

## Pertemuan III, IV

### II. Gaya Luar dan Gaya Dalam

#### II.1 Pendahuluan

Konstruksi suatu bangunan selalu diciptakan untuk dan harus dapat menahan berbagai macam muatan. Muatan yang dimaksud adalah muatan yang tersebut dalam *Peraturan Muatan Indonesia 1970 NI-18*.

Berbagai macam muatan tergantung pada perencanaan, bahan dan tempat suatu bangunan akan didirikan. Adapula suatu kondisi muatan pada suatu konstruksi dapat berubah dengan cepat sekali atau sebaliknya.

Muatan yang membebani suatu konstruksi akan dirambatkan oleh konstruksi ke dalam tanah melalui pondasi. Gaya-gaya dari tanah yang memberi perlawanan terhadap gaya rambat tersebut disebut *Reaksi*. Konstruksi yang stabil harus diperhitungkan syarat keseimbangan luar tersebut, yakni  $Aksi = Reaksi$ . Muatan dan reaksi yang menciptakan kestabilan konstruksi disebut *Gaya Luar*.

Dalam hal konstruksi mencapai keseimbangan ini, maka konstruksi dianggap *Free Body* yang menahan keseimbangan gaya luar. Konstruksi merambatkan gaya dari muatan sampai kepada perletakan. Gaya rambat ini dimbangi oleh gaya yang berasal dari kekuatan bahan konstruksi, berupa gaya lawan dari konstruksi yang selanjutnya disebut *Gaya Dalam*.

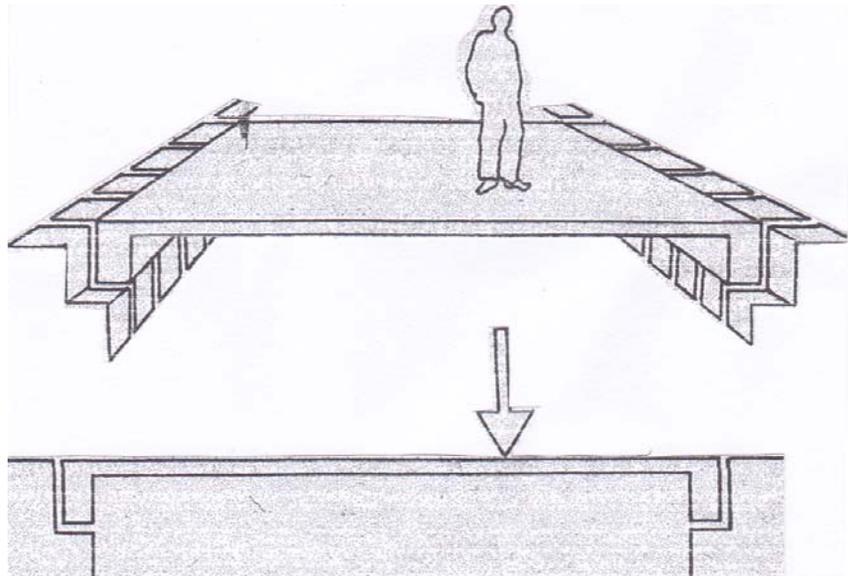
#### II.2 Gaya Luar

##### II.2.1 Pengertian Gaya Luar

Gaya-gaya yang bekerja di luar struktur atau muatan dan reaksi yang menciptakan kestabilan struktur disebut *gaya luar*. Gaya-gaya luar dapat berupa gaya vertikal dan horisontal, momen lentur, serta momen puntir. Berdasarkan cara kerjanya, gaya luar yang bekerja pada suatu struktur dapat dibedakan atas beberapa kelompok, antara lain :

