekayasa** merupakan bidang ilmu utama untuk perilaku struktur, atau mesin terhadap beban yang bekerja padanya. Perilaku struktur tersebut umumnya adalah lendutan dan gaya-gaya (gaya reaksi dan gaya internal).

Dengan mengetahui gaya-gaya dan lendutan yang terjadi, maka selanjutnya struktur tersebut dapat direncanakan atau diproporsikan dimensinya berdasarkan material yang digunakan sehingga aman dan nyaman (lendutannya tidak berlebihan) dalam menerima beban tersebut.

Pengaplikasian

Mekanika teknik merupakan cabang langsung dari ilmu mekanika pada kajian ilmu fisika, tetapi memasukkan unsur yang lebih mendekati kenyataan dan aspek praktis. Ilmu mekanika teknik dipakai oleh berbagai bidang teknik sipil, teknik mesin, teknik material, teknik penerbangan, teknik elektro, teknik struktur dan teknik kelautan

Area yang meliputi kajian mekanika teknik ialah

- Statika, studi benda diam
- Dinamika, studi efek beban pada pergerakan benda
- Mekanika deformasi, mempelajari efek beban pada perubahan benda
- Mekanika fluida, pergerakan benda alir
- Mekanika tanah, studi kelakukan pergerakan tanah
- Mekanika kontinuum, analisis benda bermasa kotinuum

Penerapan praktis

DAFTAR ISI

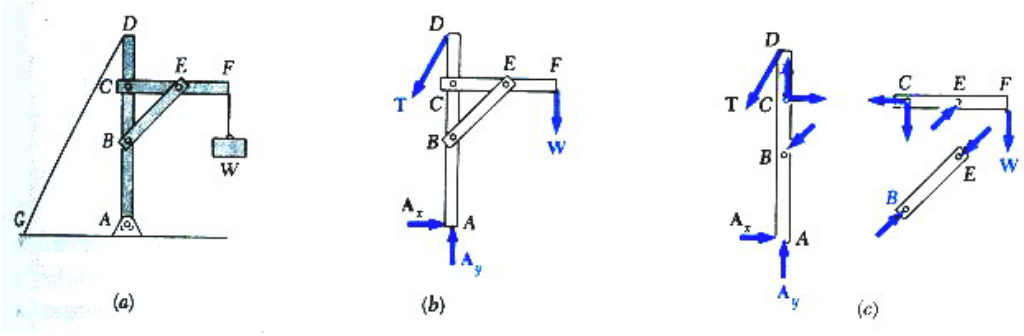
Kata Pengantar	i
Daftar Isi	ii
Bab I Analisa Struktur	1
Bab II Diagram Gaya Geser dan Diagram Momen Lentur	25
Bab III Sambungan	42
Bab IV Poros dan Pasak	73
Daftar Pustaka	86

BAB I
ANALISIS STRUKTUR

Persoalan yang dibahas dalam mata kuliah prasyarat terdahulu adalah mengenai kesetimbangan suatu benda tegar dan semua gaya yang terlibat merupakan gaya luar terhadap benda tegar tersebut. Sekarang kita akan meninjau persoalan yang menyangkut kesetimbangan struktur yang terdiri dari beberapa bagian batang yang bersambungan. Persoalan semacam ini bukan saja memerlukan penentuan gaya luar yang beraksi pada struktur tetapi juga penentuan gaya yang mengikat bersama berbagai bagian struktur itu. Dari sudut pandang struktur sebagai keseluruhan, gaya ini merupakan gaya dalam.

Sebagai contoh, tinjau sistem yang diperlihatkan pada gambar 1(a) yang membawa beban w. Sistem ini terdiri dari batang balok AD, CF, dan BE yang disambung pada pin tak bergesekan, sistem tersebut didukung oleh pin di A dan kabel DG. Diagram benda bebas dari sistem tersebut digambarkan pada gambar 1(b) Gaya luar yang terdapat pada sistem tersebut adalah berat w, kedua komponen A_x dan A_y dari reaksi di A, dan gaya T yang ditimbulkan oleh kabel di D. Jika sistem itu diuraikan dan diagram benda bebas untuk masing-masing komponen dibuat, maka akan terdapat gaya dalam yang mengikat sambungan-sambungan batang kerangka sistem. (gambar 1(c))

Perlu diperhatikan bahwa gaya yang ditimbulkan di B oleh bagian BE pada bagian AD sudah dinyatakan sebagai gaya yang sama besar dan berlawanan arah dengan gaya yang timbul pada titik yang sama oleh bagian AD pada bagian BE. Demikian juga gaya yang ditimbulkan di E oleh BE pada CF telah diperlihatkan sama dan berlawanan arah dengan gaya yang ditimbulkan oleh CF pada BE. Dan komponen gaya yang ditimbulkan di C oleh CF pada AD ditunjukkan sama dan berlawanan arah dengan komponen gaya yang ditimbulkan oleh AD pada CF.



Gambar 1

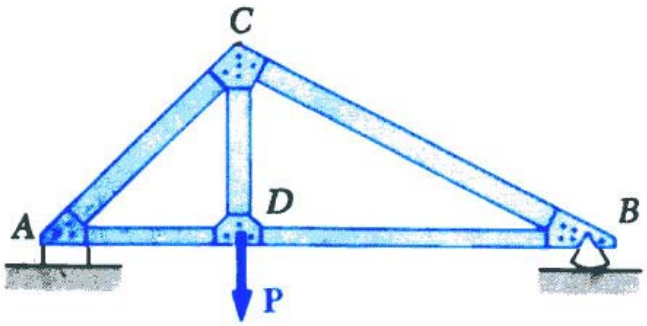
Dalam bab ini dan bab berikutnya, kita akan meninjau tiga bagian besar struktur teknik, yaitu :

1. Rangka batang (*truss*) yang dirancang untuk menumpu beban dan biasanya berupa struktur yang dikekang penuh dan stasioner. Rangka batang terdiri dari batang-batang lurus yang berhubungan pada titik-titik kumpul yang terletak di ujung-ujung setiap batang.
2. Portal (*frame*) yang juga dirancang untuk menumpu beban dan biasanya juga berupa struktur yang dikekang penuh dan stasioner. Namun, portal selalu terdiri dari paling kurang satu batang dengan pelbagai gaya, yaitu batang yang mengalami tiga atau lebih gaya yang umumnya tidak searah.
3. Mesin yang dirancang untuk menyalurkan dan mengubah gaya-gaya dan merupakan struktur yang terdiri dari bagian-bagian yang bergerak. Mesin, seperti portal, selalu terdiri dari paling sedikit satu batang dengan pelbagai gaya.

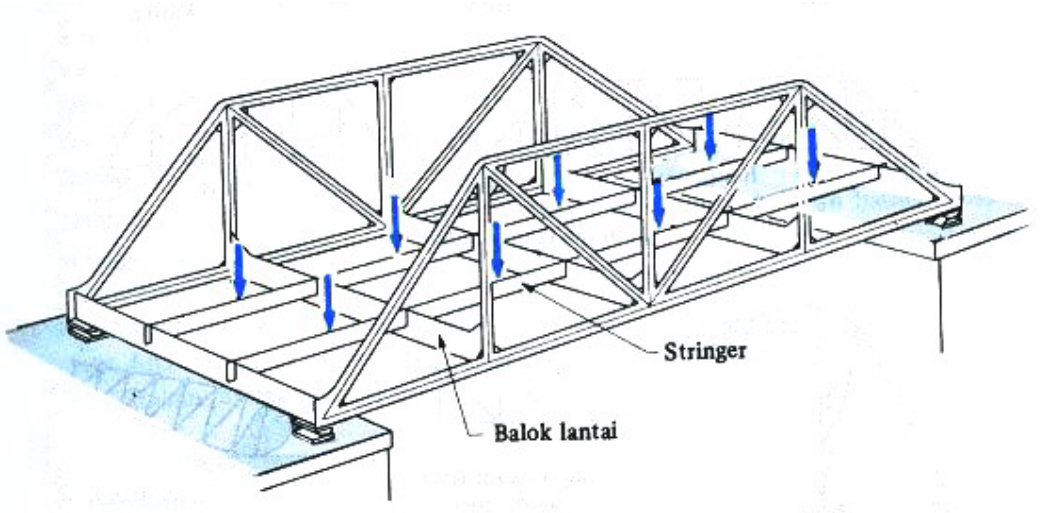
A. *TRUSS* (RANGKA BATANG)

1. DEFINISI RANGKA BATANG (*TRUSS*)

Truss (penunjang) merupakan salah satu jenis umum dari struktur teknik. *Truss* terdiri dari bagian berbentuk lurus dan sambungan (sendi) penghubung. Bagian-bagian *truss* dihubungkan pada ujung-ujungnya saja dengan memakai sambungan paku keling atau las atau memakai pin. Contoh *truss* sederhana diperlihatkan pada gambar 2 dan 3 berikut.

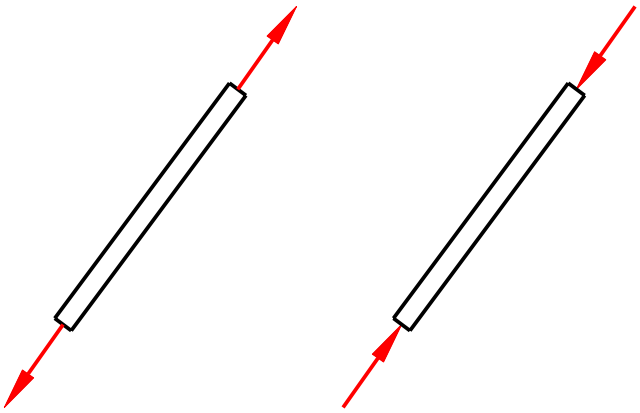


Gambar 2



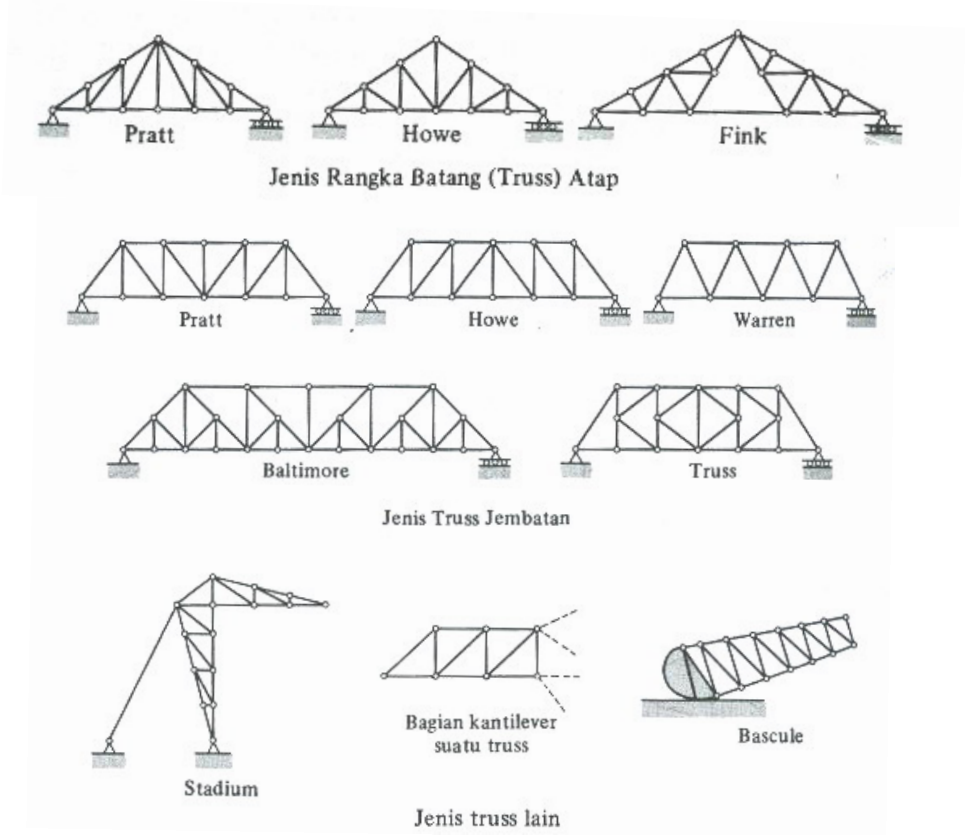
Gambar 3

Batang-batang penyusun *truss* dapat mengalami aksi gaya tarik atau gaya tekan seperti ditunjukkan pada gambar 4.



Gambar 4

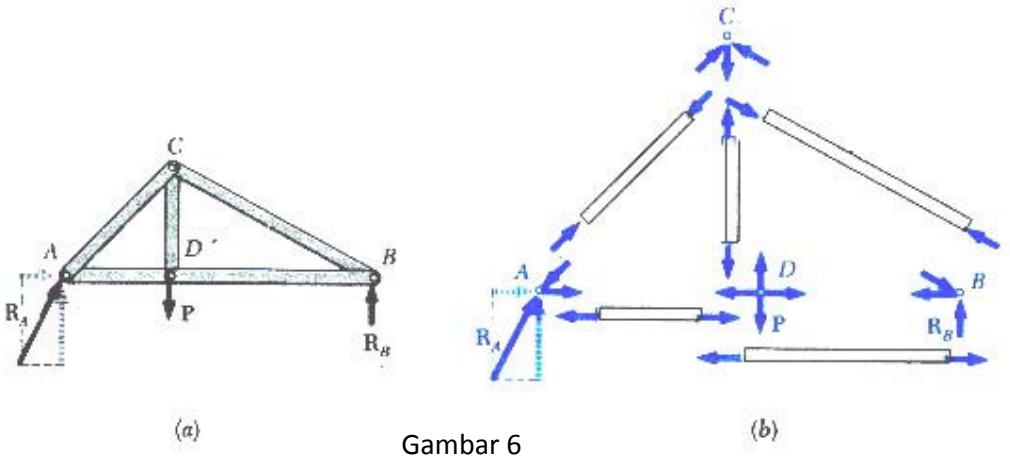
Beberapa jenis *truss* diperlihatkan pada gambar 5.



Gambar 5

B. ANALISA RANGKA BATANG DENGAN METODE SAMBUNGAN

Truss dapat dipandang sebagai kelompok pin dan bagian dua-gaya. *Truss* dalam gambar 2, diagram benda bebasnya diperlihat pada gambar 6(a). Gaya-gaya tersebut dapat diuraikan lagi menjadi bagian-bagian batang penyusun *truss*nya seperti diperlihatkan pada gambar 6(b).



Gambar 6

Karena keseluruhan *truss* dalam keseimbangan, maka setiap pin harus dalam keseimbangan pula.

Ketika kita menggunakan metode sambungan maka kita harus menggambar diagram benda bebas masing-masing sambungan sebelum menerapkan persamaan kesetimbangan. Konsep pada metode sambungan adalah sebagai berikut :

1. Selalu asumsikan gaya yang tidak diketahui nilainya yang bekerja pada sambungan dalam keadaan tarik. Jika ini dilakukan, maka solusi numerik dari persamaan kesetimbangan akan menghasilkan nilai positif bagi batang yang berada pada kondisi tarik (tension) dan nilai negatif bagi batang yang berada pada kondisi desak (kompresi). Setelah gaya batang yang tidak diketahui ditemukan, gunakan besar dan arahnya yang benar (T atau C) pada diagram benda bebas untuk menganalisa sambungan berikutnya.

2. Penentuan arah yang benar dari suatu gaya yang belum diketahui kadangkala harus dilakukan dengan menggunakan cara inspeksi atau pengecekan. Untuk kasus yang lebih kompleks, penentuan arah gaya dilakukan dengan menggunakan asumsi. Kemudian setelah menerapkan persamaan kesetimbangan, asumsi arah yang kita ambil akan diverifikasi dengan hasil perhitungan. Jawaban positif menunjukkan asumsi arah yang kita ambil benar, jawaban negatif menunjukkan asumsi arah yang kita ambil harus dibalik.

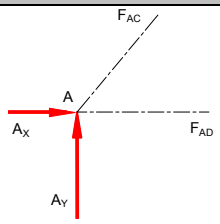
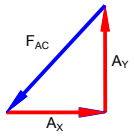
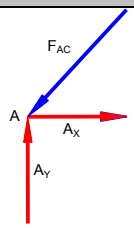
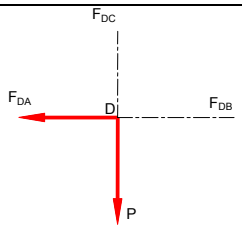
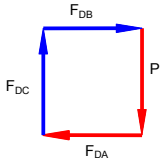
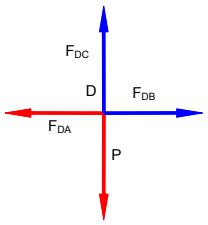
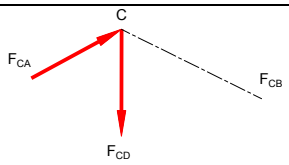
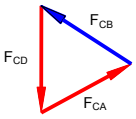
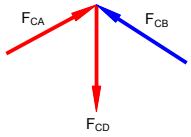
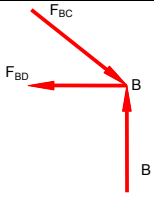
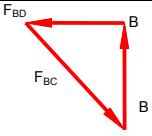
Prosedur berikut menyediakan sarana untuk menganalisis *truss* menggunakan metode sambungan :

- Gambarkan diagram benda bebas untuk pada sambungan yang memiliki setidaknya satu gaya yang diketahui nilainya dan paling banyak dua gaya yang tidak diketahui nilainya. (Jika sambungan tersebut terletak di salah satu tumpuan *truss*, mungkin perlu untuk menghitung reaksi eksternal di tumpuan tersebut dengan menggambar diagram benda bebas dari keseluruhan *truss*).
- Gunakan salah satu dari dua konsep tentang metode sambungan yang telah dijelaskan sebelumnya untuk menentukan jenis dari gaya yang tidak diketahui.
- Sumbu x dan y harus berorientasi bahwa gaya-gaya pada diagram benda bebas dapat dengan mudah diuraikan menjadi komponen-komponen x dan y. Terapkan persamaan kesetimbangan dua gaya $\Sigma F_X = 0$ dan $\Sigma F_Y = 0$, selesaikan anggota gaya yang tidak diketahui, dan verifikasi benar arah mereka yang benar.
- Lanjutkan untuk menganalisa sambungan yang lain, di mana perlu untuk memilih lagi sambungan yang memiliki paling banyak dua gaya yang tidak diketahui dan paling sedikit satu gaya yang diketahui.
- Satu gaya yang telah diselesaikan dari analisis pada salah satu ujung tumpuan, hasilnya dapat digunakan untuk menganalisa gaya-gaya lain yang bekerja pada sambungan ujung yang lain. Ingat, batang dalam keadaam

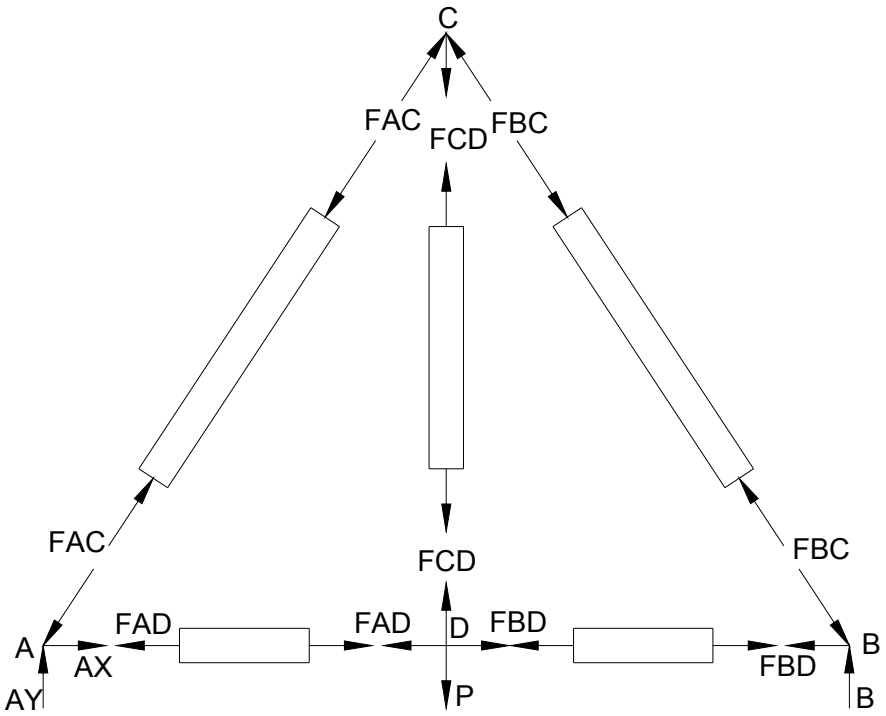
kompresi akan menekan pada sambungan dan batang dalam keadaan tension akan menarik pada sambungan.

Sebagai contoh, kita akan menganalisis *truss* pada gambar 6 dengan meninjau keseimbangan masing-masing pin secara berturut-turut. Diagram benda bebas dan polygon gaya ditabelkan pada tabel 1 berikut ini.

Tabel 1

	Diagram benda bebas	Poligon gaya	Garis kerja gaya
Sambungan A			
Sambungan D			
Sambungan C			
Sambungan B			

Dari tabel 1 dapat digambarkan secara lengkap gaya-gaya yang timbul pada tiap ujung batang penyusun *truss* seperti terlihat pada gambar 7.



Gambar 7.

Sehingga dapat disimpulkan bahwa :

Batang AD mengalami tarik

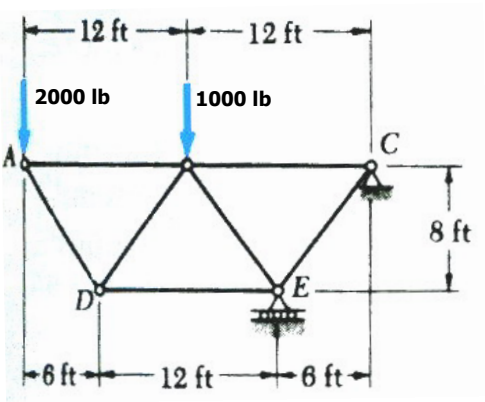
Batang BD mengalami tarik

Batang AC mengalami tekan

Batang BC mengalami tekan

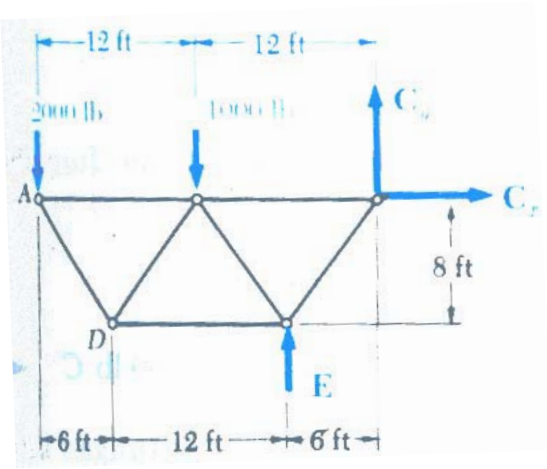
Batang CD mengalami tarik

Contoh 1.



