

GLOSARIUM

Balok elemen struktur linier horizontal yang akan melendut akibat beban transversal.

Balok perber balok yang memiliki lebih dari dua tumpuan, rangkaian dari beberapa balok statis tertentu.

Beban suatu gaya yang bekerja dari luar.

Beban hidup semua beban yang terjadi akibat pemakaian dan penghunian suatu gedung, termasuk beban-beban pada lantai yang berasal dari barang-barang yang dapat berpindah dan/atau beban akibat air hujan pada atap.

Beban mati berat semua bagian dari suatu gedung yang bersifat tetap, termasuk segala beban tambahan, finishing, mesin-mesin serta peralatan tetap yang merupakan bagian yang tak terpisahkan dari gedung tersebut.

Beton suatu material komposit yang terdiri dari campuran beberapa bahan batu-batuan yang direkatkan oleh bahan-ikat, yaitu dibentuk dari agregat campuran (halus dan kasar) dan ditambah dengan pasta semen (semen + air) sebagai bahan pengikat.

Beton Bertulang beton yang diperkuat dengan tulangan, didesain sebagai dua material berbeda yang dapat bekerja bersama untuk menahan gaya yang bekerja padanya.

Beton struktural beton yang digunakan untuk menahan beban atau untuk membentuk suatu bagian integral dari suatu struktur. Fungsinya bertawanan dengan beton insulasi (insulating concrete).

Bracing konfigurasi batang-batang kaku yang berfungsi untuk menstabilkan struktur terhadap beban lateral.

Daktilitas adalah kemampuan struktur atau komponennya untuk melakukan deformasi inelastis bolak-balik berulang di luar batas titik leleh pertama, sambil mempertahankan sejumlah besar kemampuan daya dukung bebannya.

Defleksi lendutan balok akibat beban.

Dinding geser (shear wall, structural wall) dinding beton dengan tulangan atau pra-tegang yang mampu menahan beban dan tegangan, khususnya tegangan horizontal akibat beban gempa.

Faktor reduksi suatu faktor yang dipakai untuk mengalikan kuat nominal untuk mendapatkan kuat rencana.

Gaya tarik, gaya yang mempunyai kecenderungan untuk menarik elemen hingga putus.

Gaya tekan, gaya yang cenderung untuk menyebabkan hancur atau tekuk pada elemen. Fenomena ketidakstabilan yang menyebabkan elemen tidak dapat menahan beban lambatan sedikitpun bisa terjadi tanpa kelebihan pada material disebut tekuk (buckling).

Gaya lintang, gaya yang bekerja tegak lurus dengan sumbu batang.

Gaya normal, gaya yang bekerja sejajar dengan sumbu batang.

Geser, keadaan gaya yang berkaitan dengan aksi gaya-gaya berlawanan arah yang menyebabkan satu bagian struktur tergelincir terhadap bagian di dekatnya. Tegangan geser umumnya terjadi pada balok.

Girder, susunan gelagar-gelagar yang biasanya terdiri dari kombinasi balok besar (induk) dan balok yang lebih kecil (anak balok).

Goyangan (Sideways), fenomena yang terjadi pada rangka yang memikul beban vertikal. Bila suatu rangka tidak berbentuk simetris, atau tidak dibebani simetris, struktur akan mengalami goyangan (translasi horisontal) ke salah satu sisi.

Jarak momen, letak dari suatu titik tertentu tegak lurus terhadap gaya.

Kolom, elemen struktur linier vertikal yang berfungsi untuk menahan beban tekan aksial.

Komposit, tipe konstruksi yang menggunakan elemen-elemen yang berbeda, misalnya beton dan baja, atau menggunakan kombinasi beton cast-in situ dan pre-cast, dimana komponen yang dikombinasikan tersebut bekerja bersama sebagai satu elemen struktural.

Kuat nominal, kekuatan suatu komponen struktur atau penampang yang dihitung berdasarkan ketentuan dan asumsi metode perencanaan sebelum dikalikan dengan nilai faktor reduksi kekuatan yang sesuai.

Kuat perlu, kekuatan suatu komponen struktur atau penampang yang diperlukan untuk menahan beban terfaktor atau momen dan gaya dalam yang berkaitan dengan beban tersebut dalam suatu kombinasi seperti yang ditetapkan dalam tata cara ini.

Kuat rencana, kuat nominal dikalikan dengan suatu faktor reduksi kekuatan ϕ .

Kuat tarik leleh, kuat tarik leleh minimum yang dinyatakan atau titik leleh dari tulangan dalam MPa.

Kuat tekan beton yang diyaratkan (f_c'), kuat tekan beton yang ditetapkan oleh perencana struktur (benda uji berbentuk silinder diameter 150 mm dan tinggi 300 mm), untuk dipakai dalam perencanaan struktur beton, dinyatakan dalam satuan MPa.

Lentur, keadaan gaya kompleks yang berkaitan dengan melenturnya elemen (biasanya balok) sebagai akibat adanya beban transversal. Aksi lentur menyebabkan serat-serat pada sisi elemen memanjang, mengalami tarik dan pada sisi lainnya akan mengalami tekan, keduanya terjadi pada penampang yang sama.

Modulus elastisitas, rasio tegangan normal tarik atau tekan terhadap regangan yang timbul akibat tegangan tersebut.

Momen, gaya memutar yang bekerja pada suatu batang yang dikenai gaya tegak lurus akan menghasilkan gaya putar (rotasi) terhadap titik yang berjarak tertentu di sepanjang batang. Momen adalah hasil perkalian dari gaya dengan jarak.

Momen lentur, momen yang bekerja pada batang yang mengakibatkan batang melengkung.

Momen puntir, momen yang bekerja sejajar dengan lampang melintang batang.

Momen kopel, momen pada suatu titik pada gelegar.

Mortar, campuran antara semen, agregat halus dan air yang telah mengeras.

Pondasi, bagian dari konstruksi bangunan bagian bawah (sub-structure) yang menyalurkan beban struktur dengan aman ke dalam tanah.

Rangka batang ruang, struktur rangka batang yang berbentuk tiga dimensional, membentuk ruang.

Rangka kaku, suatu rangka struktur yang gaya-gaya lateralnya dipikul oleh sistem struktur dengan sambungan-sambungannya direncanakan secara kaku dan komponen strukturnya direncanakan untuk memikul efek gaya aksial, gaya geser, lentur, dan torsi.

Rangka tanpa Bracing (Unbraced frame), sistem rangka dimana defleksi lateral yang terjadi padanya tidak ditahan oleh pengaku atau dinding geser (shear wall).

Resultan Gaya, jumlah gaya-gaya yang bekerja pada suatu konstruksi.

Sendi gerber, sendi yang digunakan sebagai penghubung antar balok.

Sengkang, tulangan yang digunakan untuk menahan tegangan geser dan torsi dalam suatu komponen struktur.