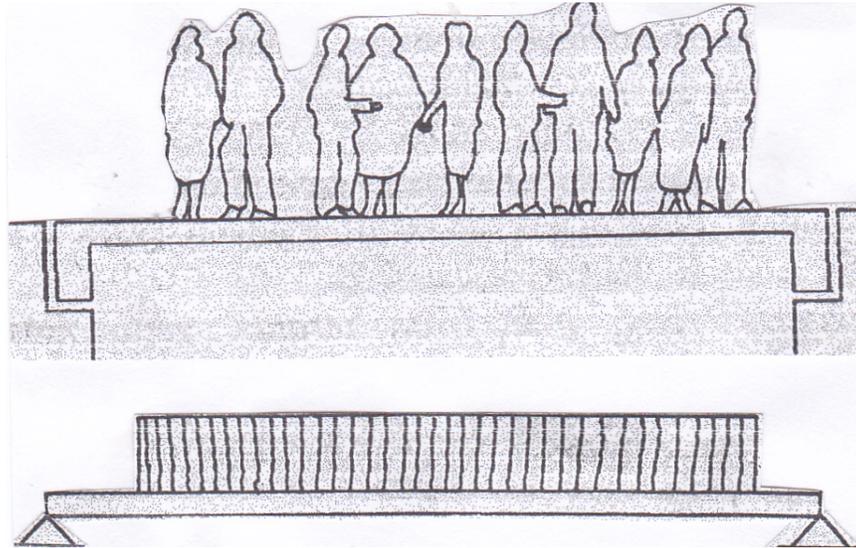
1. Berdasarkan lamanya pembebanan

- a. *Muatan tetap* (beban mati), yaitu muatan yang bekerja terus-menerus atau permanen pada struktur yang tidak dapat dipindahkan, misalnya berat sendiri bangunan.
  - b. *Muatan sementara* (beban hidup), yaitu muatan yang bekerja sementara pada struktur yang dapat dipindahkan atau bergerak, misalnya berat orang atau berat kendaraan.
2. Berdasarkan garis kerjanya atau permukaan yang menekan
- a. *Muatan titik* (beban terpusat), yaitu muatan yang garis kerjanya bekerja melalui satu titik, misalnya berat seseorang melalui kaki atau berat kolom pada pondasi.



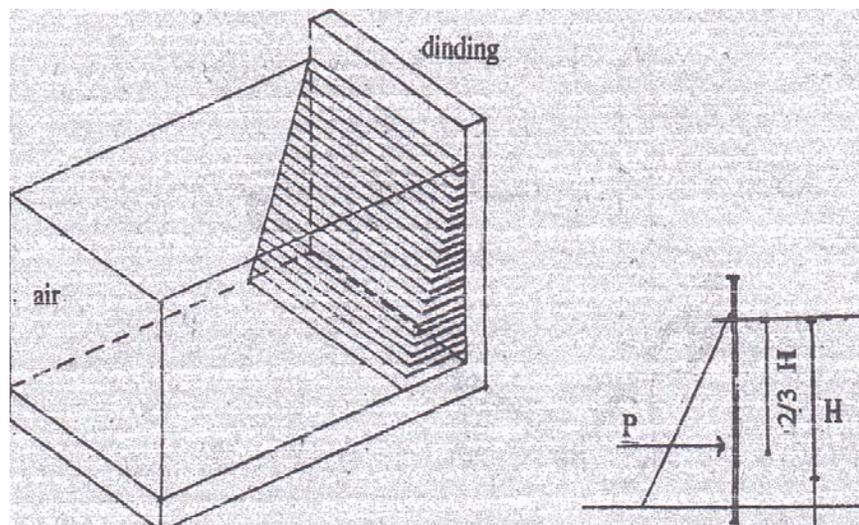
Gambar 2.1 Muatan Terpusat

- b. *Muatan terbagi rata* (beban merata), yaitu muatan yang bekerja pada bidang terbagi rata sama pada setiap satuan luas, misalnya berat sekelompok orang di dalam suatu ruangan atau berat slof pada pondasi.



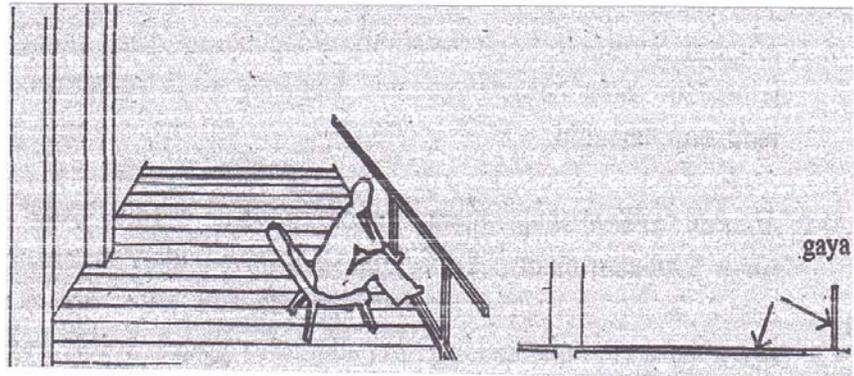
Gambar 2.2 Muatan Terbagi Rata

- c. *Muatan terbagi tidak rata teratur*, yaitu muatan terbagi yang tidak sama berat untuk setiap satuan luas, misalnya tekanan hidrostatik air pada dinding, muatannya berbentuk segi tiga.