Dengan menggunakan metode sambungan, tentukan gaya pada masing-masing bagian batang dari rangka batang (*truss*) yang terlihat pada gambar

Penyelesaian :



Keseimbangan seluruh rangka batang:

$\Sigma F_x = 0$

$C_x = 0$

$\Sigma M_C = 0$

$(E \times 6) - (1000 \times 12) - (2000 \times 24) = 0$

$6E = 60000$

$E = 10000$ lb (ke atas)

$\Sigma F_y = 0$

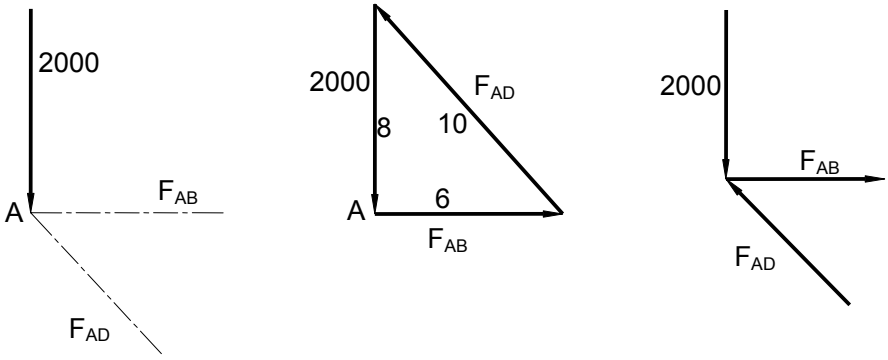
$E + C_y - 2000 - 1000 = 0$

$10000 + C_y - 3000 = 0$

$C_y = -7000$ lb

$= 7000$ lb (ke bawah)

Sambungan A:



F_{AD} : 2000 = 10 : 8

$8F_{AD}$ = 20000

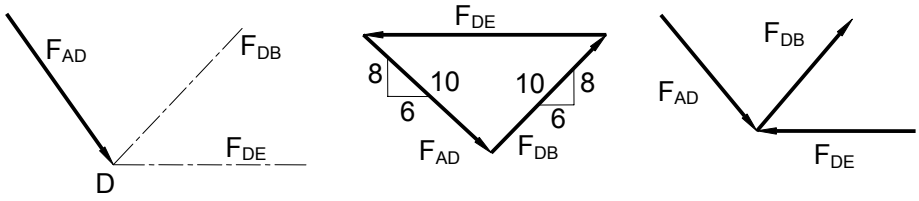
F_{AD} = 2500 lb (tekan)

F_{AB} : 2000 = 6 : 8

$8F_{AB}$ = 12000

F_{AB} = 1500 lb (tarik)

Sambungan D:



F_{AD} : F_{DE} = 10 : 12

2500 : F_{DE} = 10 : 12

$10F_{DE}$ = 30000

F_{DE} = 3000 lb (tekan)

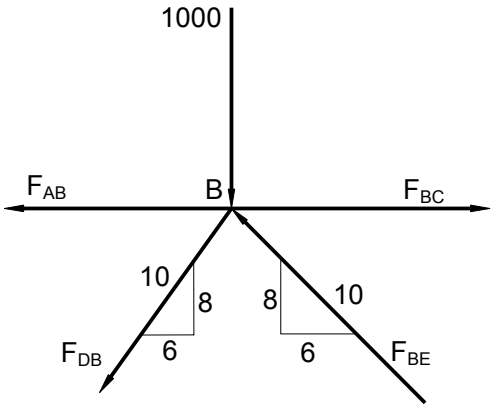
F_{AD} : F_{DB} = 10 : 10

2500 : F_{DB} = 10 : 10

F_{DB} = 2500 lb (tarik)

Sambungan B:

Diasumsikan bahwa gaya F_{BC} menjauhi titik B dan F_{BE} menuju titik sambungan B



$\Sigma F_x = 0$

$F_{BC} - F_{AB} - (F_{BE} \times \frac{6}{10}) - (F_{DB} \times \frac{6}{10}) = 0$

$F_{BC} - (F_{BE} \times \frac{6}{10}) = 1500 + (2500 \times \frac{6}{10})$

$F_{BC} - (F_{BE} \times \frac{6}{10}) = 3000$ (1)

$\Sigma F_y = 0$

$(F_{BE} \times \frac{8}{10}) - (F_{DB} \times \frac{8}{10}) - 1000 = 0$

$(F_{BE} \times \frac{8}{10}) = 1000 + (2500 \times \frac{8}{10})$

$(F_{BE} \times \frac{8}{10}) = 3000$

F_{BE} = 3750 lb (positif berarti asumsi arah gaya yang kita ambil benar)

= 3750 lb (tekan)

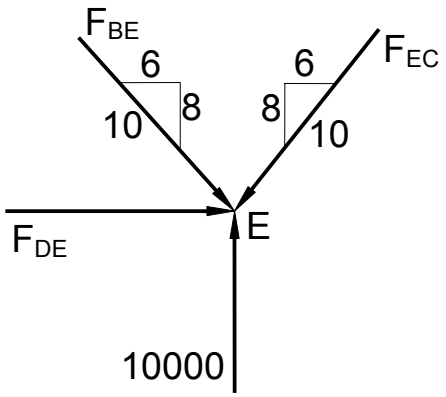
masukkan ke persamaan (1) :

F_{BC} = 3000 + (3750 x $\frac{6}{10}$) = 5250 lb (positif berarti asumsi benar)

= 5250 lb (tarik)

Sambungan E:

Diasumsikan arah F_{EC} menuju titik sambungan E



$\Sigma F_x = 0$

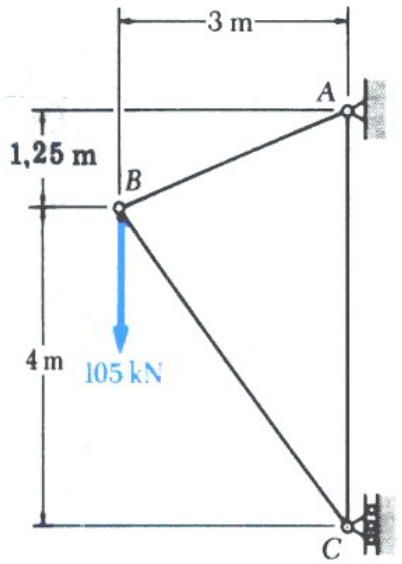
$(F_{BE} \times \frac{6}{10}) + F_{DE} - (F_{EC} \times \frac{6}{10}) = 0$

$(F_{EC} \times \frac{6}{10}) = (3750 \times \frac{6}{10}) + 3000 = 5250$

F_{EC} = 8750 lb (positif berarti arah gaya yang diasumsikan benar)

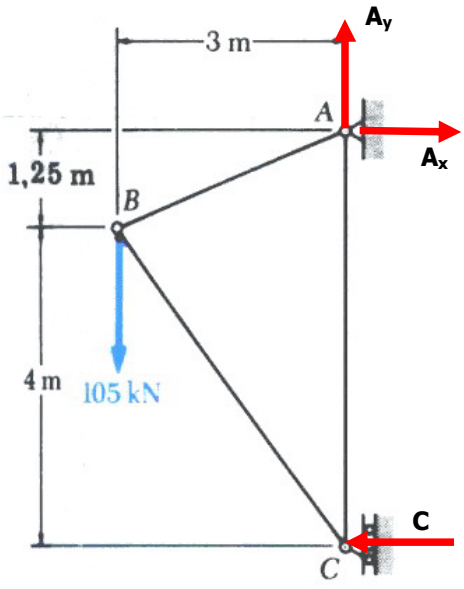
F_{EC} = 8750 lb(tekan)

Contoh 2.



Dengan menggunakan metode sambungan, tentukan gayadalam masing-masing bagian batang *truss* yang terlihat pada gambar.Nyatakan apakah masing-masing dalam keadaan tarik atau desak.

Penyelesaian :



$\Sigma M_A = 0$

$(C \times 5{,}25) - (105 \times 3) = 0$

$C = 60$ kN

$\Sigma F_x = 0$

$A_x - C = 0$

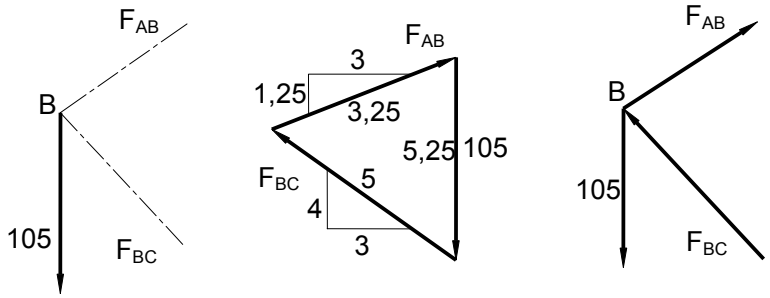
$A_x = 60$ kN

$\Sigma F_y = 0$

$A_y - 105 = 0$

$A_y = 105$ kN

Sambungan B :



$105 : F_{AB} = 5{,}25 : 3{,}25$

$5{,}25F_{AB} = 341{,}25$

F_{AB} = 65 kN (tarik)

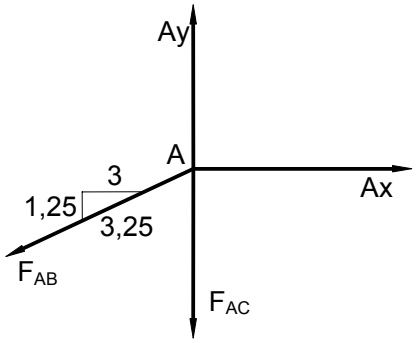
$105 : F_{BC} = 5{,}25 : 5$

$5{,}25F_{BC} = 525$

F_{BC} = 100 kN (desak)

Sambungan A:

Asumsi : arah F_{AC} diambil menjauhi titik A



$\Sigma F_y = 0$

$A_y - F_{AC} - (F_{AB} \times \frac{1{,}25}{3{,}25}) = 0$

$105 - (65 \times \frac{1{,}25}{3{,}25}) = F_{AC}$

F_{AC} = 80 kN(positif berarti asumsi yang diambil benar)

F_{AC} = 80 kN (tarik)

C. ANALISA RANGKA BATANG DENGAN METODE PEMBAGIAN

Metode sambungan (sendi) sangat efektif bilamana harus menentukan semua gaya-gaya dalam suatu *truss*. Tetapi, bilamana hanya ingin mencari satu buah gaya saja atau hanya gaya-gaya pada bagian tertentu saja, maka metode lain yaitu metode pembagian, akan ternyata lebih efisien.

Sebagai contoh kita ingin menentukan gaya dalam bagian BD dari *truss* yang diperlihatkan dalam gambar 8(a). Untuk mengerjakan ini, kita harus menggambarkan suatu garis yang membagi *truss* menjadi dua bagian yang terpotong sempurna, tetapi tidak memotong lebih dari tiga bagian. Tiga bagian *truss* tersebut salah satunya adalah bagian yang diinginkan. Kedua bagian dari *truss* yang diperoleh setelah pemotongan dipisahkan dan salah satunya digunakan untuk menyelesaikan persoalan kita.

Seperti pada metode sambungan, ada beberapa konsep yang dapat membantu kita dalam mengerjakan metode pembagian, yaitu :

1. Selalu asumsikan gaya yang tidak diketahui nilainya yang bekerja pada bagian yang dipotong dalam keadaan tarik. Jika ini dilakukan, maka solusi numerik dari persamaan kesetimbangan akan menghasilkan nilai positif bagi batang yang berada pada kondisi tarik (tension) dan nilai negatif bagi batang yang berada pada kondisi desak (kompresi).
2. Penentuan arah yang benar dari suatu gaya yang belum diketahui kadangkala harus dilakukan dengan menggunakan cara inspeksi atau pengecekan. Untuk kasus yang lebih kompleks, penentuan arah gaya dilakukan dengan menggunakan asumsi. Kemudian setelah menerapkan persamaan kesetimbangan, asumsi arah yang kita ambil akan diverifikasi dengan hasil perhitungan. Jawaban positif menunjukkan asumsi arah yang kita ambil benar, jawaban negatif menunjukkan asumsi arah yang kita ambil harus dibalik.

Prosedur berikut menyediakan sarana untuk menganalisis *truss* menggunakan metode pembagian :

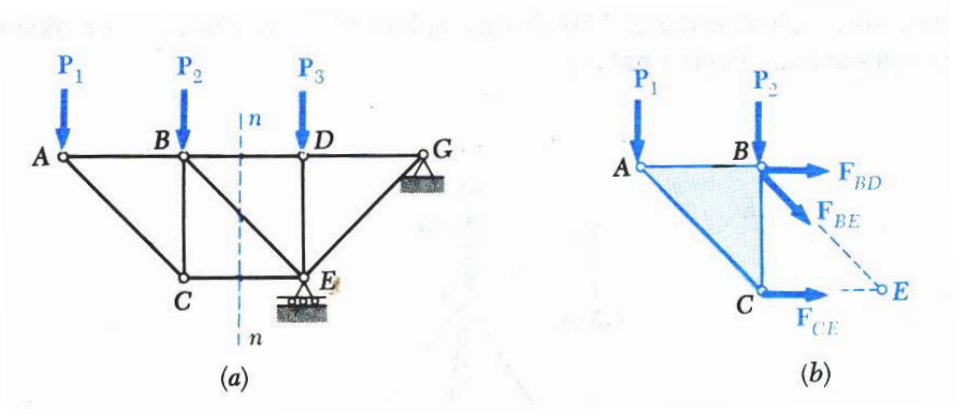
Diagram benda bebas :

- Buat keputusan tentang bagaimana harus memotong truss yang melalui batang yang ingin dihitung besar gayanya.
- Sebelum mengisolasi bagian yang tepat, pertama kali mungkin diperlukan untuk menentukan reaksi eksternal truss, sehingga tiga persamaan kesetimbangan hanya digunakan untuk memecahkan gaya batang di bagian yang dipotong.
- Gambarkan diagram benda bebas dari bagian dari truss yang dipotong yang memiliki jumlah gaya paling sedikit.
- Gunakan salah satu dari dua konsep tentang metode sambungan yang telah dijelaskan sebelumnya untuk menentukan jenis dari gaya yang tidak diketahui.

Persamaan kesetimbangan :

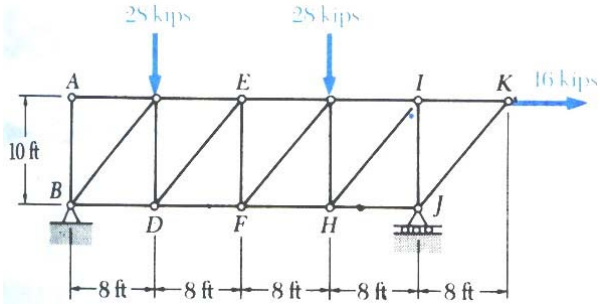
- Momen harus dijumlahkan terhadap titik yang terletak di persimpangan dari garis-garis aksi dari dua gaya yang tidak diketahui, dengan cara ini, gaya ketiga yang tidak diketahui ditentukan langsung dari persamaan.
- Jika dua gaya yang tidak diketahui sejajar, gaya-gaya itu dapat kita jumlahkan secara tegak lurus terhadap arah gaya-gaya yang tidak diketahui ini untuk menentukan gaya ketiga yang tidak diketahui.

Dalam gambar 8(a). garis nn telah dilewatkan melalui bagian BD, BE, dan CE. Bagian ABC (sebelah kiri) dipilih untuk menyelesaikan persoalan ini (gambar 8(b)). Gaya yang beraksi pada bagian ABC adalah beban P_1 dan P_2 pada titik A dan B dan tiga gaya yang tidak diketahui F_{BD}, F_{BE}, dan F_{CE}. Karena belum diketahui gaya-gaya tersebut berada dalam keadaan tegang atau tekan, maka diambil asumsi bahwa gaya-gaya tersebut dalam keadaan tegang.



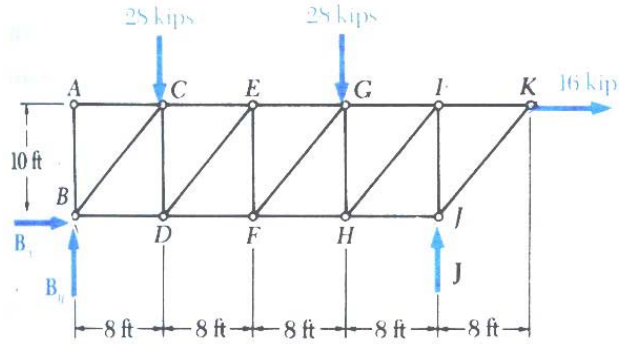
Gambar 8.

Contoh 3.



Tentukan gaya pada bagian EF dan GI pada rangka batang (*truss*) seperti yang diperlihatkan pada gambar dengan metode pembagian

Penyelesaian :



Sebuah diagram benda bebas dari seluruh *truss* digambarkan; gaya-gaya luar yang beraksi pada benda bebas ini terdiri dari beban-beban terapan dan reaksi-reaksi pada B dan J.

Kesetimbangan seluruh rangka batang:

$\Sigma M_B = 0$

(28 x 8) + (28 x 24) + (16 x 10) – (32 x J) = 0

J = 33 kips.

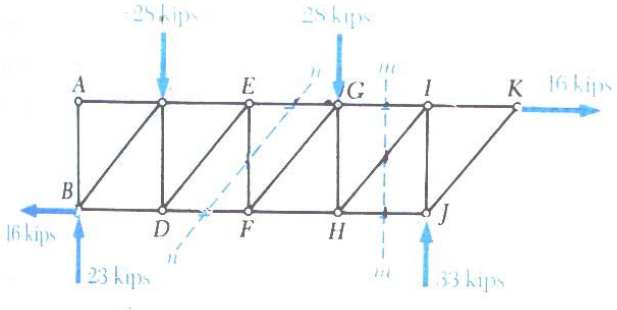
$\Sigma F_X = 0$ $\Sigma F_Y = 0$

$B_X + 16 = 0$ $B_Y + 33 - 28 - 28 = 0$

$B_X = -16$ kips $B_Y = 23$ kips

= 16 kips (kiri)

Gaya pada bagian EF:



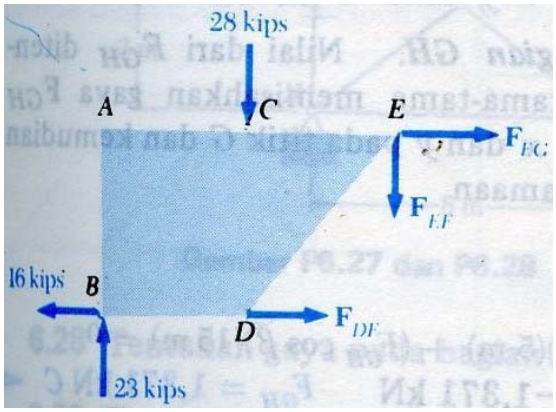
Garis nn dilewatkan melalui *truss* sehingga memotong bagian EF dan dua tambahan bagian.

$\Sigma F_Y = 0$

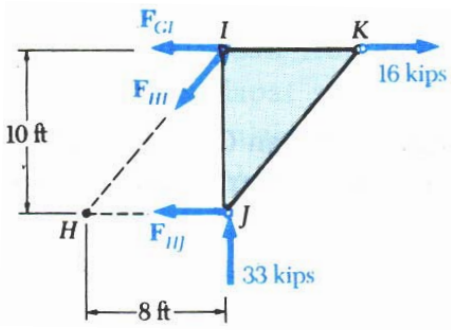
$23 - 28 - F_{EF} = 0$

$F_{EF} = -5$ kips

$F_{EF} = 5$ kips (tekan)



Gaya pada bagian GI:



Garis mm dilewatkan melalui *truss* sehingga memotong bagian GI dan dua tambahan bagian.

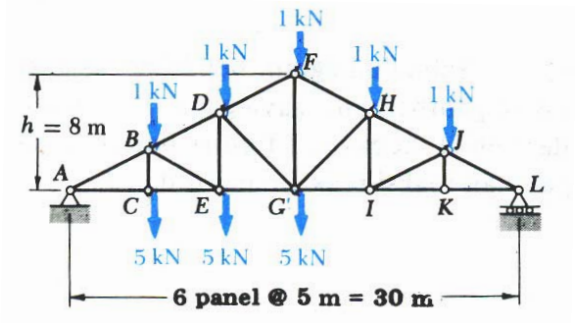
$\Sigma M_H = 0$

$(16 \times 10) - (33 \times 8) - (F_{GI} \times 10) = 0$

$F_{GI} = -10{,}4$ kips

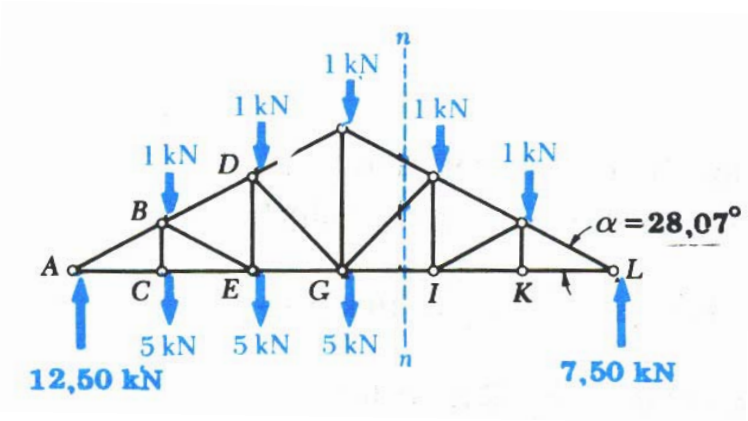
$F_{GI} = 10{,}4$ kips (tekan)

Contoh 4.



Tentukan gaya-gaya pada bagian FH, GH, dan GI dari rangka batang atap seperti yang diperlihatkan pada gambar menggunakan metode pembagian

Penyelesaian :



Kesetimbangan seluruh rangka batang:

$\Sigma M_A = 0$

(1 x 5) + (1 x 10) + (1 x 15) + (1 x 20) + (1x25) + (5 x 5) + (5 x 10) + (5 x 15) – (L x 30)= 0

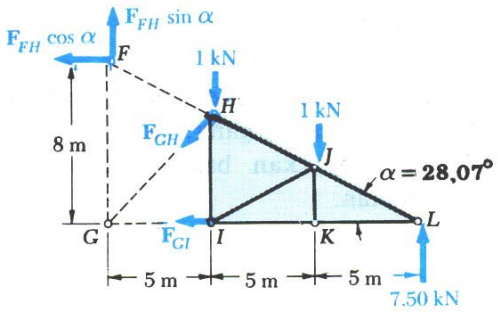
J = 7,5 kN

$\Sigma F_X = 0$ $\Sigma F_Y = 0$

$A_X = 0$ kN $A_Y + 7,5 – 1 – 1 – 1 – 1 – 1 – 5 – 5 - 5 = 0$

$A_Y = 12,5$ kN

Gaya pada bagian FH:



Gaya F_{FH} digeser sampai ke titik F. Kemudian diuraikan menjadi komponen X dan Y

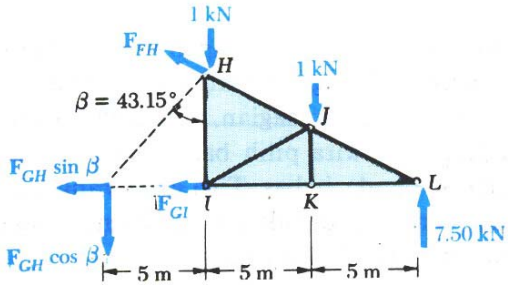
$\Sigma M_G = 0$

(1 x 5) + (1 x 10) – (7,5 x 15) - (F_{FH} cos 28,07 x 8)= 0

F_{FH} = - 13,9 kN

F_{FH} = 13,9 kN (tekan)

Gaya pada bagian GH:



Gaya F_{GH} digeser sampai ke titik G. Kemudian diuraikan menjadi komponen X dan Y

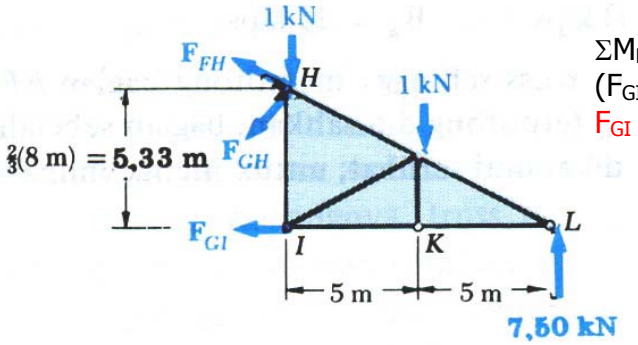
$\Sigma M_L = 0$

- (1 x 10) - (1 x 5) – (F_{GH} cos 43,15 x 15)= 0

F_{GH} = - 1,37 kN

F_{GH} = 1,37 kN (tekan)

Gaya pada bagian GI:



$\Sigma M_H = 0$

(F_{GI} x 5,33) + (1 x 5) – (7,5 x 10) = 0

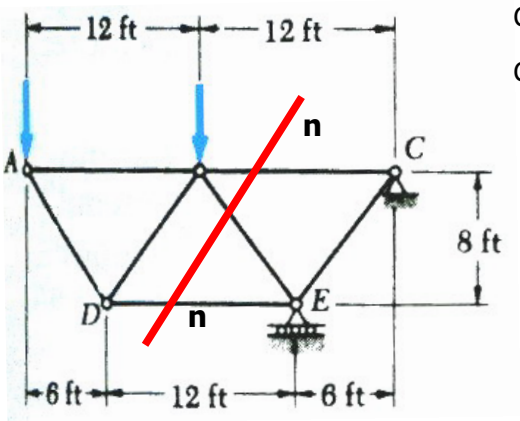
F_{GI} = 13,13 kN (tarik)

Contoh 5.

Rangka batang pada contoh 1, Tentukan gaya-gaya pada bagian BC, BE, dan DE dengan metode pembagian.

Penyelesaian :

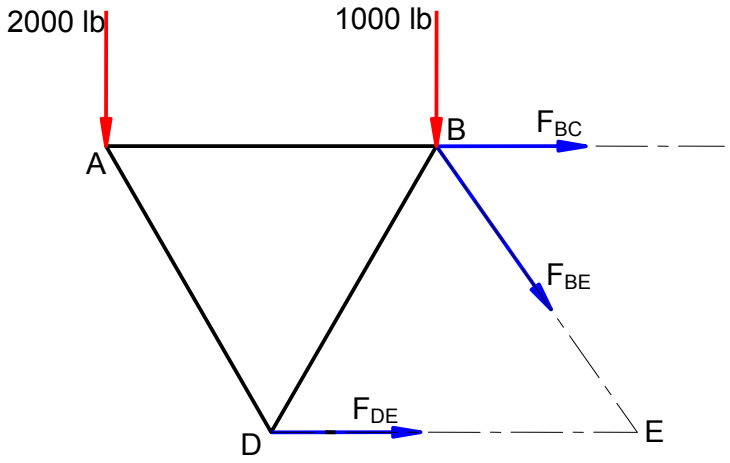
Telah dihitung pada contoh 1 : E = 10000 lb (ke atas)



$C_X = 0$

$C_Y = 7000$ lb (ke bawah)

Kita lewatkan garis nn memotong bagian BC, BE, dan DE. Gunakan bagian kiri (segitiga ABD) untuk menghitung F_{BC}, F_{BE}, dan F_{CE}.