Spesi-beton, campuran antara semen, agregat campuran (halus dan kasar) dan air yang belum mengeras

Spesi-mortar, campuran antara semen, agregat halus dan air yang belum mengeras

Struktur bangunan, bagian dari sebuah sistem bangunan yang bekerja untuk menyalurkan beban yang diakibatkan oleh adanya bangunan di atas tanah

Struktur Balok dan Kolom (post and beam), sistem struktur yang terdiri dari elemen struktur horisontal (balok) diletakkan sederhana di atas dua elemen struktur vertikal (kolom) yang merupakan konstruksi dasar

Struktur Cangkang, bentuk struktural berdimensi tiga yang kaku dan tipis serta mempunyai permukaan lengkung

Struktur Grid, salah satu analogi struktur plat yang merupakan struktur bidang, secara khas terdiri dari elemen-elemen linier kaku panjang seperti balok atau rangka batang, dimana batang-batang tepi atas dan bawah terletak sejajar dengan titik hubung bersifat kaku

Sub-structure, struktur bagian bawah. Pada struktur jembatan merupakan bagian yang mendukung bentang horisontal

Super-structure, struktur bagian atas. Pada struktur jembatan, merupakan bagian struktur yang terdiri dari bentang horisontal

Tegangan, intensitas gaya per satuan luas

Tegangan tumpu (bearing stress), tegangan yang timbul pada bidang kontak antara dua elemen struktur, apabila gaya-gaya disalurkan dari satu elemen ke elemen yang lain. Tegangan-tegangan yang terjadi mempunyai arah tegak lurus permukaan elemen

Tegangan utama (principle stresses), interaksi antara tegangan lentur dan tegangan geser dapat merupakan tegangan normal tekan atau tarik, yang disebut sebagai tegangan utama

Tinggi efektif penampang (d), jarak yang diukur dari serat tekan terluar hingga titik beral tulangan tarik

Titik hubung (joint), titik pertemuan batang-batang elemen struktur, dimana titik ini merupakan pertemuan gaya-gaya yang terjadi pada elemen struktur tersebut

Torsi, puntiran yang timbul pada elemen struktur apabila padanya diberikan momen puntir langsung atau secara tak langsung. Tegangan tarik maupun tekan akan terjadi pada elemen yang mengalami torsi

Triangulasi, konfigurasi struktur segitiga yang bersifat stabil, tidak bisa berubah bentuk atau runtuh.

DAFTAR SINGKATAN

Av, reaksi vertikal pada titik tumpu A.

Bv, reaksi vertikal pada titik tumpu B.

Cv, reaksi vertikal pada titik tumpu C.

Ph, gaya horizontal dari gaya P yang miring.

Pv, gaya vertikal dari gaya P yang miring.

AH, reaksi horizontal pada titik tumpu A.

SFD, singkatan dari *Shearing Force Diagram* (gambar bidang gaya melintang).

BMD, singkatan dari *Bending Moment Diagram* (gambar bidang momen lentur).

ND, singkatan dari *Normal Diagram* (gambar bidang normal).

SNI, singkatan dari Standar Nasional Indonesia.

Sesi Perkuliahan ke : 2 - 4

I. Sasaran Pembelajaran:

Pada akhir pertemuan ini, diharapkan mahasiswa akan mampu :

1. Menjelaskan karakteristik gaya dan konstruksi
2. Menjelaskan muatan/beban dan titik berat massa
3. Menghitung resultan gaya, penguraian & penjumlahan gaya

II. Topik Kajian/Bahasan:

"GAYA & PENYUSUNANNYA"

III. Deskripsi singkat:

Dalam sesi ini Anda akan mempelajari dasar-dasar mekanika Teknik: Gaya serta keterkaitannya dengan konstruksi.

IV. Bahan Bacaan Utama

1. Frick, Heinz. (1979). *Mekanika Teknik I, Statika dan Penggunaannya*. Penerbit Kanisius, Yogyakarta.
2. Husin, Bustam. (1989). *Mekanika Teknik, Statis Tertentu*. Penerbit CV. Asana, Jakarta.
3. Sutarnan, E. (2013). *Konsep & Aplikasi Statika*. Yogyakarta: Penerbit Andi.
4. Suwarno (1989). *Mekanika Teknik, Statis Tertentu*. Penerbit UGM

V. Bahan Bacaan Pendukung

1. Schierle, G.G (2006). *Architectural Structures*. California: University of Southern.
2. Hunt, Tony (2003). *Tony Hunt's Structures Notebook*. Oxford: Elsevier, Architectural Press.
3. Pytel, Andrew & Kiusalaas, Jaan. (2010). *Engineering Mechanics Statics, Third Edition*. Canada: Cengage Learning.
4. Badenik, Branko S. (1999). *Analysis of Engineering Structures*. England: Horwood Publishing Chichester.

VI. Pertanyaan Kunci/Tugas

Pada saat Anda membaca materi berikut, gunakanlah pertanyaan-pertanyaan berikut ini untuk memandu Anda.

1. Jelaskan pengertian gaya & jenis-jenis gaya
2. Jelaskan muatan/beban dan titik berat massa
3. Latihan menentukan resultan gaya & titik tangkap gaya secara analitis & grafis

GAYA DAN PENYUSUNANNYA

A. Gaya

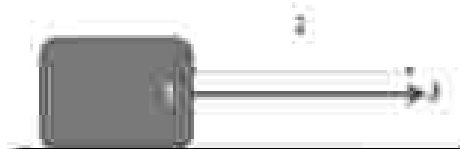
Gaya adalah penyebab yang mengubah sesuatu benda dari keadaan diam menjadi bergerak, atau sebaliknya. Contoh bila seseorang menarik sebuah benda dengan benang/tali, maka benda tersebut telah mendapatkan gaya sehingga benda itu berpindah.



Gambar 2.2.1. Prinsip gaya

Sumber: Husin, 1989

Gaya pada mekanika teknik dapat diartikan sebagai beban yang bekerja pada suatu konstruksi. Gaya merupakan besaran vektor atau aksi sebuah benda terhadap benda lain yang umumnya ditentukan oleh titik tangkap (kerja), besar dan arah. Sebuah gaya mempunyai besar, arah dan titik tangkap tertentu yang digambarkan dengan anak panah. Makin panjang anak panah makin besar gayanya.



Keterangan:

1. Titik tangkap
2. Besar gaya
3. Arah gaya

Gambar 2.2.2. Unsur-unsur gaya

Sumber: Husin, 1989

Garis yang dilalui gaya disebut garis kerja gaya. Titik tangkap suatu gaya yang bekerja pada benda dapat dipindahkan sepanjang garis kerjanya.



Gambar 2.2.3. Garis kerja gaya

Sumber: Husin, 1989

1. Sistem Gaya

Gaya dalam pengertian Mekanika Teknik adalah muatan pada suatu konstruksi yang dinyatakan dengan sepotong garis. Garis tersebut mempunyai:

a. Besaran, Arah dan Titik Tangkap.

- Gaya dalam garis dijumlahkan secara aljabar
- Gaya dalam bidang dijumlahkan secara vektor

b. Jenis Gaya

- Gaya Kolinier :

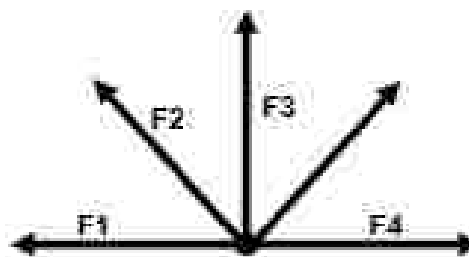
gaya-gaya yang garis kerjanya terletak pada satu garis lurus



Gambar 2.2.4. Gaya kolinier

- Gaya Konkuren

gaya-gaya yang garis kerjanya berpotongan pada satu titik.