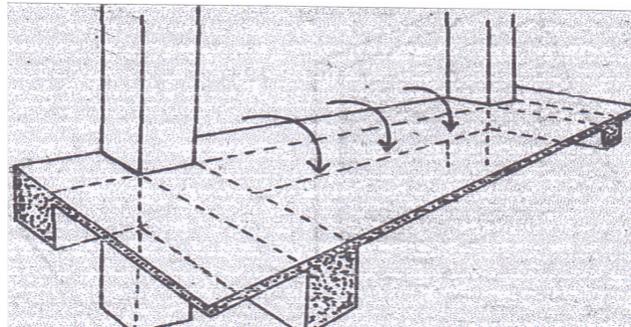
Gambar 2.3 Muatan Terbagi Tidak Rata Teratur

3. Berdasarkan pengaruh pembebanan lain
- a. *Muatan momen*, yaitu muatan akibat dari muatan titik pada struktur sandaran. Gaya horisontal pada sandaran menyebabkan momen pada balok, sebagaimana diperlihatkan pada Gambar 2.4.



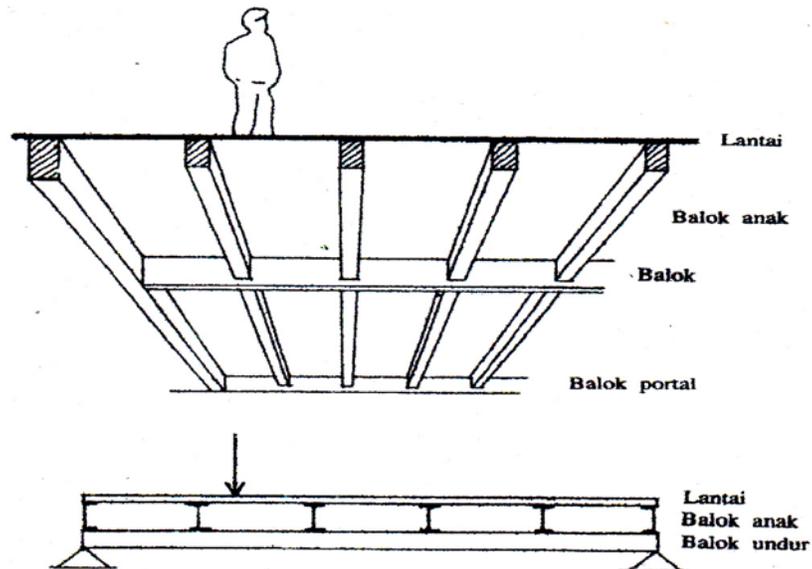
Gambar 2.4 Muatan Momen

- b. *Muatan puntir*, yaitu suatu gaya mungkin bekerja pada balok sehingga menimbulkan suatu muatan puntir, seperti diperlihatkan pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5 Muatan Puntir

- 4. Berdasarkan sifat pembebanan
  - a. *Muatan langsung*, misalnya berat seseorang yang berdiri pada titian suatu jembatan yang bekerja langsung pada struktur jembatan tersebut.
  - b. *Muatan tak langsung*, misalnya berat seseorang yang berdiri pada lantai suatu jembatan akan bekerja tidak langsung pada struktur jembatan, berat seseorang tersebut dipindahkan lewat lantai ke balok anak, baru dipindahkan lagi ke balok induk struktur jembatannya.