Gaya pada bagian BC:

$\Sigma M_E = 0$

$(F_{BC} \times 8) - (1000 \times 6) - (2000 \times 18) = 0$

$F_{BC} = 5250$ lb (tarik)

Gaya pada bagian DE:

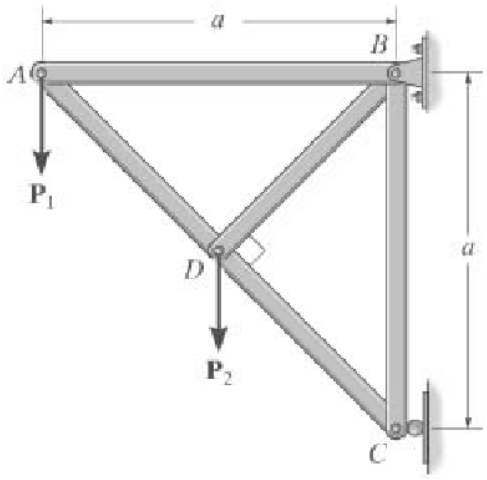
$\Sigma M_B = 0$
$-(F_{DE} \times 8) - (2000 \times 12) = 0$
$F_{DE} = -3000$ lb
$= 3000$ lb (desak)

Gaya pada bagian BE:

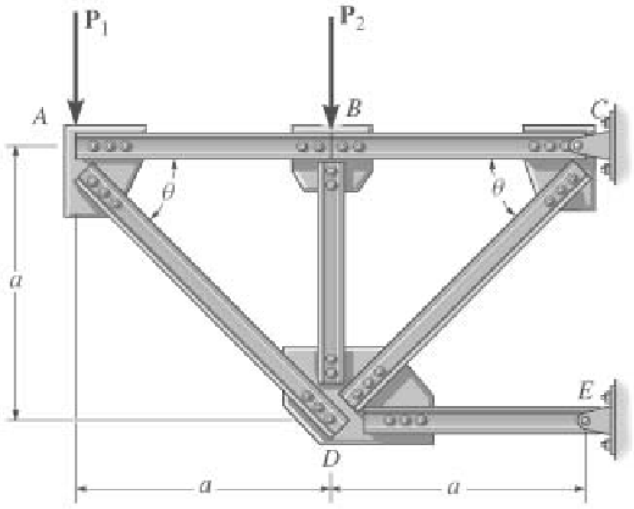
Uraikan F_{BE} menjadi komponen X dan Y.
$\Sigma F_Y = 0$
$- F_{BE} \sin \theta - 1000 - 2000 = 0$
$F_{DE} = -3750$ lb
$= 3750$ lb (desak)

LATIHAN

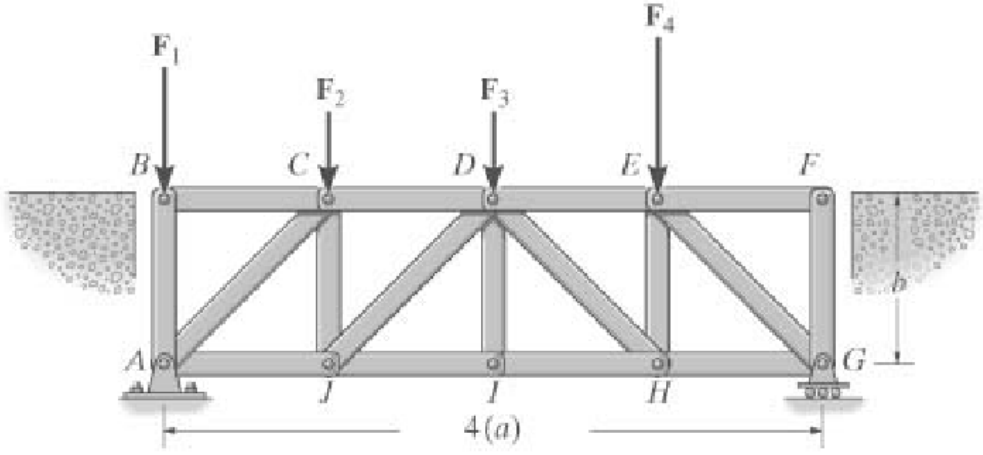
1. Determine the force in each member of the truss and state if the members are in tension or compression. Given $P_1 = 7$ kN and $P_2 = 7$kN.



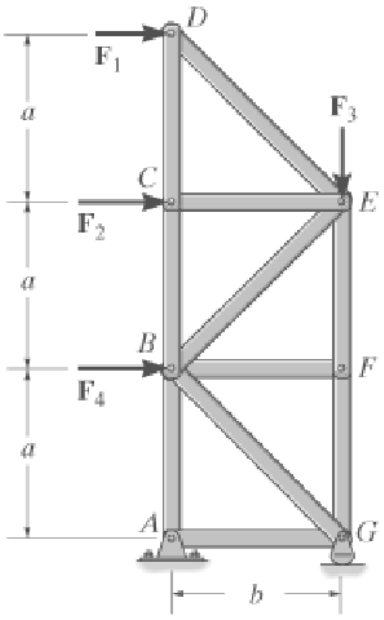
2. The truss, used to support a balcony, is subjected to the loading shown. Approximate each joint as a pin and determine the force in each member. State whether the members are in tension or compression. Set P_1 = 600 lb, P_2 = 400 lb, a = 4 ft, and $\theta = 45°$.



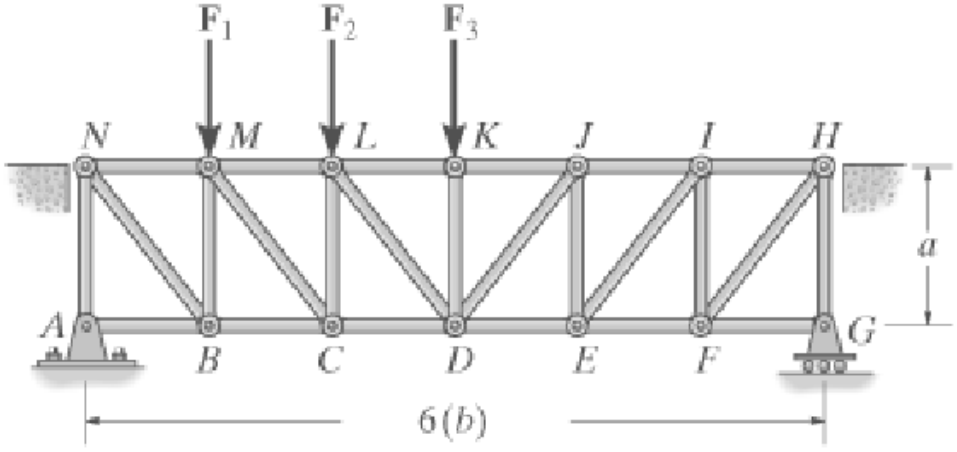
3. The Howe Bridge truss is subjected to the loading shown. Determine the force in members DE, EH, and HG, and state if the members are in tension or compression. Given F_1 = 30 kN, F_2 = 20 kN, F_3 = 20 kN, F_4 =40 kN, a = 4 m, and b = 4 m.



4. Determine the force in members BE, EF, and CB, and state if the members are in tension or compression. Set F_1 = 5 kN, F_2 = 10 kN, F_3 = 5 kN, F_4 = 10 kN, a = 4 m and b = 4 m.

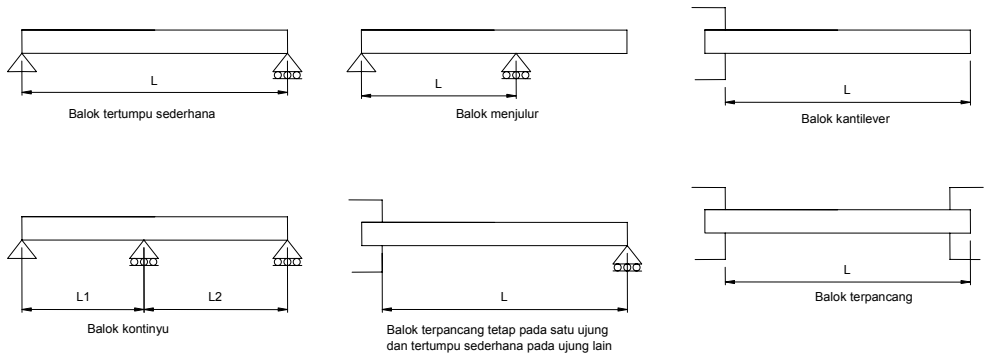


5. The Pratt Bridge truss is subjected to the loading shown. Determine the force in members LD, LK, CD, and KD, and state if the members are in tension or compression. Given F_1 = 50 kN, F_2 = 50 kN, F_3 = 50 kN, a = 4 m and b = 3m.



BAB II
DIAGRAM GAYA GESER (*SHEAR FORCE DIAGRAM* SFD) DAN DIAGRAM MOMEN LENTUR (*BENDING MOMENT DIAGRAM* BMD)

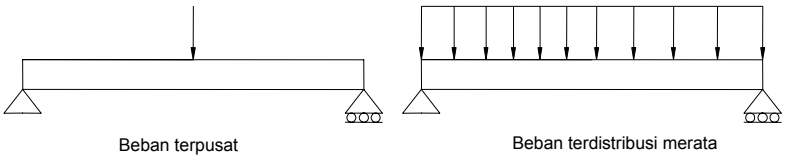
Balok adalah suatu bagian struktur yang dirancang untuk menumpu beban yang diterapkan pada beberapa titik di sepanjang struktur tersebut. Balok diklasifikasikan menurut cara bagaimana mereka ditumpu. Beberapa macam balok yang sering digunakan diperlihatkan dalam gambar 8 berikut ini. Jarak L di antara penumpu disebut bentangan.



Gambar 8. Jenis balok

Beban yang dapat dikerjakan pada suatu balok dibagi menjadi tiga jenis beban, yaitu :

1. Beban terpusat (terkumpul) P_1, P_2, ……, dinyatakan dalam satuan Newton, Pound, atau kelipatan kilonewton dan kips (gambar 9(a)).
2. Beban terdistribusi merata (terbagi) w, dinyatakan dalam satuan N/m, kN/m, lb/ft, atau kips/ft (gambar 9(b)). Dalam perhitungan, beban terdistribusi merata dapat disubstitusi oleh sebuah beban terpusat yang setara.
3. Kombinasi beban terpusat dan beban terdistribusi merata.



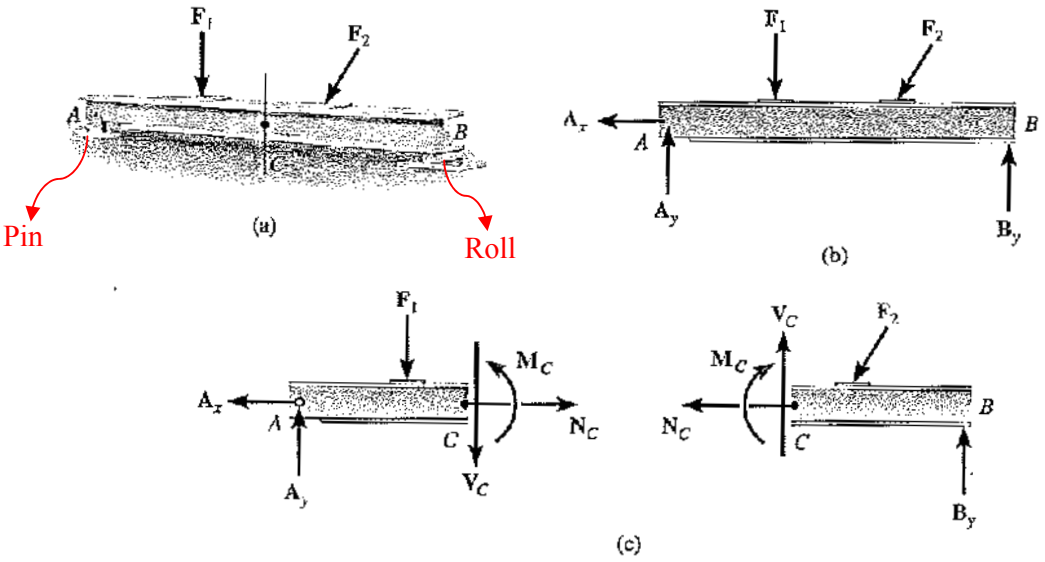
Gambar 9. Jenis beban

Balok biasanya panjang dan lurus. Perancangan suatu balok harus mempertimbangkan dua hal penting, yaitu :

1. Gaya geser (*shear*) dan momen lentur (*bending*) yang dihasilkan oleh beban yang bekerja. Setiap balok yang dikenai beban baik beban terpusat atau beban terdistribusi merata atau kombinasinya pasti akan selalu mengalami geseran akibat dari gaya geser (*shear*) dan mengalami lenturan akibat dari momen lentur (*bending*). Kedua gaya di atas yang akan dibahas pada bab ini.
2. Pemilihan bahan balon yang terbaik untuk mempertahankan gaya geser dan momen lentur hasil dari beban yang bekerja pada balok tersebut. Bagian ini termasuk pada mata kuliah mekanika bahan (material), tidak kita pelajari dalam mata kuliah ini.

Desain suatu struktur teknik memerlukan sebuah analisa terkait beban yang bekerja pada batang-batang penyusun struktur tersebut sehingga dapat dipastikan bahwa batang tersebut mampu menahan beban ini. Sebagai ilustrasi mengenai analisa gaya, kita tinjau batang tumpuan sederhana seperti gambar 10(a) yang dikenai gaya-gaya F_1 dan F_2 serta gaya-gaya reaksi pada tumpuan A_X, A_Y, dan B ditunjukkan gambar 10(b). Jika kita ingin menentukan gaya dalam yang bekerja pada bagian C maka pada bagian tersebut harus dipotong menjadi dua bagian ditunjukkan pada gambar 10(c). Tinjau potongan bagian kiri, gaya-gaya yang timbul adalah gaya normal N_C dengan arah ke kanan, gaya geser V_C dengan arah ke bawah, dan momen putar M_C dengan arah berlawanan jarum jam. Pada

potongan bagian kanan akan mengalami gaya-gaya dan momen putar yang besarnya sama tetapi arahnya berlawanan sesuai dengan Hukum III Newton.



Gambar 10

A. Diagram Momen Lentur dan Geser

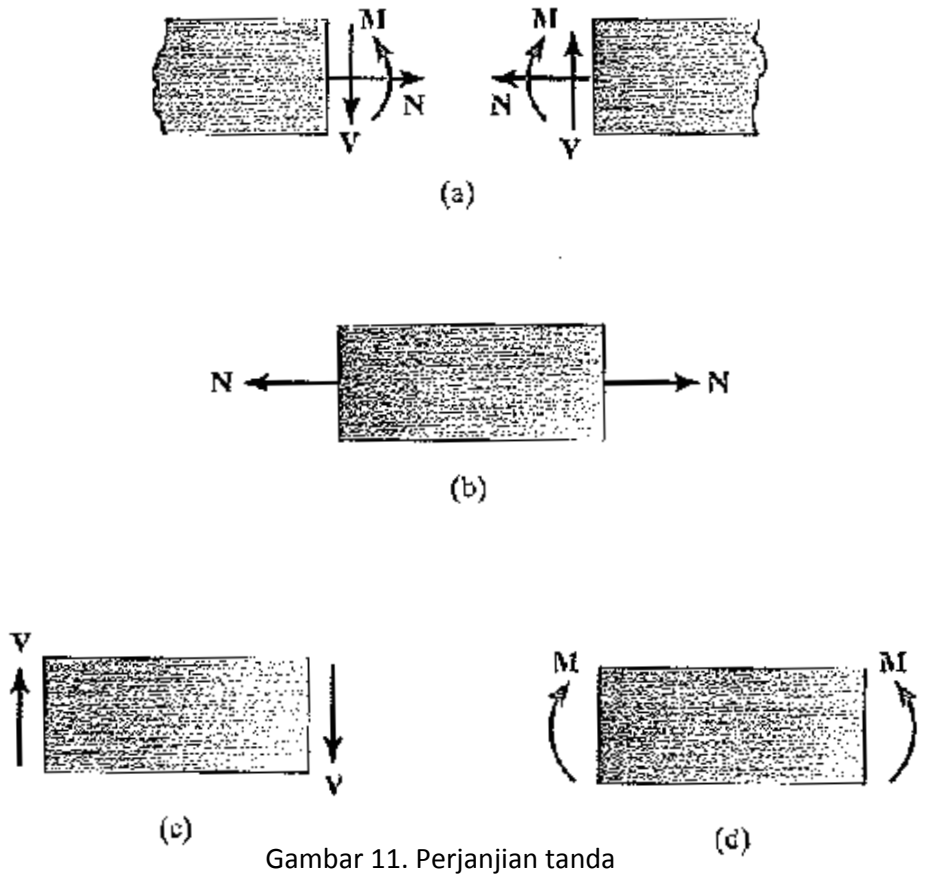
Dengan SFD dan BMD kita dapat menentukan nilai gaya geser dan momen lentur pada tiap titik dari suatu balok.

Hal penting yang harus diperhatikan adalah bila suatu balok hanya mengalami satu beban terpusat gaya geser bernilai konstan di antara beban dan momen lentur bervariasi linear di antara beban. Di lain pihak, bila suatu balok mengalami beban terdistribusi, gaya geser dan momen lentur bervariasi berbeda sama sekali.

1. Perjanjian tanda

Pada gambar 11(a) menunjukkan potongan bagian kiri dari sebuah batang. Gaya geser yang timbul bekerja ke arah bawah sedangkan momen putar bekerja berlawanan arah jarum jam. Sesuai Hukum III Newton, pada potongan bagian kanan batang tersebut juga akan timbul gaya geser dan momen putar yang besarnya sama tetapi arahnya berlawanan. Untuk memudahkan memahami

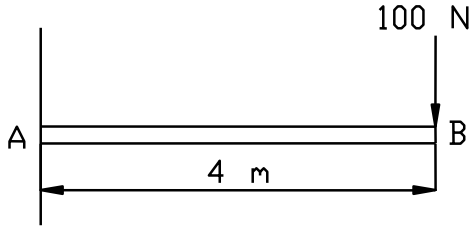
kita sepakati bahwa gaya geser positif menyebabkan batang berputar searah jarum jam (gambar 11(c)) dan momen putar positif menyebabkan batang melengkung cekung (gambar 11(d)).



Gambar 11. Perjanjian tanda

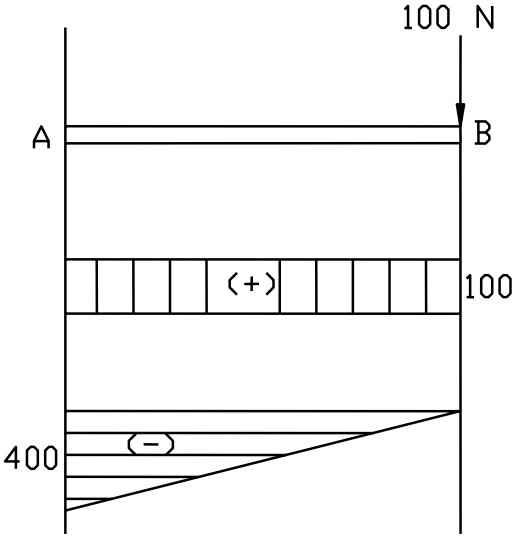
2. SFD dan BMD Untuk Jenis Cantilever

Contoh 1.



Gambar SFD dan BMD untuk balok dan pembebanan seperti untuk gambar di samping.

Jawab :



SFD :

Ruas B – A ($0 \leq X \leq 4$)

$V_x = 100$ N

V (0) = 100 N

V (4) = 100 N

BMD :

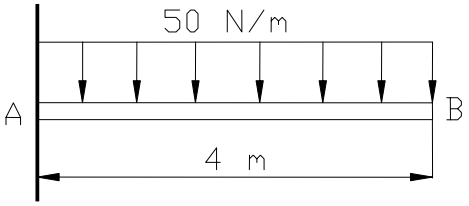
Ruas B – A ($0 \leq X \leq 4$)

$M_x = -100X$

M(0) = 0 Nm

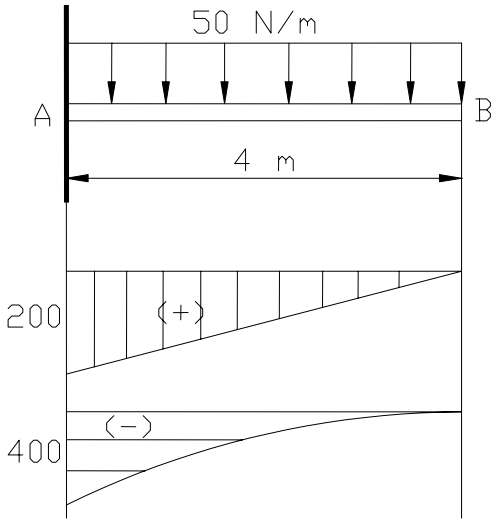
M(4) = - 400 Nm

Contoh 2.



Gambar SFD dan BMD untuk balok dan pembebanan seperti untuk gambar di samping.

Jawab :



SFD :

Ruas B – A ($0 \leq X \leq 4$) :

$V_X = 50X$

V(0) = 0 N

V(4) = 200 N

BMD :

Ruas B – A ($0 \leq X \leq 4$) :

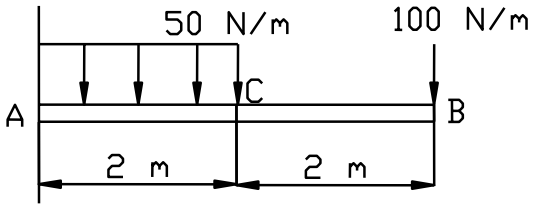
$Mx = -50X \cdot \frac{1}{2} X$

$= -25X^2$

M(0) = 0 Nm

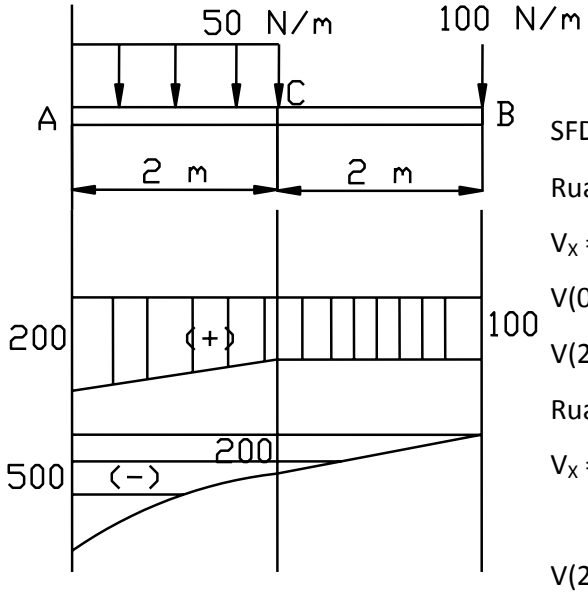
M(4) = - 400 Nm

Contoh 3.



Gambar SFD dan BMD untuk balok dan pembebanan seperti untuk gambar di samping.

Jawab :



SFD :

Ruas B – C ($0 \leq X \leq 2$) :

$V_X = 100$ N

V(0) = 100 N

V(2) = 100 N

Ruas C – A ($2 \leq X \leq 4$) :

$V_X = 100 + 50(X - 2)$

$= 50X$

V(2) = 100 N

V(4) = 200 N

BMD :

Ruas B – C ($0 \leq X \leq 2$) :

Mx = - 100X

M(0) = 0 Nm

M(2) = - 200 Nm

Ruas C – A ($2 \leq X \leq 4$) :

$Mx = - 100X - 50(X - 2) \cdot ½ (X - 2)$

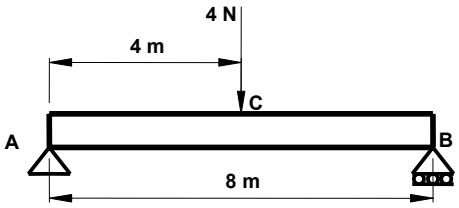
$= - 25X^2 - 100$

M(2) = - 200 Nm

M(4) = - 500 Nm

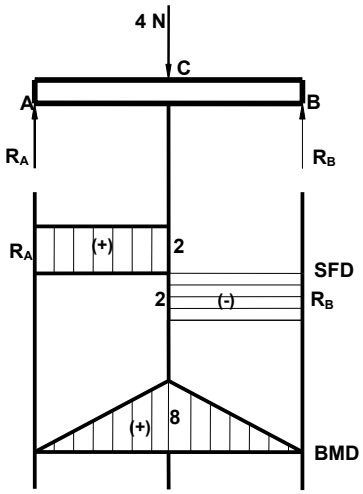
3. SFD dan BMD Untuk Jenis Balok Tumpuan Sederhana

Contoh 4.



Gambar SFD dan BMD untuk balok dan pembebanan seperti untuk gambar di samping.

Penyelesaian :



Menghitung reaksi R_A dan R_B :

$\Sigma M_A = 0$

$(4 \times 4) - (R_B \times 8) = 0$

$R_B = 2$ N

$\Sigma F_Y = 0$

$R_A + R_B - 4 = 0$

$R_A = 4 - 2 = 2$ N

Menggambar SFD :

Tanpa perhitungan, kita bisa menggambar SFD.