Gambar 2.2.5. Gaya konkuren

c. Sifat gaya

- Gaya dapat dipindahkan sepanjang garis kerjanya dan tidak berubah sifatnya
 - Beberapa gaya dapat digantikan dengan satu (1) gaya pengganti yang disebut Resultan Gaya
 - Gaya boleh dipindahkan dan garis kerjanya apabila pada gaya tersebut ditambahkan suatu besaran kopel dan sifat gaya tidak berubah
 - Kopel adalah 2 buah gaya sejajar sama besarnya dan berlawanan arah
- Contoh gaya dipindahkan

d. Cara pembebanan

Berdasarkan cara pembebanan gaya terbagi menjadi tiga, yaitu:

- Gaya terpusat/beban terpusat

Contoh : beban orang, beban kolom

- Gaya terbagi

Contoh : beban pial beton, beban angin

- Terbagi rata
- Teratur
- Tidak teratur

- Gaya momen

Contoh : papan loncat indah, beban pial lantai

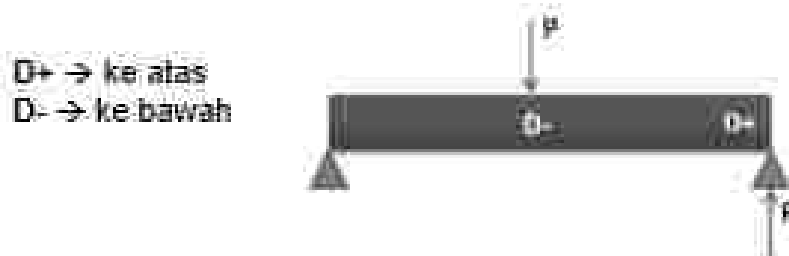
- Momen lentur
- Momen puntir

2. Gaya- Gaya dalam Elemen Struktur

Berdasarkan cara kerjanya gaya dapat dibagi atas "gaya luar" dan "gaya dalam"

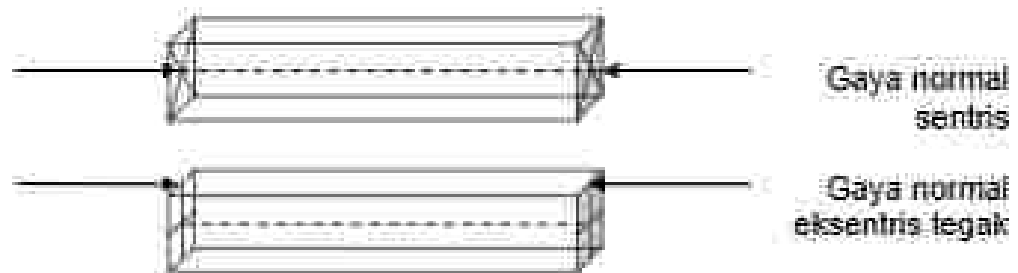
a. Gaya luar merupakan gaya yang bekerja di luar konstruksi. Gaya ini dapat berupa:

- Gaya vertikal atau Gaya Lintang atau gaya geser (S), adalah gaya yang tegak lurus terhadap sumbu balok.



Gambar 2.2.6. Gaya vertikal/gaya lintang

- Gaya horisontal atau Gaya Normal (N) adalah gaya yang bekerja tegak lurus pada bidang dan garis kerja searah atau sejajar sumbu batang/balok, disebut gaya *normal sentris*. Sedangkan jika gaya bekerja di luar garis kerja gaya, maka gaya normal disebut gaya *normal eksentris*.



Gambar 2.2.7. Gaya normal sentris & eksentris
Sumber: Sutarmen, 2013

Gaya normal tekan apabila gaya dalam arahnya menuju titik kumpul, bertanda negatif (-). Sebaliknya gaya normal tarik apabila gaya dalam arahnya ke luar dari titik kumpul, bertanda (+).



$N (+)$ → meninggalkan titik tinjau

$N (-)$ → menuju titik tinjau

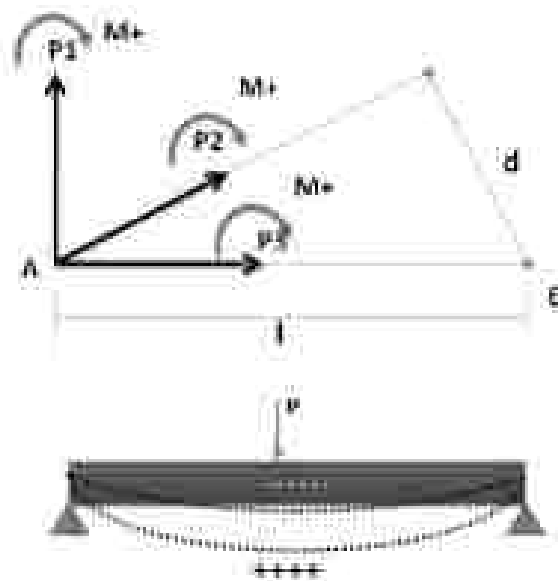


Gambar 2.2.8. Gaya normal tekan & tarik

- **Momen lentur (M).** Momen adalah suatu kejadian di mana aksi dan reaksi tidak dalam satu garis kerja. Besarnya momen adalah perkalian gaya berat (P) dengan jarak (l) dari gaya ke titik yang ditinjau. Satuan momen adalah satuan gaya dikali satuan jarak (kg cm, kg m, ton cm, ton m).

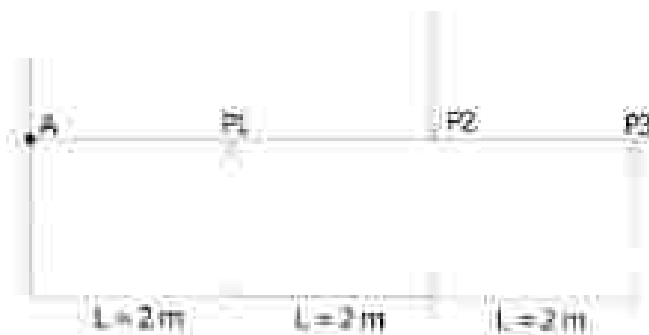
$$\begin{array}{ccccc} M & = & P & \times & l \\ \text{(t.m/kg.m)} & & \text{(ton/kg)} & & \text{(meter)} \end{array}$$

Momen disebut positif ($M+$) jika menyebabkan bendanya berputar menurut arah jarum jam, dan sebaliknya ($M-$) berlawanan arah jarum jam.



Gambar 2.2.9. Momen positif/negatif menentukan arah pelenturan yang terjadi

Contoh menghitung momen:



Gambar 2.2.10 Contoh menghitung momen

Diketahui : $P_1 = 100 \text{ kg}$, $P_2 = 40 \text{ kg}$ dan $P_3 = 80 \text{ kg}$

Hitung : M_A

$$\begin{aligned} \text{Penyelesaian : } M_A &= -P_1 \cdot 2 + P_2 \cdot 4 - P_3 \cdot 6 \\ &= -100 \cdot 2 + 40 \cdot 4 - 80 \cdot 6 \\ &= -200 + 160 - 480 \\ &= -520 \text{ kg}\cdot\text{m} \end{aligned}$$

• Momen Puntir (Torsi)

Kecenderungan gaya untuk memutar benda terhadap suatu sumbu disebut momen puntir dari gaya terhadap sumbu putarnya. Momen puntir adalah besaran gaya, di mana garis kerjanya terletak sepanjang sumbu putarnya.