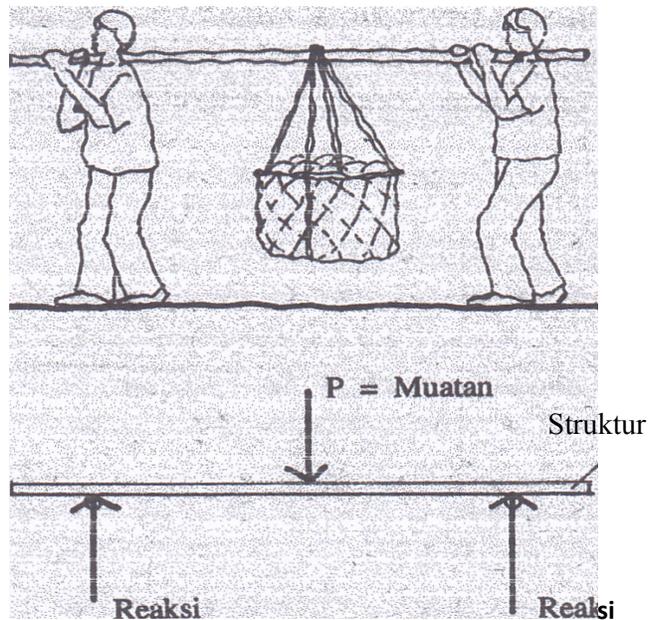


Gambar 2.6 Tak Langsung

## II.2.2 Keseimbangan Statik

### a. Cara Analitis

Suatu struktur yang dimuati oleh susunan muatan, pada struktur demikian biasanya muatannya diketahui, sedangkan reaksinya harus dicari, sebagaimana diperlihatkan pada Gambar 2.7 di bawah ini.



Gambar 2.7 Muatan, Struktur, dan Reaksi

Struktur sederhana dapat digambarkan sebagai suatu benda *free body* yang dibebani gaya-gaya yang bekerja. Sistem gaya-gaya disini terdiri dari sejumlah gaya muatan yang diketahui dan gaya reaksi yang tidak diketahui besaran-besarnya.

Struktur akan stabil bila sistem gaya yang bekerja padanya dalam keadaan *seimbang*. Sistem gaya-gaya yang bekerja pada struktur akan seimbang bila memenuhi syarat keseimbangan statik, yaitu :

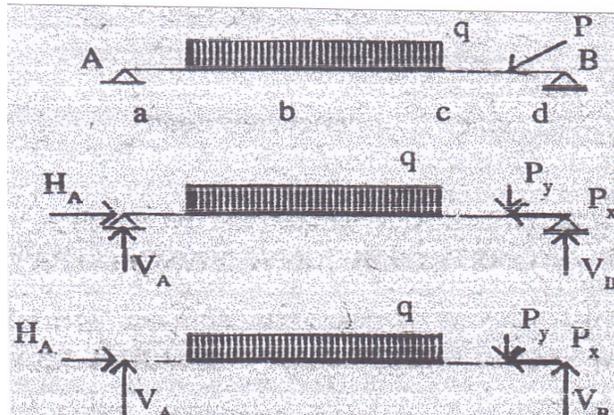
$$\Sigma X = 0$$

$$\Sigma Y = 0$$

$$\Sigma M = 0$$

Ketiga persamaan syarat keseimbangan statik di atas disebut *Persamaan Statik Tertentu*.

Keseimbangan gaya-gaya pada Gambar 2.8 akibat muatan P dan q, dapat dilihat gaya reaksi yang dicari, yakni  $V_A$ ,  $H_A$ , dan  $V_B$ . Secara matematika ketiga reaksi tersebut dapat dihitung dengan menggunakan ketiga persamaan statik tertentu.



Gambar 2.8 Struktur Sederhana

Untuk menentukan gaya reaksi pada struktur di atas dapat digunakan cara analitis, dengan menguraikan gaya-gaya ke dalam salib sumbu XY, sehingga didapat :

$$\text{Gaya P menjadi } P_x = P \cos \alpha$$

$$P_y = P \sin \alpha$$

Gaya q menjadi  $q_x = 0$

$$q_y = q$$

Reaksi-reaksi  $V_A$ ,  $H_A$ , dan  $V_B$  yang sudah diproyeksikan pada salib sumbu tersebut. Dengan persamaan statik tertentu dapat dicari ketiga persamaan reaksi, yaitu :

$$\Sigma X = 0, \text{ berarti } H_A - P \cos \alpha = 0 \quad \dots\dots\dots 2.1a)$$

$$\Sigma Y = 0, \text{ berarti } V_A - V_B - q.b - P \sin \alpha = 0 \quad \dots\dots\dots 2.1b)$$

$\Sigma M = 0$  , harus dicari dari salah satu persamaan momen terhadap A

atau B, sehingga di dapat :