Menggambar BMD :

Ruas A – C ($0 \leq X \leq 4$)

$\Sigma M_C = R_A X$

$= 2X$

$\Sigma M(0) = 0$

$\Sigma M(4) = 8$ Nm

Ruas C – B ($4 \leq X \leq 8$)

$\Sigma M_C = 2X - 4(X - 4)$

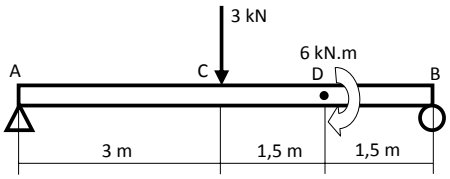
= 2X – 4X + 16

= - 2X + 16

$\Sigma M(4) = 8$ Nm

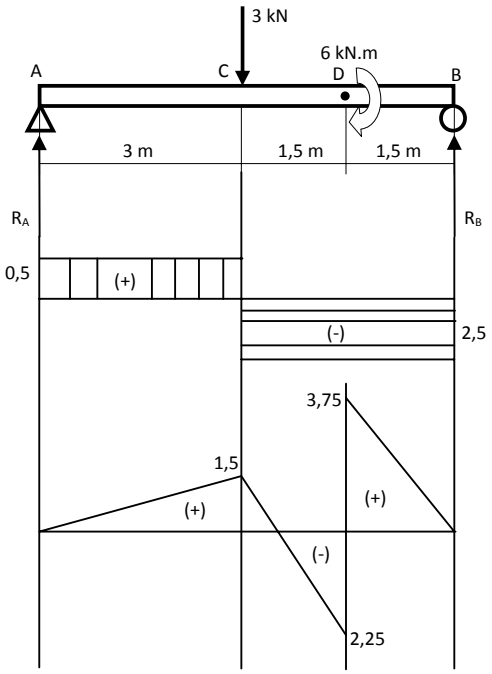
$\Sigma M(8) = 0$ Nm

Contoh 5.



Gambarkan SFD dan BMD untuk balok tumpuan sederhana di samping ini.

Penyelesaian :



Menghitung reaksi tumpuan :

$\Sigma M_A = 0$

$(3 \times 3) + 6 - (R_B \times 6) = 0$

$R_B = 2{,}5$ kN (↑)

$\Sigma F_Y = 0$

$R_A + R_B - 3 = 0$

$R_A = 3 - 2{,}5 = 0{,}5$ kN (↑)

SFD :

Bisa langsung gambar

BMD :

Ruas A – C ($0 \leq X \leq 3$)

$\Sigma M_X = R_A X$

$= 0{,}5X$

$M(0) = 0$

$M(3) = 1{,}5$ kN.m

Ruas C – D ($3 \leq X \leq 4,5$)

$\Sigma M_X = 0,5X – 3(X – 3)$

$= 0,5X – 3X + 9$

$= -2,5X + 9$

M(3) = 1,5 kN.m

M(4,5) = -2,25 kN.m

Ruas D – B ($4,5 \leq X \leq 6$)

Pada titik D terjadi lompatan momen karena pengaruh momen sebesar 6 kN.m sehingga BMD pada titik D tidak kontinyu.

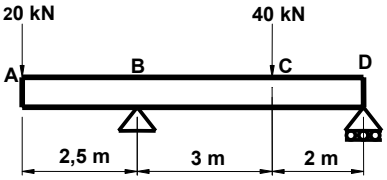
$\Sigma M_X = -2,5X + 9 + 6$

$= -2,5X + 15$

M(4,5) = 3,75 kN.m

M(6) = 0

Contoh 6.



Gambar SFD dan BMD untuk balok dan pembebanan seperti untuk gambar di samping.

Penyelesaian :

Menghitung reaksi R_A dan R_B :

$\Sigma M_B = 0$

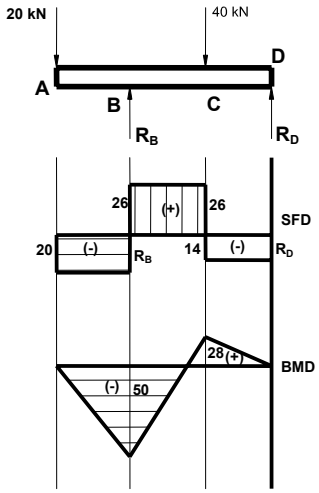
$(40 \times 3) – (20 \times 2,5) - (R_D \times 5) = 0$

$R_D = 14$ kN

$\Sigma F_Y = 0$

$R_B + R_D – 20 – 20 = 0$

$R_B = 40 +20 – 14 = 46$ N



Menggambar SFD :

Tanpa perhitungan, kita bisa menggambar SFD.

Menggambar BMD :

Ruas A – B ($0 \leq X \leq 2,5$)

$\Sigma M_B = -20X$

$\Sigma M(0) = 0$ Nm

$\Sigma M(2,5) = -50$ Nm

Ruas B – C ($2,5 \leq X \leq 5,5$)

$\Sigma M_C = -20X + R_B (X - 2,5)$

$= -20X + 46(X - 2,5)$

$= -20X + 46X - 115$

$= 26X - 115$

$\Sigma M(2,5) = -50$ Nm

$\Sigma M(5,5) = 28$ Nm

Ruas C – D ($5,5 \leq X \leq 7,5$)

$\Sigma M_D = 26X - 115 - 40(X - 5,5)$

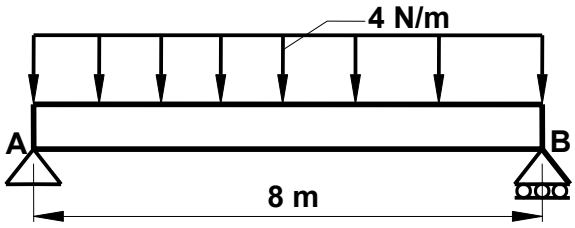
$= 26X - 115 - 40X + 220$

$= -14X + 105$

$\Sigma M(5,5) = 28$ Nm

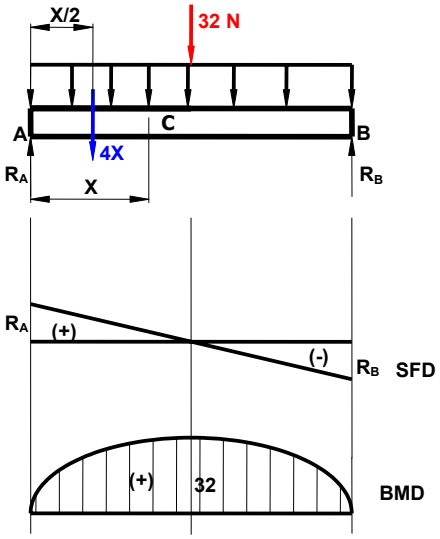
$\Sigma M(7,5) = 0$ Nm

Contoh 7.



Gambar SFD dan BMD untuk balok dan pembebanan seperti untuk gambar di samping

Penyelesaian:



Beban merata dapat digantikan dengan sebuah beban terpusat yang setara.

Menghitung reaksi R_A dan R_B :

$\Sigma M_A = 0$

$(32 \times 4) - (R_B \times 8) = 0$

$R_B = 16$ N

$\Sigma F_Y = 0$

$R_A + R_B - 32 = 0$

$R_A = 32 - 16 = 16$ N

Menggambar SFD :

Ruas A – B ($0 \leq X \leq 8$)

$\Sigma S_Y = R_A - 4X = 16 - 4X$

$\Sigma S_Y(0) = 16 - 4(0) = 16$ N

$\Sigma S_Y(4) = 16 - 4(4) = 0$ N

$\Sigma S_Y(8) = 16 - 4(8) = -16$ N

Menggambar BMD :

Ruas A – B ($0 \leq X \leq 8$)

$\Sigma M_C = (R_A \times X) - (4X \times \frac{X}{2})$

$= 16X - 2X^2$ merupakan fungsi kuadrat berarti grafiknya berupa parabola

$\Sigma M_C(0) = 0$ Nm

$\Sigma M_C(8) = (16 \times 8) - (2 \times 8^2) = 0$ Nm

Mencari nilai maksimum :

$\Sigma M_C = 16X - 2X^2$

$\Sigma M_C' = 16 - 4X = 0$

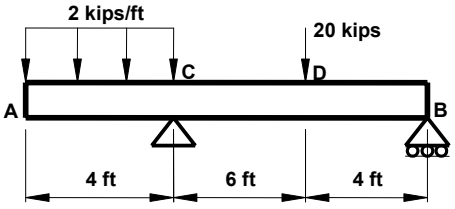
$16 = 4X$

$X = 4$ m

Berarti nilai maksimum terjadi pada jarak 4 m dari titik A dengan nilai maksimum:

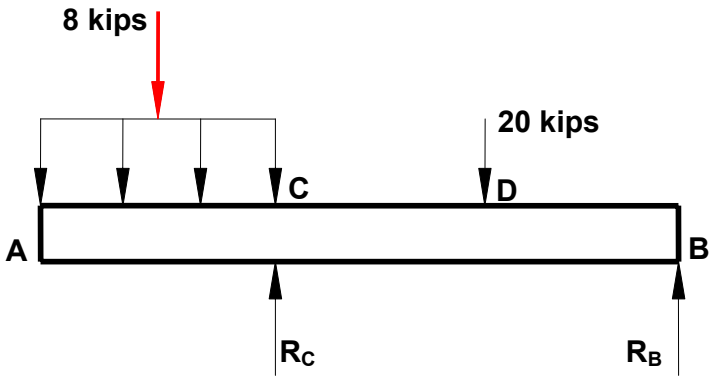
$\Sigma M_C(4) = (16 \times 4) - (2 \times 4^2) = 32$ Nm

Contoh 8.



Gambar SFD dan BMD untuk balok dan pembebanan seperti untuk gambar di samping

Penyelesaian :



Menghitung reaksi R_C dan R_B :

$\Sigma M_C = 0$

$(20 \times 6) - (R_B \times 10) - (8 \times 2) = 0$

$R_B = 10{,}4$ kips

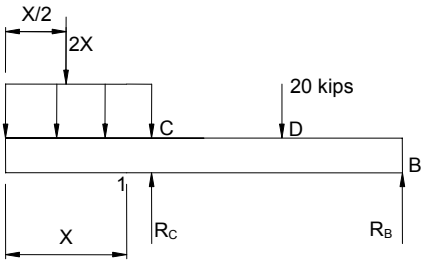
$\Sigma F_Y = 0$

$R_C + R_B - 8 - 20 = 0$

$R_C = 20 + 8 - 10{,}4 = 17{,}6$ kips

Menggambar SFD dan BMD:

Bagian A – C ($0 \leq X \leq 4$) :



Tinjau potongan sejauh X dari A :

SFD :

$\Sigma S_Y = -2X$

$\Sigma S_Y(0) = 0$ kips

$\Sigma S_Y(4) = -8$ kips

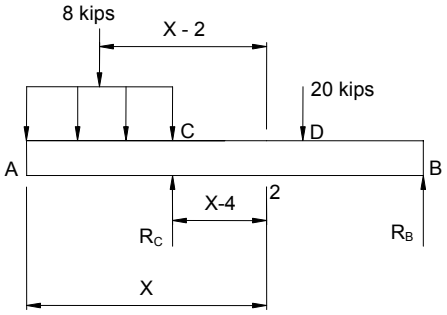
BMD :

$\Sigma M = -2X \times \frac{X}{2} = -X^2$ (fungsi kuadrat)

$\Sigma M(0) = 0$ kips.ft

$\Sigma M(4) = -16$ kips.ft

Bagian C – D ($4 \leq X \leq 10$) :



SFD :

Untuk menggambar SFD, kita dapat melakukannya tanpa perhitungan karena tidak perlu memperhatikan beban merata.

BMD :

$\Sigma M = R_C(X - 4) - 8(X - 2)$

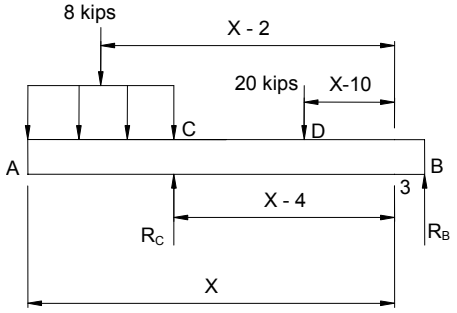
$= 17{,}6(X - 4) - 8(X - 2)$

$= 9{,}6X - 54{,}4$

$\Sigma M(4) = -16$ kips.ft

$\Sigma M(10) = 41{,}6$ kips.ft

Bagian D – B ($10 \leq X \leq 14$) :



SFD :

Untuk menggambar SFD, kita dapat melakukannya tanpa perhitungan karena tidak perlu memperhatikan beban merata.

BMD :

$\Sigma M = R_C(X - 4) - 8(X - 2) - 20(X - 10)$

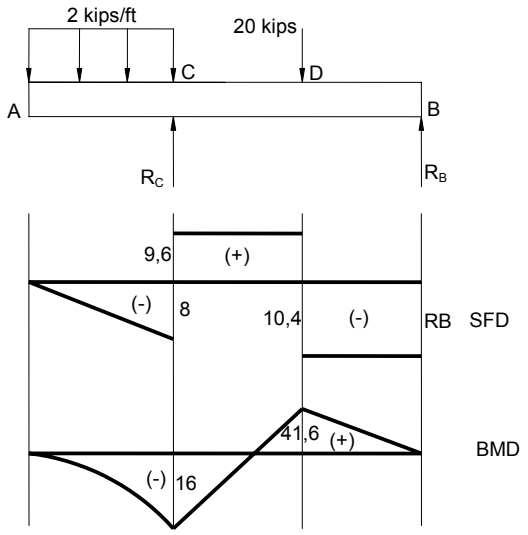
$= 17{,}6(X - 4) - 8(X - 2) - 20(X - 10)$

$= -10{,}4X + 145{,}6$

$\Sigma M(10) = 41{,}6$ kips.ft

$\Sigma M(14) = 0$ kips.ft

Dari semua nilai yang diperoleh dari perhitungan dapat digambarkan SFD dan BMD sebagai berikut :



Contoh 9.

Soal pada contoh 2.6., hitunglah harga gaya geser dan momen lentur yang dialami balok pada jarak 3 m di sebelah kanan titik A.

Penyelesaian :

Langkah pertama adalah menggambar SFD dan BMD seperti pada contoh 2.6. Untuk menghitung besar gaya geser kita gunakan persamaan garis yang kita peroleh yaitu

$$\Sigma S_Y = 16 - 4X$$

$$\Sigma S_Y (3) = 16 - 4X$$

$$= 16 - (4 \times 3)$$

$$= 4 \text{ N}$$

Sedangkan untuk menghitung harga momen lentur, kita gunakan persamaan :

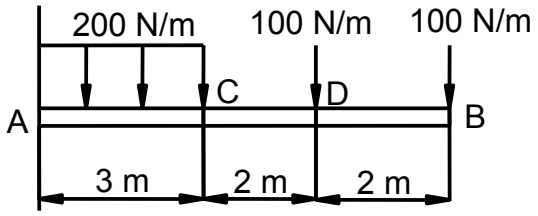
$$\Sigma M = 16X - 2X^2$$

$$\Sigma M(3) = (16 \times 3) - (2 \times 3^2)$$

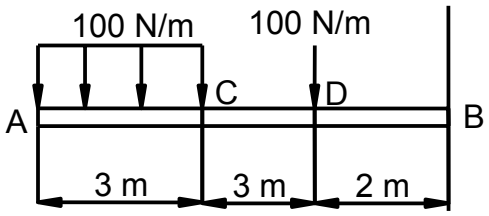
$$= 30 \text{ Nm}$$

Latihan :

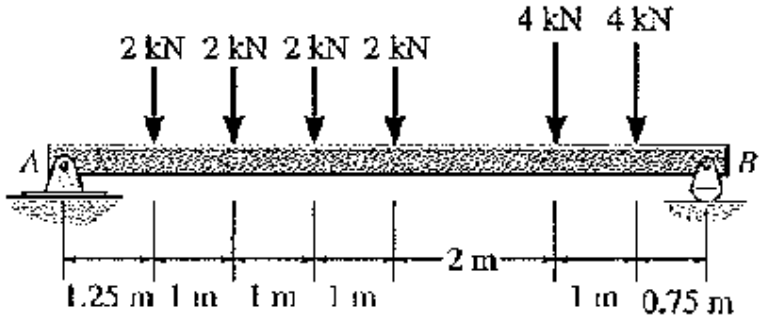
1. Draw the shear and moment diagrams for the cantilever.



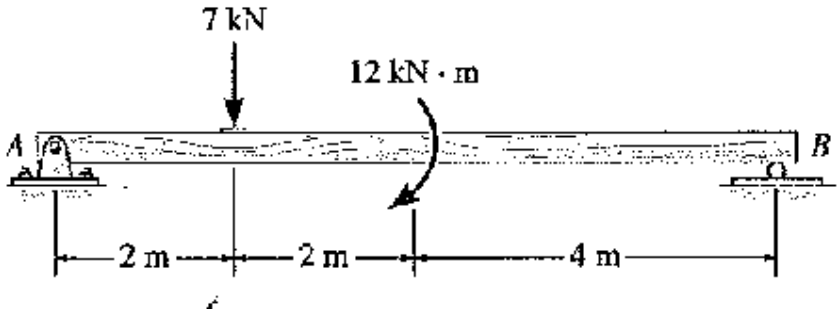
2. Draw the shear and moment diagrams for the cantilever.



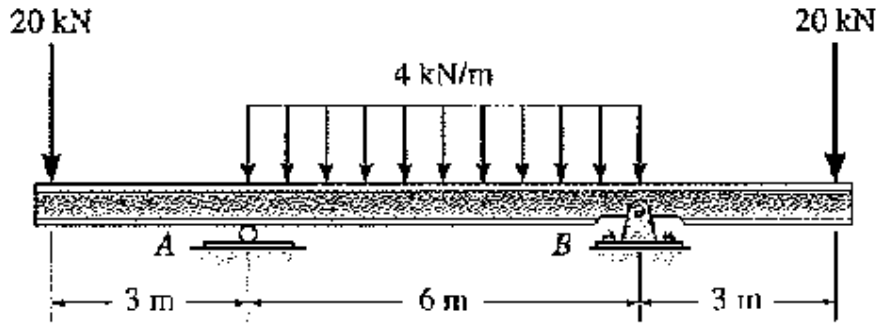
3. Draw the shear and moment diagrams for the beam



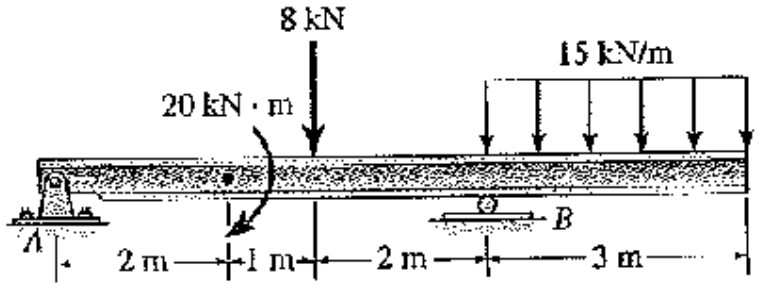
4. Draw the shear and moment diagrams for the beam



5. Draw the shear and moment diagrams for the beam



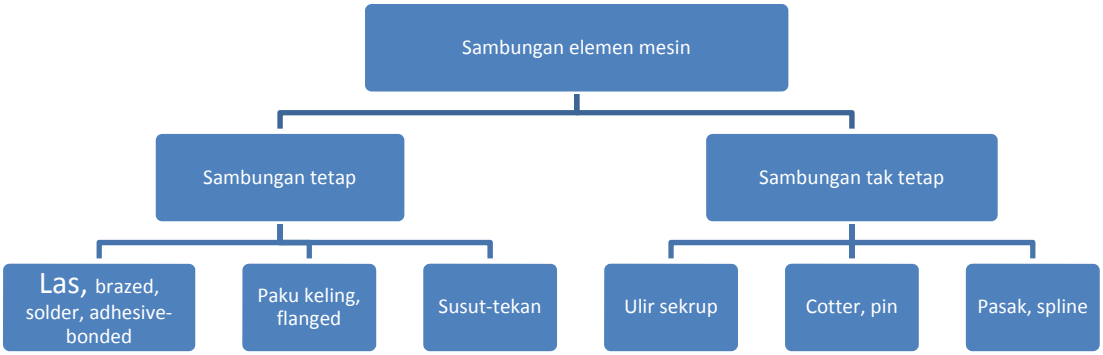
6. Draw the shear and moment diagrams for the beam



BAB III
SAMBUNGAN

Suatu mesin merupakan perpaduan atau penggabungan dari banyak elemen mesin di mana elemen yang satu dihubungkan dengan elemen yang lain dengan cara menggunakan sambungan. Sambungan yang digunakan dapat berbentuk “sliding” atau “fixed”.

Contoh sambungan bentuk “sliding” dapat berupa connecting rod, crank pin, poros dan bantalannya, roda gigi, belt dan rantai. Sambungan yang berbentuk “fixed” biasanya berupa bentuk pengikatan antara elemen yang satu dengan yang lain. Cara pengikatan elemen-elemen ini dapat bersifat sambungan permanen (permanent joints) atau bersifat sambungan dapat dilepas (detachable joints). Untuk mendapatkan sambungan permanen dapat ditempuh dengan metode mekanis (misal sambungan keling, susut tekan) dan metode physico-chemical adhesion(misal sambungan las, solder, patri, adhesive bonding). Gambar 12 memperlihatkan pembagian sambungan elemen-elemen mesin yang banyak dijumpai di lapangan.

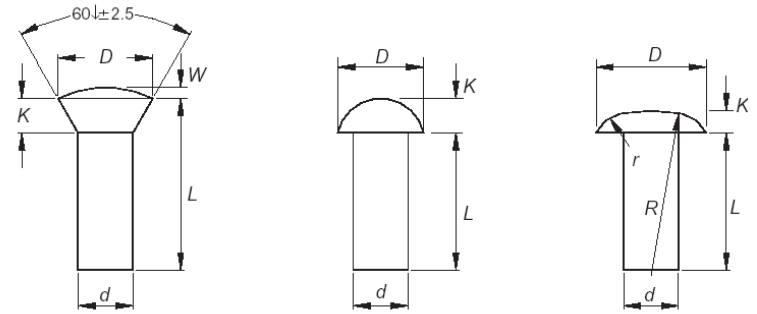


Gambar 12. Jenis sambungan elemen mesin

A. SAMBUNGAN PAKU KELING.

Sambungan dengan paku keling sebagai sambungan permanen banyak dijumpai pada konstruksi ketel uap, kapal laut, jembatan dan lain-lain. Tipe paku keling yang banyak dijumpai di lapangan disajikan pada tabel-tabel berikut ini.

Tabel 2. British Standard Hot-forged rivets

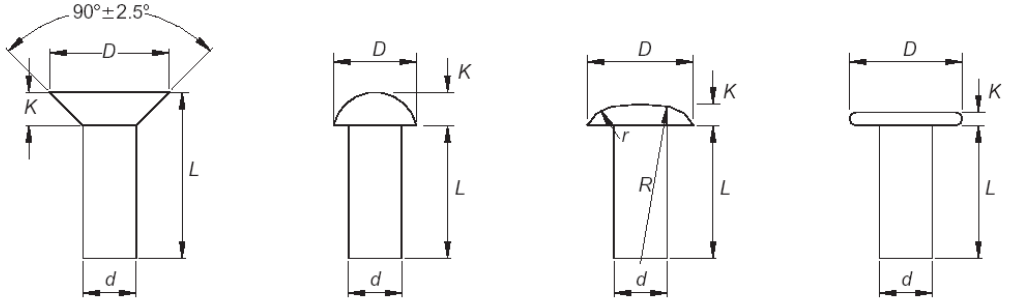


60° csk and raised csk head | Snap head | Universal head

		Head dimensions							
		60° csk and raised csk head		Snap head		Universal head			
Nom shank diam *d*	Tol on diam *d*	Nom diam *D*	Height of raise *W*	Nom diam *D*	Nom depth *K*	Nom diam *D*	Nom depth *K*	Rad *R*	Rad *r*
(14)		21	2.8	22	9	28	5.6	42	8.4
16	±0.43	24	3.2	25	10	32	6.4	48	9.6
(18)		27	3.6	28	11.5	36	7.2	54	11
20		30	4.0	32	13	40	8.0	60	12
(22)	±0.52	33	4.4	36	14	44	8.8	66	13
24		36	4.8	40	16	48	9.6	72	14
(27)		40	5.4	43	17	54	10.8	81	16
30		45	6.0	48	19	60	12.0	90	18
(33)	±0.62	50	6.6	53	21	66	13.2	99	20
36		55	7.2	58	23	72	14.4	108	22
(39)		59	7.8	62	25	78	15.6	117	23

Extracted from BS 4620:1970. Note see the standard for full ranges. All dimensions are in millimetres. Sizes shown in parentheses are non-preferred.