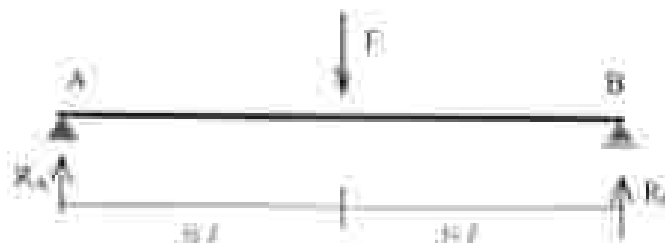
M		(+)	M		(-)
V		(+)	V		(-)
H		(+)	H		(-)

Gambar 2.2-11. Penentuan tanda untuk momen, gaya vertikal dan horisontal

b. Gaya dalam adalah gaya yang ada di dalam badan struktur yang berusaha menjaga keseimbangan beban-beban luar yang bekerja pada struktur (Reaksi vertikal/ R_v dan Reaksi horisontal/ R_h). Aksi gaya eksternal (beban) menyebabkan timbulnya gaya internal (reaksi) di dalam elemen struktur. Timbulnya tegangan dan regangan internal. Tegangan adalah intensitas gaya/satuan luas (N/mm^2).

- Reaksi (R_v)

Jika pada balok dengan dua perletakan seperti pada gambar di bawah ini diberikan gaya F yang arahnya ke bawah, maka reaksi perletakan R_A & R_B mengarah ke atas.



Gambar 2.2.12. Arah reaksi pada balok 2 tumpuan
Sumber: Sutarnan, 2013

Gaya dalam dapat juga diartikan sebagai gaya pada badan struktur yang timbul akibat adanya keseimbangan gaya aksi dan reaksi. Gaya dalam tidak mungkin timbul jika gaya aksi dan reaksi tidak seimbang. Apabila pada suatu benda bekerja sebuah gaya, maka di dalam benda tersebut terjadi gaya lawan yang besarnya sama dengan gaya tersebut dalam satu garis kerja (gaya aksi = gaya reaksi, hukum Newton III). Tipe gaya internal, yaitu: Tarik, Tekan, Lentur, Geser, Torsi, Tumpu.

a. **Gaya Tarik.** Kecenderungan menarik elemen hingga putus. Kekuatan elemen tarik tergantung dari luas penampang, panjang dan materialnya. Tegangan

tarik/ gaya internal tarik terdistribusi merata pada penampang elemen (gaya/ luas)

- b. **Gaya Tekan.** Kecenderungan menyebabkan hancur atau tekuk pada elemen. Elemen pendek cenderung hancur, elemen panjang dapat tiba-tiba terfekuk/ fenomena buckling. Elemen panjang tidak dapat memikul beban yang besar.
- c. **Gaya Lentur.** Umumnya terjadi di balok. Jika satu permukaan terjadi tekan, satu permukaan lain terjadi tarik. Tekan dan tarik terjadi pada satu penampang yang sama. Kekuatan terhadap lentur tergantung dari distribusi material pada penampang dan jenis material.
- d. **Gaya Geser.** Aksi-aksi gaya berlawanan arah yang menyebabkan bagian struktur tergelincir/geser terhadap yang lain, umumnya terjadi pada balok.
- e. **Gaya Torsi.** Torsi adalah fenomena puntir, dimana terjadi gaya rotasi berlawanan secara aksial pada penampang elemen struktur. Pada torsi, terjadi gaya tarik dan tekan.

B. Muatan/Beban Konstruksi

Muatan/Beban Konstruksi adalah beral benda atau barang yang didukung oleh suatu konstruksi (bangunan). Beban terbagi atas "beban mati" (tenang), yaitu beban yang tidak bergerak & tidak berubah beratnya (berat konstruksi/beral sendiri konstruksi) atau semua beban yang berasal dari berat bangunan mulai dari pondasi hingga ke atap. "Beban hidup" (bergerak), yaitu beban yang bergerak & berubah-ubah tempat serta beratnya (beral manusia, kendaraan, angin), atau semua muatan/beban yang tidak tetap dan membebani bangunan atau unsur bangunan. Beban dapat diklasifikasikan atas:

1. Beban menurut sifatnya

- a. Beban mati yaitu beban yang statis ditempatnya (beban balok)
- b. Beban hidup yaitu beban yang bergerak (manusia, mobil)
- c. Beban khusus yaitu beban dinamis (angin, gempa)

2. Beban menurut bentuknya

- a. **Muatan Terpusat/Titik (P)**

Bekerja pada satu titik, hanya menekan luas bidang kecil (titik). Misalnya roda kendaraan, manusia, tiang, dll



Gambar 2.2.13. Beban titik

b. Muatan Terbagi

Muatan terbagi adalah beban yang terbagi pada sebuah bidang yang cukup luas. Terbagi atas:

1) Beban Terbagi Rata (q)

- Bekerja sepanjang muatan
- Dinyatakan dalam q (t/m) atau sebesar q ton untuk tiap meter
- Titik berat bidang empat persegi panjang terletak pada setengah panjang persegi panjang



Gambar 2.2.14. Beban terbagi rata

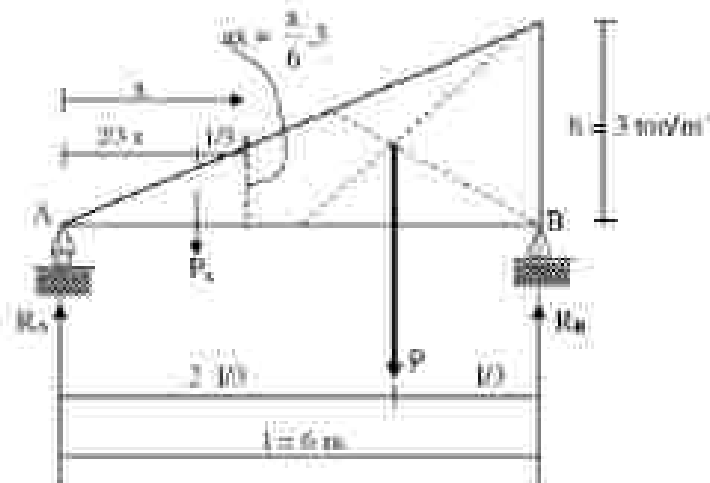
2) Beban terpusat/ Beban Segitiga

Adalah muatan/beban yang luas sesungguhnya merata tapi muatannya tidak terbagi rata. Misalnya, tekanan air pada dinding bak air, kolam atau tekanan air pada pintu air. Dinding-dinding tegak mendukung desakan air yang besarnya sebanding dengan jarak dari permukaan air (semakin dalam semakin besar desakannya).

Pada umumnya beban tak hanya terpusat atau terbagi rata, namun ada yang berbentuk segitiga seperti beban tekanan air dan tanah. Prinsip dasar penyelesaiannya adalah sama dengan yang lain, namun kita harus lebih hati-hati karena bebannya membentuk persamaan.



Gambar 2.2.15. Beban terpusat/segitiga

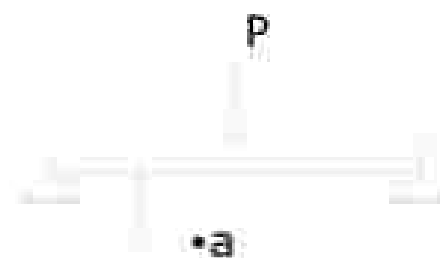


Gambar 2.2.16. Titik berat massa beban segitiga

Sumber: Sutarnan, 2013

3. Beban menurut cara kerjanya pada konstruksi

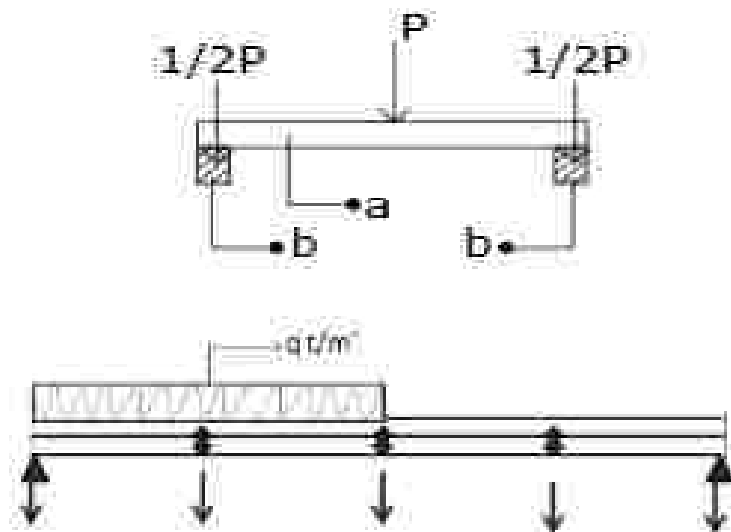
- a. Muatan langsung yaitu beban bekerja langsung di atas balok, tanpa perantara bagian lain. Beban yang langsung ditopang (plat terhadap balok).



Gambar 2.2.17. Muatan/beban (P) langsung pada balok (a)

Sumber: Sutarnan, 2013

- b. Muatan tidak langsung yaitu beban yang melalui perantara lain diteruskan (balok beton terhadap pondasi). Beban bekerja secara tidak langsung di atas balok utama. Misalnya pada bentangan yang besar, bentang dibagi dalam 4 bagian menjadi beban terpusat. Beban diteruskan pada balok utama dengan perantara balok memanjang & pemikul melintang.

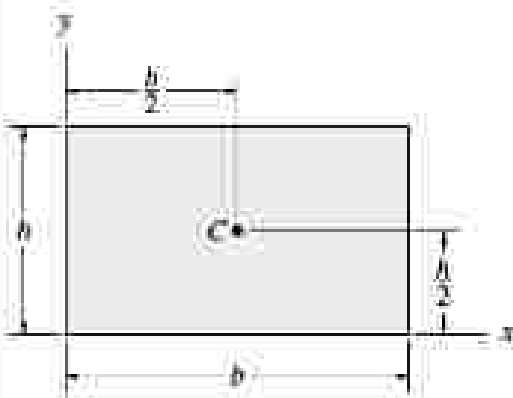
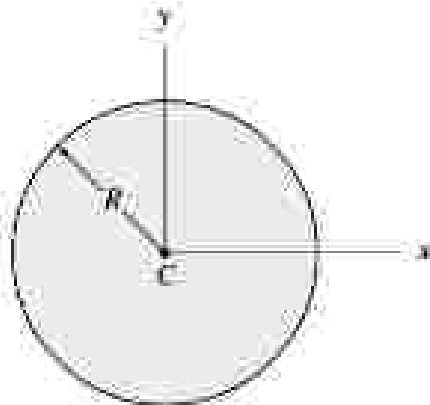
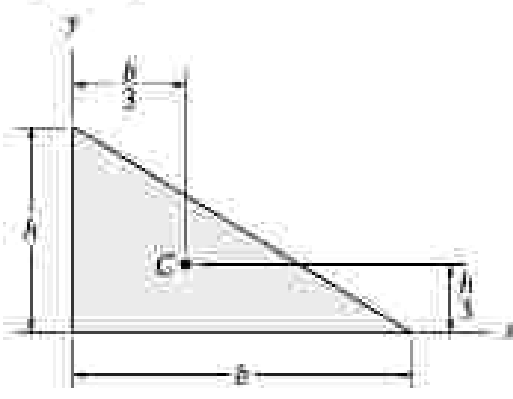
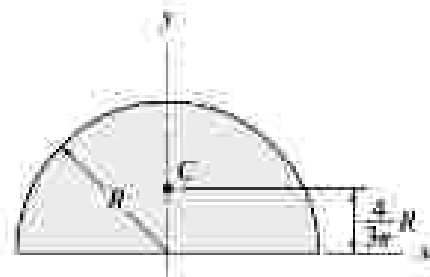


Gambar 2.2.16. Muatan/beban tidak langsung pada balok (b)

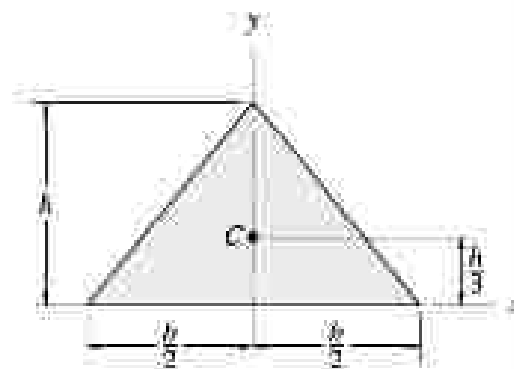
Penulisan satuan muatan berdasarkan jenisnya, dapat dibedakan atas:

- Muatan terpusat $\rightarrow P = 1000 \text{ kg}$, $P = 12 \text{ ton}$, dan lain-lain.
- Muatan merata $\rightarrow q = 400 \text{ kg/m}$, $q = 2 \text{ ton/m}$, dan lain-lain.
- Muatan angin $\rightarrow q = 20 \text{ kg/m}^2$, $q = 0,02 \text{ t/m}^2$, dan lain-lain.

C. Titik Berat Massa Bidang 2 Dimensi

Rectangle  $I_x = \frac{bh^3}{12} \quad I_y = \frac{b^3h}{12} \quad I_{xy} = 0$ $I_x = \frac{bh^3}{3} \quad I_y = \frac{b^3h}{3} \quad I_{xy} = \frac{b^2h^2}{4}$	Circle  $I_x = I_y = \frac{\pi R^4}{4} \quad I_{xy} = 0$
Right triangle  $I_x = \frac{bh^3}{36} \quad I_y = \frac{b^3h}{36} \quad I_{xy} = -\frac{b^2h^2}{72}$ $I_x = \frac{bh^3}{12} \quad I_y = \frac{b^3h}{12} \quad I_{xy} = -\frac{b^2h^2}{24}$	Semicircle  $I_x = 0.1098R^4 \quad I_{xy} = 0$ $I_x = I_y = \frac{\pi R^4}{8} \quad I_{xy} = 0$

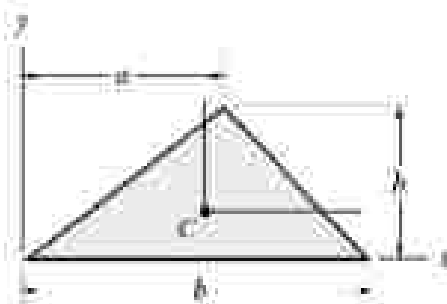
Isosceles triangle



$$I_x = \frac{bh^3}{36} \quad \bar{I}_x = \frac{bh^3}{48} \quad I_{xy} = 0$$

$$I_y = \frac{bh^3}{12} \quad \bar{I}_y = 0$$

Triangle

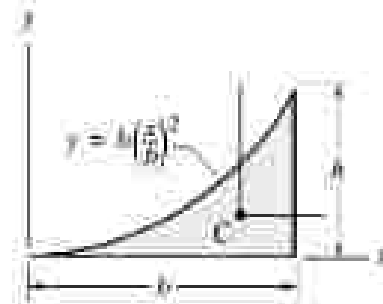


$$I_x = \frac{bh^3}{36} \quad \bar{I}_x = \frac{bh^3}{12}$$

$$I_y = \frac{bh}{36}(a^3 - ab + b^3) \quad \bar{I}_y = \frac{bh}{12}(a^2 + ab + b^2)$$

$$I_{xy} = \frac{bh^2}{12}(2a - b) \quad \bar{I}_{xy} = \frac{bh^2}{24}(2a + b)$$