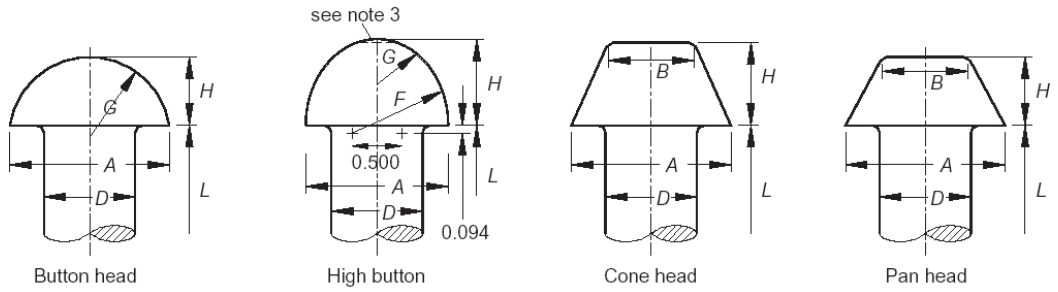
Tabel 3. British Standard Cold-forged rivets



		Head dimensions								
		90° csk head	Snap head		Universal head				Flat head	
Nom shank diam *d*	Tol on diam *d*	Nom diam *D*	Nom diam *D*	Nom depth *K*	Nom diam *D*	Nom depth *K*	Rad *R*	Rad *r*	Nom diam *D*	Nom depth *K*
1	±0.07	2	1.8	0.6	2	0.4	3.0	0.6	2	0.25
1.2		2.4	2.1	0.7	2.4	0.5	3.6	0.7	2.4	0.3
1.6		3.2	2.8	1.0	3.2	0.6	4.8	1.0	3.2	0.4
2		4	3.5	1.2	4	0.8	6.0	1.2	4	0.5
2.5		5	4.4	1.5	5	1.0	7.5	1.5	5	0.6
3		6	5.3	1.8	6	1.2	9.0	1.8	6	0.8
(3.5)	±0.09	7	6.1	2.1	7	1.4	10.5	2.1	7	0.9
4		8	7	2.4	8	1.6	12	2.4	8	1.0
5		10	8.8	3.0	10	2.0	15	3.0	10	1.3
6		12	10.5	3.6	12	2.4	18	3.6	12	1.5
(7)	±0.11	14	12.3	4.2	14	2.8	21	4.2	14	1.8
8		16	14	4.8	16	3.2	24	4.8	16	2
10		20	18	6.0	20	4.0	30	6	20	2.5
12	±0.14	24	21	7.2	24	4.8	36	7.2	–	–
(14)		–	25	8.4	28	5.6	42	8.4	–	–
16		–	28	9.6	32	6.4	48	9.6	–	–

Extracted from BS 4620:1970. Note see the standard for full ranges.
All dimensions are in millimetres. Sizes shown in parentheses are non-preferred.

Tabel 4. Selected American National Standard large button, high button, cone and pan head rivets



Nom body diam D[a]	Head diam A (in)		Height H (in)		Head diam A (in)		Height H (in)	
	Mfd note 1	Driven note 2	Mfd note 1	Driven note 2	Mfd note 1	Driven note 2	Mfd note 1	Driven note 2
Button head					High button head (acorn)			
1/2	0.875	0.922	0.375	0.344	0.781	0.875	0.500	0.375
5/8	1.094	1.141	0.469	0.438	0.969	1.062	0.594	0.453
3/4	1.312	1.375	0.562	0.516	1.156	1.250	0.688	0.531
7/8	1.531	1.594	0.656	0.609	1.344	1.438	0.781	0.609
1	1.750	1.828	0.750	0.688	1.531	1.625	0.875	0.688
1⅛	1.969	2.062	0.844	0.781	1.719	1.812	0.969	0.766
1¼	2.188	2.281	0.938	0.859	1.906	2.000	1.062	0.844
1⅜	2.406	2.516	1.031	0.953	2.094	2.188	1.156	0.938
1½	2.625	2.734	1.125	1.031	2.281	2.375	1.250	1.000
1⅝	2.844	2.969	1.219	1.125	2.469	2.562	1.344	1.094
1¾	3.062	3.203	1.312	1.203	2.656	2.750	1.438	1.172
Cone head					Pan head			
1/2	0.875	0.922	0.438	0.406	0.800	0.844	0.350	0.328
5/8	1.094	1.141	0.547	0.516	1.000	1.047	0.438	0.406
3/4	1.312	1.375	0.656	0.625	1.200	1.266	0.525	0.484
7/8	1.531	1.594	0.766	0.719	1.400	1.469	0.612	0.578
1	1.750	1.828	0.875	0.828	1.600	1.687	0.700	0.656
1⅛	1.969	2.063	0.984	0.938	1.800	1.891	0.788	0.734
1¼	2.188	2.281	1.094	1.031	2.000	2.094	0.875	0.812
1⅜	2.406	2.516	1.203	1.141	2.200	2.312	0.962	0.906
1½	2.625	2.734	1.312	1.250	2.400	2.516	1.050	0.984
1⅝	2.844	2.969	1.422	1.344	2.600	2.734	1.138	1.062
1¾	3.062	3.203	1.531	1.453	2.800	2.938	1.225	1.141

Extracted from ANSI B18.1.2–1972, R1989. Note see the standard for full ranges.

All dimensions are given in inches.

[a] Tolerance for diameter of body is plus and minus from nominal and for ½-in. size equals +0.020, −0.022; for sizes ⅝ to 1-in, incl, equals +0.030, −0.025; for sizes 1⅛ and 1¼-in equals +0.035, −0.027; for sizes 1⅜ and 1½-in equals +0.040, −0.030; for sizes 1⅝ and 1¾-in equals +0.040, −0.037.

Note 1: Basic dimensions of head as manufactured.

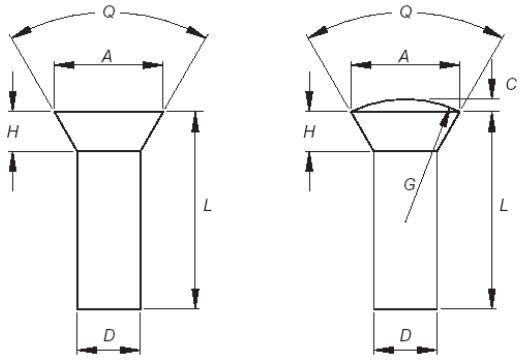
Note 2: Dimensions of manufactured head after driving and also of driven head.

Note 3: Slight flat permissible within the specified head-height tolerance.

The following formulae give the basic dimensions for manufactured shapes: Button head, $A = 1.750D$; $H = 0.750D$; $G = 0.885D$. High button head, $A = 1.500D + 0.031$; $H = 0.750D + 0.125$; $F = 0.750D + 0.281$; $G = 0.750D - 0.281$. Cone head, $A = 1.750D$; $B = 0.938D$; $H = 0.875D$. Pan head, $A = 1.600D$; $B = 1.000D$; $H = 0.700D$. Length L is measured parallel to the rivet axis, from the extreme end to the bearing surface plane for flat bearing surface head type rivets, or to the intersection of the head top surface with the head diameter for countersunk head type rivets.

Tabel 5. Selected American National Standard large flat and oval countersunk rivets

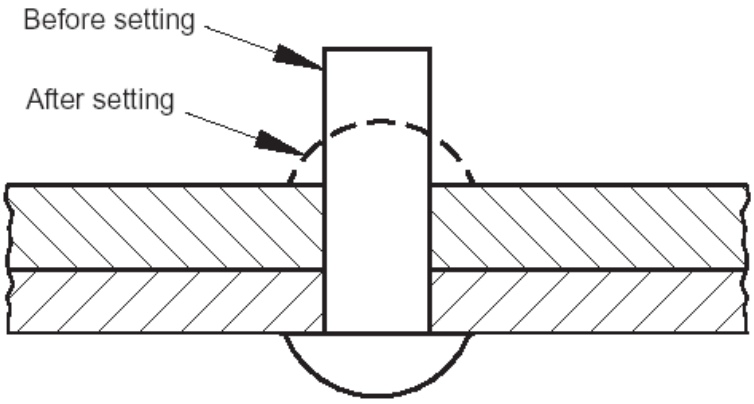
Flat and oval countersunk head



Body diameter *D* (in)				Head diam *A* (in)		Head depth *H* (in)		
Nominal[a]		Max.	Min.	Max.[b]	Min.[c]	Ref.	Oval crown height[a] C (in)	Oval crown radius[a] G (in)
1/2	0.500	0.520	0.478	0.936	0.872	0.260	0.095	1.125
5/8	0.625	0.655	0.600	1.194	1.112	0.339	0.119	1.406
3/4	0.750	0.780	0.725	1.421	1.322	0.400	0.142	1.688
7/8	0.875	0.905	0.850	1.647	1.532	0.460	0.166	1.969
1	1. 000	1.030	0.975	1.873	1.745	0.520	0.190	2.250
1⅛	1.125	1.160	1.098	2.114	1.973	0.589	0.214	2.531
1¼	1.250	1.285	1.223	2.340	2.199	0.650	0.238	2.812
1⅜	1.375	1.415	1.345	2.567	2.426	0.710	0.261	3.094
1½	1.500	1.540	1.470	2.793	2.652	0.771	0.285	3.375
1⅝	1.625	1.665	1.588	3.019	2.878	0.831	0.309	3.656
1¾	1.750	1.790	1.713	3.262	3.121	0.901	0.332	3.938

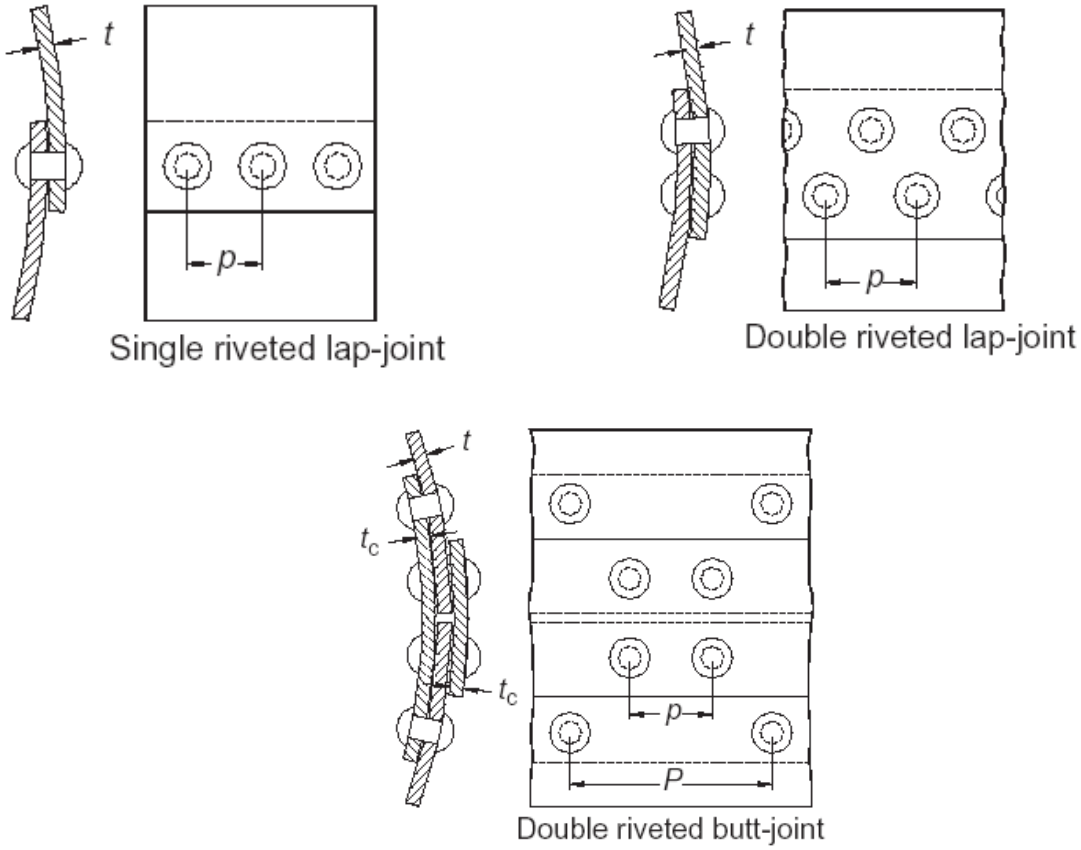
Extracted from ANSI B18.1.2–1972, R1989. Note see the standard for full ranges.
All dimensions are given in inches.
[a] Basic dimension as manufactured. For tolerances see table footnote on Table 12.9.
[b] Sharp edged head.
[c] Rounded or flat edged irregularly shaped head (heads are not machined or trimmed).

Secara umum paku keling dibedakan atas paku keling pejal dan paku keling berongga. Paku keling pejal biasanya digunakan untuk keperluan yang umum sedang paku keling berongga sering digunakan pada pesawat udara, precision machenery, dan pada mesin industri logam ringan. Bahan paku keling dibuat dari baja lunak dan kadang-kadang juga dibuat dari baja paduan. Ada juga paku keling yang dibuat dari tembaga, kuningan, aluminium. Proses pemasangan paku keling dapat dilakukan dalam keadaan dingin atau keadaan panas.



Gambar 13. Paku keling sebelum dan sesudah dipasang

Sambungan dengan paku keling dapat berupa kampuh berimpit (lap joint) atau berupa kampuh bilah (butt joint). Bilah yang digunakan dapat berupa bilah tunggal atau bilah ganda.



Gambar 14. Jenis-jenis sambungan paku keling

1. Perhitungan Kekuatan Sambungan Paku Keling untuk Beban Terpusat.

Sambungan kelingan harus diperiksa kekuatannya terhadap kemungkinan putus dan rusaknya paku keling atau plat sambungan. Pemeriksaan kekuatan paku terutama terhadap :

a. Kemungkinan putus geser batang paku.
b. Kemungkunan putus geser bidang silinder kepala paku.
c. Tekanan bidang pada telapak kepala dan batang paku.

Sedangkan pemeriksaan plat sambungan terhadap :

a. Kemungkinan putus tarik penampang plat antara lubang dengan lubang.
b. Kemungkinan putus geser penampang pada bagian pinggir plat yang menahan batang paku.

Tinjauan kekuatan sambungan keling untuk kampuh berimpit adalah sebagai berikut (lihat gambar 15).

Kekuatan terhadap gaya tarik :

$$F = A_p \, \sigma_t$$

$$F = (b - i \, . \, d) \, S \, \sigma_t \qquad 1$$

Kekuatan terhadap gaya geser :

$$F = n \, A_r \, \tau_S$$

$$F = n \, (\tfrac{\pi}{4}) \, d^2 \, \tau_S \qquad 2$$

Kekuatan terhadap gaya desak :

$$F = n \, A_b \, \sigma_C$$

$$F = n \, d \, S \, \sigma_C \qquad 3$$

Dimana :

F = Gaya/beban (N)

A_p = luas penampang plat diantara lubang paku keling (m^2)

= (b – i . d) S

A_r = luas penampang paku keling (m^2)

= $(\frac{\pi}{4})$ d^2

A_b = luas proyeksi paku keling (m^2)

= d S

S = tebal plat (m)

b = lebar plat (m)

i = jumlah paku keling dalam satu baris vertikal

n = jumlah keseluruhan paku keling

d = diameter paku keling (m)

σ_t = tegangan tarik yang diijinkan (N/m^2)

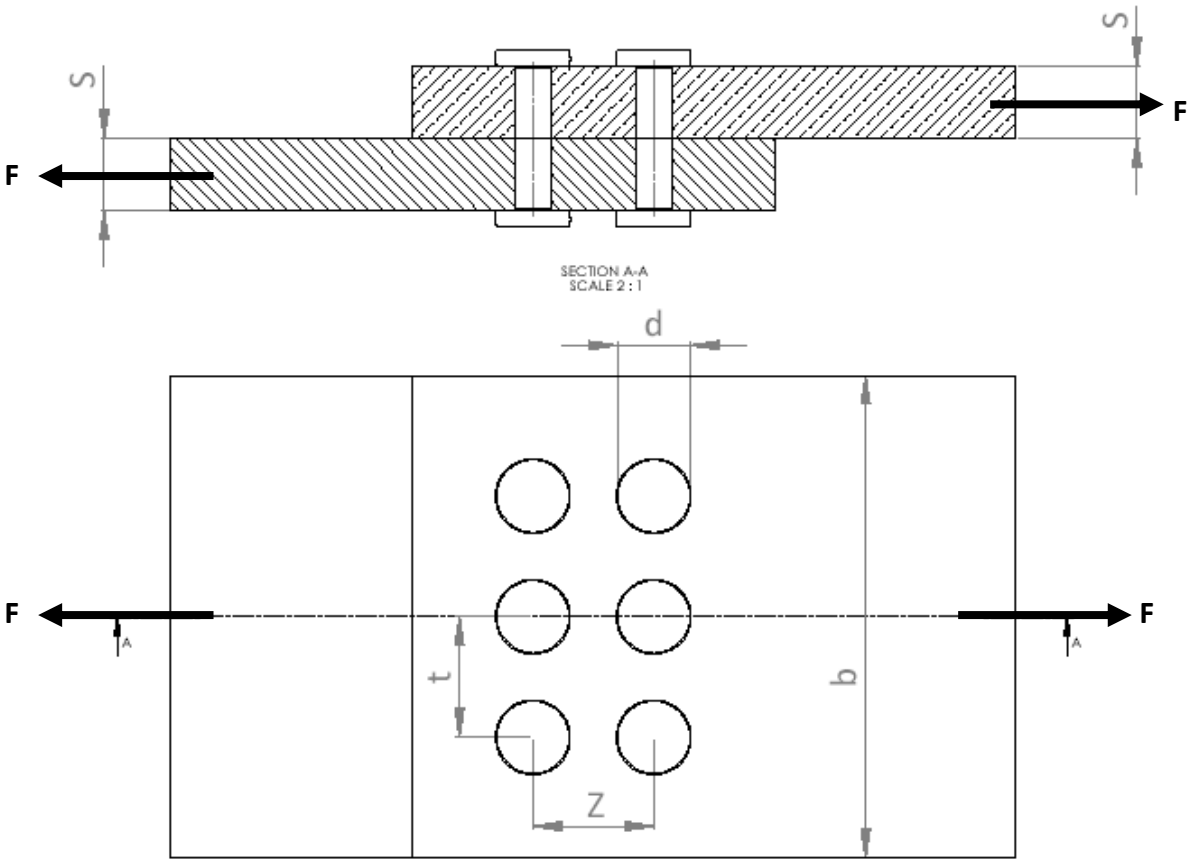
τ_S = tegangan geser yang diijinkan (N/m^2)

σ_C = tegangan desak yang diijinkan (N/m^2)

Pada gambar 15 di atas : nilai i = 3 dan n = 6.

Efisiensi sambungan paku keling dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$\eta = \frac{\text{beban aman terkecil}}{\text{tegangan tarik maksimum pada area yang tidak berlubang}} \qquad 4$$



Gambar 15

Tinjauan kekuatan sambungan keling untuk kampuh bilah berganda dapat dituliskan sebagai berikut (lihat gambar 16).

Kekuatan terhadap gaya tarik :

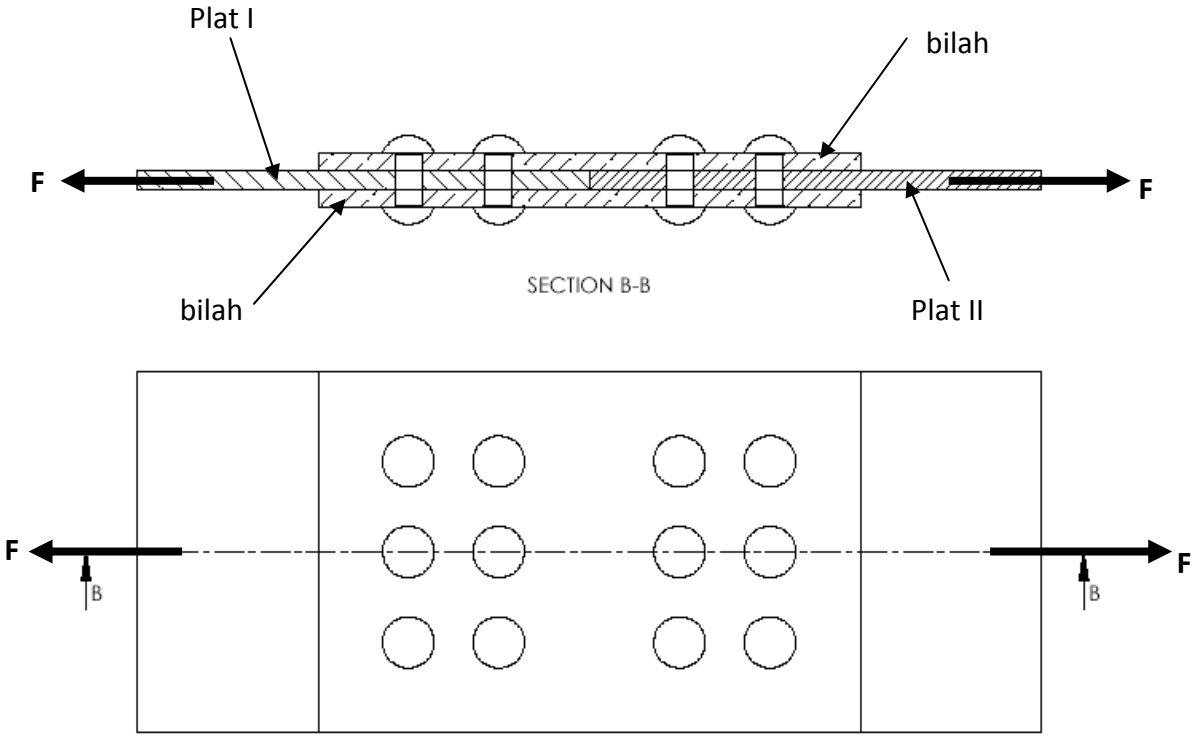
$$F = (b - i \,.\, d)\, S\, \sigma_t \qquad 5$$

Kekuatan terhadap gaya geser :

$$F = 2n \left(\frac{\pi}{4}\right) d^2\, \tau_S \qquad 6$$

Kekuatan terhadap gaya desak :

$$F = n\, d\, S\, \sigma_C \qquad 7$$



Gambar 16

Dimana :

n = jumlah paku keling pada satu plat

= jumlah paku keling pada plat I

= jumlah paku keling pada plat II

Pada gambar 16 nilai i = 3 dan n = 6

Tinjauan kekuatan paku keling yang telah diuraikan di atas didasarkan pada pemisalan bahwa gaya F terdistribusi merata pada tiap paku keling. Tetapi pada kenyataannya, gaya F tidak terdistribusi merata pada tiap paku keling. Paku keling yang paling dekat dengan gaya F akan menerima gaya yang lebih besar dari paku keling lainnya.

Contoh 1

Determine the safe tensile, shear, compressive loads and the efficiency for a 300 mm section of single-riveted lap joint made from ¼" plates using six 16-mm diameter rivets. Assume that the drilled holes are 1.5 mm larger in diameter the the rivets. The value for the design limits for tensile, shear, and compressive stress can be taken as 75 MPa, 60 MPa, and 131 MPa, respectively.

Penyelesaian :

Diketahui dari soal : n = 6 buah

d = 16 mm = 0.016 m

σ_t = 75 MPa = 75 x 10^6 Pa

τ_S = 60 MPa = 60 x 10^6 Pa

S = ¼ inchi = 6.35 x 10^{-3} m

σ_C = 131 MPa = 131 x 10^6 Pa

b = 300 mm = 0.3 m

Ukuran lubang 1.5 mm = 0.0015 m lebih besar dari ukuran diameter paku keling.

Beban yang diijinkan karena geseran pada paku keling adalah :

$$F = n \left(\frac{\pi}{4}\right) d^2 \tau_S$$

$$F = 6 \times \frac{\pi}{4} \times 0.016^2 \times 60 \times 10^6 = 90.48 \text{ kN}$$

Beban yang diijinkan karena tegangan desak adalah sebagai berikut :

$$F = n\ d\ S\ \sigma_C$$

$$F = 6 \times 0.016 \times 6.35 \times 10^{-3} \times 131 \times 10^6 = 79.86 \text{ kN}$$

Beban yang dijinkan karena tarikan pada paku keling adalah :

$$F = (b - i\ .\ d)\ S\ \sigma_t$$

$$F = (0.3 - 6(0.016 + 0.0015)) \times 6.35 \times 10^{-3} \times 75 \times 10^6$$

F = 162,2 kN

Beban terkecil adalah 79.48 kN sehingga efisiensi sambungan paku keling dapat dihitung sebagai berikut :

$$\eta = \frac{\text{beban aman terkecil}}{\text{tegangan tarik maksimum pada area yang tidak berlubang}}$$

$$\eta = \frac{79.86 \text{ x } 10^3}{0.00635 \text{ x } 0.3 \text{ x } 75 \text{ x } 10^6} = 0.56 = 56\%$$

Contoh 2.

Determine the maximum safe tensile load that can be supported by a 1 m section of double riveted butt joint with 15 mm thick main plates and two 8 mm thick cover plates. There are six rivets in each of the outer rows and seven rivets in each of the inner rows. The rivets are all 20 mm in diameter. Assume that the drilled holes are 1.5 mm larger in diameter than the rivets. The values for the design limits for tensile, shear, and compressive stress can be taken as 75, 60 and 131 MPa, recpectively.