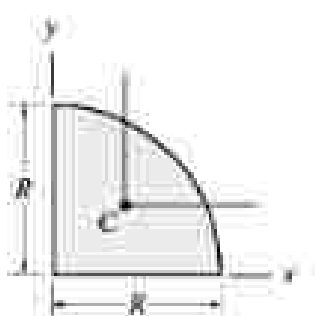
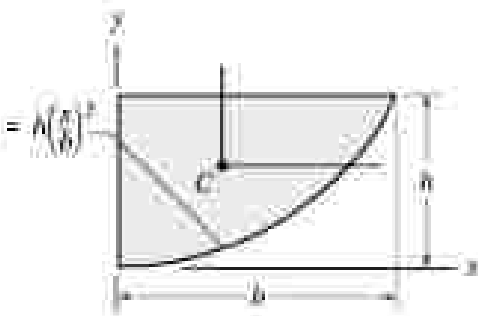
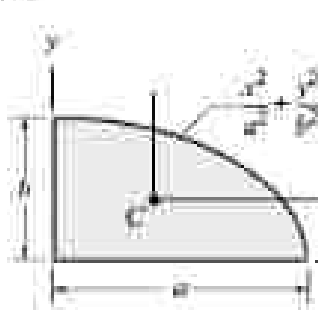
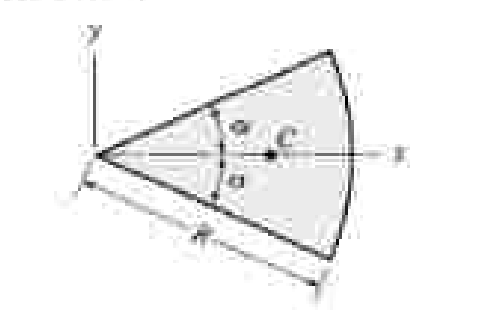
Half parabolic segment



$$I_x = \frac{37bh^3}{2160} \quad \bar{I}_x = \frac{bh^3}{24}$$

$$I_y = \frac{b^3h}{80} \quad \bar{I}_y = \frac{b^3h}{3}$$

$$I_{xy} = \frac{b^3h^2}{120} \quad \bar{I}_{xy} = \frac{b^3h^2}{12}$$

Quarter circle  $I_x = I_y = 0.05488 R^4 \quad I_x = I_y = \frac{\pi R^4}{16}$ $I_{xy} = -0.01647 R^4 \quad I_{xy} = \frac{R^4}{8}$	Half parabola  $I_x = \frac{bh^3}{175} \quad I_x = \frac{2bh^3}{7}$ $I_y = \frac{19b^3h}{400} \quad I_y = \frac{2b^3h}{15}$ $I_{xy} = \frac{b^2h^2}{60} \quad I_{xy} = \frac{b^2h^2}{6}$
Quarter ellipse  $I_x = 0.05488 ab^3 \quad I_x = \frac{\pi ab^3}{16}$ $I_y = 0.05488 a^3 b \quad I_y = \frac{\pi a^3 b}{16}$ $I_{xy} = -0.01647 a^2 b^2 \quad I_{xy} = \frac{\pi a^2 b^2}{8}$	Circular sector  $I_x = \frac{R^4}{8} (2\alpha - \sin 2\alpha)$ $I_y = \frac{R^4}{8} (2\alpha + \sin 2\alpha)$ $I_{xy} = 0$

Gambar 2.2.19. Titik berat massa bidang 2 dimensi.
Sumber: Pytel & Kiusalaas, 2010

D. Resultan Gaya

1. Penjumlahan Gaya secara Analitis

Bila 2 buah gaya bekerja pada arah yang sama, secara horisontal/vertikal, maka

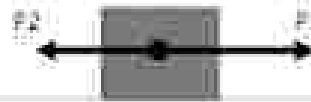
$$R = \Sigma P$$



Gambar 2.2.20. Resultan gaya searah

Bila 2 buah gaya bekerja pada arah berlawanan, secara horisontal/vertikal, maka:

$$R = P_1 - P_2$$



Gambar 2.2.21. Resultan gaya berlawanan arah

Gaya-gaya yang sejajar resultannya adalah R , besarnya mudah didapatkan, yaitu dengan penjumlahan bila arahnya sama dan pengurangan bila arahnya berlawanan.



$$R = 60 + 50 + 40 = 150 \text{ kg (ke kanan)}$$

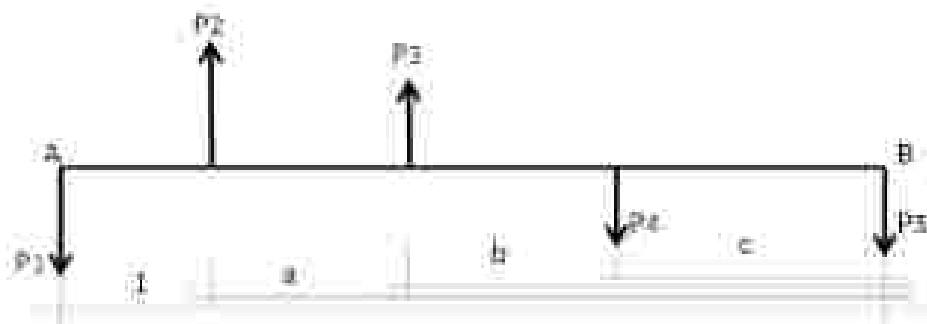
Penentuan letak dan arah resultan gaya-gaya sejajar dapat dihitung dengan cara

$$R = P_1 - P_2 - P_3 + P_4 + P_5$$

$$\text{Letak } R \rightarrow M_0 = 0$$

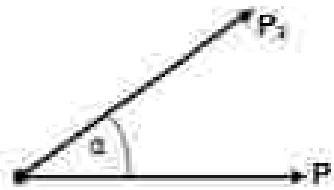
$$Rx = P_1(1) - P_2(a) - P_3(b) + P_4(c)$$

$$X = \frac{P_1(1) - P_2(a) - P_3(b) + P_4(c)}{R (P_1 - P_2 - P_3 + P_4)}$$



Gambar 2.2.22. Contoh gaya-gaya sejajar

Menyusun dua gaya yang satu titik tangkap tapi tidak dalam satu garis kerja. Bila gaya bekerja pada sudut yang berbeda (α°), maka:

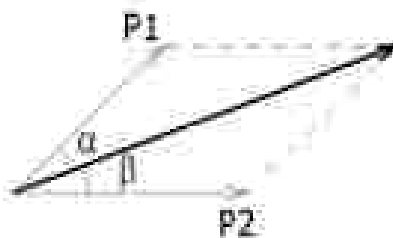


Gambar 2.2.23. Gaya dengan sudut berbeda

Resultan kedua gaya P_1 dan P_2 yang membentuk sudut α dapat dihitung dengan rumus:

$$R = \sqrt{P_1^2 + P_2^2 + 2P_1P_2 \cos \alpha}$$

Sedang letak R dapat di hitung dengan dalil sinus:



Gambar 2.2.24. Resultan gaya dengan metode grafis jajaran genjang

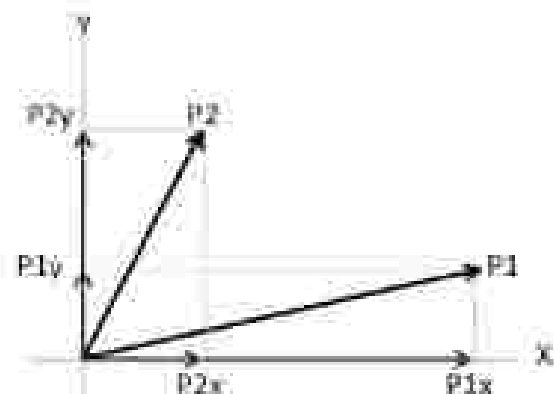
$$\frac{P_1}{\sin \beta} = \frac{R}{\sin(180 - \alpha)}$$

$$\sin \beta = \frac{P_1 \sin(180 - \alpha)}{R}$$

$$\Sigma R_x = P_{1x} + P_{2x}$$

$$\Sigma R_y = P_{1y} + P_{2y}$$

$$\text{Arah } R \rightarrow \tan \alpha = R_y / R_x$$



Gambar 2.2.25. Gaya dengan sudut berbeda

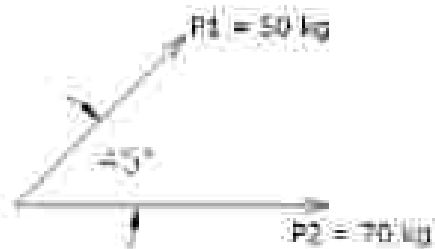
$$R = \sqrt{\Sigma R_x^2 + \Sigma R_y^2}$$

$$R = F_1 + F_2 + F_3 + \dots = \Sigma F$$

$$R_x = \Sigma F_x \quad R_y = \Sigma F_y \quad R = \sqrt{(\Sigma F_x)^2 + (\Sigma F_y)^2}$$

$$\theta = \tan^{-1} \frac{R_y}{R_x} = \tan^{-1} \frac{\Sigma F_y}{\Sigma F_x}$$

Contoh: Tentukanlah resultante P1 dan P2 yang membentuk sudut 45° serta tentukanlah sudut β yang dibentuk R



Penyelesaian:

$$\begin{aligned}\sin \beta &= \frac{P_1 \sin(180 - \alpha)}{R} \\ &= \frac{50 \cdot \sin 45^\circ}{111} \\ &= \frac{35,35}{111} \\ &= 0,3184 \\ \beta &= \arcsin 0,3184 \\ &= 18,57^\circ\end{aligned}$$

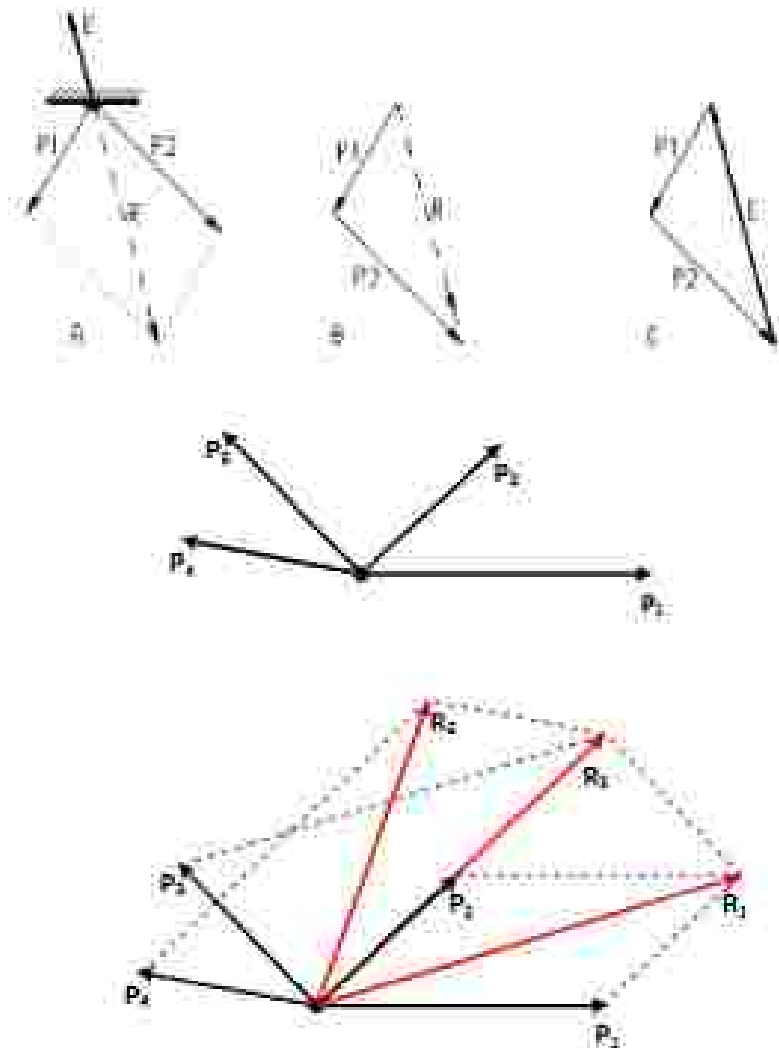
2. Penjumlahan Gaya secara Grafis

Penjumlahan gaya yang lebih dari dua buah bekerja pada suatu benda, dapat diselesaikan dengan metode grafis.

a. Metode Jajaran genjang

Langkah-langkah:

- 1) Tentukan skala gaya, misalnya 1 cm = 25 kg
- 2) Gambarkan posisi gaya dengan berskala.
- 3) Buat jajaran genjang dengan P1 dan P2 sebagai sisi
- 4) Tarik diagonal (dari sudut yang dibentuk P1 dan P2 dan itulah R1)
- 5) Buat jajaran genjang dengan R1 dan P3 sebagai sisi
- 6) Tarik diagonal dari sudut yang dibentuk R1 dan P3 dan itulah R
- 7) Ukur panjang R kemudian kalikan dengan skala gaya dan itulah besar R.
Misalnya: $R = 10,2 \text{ cm} \times 25 = 255 \text{ kg}$