Penyelesaian :

Diketahui dari soal : n = 6 + 7 = 13 buah

d = 20 mm = 0.02 m

S = 15 mm = 0.015 m

τ_S = 60 MPa = 60 x 10^6 Pa

σ_C = 131 MPa = 131 x 10^6 Pa

Untuk analisa sambungan keling ganda hanya diperlukan menganalisa salah satu sisi saja karena bentuknya yang simetris. Beban tarik yang diijinkan karena gaya geser ganda pada paku keling sama dengan jumlah paku keling dikali jumlah bidang geser/paku keling dikali luas penampang dari paku keling dikali tegangan geser yang diijinkan.

$$F = n \text{ x } 2 \text{ x } A_r \tau_S$$

$$F = 13 \text{ x } 2 \text{ x } \pi \frac{0.02^2}{4} \text{ x } 60 \text{ x } 10^6$$

$$F = 490.1 \text{ kN}$$

Beban tarik karena tegangan desak dihitung menggunakan rumus :

$$F = n\ d\ S\ \sigma_C$$

$$F = 13 \times 0.02 \times 0.015 \times 131 \times 10^6$$

$$F = 510.9\ kN$$

Beban tarik akibat tegangan tarik dihitung menggunakan rumus :

$$F = (b - i\ .\ d)\ S\ \sigma_t$$

$$F = (1 - 6(0.02 + 0.0015)) \times 15 \times 10^{-3} \times 75 \times 10^6$$

$$F = 980.3\ kN$$

Untuk melengkapi analisis maka diperlukan untuk meninjau jumlah beban yang akan menyebabkan sobekan antara paku-paku keling di bagian dalam ditambah beban yang disebabkan oleh paku-paku keling di bagian luar.

Beban pada bagian dalam karena tegangan desak :

$$F = n\ d\ S\ \sigma_C$$

$$F = 6 \times 0.02 \times 0.015 \times 131 \times 10^6$$

$$F = 235.8\ kN$$

Beban tarik pada bagian luar karena tegangan tarik :

$$F = (b - i\ .\ d)\ S\ \sigma_t$$

$$F = (1 - 7(0.02 + 0.0015)) \times 15 \times 10^{-3} \times 75 \times 10^6$$

$$F = 955.7\ kN$$

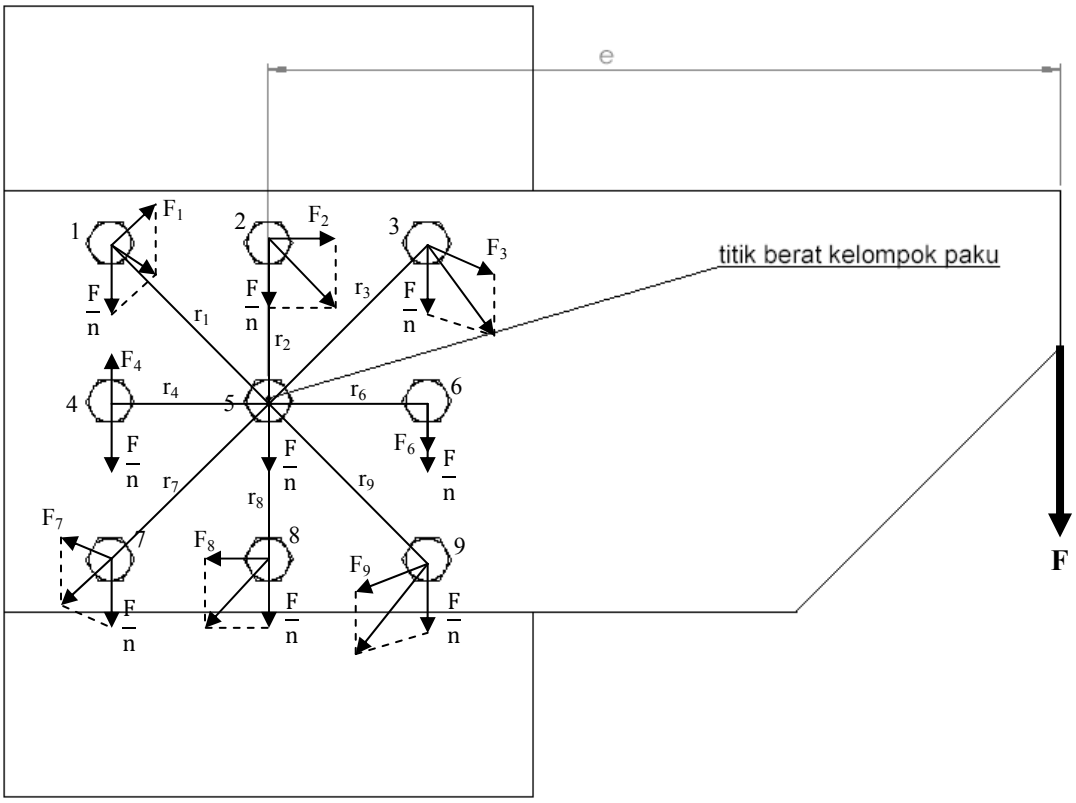
Jumlah total adalah 235.8 kN + 955.7 kN = 1.191 MN. Beban terkecil adalah 490.1 kN sehingga efisiensi sambungan dapat dihitung sebagai berikut :

$$\eta = \frac{\text{beban aman terkecil}}{\text{tegangan tarik maksimum pada area yang tidak berlubang}}$$

$$\eta = \frac{490.1 \times 10^3}{0.015 \times 1 \times 75 \times 10^6} = 0.436 = 43.6\%$$

2. Perhitungan Kekuatan Sambungan Paku Keling untuk Beban Eksentrik.

Pada pembahasan beban terpusat terlihat bahwa garis gaya F bekerja melalui titik berat kelompok paku keling. Dalam praktek sering dijumpai garis gaya F bekerja tidak melalui titik berat kelompok paku tetapi secara eksentrik terhadap titik berat kelompok paku keling tersebut. Gambar 17 memperlihatkan konstruksi sambungan paku keling dengan beban eksentrik sebesar F pada jarak e terhadap titik berat kelompok paku keling.



Gambar 17

Langkah pertama yang perlu ditempuh dalam menyelesaikan persoalan di atas adalah menentukan titik berat kelompok paku keling. Garis kerja gaya F dapat dipindah secara vertikal ke titik berat kelompok paku, sehingga tiap paku akan menerima gaya vertikal sebesar F/n, dengan n = jumlah keseluruhan paku.

Gaya F akan menimbulkan momen gaya terhadap paku sebesar T = F.e yang akan berusaha memutar plat pada titik berat kelompok paku dan selanjutnya momen ini akan ditahan oleh kelompok paku. Besarnya gaya yang bekerja pada tiap paku akibat momen gaya T tergantung dari jarak titik pusat masing-masing paku terhadap titik berat kelompok paku.

$$F.e = F_1.r_1 + F_2.r_2 + \ldots\ldots\ldots + F_n.r_n \qquad 8$$

Gaya F_1, F_2, ……F_n berbanding langsung dengan jarak r_1, r_2,……r_n sehingga dapat ditulis :

$$\frac{F_1}{r_1} = \frac{F_2}{r_2} = \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\frac{F_n}{r_n} \qquad 9$$

Atau $$F_2 = F_1\frac{r_2}{r_1}\ ;\ F_3 = F_1\frac{r_3}{r_1}\ ;\ \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ ;\ F_n = F_1\frac{r_n}{r_1} \qquad 10$$

Substitusikan persamaan 10 ke dalam persamaan 8 sehingga diperoleh :

$$F.e = F_1.r_1\frac{r_1}{r_1} + F_1\frac{r_2}{r_1}.r_2 + \ldots\ldots\ldots + F_1\frac{r_n}{r_1}.r_n$$

$$F.e = \frac{F_1}{r_1}\left(r_1^{\,2} + r_2^{\,2} + \ldots\ldots\ldots\ldots r_n^{\,2}\right)$$

Atau $$F_1 = \frac{F.e.r_1}{r_1^2 + r_2^2 + \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots r_n^2}$$ dan dengan cara yang sama akan diperoleh :

$$F_2 = \frac{F.e.r_2}{\sum_{k=1}^{n} r_k^2}$$

Secara umum dapat ditulis :

$$F_j = \frac{F.e.r_j}{\sum_{k=1}^{n} r_k^2} \qquad 11$$

Resultan gaya yang bekerja pada paku keling adalah :

$$R_j = \sqrt{\left(\frac{F}{n}\right)^2 + F_j^2 + 2\left(\frac{F}{n}\right)\left(F_j\right)\cos\theta} \qquad 12$$

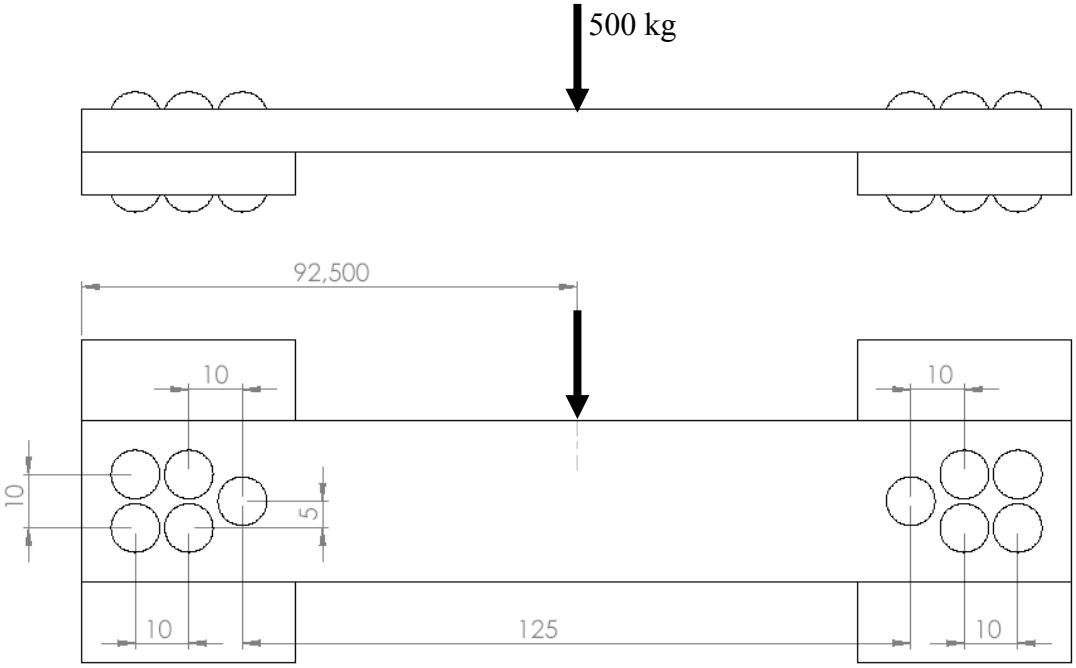
Dimana : θ = sudut antara garis gaya F/n dan F_j.

Diameter paku keling dapat dicari dari rumus :

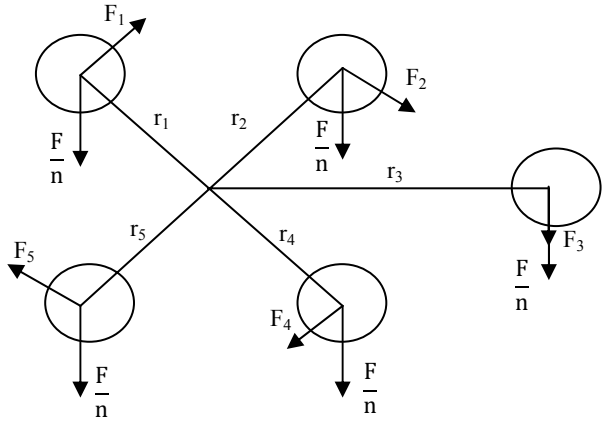
$$d_j = \sqrt{\frac{4\,R_j}{\pi\,\tau_S}} \qquad 13$$

Contoh 3.

Consider the joint construction as shown below. The load F = 500 kg acts in the middle of construction. Allowable shear stress τ_S 900 kg/cm^2. All length units is in centimeters. Determine the diameter of the rivet assume that all rivets have the same diameter.



Penyelesaian :



Titik berat kelompok paku keling dapat ditentukan dengan cara sebagai berikut :

$$X = \frac{A_1 X_1 + A_2 X_2 + A_3 X_3 + A_4 X_4 + A_5 X_5}{A_1 + A_2 + A_3 + A_4 + A_5}$$

Karena $A_1 = A_2 = A_3 = A_4 = A_5$ maka :

$$X = \frac{X_1 + X_2 + X_3 + X_4 + X_5}{5} = \frac{0+10+20+10+0}{5} = 8 \text{ cm}$$

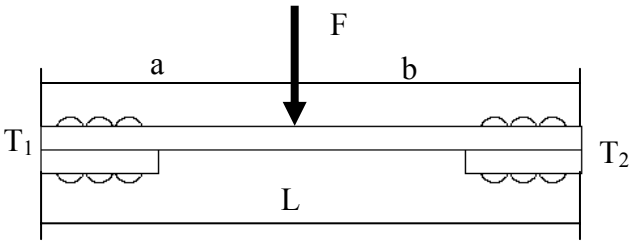
$$Y = \frac{A_1 Y_1 + A_2 Y_2 + A_3 Y_3 + A_4 Y_4 + A_5 Y_5}{A_1 + A_2 + A_3 + A_4 + A_5}$$

$$X = \frac{Y_1 + Y_2 + Y_3 + Y_4 + Y_5}{5} = \frac{10+10+5+0+0}{5} = 5 \text{ cm}$$

Jadi titk berat kelompok paku keling adalah (8,5) cm

Gaya vertikal tiap paku = F/n = 500/10 = 50 kg.

Dari bab mekanika teknik terdahulu maka bisa dihitung besarnya momen gaya yang timbul diujung-ujung konstruksi.



$$T_1 = \frac{F \cdot a \cdot b^2}{L^2} \quad ; \quad T_2 = \frac{F \cdot b \cdot a^2}{L^2}$$

Untuk a = b = L/2 berarti :

$$T_1 = T_2 = \frac{F \cdot L}{8}$$

Dari gambar soal diketahui L = 125 + (2 X 20) = 165 cm

$$F \cdot e = T_1 = T_2 = \frac{500 \text{ x } 165}{8} = 10312.5 \text{ kg.cm}$$

$$r_1 = r_5 = \sqrt{8^2 + 5^2} = \sqrt{89} = 9.434 \text{ cm}$$

$$r_2 = r_4 = \sqrt{2^2 + 5^2} = \sqrt{29} = 5.3852 \text{ cm}$$

$$r_3 = 10 + 2 = 12 \text{ cm}$$

Dari persamaan 11 diperoleh :

$$F_1 = F_5 = \frac{10312.5 \text{ x } 9.434}{89+29+144+29+89} = 256 \text{ kg}$$

$$F_2 = F_4 = \frac{10312.5 \text{ x } 5.3852}{89+29+144+29+89} = 146.14 \text{ kg}$$

$$F_1 = \frac{10312.5 \text{ x } 12}{89+29+144+29+89} = 325.66 \text{ kg}$$

Dari persamaan 12 diperoleh :

$R_1 = R_5 = \sqrt{50^2 + 256^2 + 2(50)(256)\cos 147.995}$ = 215.2374 kg

$R_2 = R_4 = \sqrt{50^2 + 146.14^2 + 2(50)(146.14)\cos 68.199}$ = 171.1266 kg

R_3 = 50 + 325.66 = 375.66 kg

Gaya terbesar pada paku keling 3 yaitu R_3 = 375.66 kg

Dari persamaan 13 dapat dihitung diameter paku keling :

$$d_3 = \sqrt{\frac{4\,R_3}{\pi\,\tau_S}}$$

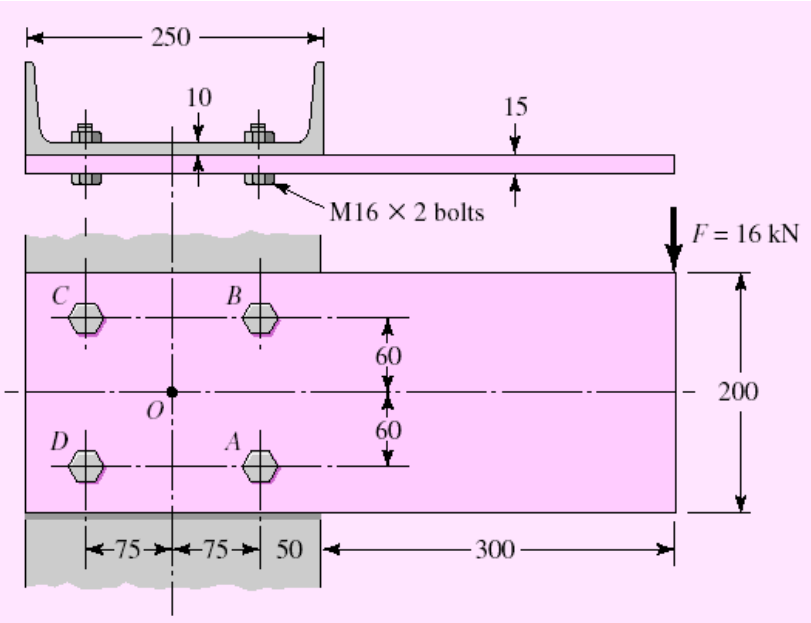
$$d_3 = \sqrt{\frac{4 \text{ x } 375.66}{\pi \text{ x } 900}} = 0.729 \text{ cm} = 7.29 \text{ mm} \approx 7 \text{ mm}$$

Contoh 4.

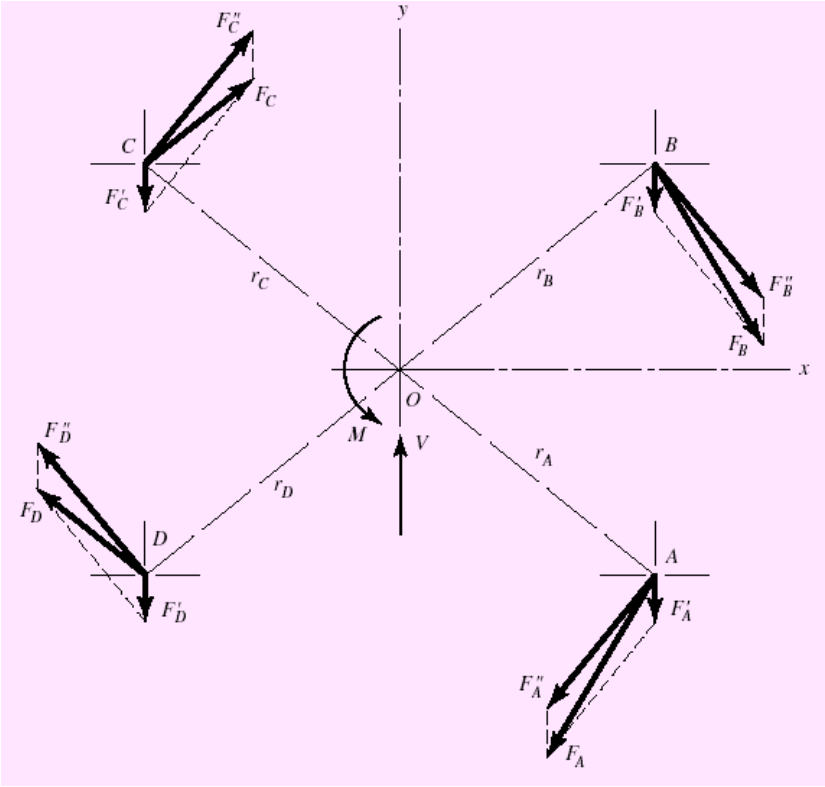
Shown as below is a 15 by 200 mm rectangular steel bar cantilevered to a 250 mm steel channel using four tightly fitted bolts located at A, B, C, and D. For a F = 16 kN load find :

a. The resultant load on each bolt.

b. The maximum shear stress in bolt.



Penyelesaian :



a. Titik O diambil sebagai titik berat kelompok baut karena susunannya yang simetris. Momen gaya yang timbul terhadap titik berat adalah

$$T = F \cdot e = 16000 \times 0.425 = 6800 \text{ Nm}$$

$$r_A = r_B = r_C = r_D = \sqrt{60^2 + 75^2} = 96 \text{ mm} = 0.096 \text{ m}$$

Gaya vertikal tiap paku = F/n = 16/4 = 4 kN = 4000 N

$$F_A = F_B = F_C = F_D = \frac{6800 \times 0.096}{0.096+0.096+0.096+0.096} = 17000 \text{ N}$$

$$R_A = R_B = \sqrt{4000^2 + 17000^2 + 2(4000)(17000)\cos 38.62} = 21000 \text{ N}$$

$$R_C = R_D = \sqrt{4000^2 + 17000^2 + 2(4000)(17000)\cos 128.62} = 14800 \text{ N}$$

b. Gaya terbesar dialami paku A dan B yaitu 21000 N

Tegangan geser maksimum bisa dihitung menggunakan rumus :

$$d = \sqrt{\frac{4 R_A}{\pi \tau_S}}$$

atau $\tau_S = \frac{4\,R_A}{\pi\,d^2}$

$\tau_S = \frac{4 \times 21000}{\pi\,0.016^2}$ = 104.45 MPa

B. SAMBUNGAN ULIR SEKRUP

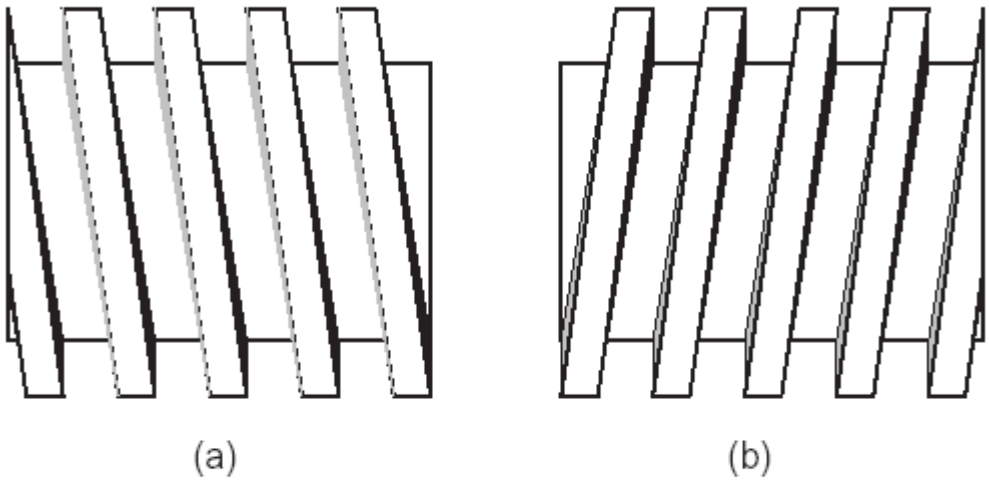
1. Tinjauan Pembebanan dan Torsi Pada Ulir Sekrup

Sambungan ulir sekrup termasuk sambungan yang dapat dilepas setiap saat sesuai kehendak operatornya. Keuntungan-keuntungan penggunaan sambungan ulir sekrup ini antara lain :

1. Mudah dipasang dan dilepas.
2. Kuat dan relatif murah.
3. Efisiensi proses pembuatannya tinggi.

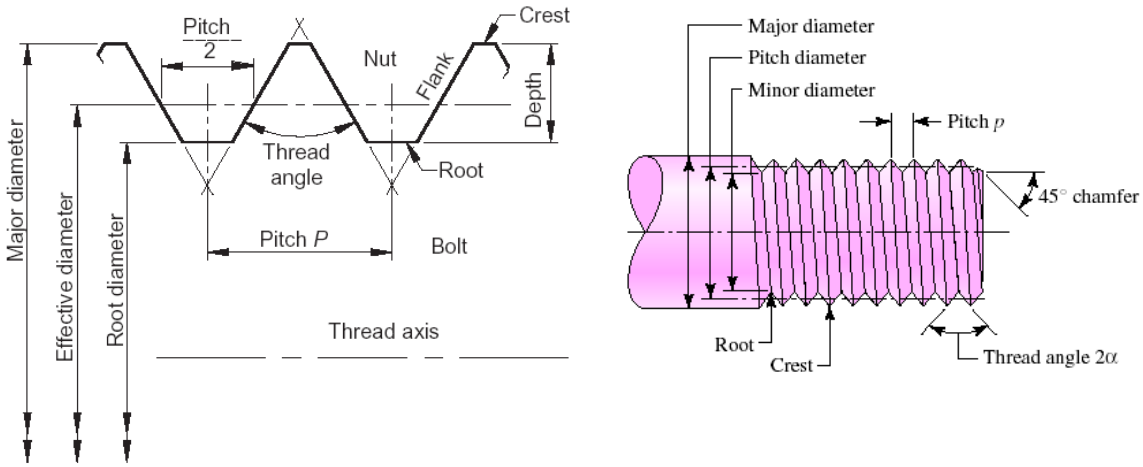
Kelemahan penggunaan sambungan ulir adalah pada permukaan ulir terjadi konsentrasi tegangan yang lebih besar sehingga bagian ini lebih mudah patah.

Bentuk ulir pada umumnya dapat berupa ulir kanan (right-hand thread) dan ulir kiri (left-hand thread) seperti ditunjukkan pada gambar 18.



Gambar 18 (a) Right-hand thread; (b) Left-hand thread.

Beberapa terminologi pada ulir adalah sebagai berikut :



Gambar 19. Terminologi pada ulir

Pitch adalah jarak antara titik-titik yang bersesuaian yang letaknya pada ulir yang saling berdekatan berdekatan. Ukuran pitch harus sejajar dengan sumbu ulir.

Diameter luar (Outside/Major diameter) adalah diameter diukur dari puncak ulir ke sumbu ulir.

Puncak (crest) ulir adalah bagian paling menonjol dari ulir baik ulir luar atau ulir dalam.

Root terletak pada bagian bawah alur antara dua ulir yang saling berdekatan.

Flank dari sebuah ulir adalah sisi miring pada ulir diantara root dan puncak ulir.

Diameter Root(Root/minor/core Diameter) adalah diameter terkecil dari ulir diukur dari root ke sumbu ulir.

Diameter Efektif(Effective/pitch diameter) adalah diameter teoritis yang terletak diantara diameter major dan minor.

Lead sebuah ulir adalah pergerakan secara aksial dari ulir di dalam satu putaran.

Standar kode untuk sekrup yang dikenal secara luas adalah UNS (Unified national standard) dan ulir metrik ISO. Penulisan ulir metrik ISO menggunakan huruf kapital M yang merupakan singkatan dari metrik diikuti dengan nominal diameter

dan pitch dalam milimeter. Contohnya adalah M12 x 1.75 adalah ulir metrik ISO dengan diameter major 12 mm dan pitch 1.75 mm. Tabel ulir metrik dengan sistem ISO disajikan pada tabel 6.

Tabel 6 Selected dimensions for a selection of British Standard ISO Metric Precision Hexagon Bolts. BS 3692:1967

Nominal size and thread diameter	Pitch of thread (coarse pitch series)	Width across flats		Height of head		Tapping drill	Clearance drill
		Max	Min	Max	Min		
M1.6	0.35	3.2	3.08	1.225	0.975	1.25	1.65
M2	0.4	4.0	3.88	1.525	1.275	1.60	2.05
M2.5	0.45	5.0	4.88	1.825	1.575	2.05	2.60
M3	0.5	5.5	5.38	2.125	1.875	2.50	3.10
M4	0.7	7.0	6.85	2.925	2.675	3.30	4.10
M5	0.8	8.0	7.85	3.650	3.35	4.20	5.10
M6	1	10.0	9.78	4.15	3.85	5.00	6.10
M8	1.25	13.0	12.73	5.65	5.35	6.80	8.20
M10	1.5	17.0	16.73	7.18	6.82	8.50	10.20
M12	1.75	19.0	18.67	8.18	7.82	10.20	12.20
M14	2	22.0	21.67	9.18	8.82	12.00	14.25
M16	2	24.0	23.67	10.18	9.82	14.00	16.25
M18	2.5	27.0	26.67	12.215	11.785	15.50	18.25
M20	2.5	30.0	29.67	13.215	12.785	17.50	20.25
M22	2.5	32.0	31.61	14.215	13.785	19.50	22.25
M24	3	36.0	35.38	15.215	14.785	21.00	24.25
M27	3	41.0	40.38	17.215	16.785	24.00	27.25
M30	3.5	46.0	45.38	19.26	18.74	26.50	30.50
M33	3.5	50.0	49.38	21.26	20.74	29.50	33.50
M36	4	55.0	54.26	23.26	22.74	32.00	36.50
M39	4	60.0	59.26	25.26	24.74	35.00	39.50
M42	4.5	65.0	64.26	26.26	25.74	37.50	42.50
M45	4.5	70.0	69.26	28.26	27.74	40.50	45.50
M48	5	75.0	74.26	30.26	29.74	43.00	48.75
M52	5	80.0	79.26	33.31	32.69	47.00	52.75
M56	5.5	85.0	84.13	35.31	34.69	50.50	56.75
M60	5.5	90.0	89.13	38.31	37.69	54.50	60.75
M64	6	95.0	94.13	40.31	39.69	58.00	64.75
M68	6	100.0	99.13	43.31	42.96	62.00	68.75

All dimensions in mm.

Sistem UNS dibagi menjadi dua kelompok besar yaitu UNC (unified coarse) yaitu seri ulir dengan pitch kasar dan UNF (unified fine) yaitu seri ulir dengan pitch halus. Penulisan ulir sistem UNS dengan notasi nominal diameter major, jumlah ulir

per inchi, dan seri ulir secara berurutan. Contohnya 0.625 in-18 UNF. Tabel 7 dan 8 menyajikan daftar ulir dengan sistem UNC dan UNF.

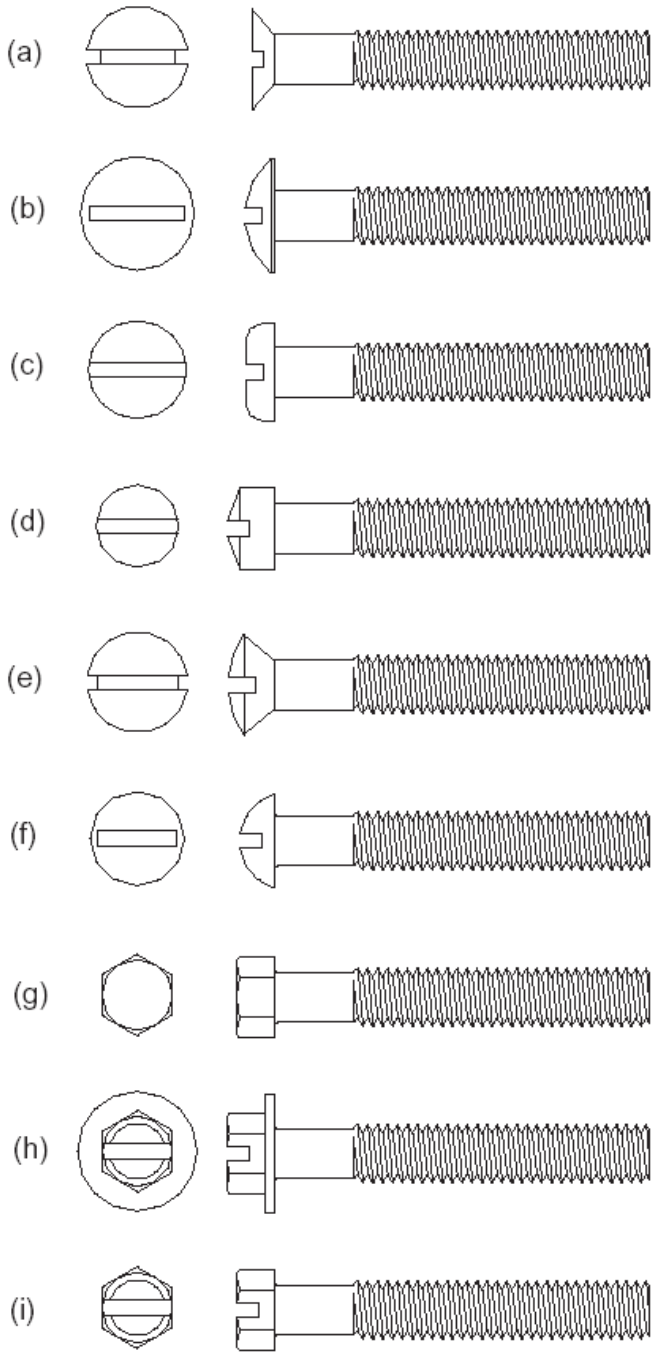
Tabel 7 American Standard thread dimensions for UNC screw threads

Size designation	Nominal major diameter (in)	Threads per inch	Tensile stress area (in^2)
0	0.0600		
1	0.0730	64	0.00263
2	0.0860	56	0.00370
3	0.0990	48	0.0487
4	0.1120	40	0.00604
5	0.1250	40	0.00796
6	0.1380	32	0.00909
8	0.1640	32	0.0140
10	0.1900	24	0.0175
12	0.2160	24	0.0242
Fractional sizes			
1/4	0.2500	20	0.0318
5/16	0.3125	18	0.0524
3/8	0.3750	16	0.0775
7/16	0.4375	14	0.1063
1/2	0.5000	13	0.1419
9/16	0.5625	12	0.182
5/8	0.6250	11	0.226
3/4	0.7500	10	0.334
7/8	0.8750	9	0.462
1	1.000	8	0.606
1⅛	1.125	7	0.763
1¼	1.250	7	0.969
1⅜	1.375	6	1.155
1½	1.500	6	1.405
1¾	1.750	5	1.90
2	2.000	4.5	2.50

Tabel 8 American Standard thread dimensions for UNF screw threads

Size designation	Nominal major diameter (in)	Threads per inch	Tensile stress area (in^2)
0	0.0600	80	0.00180
1	0.0730	72	0.00278
2	0.0860	64	0.00394
3	0.0990	56	0.00523
4	0.1120	48	0.00661
5	0.1250	44	0.00830
6	0.1380	40	0.01015
8	0.1640	36	0.01474
10	0.1900	32	0.0200
12	0.2160	28	0.0258
Fractional sizes			
1/4	0.2500	28	0.0364
5/16	0.3125	24	0.0580
3/8	0.3750	24	0.0878
7/16	0.4375	20	0.1187
1/2	0.5000	20	0.1599
9/16	0.5625	18	0.203
5/8	0.6250	18	0.256
3/4	0.7500	16	0.373
7/8	0.8750	14	0.509
1	1.000	12	0.663
1⅛	1.125	12	0.856
1¼	1.250	12	1.073
1⅜	1.375	12	1.315
1½	1.500	12	1.581

Beberapa bentuk sekrup untuk pemesinan yang dikenal secara luas dapat dilihat pada gambar 20.



Gambar 20 Various machine screw styles. (a) Flat countersunk head. (b) Slotted truss head. (c) Slotted pan head. (d) Slotted fillister head. (e) Slotted oval countersunk. (f) Round head. (g) Hex. (h) Hex washer. (i) Slotted hexagon head.

Pengencang berulir cenderung digunakan sedemikian sehingga mereka menerima beban dalam bentuk regangan secara dominan. Tegangan pada sekrup yang disebabkan oleh beban tarik dapat dihitung dengan rumus berikut :

$$\sigma_t = \frac{F}{A_t} \quad (14)$$

Dimana : A_t = rata-rata antara diameter minor dan diameter pitch(m^2)

$$A_t = \frac{\pi}{16}(d_p + d_r)^2 \quad (15)$$

d_p = diameter pitch (m)

untuk ulir UNS : $d_p = d - \frac{0.649519}{N}$ (16)

untuk ulir ISO : $d_p = d - 0.649519p$ (17)

d_r = diameter minor

untuk ulir UNS : $d_r = d - \frac{1.299038}{N}$ (18)

untuk ulir ISO : $d_r = d - 1.226869p$ (19)

N = jumlah ulir/inchi

p = pitch (m)

d = diameter baut (m)

σ = tegangan karena beban tarik (N/m^2)

F = gaya/beban (N)

Baut secara normal dikencangkan dengan memberikan torsi pada kepala baut atau mur yang mengakibatkan baut meregang. Hasil peregangan pada saat peristiwa mengencangkan baut dikenal dengan istilah beban awal (preload). Beban awal yang direkomendasikan untuk sambungan yang bisa dibongkar-pasang (re-useable joint) adalah :

$$F_i = 0.75 A_t \sigma_p \quad (20)$$

Dan untuk sambungan permanen (permanent joint) adalah :

$$F_i = 0.9\ A_t \sigma_p \quad (21)$$

dimana : σ_p = kekuatan baut berdasarkan material baut (N/m^2)

Besarnya torsi yang dibutuhkan untuk mengencangkan baut dapat dihitung dengan menggunakan formula sebagai berikut :

$$T = K \times F_i \times d \quad (22)$$

dimana : F_i = pembebanan awal (preload) (N)

T = torsi (Nm)

K = konstanta, tergantung pada ukuran dan bahan baut

Tabel 9 Values for the constant *K* for determining the torque required to tighten a bolt

Conditions	*K*
¼ to 1 inch mild steel bolts	0.2
Non-plated black finish steel bolts	0.3
Zinc plated steel bolts	0.2
Lubricated steel bolts	0.18
Cadmium plated steel bolts	0.16

Source: Oberg *et al.*, 1996.

Contoh 5.

An M10 bolt has been selected for a re-useable application. The proof stress of the low carbon steel bolt material is 310 MPa. Determine the recommended preload on the bolt and the torque setting.

Penyelesaian:

Dari tabel 6 diperoleh picth untuk baut M10 adalah 1.5 mm.

$d_p = 10 - (0.649519 \times 1.5) = 9.026$ mm

$d_r = 10 - (1.226869 \times 1.5) = 8.160$ mm

$A_t = \frac{\pi}{16}(9.026 + 8.160)^2 = 57.99\ mm^2 = 57.99 \times 10^{-6}\ m^2$

Untuk re-useable joint, preload yang direkomendasikan adalah :

$$F_i = 0.75 A_t \sigma_p$$

$$= 0.75 \times 57.99 \times 10^{-6} \times 310 \times 10^{6}$$

$$= 13482.68 \text{ N} = 13.48 \text{ kN}$$

Dari tabel 9, K = 0.2 sehingga torsi yang dibutuhkan adalah :

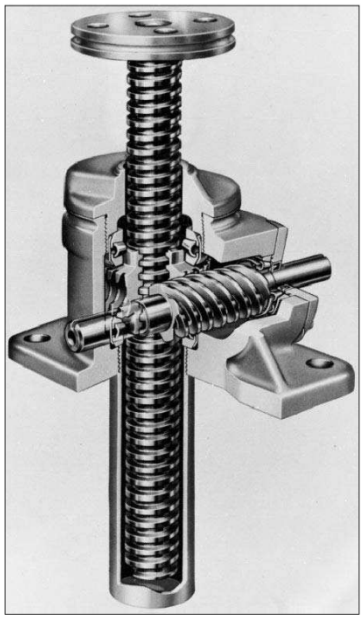
$$T = K \times F_i \times d$$

$$= 0.2 \times 13482.68 \times 0.01$$

$$= 26.96 \text{ Nm}$$

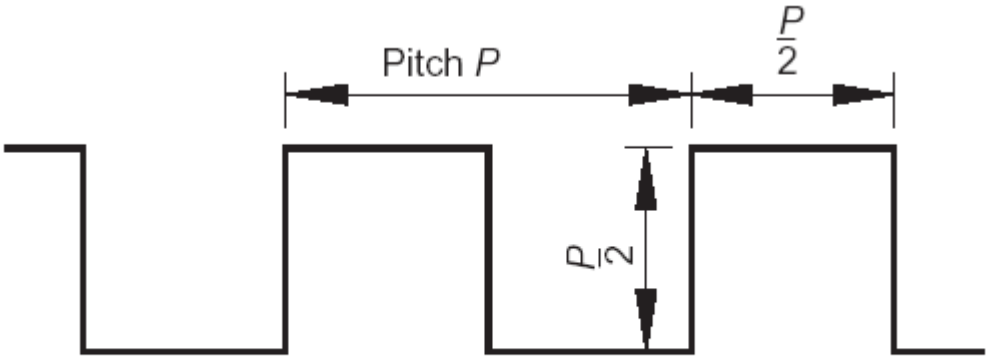
2. Efisiensi Ulir Sekrup

Ulir sekrup banyak dimanfaatkan alat-alat bantu yang kita gunakan pada kehidupan sehari-hari. Prinsip kerja ulir sekrup ini adalah mengubah gerak rotasi menjadi gerak lurus(translasi) dan biasanya disertai dengan pengiriman daya(power). Aplikasi alat bantu yang menggunakan ulir sekrup antara lain adalah dongkrak seperti pada gambar 21.

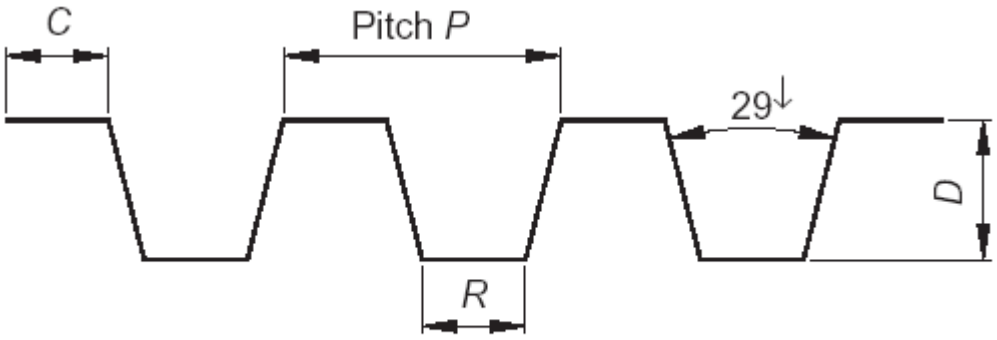


Gambar 21. Prinsip kerja dongkrak menggunakan ulir sekrup

Untuk keperluan pesawat sederhana lebih cocok ulir yang digunakan adalah ulir kotak(square thread) dan ulir Acme yang bentuknya dapat dilihat pada gambar 22 dan 23



Gambar 22 Square thread.



Gambar 23 Acme thread.

Beberapa besaran penting pada ulir sekrup adalah sebagai berikut ini :

1. Torsi yang diperlukan untuk pengangkatan beban.

   Untuk ulir kotak :

$$T_u = \frac{F\, d_p\, (\mu\, \pi\, d_p + L)}{2(\pi\, d_p - \mu\, L)} + \mu_c\, F\, \frac{d_c}{2} \qquad (23)$$

   Untuk ulir acme :

$$T_u = \frac{F\, d_p\, (\mu\, \pi\, d_p + L \cos\alpha)}{2(\pi\, d_p \cos\alpha - \mu\, L)} + \mu_c\, F\, \frac{d_c}{2} \qquad (24)$$

2. Torsi yang diperlukan untuk penurunan beban.

   Untuk ulir kotak :

$$T_d = \frac{F\, d_p\, (\mu\, \pi\, d_p - L)}{2(\pi\, d_p + \mu\, L)} + \mu_c\, F\, \frac{d_c}{2} \qquad (25)$$

   Untuk ulir acme :

$$T_d = \frac{F\, d_p\, (\mu\, \pi\, d_p - L \cos\alpha)}{2(\pi\, d_p \cos\alpha + \mu\, L)} + \mu_c\, F\, \frac{d_c}{2} \qquad (26)$$

3. Efisiensi ulir sekrup.

$$\eta = \frac{F\, L}{2\, \pi\, T} \qquad (27)$$

Dimana : F = beban/gaya (N)

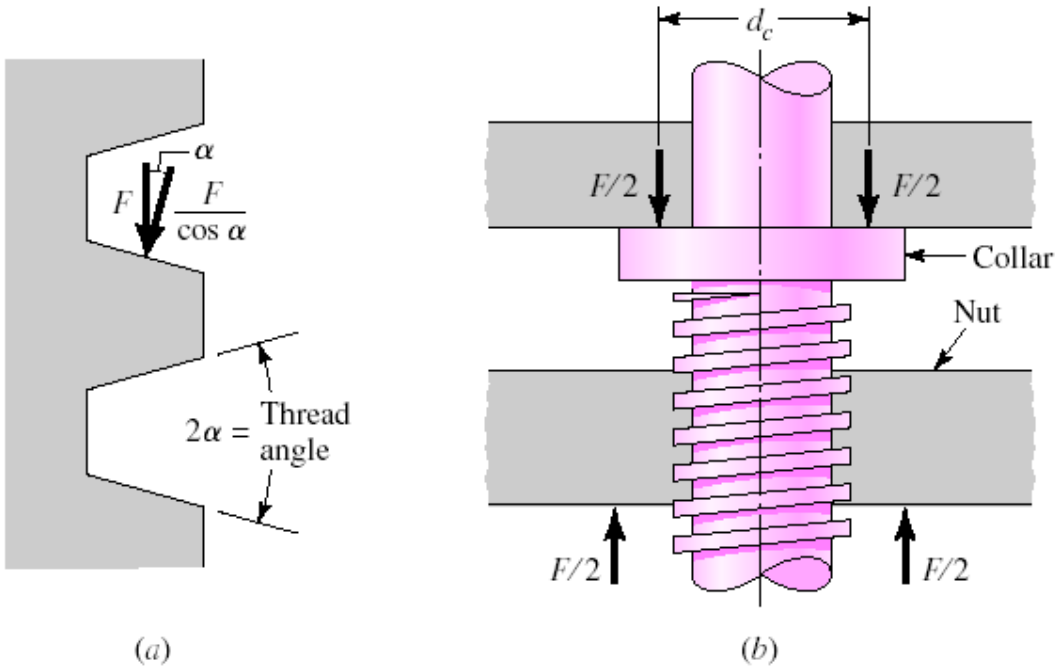
L = lead(m)

d_c = diameter kerah(collar diameter) (m)

μ = koefisien gesek antara ulir dan baut

μ_c = koefisien gesekan pada collar

α = sudut(lihat gambar 24)



Gambar 24

BAB IV
POROS DAN PASAK

Poros merupakan salah satu bagian yang terpenting dari setiap mesin. Hampir semua mesin meneruskan tenaga bersama-sama dengan putaran. Peranan utama dalam transmisi seperti itu dipegang oleh poros. Dalam bab ini akan dibicarakan hal poros penerus daya dan pasak yang dipakai untuk meneruskan momen dari atau kepada poros.

1. Macam-macam poros.

Poros untuk meneruskan daya diklasifikasikan menurut pembebanannya sebagai berikut :

- Poros transmisi.

  Poros macam ini mendapat beban puntir murni atau puntir dan lentur. Daya ditransmisikan kepada poros ini melalui kopling, roda gigi, puli, sabuk atau sproket rantai.

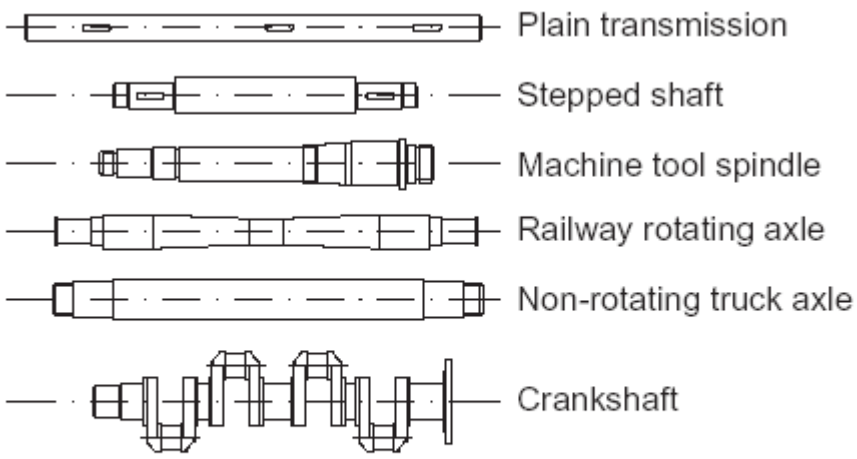
- Spindel.

  Poros transmisi yang relatif pendek seperti poros utama mesin perkakas dimana beban utamanya berupa puntiran, disebut spindel. Syarat yang harus dipenuhi poros ini adalah deformasinya harus kecil dan bentuk serta ukurannya harus teliti.

- Gandar.

  Poros seperti yang dipasang di antara roda-roda kereta barang, dimana tidak mendapat beban puntir, bahkan kadang-kadang tidak boleh berputar, disebut gandar. Gandar ini hanya mendapat beban lentur, kecuali jika digerakkan oleh penggerak mula dimana akan mengalami bendan puntir juga.

Menurut bentuknya poros dapat digolongkan seperti pada gambar 25 berikut ini.



Gambar 25 Typical shaft arrangements (adapted from Reshetov, 1978).

2. Hal-hal Penting Dalam Perencanaan Poros.

Untuk merencanakan sebuah poros, hal-hal berikut ini perlu diperhatikan.

- Kekuatan poros.

Suatu poros transmisi dapat mengalami beban puntir atau lentur atau gabungan antara puntir dan lentur. Selain itu ada juga poros yang mendapat beban tarik atau tekan seperti poros baling-baling kapal atau turbin.Kelelahan, tumbukan, atau pengaruh konsentrasi tegangan bila diameter poros diperkecil(poros berongga) atau bila poros mempunyai alur pasak, harus diperhatikan. Sebuah poros harus direncanakan hingga cukup kuat untuk menahan beban-beban di atasnya.

- Kekakuan poros.

Meskipun sebuah poros mempunyai kekuatan yang cukup tetapi jika lenturan atau defleksi puntirnya terlalu besar akan mengakibatkan ketidak-efektifan atau getaran dan suara. Oleh karena itu disamping kekuatan poros, kekakuannya juga harus diperhatikan dan disesuaikan dengan macam mesin yang akan dilayani poros tersebut.

- Putaran kritis.

Bila putaran suatu mesin dinaikkan pada suatu harga putaran tertentu dapat terjadi getaran yang luar biasa besarnya. Putaran ini disebut putaran kritis. Hal ini dapat terjadi pada turbin, motor torak, motor listrik dan dapat mengakibatkan kerusakan pada poros dan bagian-bagian lainnya. Jika mungkin poros harus direncanakan sedemikian rupa hingga putaran kerjanya lebih rendah dari putaran kritisnya.

- Korosi.

Bahan-bahan tahan korosi(termasuk plastik) harus dipilih untuk poros propeler dan pompa bila terjadi kontak dengan fluida yang korosif. Demikian pula untuk poros-poros yang terancam kavitasi dan poros-poros mesin yang sering berhenti lama. Sampai batas-batas tertentu dapat pula dilakukan perlindungan terhadap korosi.

- Bahan poros.

Berikut ini disajikan beberapa tabel yang memperlihatkan bahan-bahan yang cocok untuk pembuatan poros.