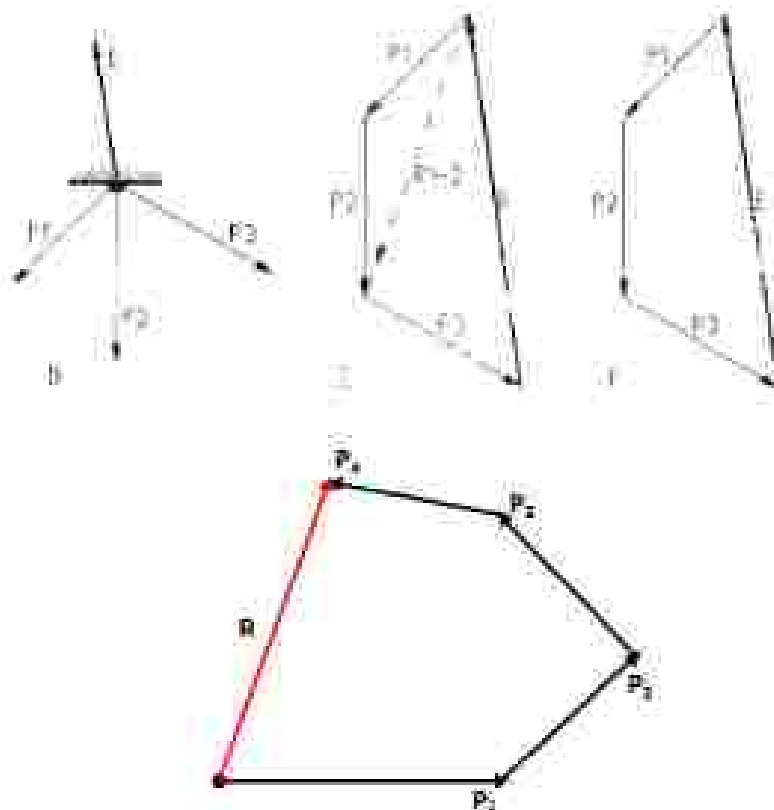
Gambar 2.2.26. Resultan gaya dengan metode jajaran genjang

b. Segi Banyak Batang Tertutup

Menentukan resultan dengan cara segi banyak gaya, yaitu menghubungkan gaya yang satu dengan yang lainnya, kemudian garis penghubung titik tangkap gaya yang pertama dengan ujung gaya yang terakhir itulah yang di sebut resultan (R) sedangkan arahnya menuju ujung gaya yang terakhir.

Langkah-langkah:

- 1) Gambarkan posisi gaya dengan berskala.
- 2) Hubungkan P_2 dari ujung P_1 .
- 3) Hubungkan P_3 dari ujung P_2 (dan seterusnya).
- 4) Hubungkan titik tangkap P_1 dengan ujung P_3 dan itulah R .
- 5) Ukur panjang R dan kalikan dengan skala gaya maka didapatkan besar R .



Gambar 2.2.27. Resultan gaya dengan metode segi banyak tertutup

c. Segi Banyak Batang & Lukisan Kutub

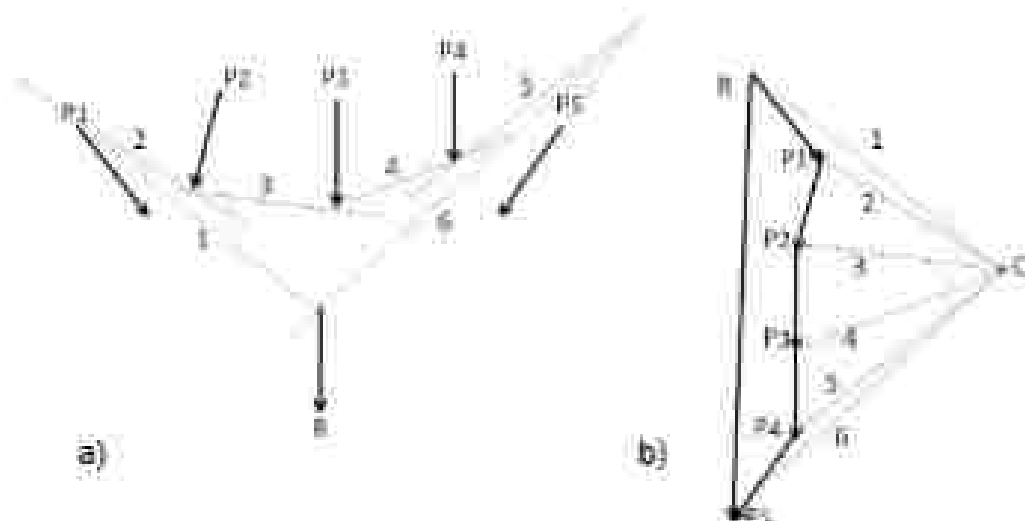
Untuk menentukan besarnya R dan letak titik tangkapnya bagi gaya yang tidak beraturan dapat digunakan metoda grafis. Untuk ini dengan “segi banyak batang” didapatkan besaran & arah R , dan dari “lukisan kutub” akan didapatkan letak titik tangkap R .

Gaya P_1 , P_2 , P_3 , P_4 , dan P_5 adalah gaya-gaya yang akan dijumlahkan (Gambar 2.1.34). Langkah-langkah:

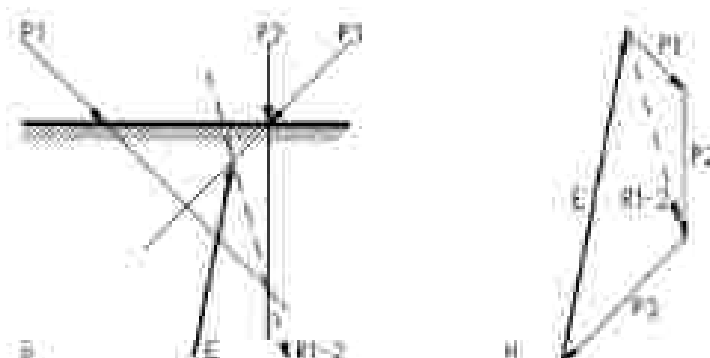
- 1) Gambar segi banyak batang untuk menghasilkan jari-jari poligon dengan cara:
 - Gambar rangkaian gaya P_1 , P_2 , P_3 , P_4 , dan P_5 secara berurut, tiap gaya sejajar dengan gaya aslinya.
 - Pangkal gaya P_1 dan ujung gaya P_5 adalah jumlah (resultan) gaya P_1 - P_5 , yang diwakili oleh garis R .
 - Tentukan titik O sembarang di daerah sekitar R .
 - Tarik garis dari O ke ujung-ujung gaya, sehingga dihasilkan jari-jari 1-6 (jari-jari poligon).

2) Gambar lukisan kutub pada gaya-gaya yang akan dijumlahkan dengan cara

- Pada gaya asal (P_1) yang akan dijumlahkan tarik garis sejajar $O-1$ (jari-jari 1)
- Selanjutnya pada titik singgung jari-jari 1 di P_1 , tarik garis sejajar jari-jari 2 memotong gaya P_2 . Garis kerja gaya dapat diperpanjang pada ujung dan pangkal gaya, sehingga dapat berpotongan dengan jari-jari poligon
- Lanjutkan untuk semua gaya dan jari-jari poligon hingga jari-jari 6 memotong di jari-jari 1. Titik perpotongan tersebut adalah letak resultan gaya (R) di antara gaya-gaya yang dijumlahkan. Panjang dan arah R diambil dari gambar segi banyak batang



Gambar 2.2.28. Metode lukisan kutub (a) & segi banyak batang (b)



Gambar 2.2.29. Metode segi banyak batang

E. SOAL

1. Suatu garis datar panjang 8 m, tiap 2 m bekerja gaya-gaya: $P_1 = 5$ ton (sudut 150°), $P_2 = 3$ ton (sudut 120°), $P_3 = 4$ ton (sudut 60°), $P_4 = 2$ ton (sudut 45°), $P_5 = 1$ ton (sudut 30°). Tentukan besar, letak dan arah gaya R dengan cara analitis & grafis.
2. Empat buah gaya: $P_1 = 3$ ton (sudut 30°), $P_2 = 2$ ton (sudut 60°), $P_3 = 4$ ton (sudut 90°), $P_4 = 3$ ton (sudut 120°). Tentukan besar, letak dan arah gaya R dengan cara analitis & grafis.