Tabel 10. Baja karbon untuk konstruksi mesin dan baja batang yang difinish dingin untuk poros

Standar dan macam	Lambang	Perlakuan panas	Kekuatan tarik(kg/mm^2)	Keterangan
Baja karbon konstruksi mesin(JIS G 4501)	S30C S35C S40C S45C S50C S55C	Penormalan Penormalan Penormalan Penormalan Penormalan Penormalan	48 52 55 58 62 66	
Batang baja yang difinis dingin	S35C-D S45C-D S55C-D	- - -	53 60 72	Ditarik dingin, digerinda, dibubut, atau gabungan antara hal-hal tersebut

Tabel 11. Baja paduan untuk poros

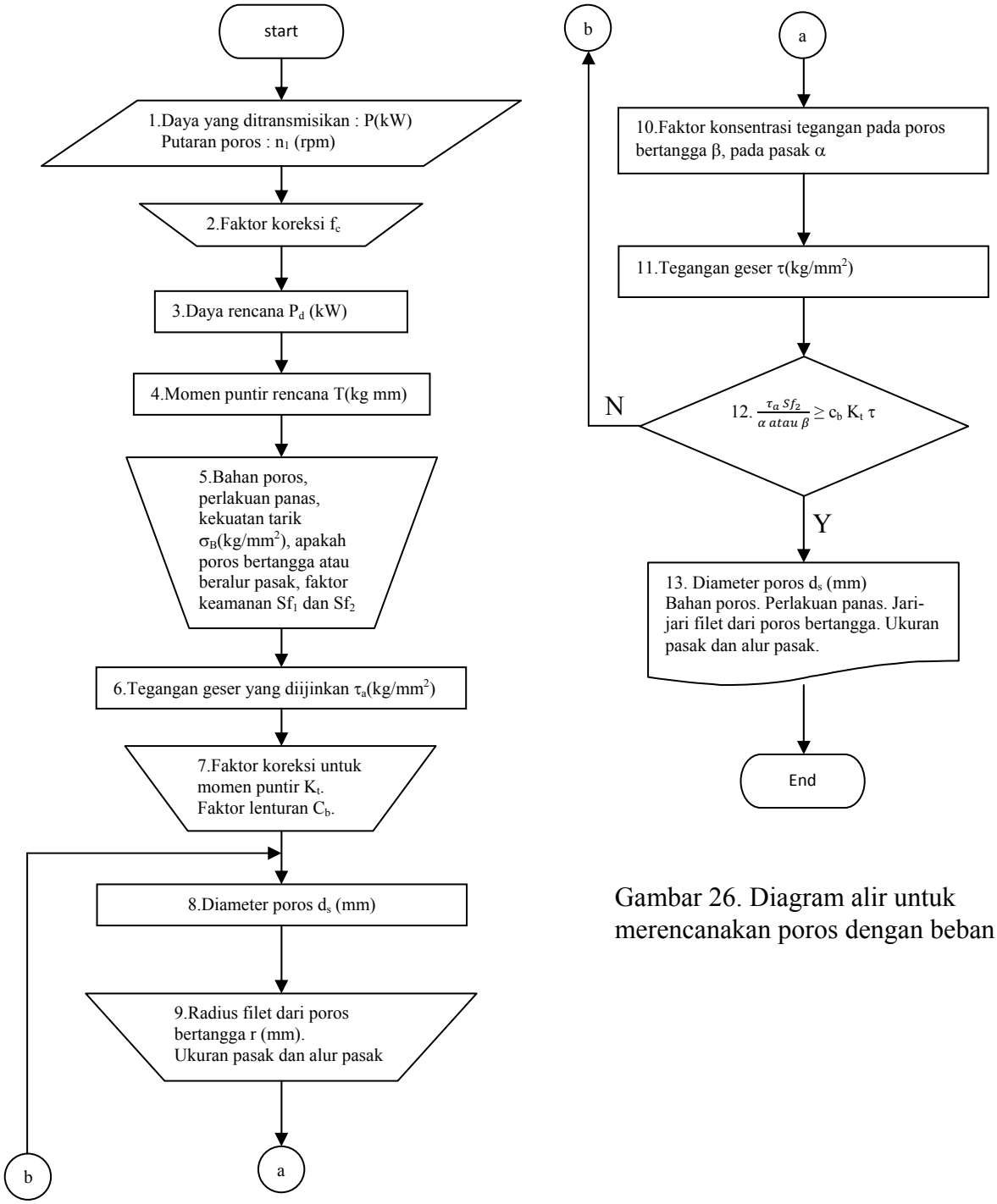
Standar dan macam	Lambang	Perlakuan panas	Kekuatan tarik(kg/mm^2)
Baja khrom nikel(JIS G 4102)	SNC 2	-	85
	SNC 3	-	95
	SNC21	Pengerasan kulit	80
	SNC22	Pengerasan kulit	100
Baja khrom nikel molibden(JIS G 4103)	SNCM 1	-	85
	SNCM 2	-	95
	SNCM 7	-	100
	SNCM 8	-	105
	SNCM22	Pengerasan kulit	90
	SNCM23	Pengerasan kulit	100
	SNCM25	Pengerasan kulit	120
Baja khrom(JIS G 4104)	SCr 3	-	90
	SCr 4	-	95
	SCr 5	-	100
	SCr21	Pengerasan kulit	80
	SCr22	Pengerasan kulit	85
Baja khrom molibden(JIS G 4105)	SCM 2	-	85
	SCM 3	-	95
	SCM 4	-	100
	SCM 5	-	105
	SCM21	Pengerasan kulit	85
	SCM22	Pengerasan kulit	95
	SCM23	Pengerasan kulit	100

Tabel 12. Bahan poros untuk kendaraan rel

Kelas		Lambang	Pemakaian utama	Perlakuan panas	Batas mulur(kg/mm^2)	Kekuatan tarik(kg/mm^2)
Kelas 1	A	SFA 55A	Poros pengikut	Penormalan atau celup dingin dan pelunakan	28	55
	B	SFA 55B				
Kelas 2	A	SFA 60A	Gandar yang digerakkan dan poros pengikut		30	60
	B	SFA 60B				
Kelas 3	A	SFA 65A		Celup dingin dan pelunakan	35	65
	B	SFA 65B				
Kelas 4	A	SFAAQA		Celup dingin dan pelunakan pada bagian tertentu	30	60
	B	SFAQB				

3. Poros Dengan Beban Puntir

Berikut ini akan dibahas rencana sebuah poros yang mendapat pembebanan utama berupa torsi, seperti pada poros motor dengan sebuah kopling.



Gambar 26. Diagram alir untuk merencanakan poros dengan beban ulir

Pertama kali, ambillah suatu kasus dimana daya P (kW) harus ditransmisikan dan putaran poros n_1 (rpm) diberikan. Dalam hal ini perlu dilakukan pemeriksaan terhadap daya P tersebut. Jika P adalah daya rata-rata yang diperlukan maka harus dibagi dengan efisiensi mekanis η dari sistem transmisi untuk mendapatkan daya penggerak mula yang diperlukan. Jika P adalah daya nominal output dari motor penggerak maka berbagai macam faktor keamanan biasanya dapat diambil dalam perencanaan sehingga koreksi pertama dapat diambil kecil. Besarnya faktor koreksi ditunjukkan tabel 13. Daya rencana P_d (kW) dihitung sebagai berikut :

$$P_d = f_c \times P \text{ (kW)} \qquad (28)$$

Tabel 13. Faktor-faktor koreksi daya yang akan ditransmisikan f_c

Daya yang akan ditransmisikan	f_c
Daya rata-rata yang diperlukan	1,2 – 2,0
Daya maksimum yang diperlukan	0,8 – 1,2
Daya normal	1,0 – 1,5

Jika momen puntir (disebut juga sebagai momen rencana) adalah T (kg mm) maka

$$T = 9{,}74 \times 10^5 \frac{P_d}{n_1} \qquad (29)$$

Bila momen rencana T dibebankan pada suatu diameter poros d_s (mm), maka tegangan geser τ (kg/mm^2) yang terjadi adalah :

$$\tau = \frac{5{,}1\ T}{d_s^3} \qquad (30)$$

Tegangan geser yang diijinkan τ_a (kg/mm^2) untuk pemakaian umum pada poros dapat diperoleh dengan rumus berikut :

$$\tau_a = \frac{\sigma_B}{Sf_1 \ x \ Sf_2} \qquad (31)$$

Dimana :

σ_B = kekuatan tarik (kg/mm^2)

Sf_1 = Faktor keamanan karena pengaruh kelelahan puntir, 5,6 untuk bahan SF dan 6,0 untuk bahan S-C dan baja paduan.

Sf_1 = Faktor keamanan karena pengaruh konsentrasi tegangan yang diakibatkan oleh alur pasak, antara 1,3 – 3,0.

Kemudian keadaan momen puntir itu sendiri juga harus ditinjau. Faktor koreksi yang dianjurkan oleh ASME digunakan di sini. Faktor ini dinyatakan dengan K_t, dipilih sebesar 1,0 jika beban dikenakan secara halus, 1,0 – 1,5 jika terjadi sedikit kejutan atau tumbukan, dan 1,5 – 3,0 jika beban dikenakan dengan kejutan atau tumbukan besar.

Meskipun dalam perkiraan sementara ditetapkan bahwa beban hanya terdiri atas momen puntir saja, perlu ditinjau pula apakah ada kemungkinan pemakaian dengan beban lentur di masa pendatang. Jika memang diperkirakan akan terjadi pemakaian dengan beban lentur maka dapat dipertimbangkan pemakaian faktor C_b yang harganya antara 1,2 – 2,3. Jika diperkirakan tidak akan terjadi pembebanan lentur maka C_b = 1,0. Diameter poros dihitung menggunakan rumus sebagai berikut :

$$d_s = \left[\frac{5,1}{\tau_a} K_t C_b T\right]^{\frac{1}{3}} \quad (32)$$

Diameter poros harus dipilih dari tabel 14 berikut ini.

Tabel 14. Diameter poros standar (satuan mm)

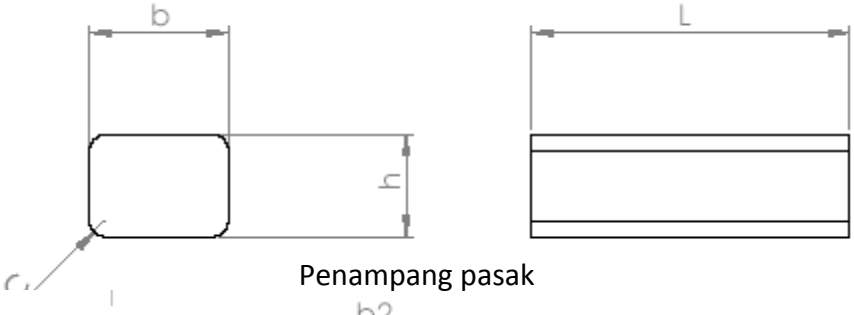
4	10	*22,4	40	100	*224	400
		24		(105)	240	
	11	25	42	110	250	420
					260	440
4,5	*11,2	28	45	*112	280	450
	12	30		120	300	460
		*31,5	48		*315	480
5	*12,5	32	50	125	320	500
				130	340	530
		35	55			
*5,6	14	*35,5	56	140	*355	560
	(15)			150	360	

6	16	38	60	160	380	600
	(17)			170		
*6,3	18		63	180		630
	19			190		
	20			200		
	22		65	220		
7			70			
*7,1			71			
			75			
8			80			
			85			
9			90			
			95			

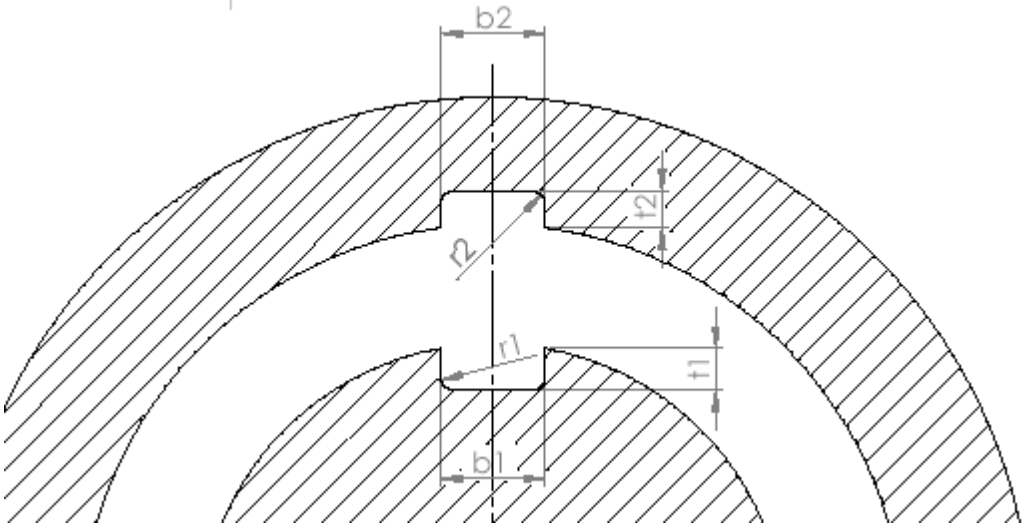
Tanda * menyatakan bahwa bilangan yang bersangkutan dipilih dari bilangan standar.
Bilangan di dalam kurung hanya dipakai untuk bagian dimana akan dipasang bantalan gelinding.

4. Pasak dan Alur Pasak.

Selanjutnya ukuran pasak dan alur pasak dapat ditentukan dari tabel 15 berikut ini.



Penampang pasak



Penampang alur pasak

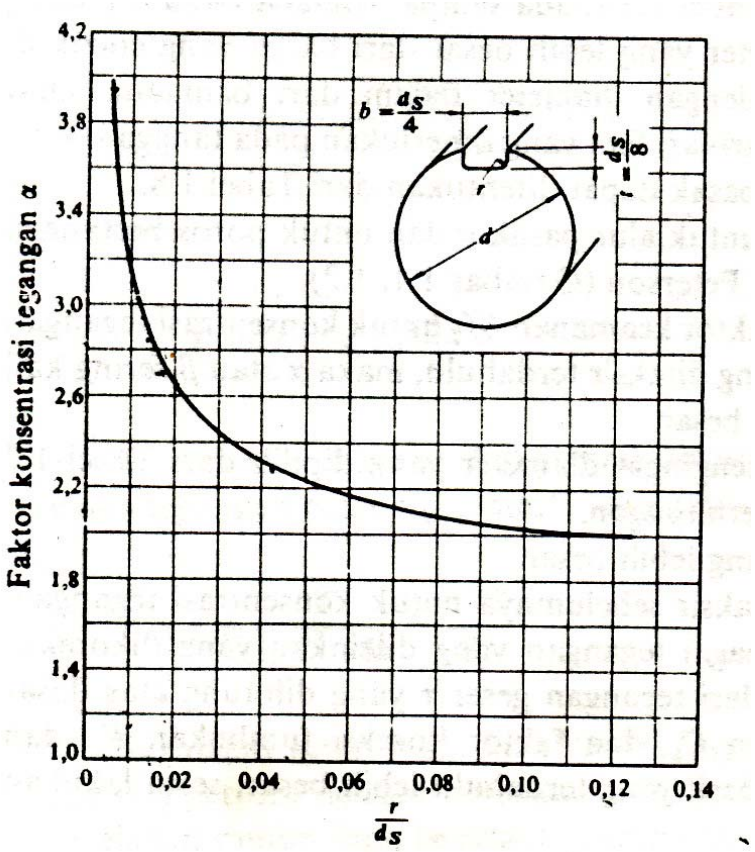
Tabel 15. Ukuran-ukuran utama pasak dan alir pasak (satuan mm)

Ukuran nominal pasak b x h	Ukuran standar b, b_1, dan b_2	Ukuran standar h		C	L	Ukuran standar t_1	Ukuran standar t_2			r_1 dan r_2	Diameter poros
		Pasak prismatis Pasak luncur	Pasak tirus				Pasak prismatis	Pasak luncur	Pasak tirus		
2 x 2	2	2		0,16-0,25	6-20	1,2	1,0		0,5	0,08-0,16	6-8
3 x 3	3	3			6-36	1,8	1,4		0,9		8-10
4 x 4	4	4			8-45	2,5	1,8		1,2		10-12
5 x 5	5	5		0,25-0,40	10-56	3,0	2,3		1,7	0,16-0,25	12-17
6 x 6	6	6			14-70	3,5	2,8		2,2		17-22
7 x 7	7	7	7,2		16-80	4,0	3,0	3,5	3,0		20-25
8 x 7	8	7			18-90	4,0	3,3		2,4		22-30
10 x 8	10	8		0,40-0,60	22-110	5,0	3,3		2,4	0,25-0,40	30-38
12 x 8	12	8			28-140	5,0	3,3		2,4		38-44
14 x 9	14	9			36-160	5,5	3,8		2,9		44-50
15 x 10	15	10	10,2		40-180	5,0	5,0	5,5	5,0		50-55
16 x 10	16	10			45-180	6,0	4,3		3,4		50-58
18 x 11	18	11			50-200	7,0	4,4		3,4		58-65
20 x 12	20	12		0,60-0,80	56-220	7,5	4,9		3,9	0,40-0,60	65-75
22 x 14	22	14			63-250	9,0	5,4		4,4		75-85
24 x 16	24	16	16,2		70-280	8,0	8,0	8,5	8,0		80-90
25 x 14	25	14			70-280	9,0	5,4		4,4		85-95
28 x 16	28	16			80-320	10,0	6,4		5,4		95-110
32 x 18	32	18			90-360	11,0	7,4		6,4		110-130

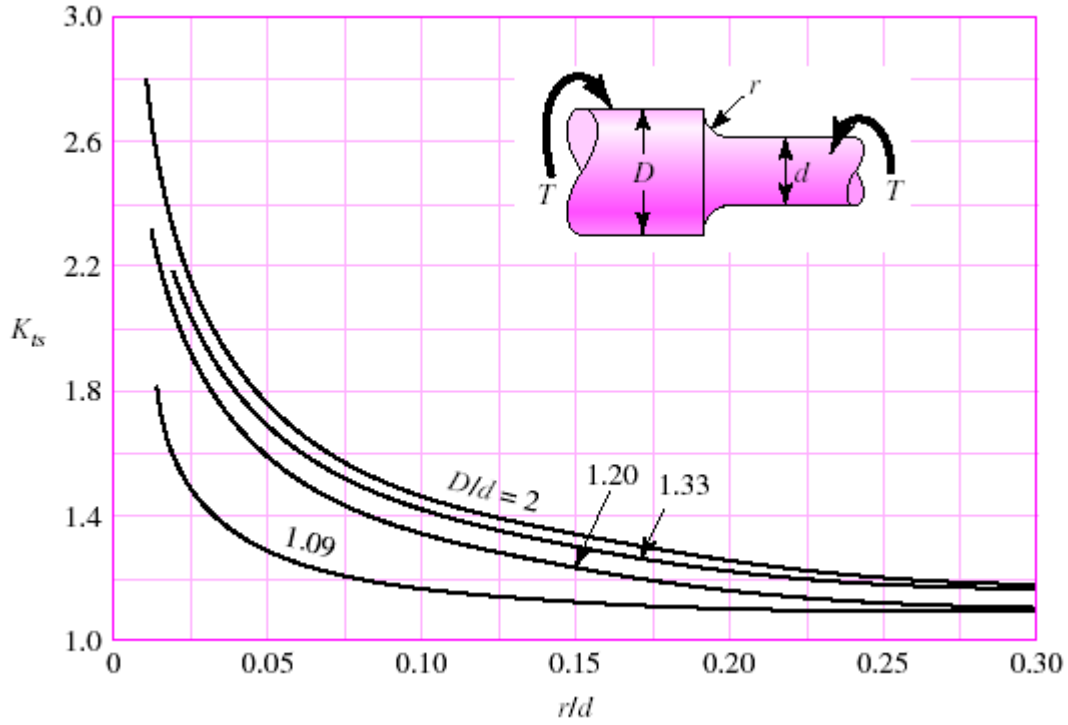
Harga faktor konsentrasi tegangan untuk alur pasak α dan untuk poros bertangga β dapat diperoleh dari diagram R. E. Peterson (gambar 27 dan 28). Bila α atau β dibandingkan dengan faktor keamanan sf_2 untuk konsentrasi tegangan pada poros bertangga atau alur pasak yang diasumsikan terdahulu, maka α atau β sering kali menghasilkan diameter poros yang lebih besar. Periksalah perhitungan tegangan, mengingat diameter yang dipilih dari tabel 14 lebih besar dari d_s yang diperoleh dari perhitungan. Bandingkan α atau β, dan pilihlah yang lebih besar.

Lakukan koreksi pada sf_2 yang diasumsikan sebelumnya untuk konsentrasi tegangan dengan mengambil $\frac{\tau_a \, Sf_2}{\alpha \; atau \; \beta}$ sebagai tegangan yang diijinkan yang dikoreksi.

Bandingkan harga ini dengan c_b K_t τ dari tegangan geser yang dihitung atas dasar poros tanpa alur pasak, faktor lenturan, dan faktor koreksi tumbukan, dan tentukan masing-masing harganya jika hasil yang terdahulu lebih besar serta lakukan penyesuaian jika lebih kecil.



Gambar 27. Faktor konsentrasi tegangan α untuk pembebanan puntir statis dari suatu poros bulat dengan alur pasak persegi yang diberi filet.



Gambar 28. Faktor konsentrasi tegangan β untuk pembebanan puntir statis dari suatu poros bulat dengan pengecilan diameter yang diberi filet

Contoh

Tentukan diameter sebuah poros bulat untuk meneruskan daya 10 kW pada 1450 rpm. Disamping beban puntir, diperkirakan pula akan dikenakannya beban lentur. Sebuah alur pasak perlu dibuat dan dalam sehari akan bekerja selama 8 jam dengan tumbukan ringan. Bahan diambil baja batang difinis dingin S45C.

Penyelesaian :

1. P = 10 kW, n_1 = 1450 rpm.
2. f_c = 1,0
3. P_d = 1,0 x 10 = 10 kW.
4. T = 9,74 x $10^5 \frac{10}{1450}$ = 6717 kg.mm
5. S45C, σ_B = 58 kg/mm^2, sf_1 = 6,0 dan sf_2 = 2,0.
6. $\tau_a = \frac{58}{6{,}0\ x\ 2{,}0}$ = 4,83 kg/mm^2
7. C_b = 2,0 dan K_t = 1,5
8. $d_s = \left[\frac{5{,}1}{4{,}83}\ x\ 1{,}5\ x\ 2{,}0\ x\ \ 6717\right]^{\frac{1}{3}}$ = 27,2 mm ≈ 28 mm
9. Anggaplah diameter bagian yang menjadi tempat bantalan adalah 30 mm

   Jari-jari filet = (30 – 28)/2 = 1,0 mm

   Alur pasak 7 x 4 x filet 0,4.
10. Konsentrasi tegangan pada poros bertangga adalah

    1,0/28 = 0,034 ; 30/28 = 1,07 ; β = 1,37

    Konsentrasi tegangan pada poros dengan alur pasak adalah

    0,4/28 = 0,014 ; α = 2,8 ; $\alpha > \beta$
11. $\tau = \frac{5{,}1\ \ x\ 6717}{28^3}$ = 1,56 kg/mm^2
12. 4,83 x 2,0/2,8 = 3,45 kg/mm^2

    1,56 x 2,0 x 1,5 = 4,68 kg/mm^2

$\therefore \frac{\tau_a \, Sf_2}{\alpha \, atau \, \beta}$ < c_b K_t τ berarti kembali ke no 8.

8’ anggaplah diameter d_s = 31,5 mm

9’ Diameter bagian bantalan 35 mm

Jari-jari filet = (35 – 31,5)/2 = 1,75 mm

Alur pasak 10 x 4,5 x filet 0,6.

10’ Konsentrasi tegangan pada poros bertangga adalah

1,75/31,5 = 0,056 ; 35/31,5 = 1,11 ; β = 1,30

Konsentrasi tegangan pada poros dengan alur pasak adalah

0,6/31,5 = 0,019 ; α = 2,7 ; $\alpha > \beta$

11’ $\tau = \frac{5{,}1 \;\; x \; 6717}{31{,}5^3}$ = 1,10 kg/mm^2

12’ 4,83 x 2,0/2,7 = 3,58 kg/mm^2

1,10 x 2,0 x 1,5 = 3,3 kg/mm^2

$\therefore \frac{\tau_a \, Sf_2}{\alpha \, atau \, \beta}$ ≥ c_b K_t τ berarti baik.

13. d_s = 31,5 mm

bahan S45C

diameter poros : ∅31,5 x ∅35

Jari-jari filet 1,75 mm

Pasak 10 x 8

Alur pasak 10 x 4,5 x 0,6

DAFTAR PUSTAKA

Beer, Ferdinand P. & Johston, E. Russel Jr., 1987, Mekanika Untuk Insinyur : STATKA, edisi keempat, Penerbit Erlangga.

Budynas-Nisbett, 2006, Mechanical Engineering Shigley's Mechanical Engineering Design, 8th ed, McGraw-Hill.

Childs, Peter R. N., 2004, Mechanical Design, 2nd ed, Elsevier.

Sularso & Suga, Kiyokatsu, 1983, Dasar Perencanaan dan Pemilihan Elemen Mesin, PT. Prandnya Paramita.