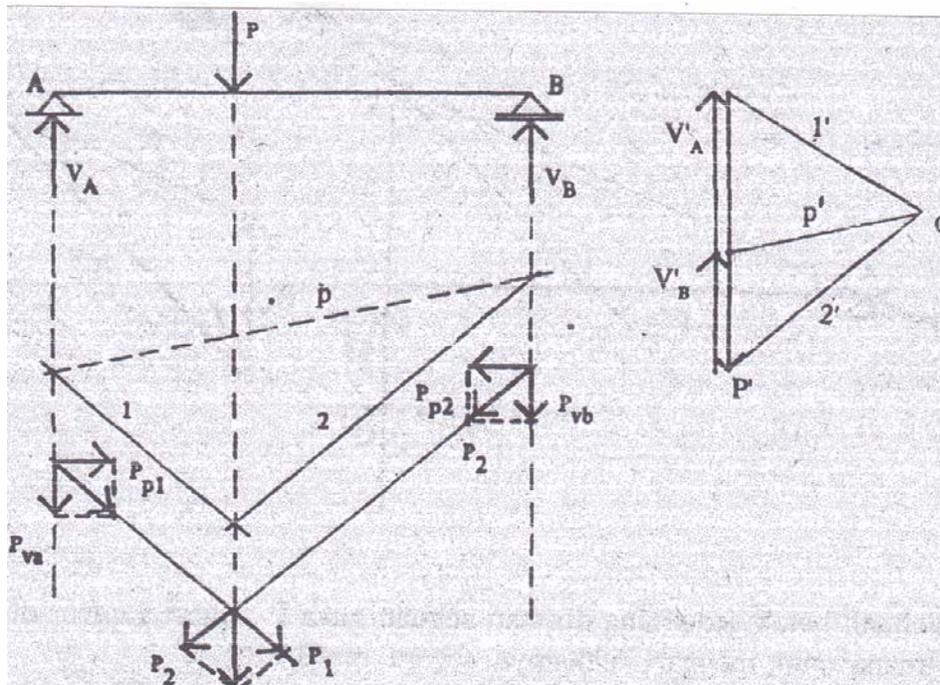
$$\Sigma M_B = 0, \text{ berarti } V_A \cdot L - q.b (c + d + \frac{1}{2}b) - P \sin \alpha \cdot d = 0 \text{ atau } 2.1c)$$

$$\Sigma M_A = 0, \text{ berarti } -V_B \cdot L + P \sin \alpha (a + b + c) + q.b (a + \frac{1}{2}b) = 0 \quad 2.1d)$$

Dengan ketiga persamaan tersebut gaya reaksi  $H_A$ ,  $V_A$ , dan  $V_B$  dapat dicari.

**b. Cara Grafis**

Pada struktur yang dimuati beban P seperti pada Gambar 2.9 akan memerlukan reaksi vertikal, keseimbangan gaya reaksi dapat pula ditentukan dengan menggunakan cara grafi, yaitu dengan pendekatan lukisan kutub.



Gambar 2.9 Keseimbangan Struktur Sederhana Secara Grafis

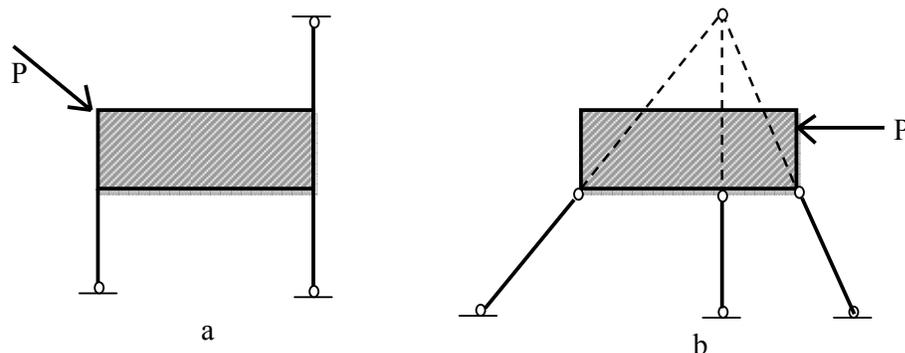
Pada struktur yang dibebani gaya vertikal  $P$  akan memberikan reaksi vertikal pula, jadi sama dengan permasalahan keseimbangan gaya sejajar. Oleh karena itu dengan menggunakan pendekatan lukisan kutub, reaksinya dapat ditentukan.

Uraian gaya  $P$  ke dalam dua komponen 1 dan 2, sehingga memotong garis kerja reaksi  $A$  dan  $B$  dengan lukisan kutub  $O$ . Uraian komponen 1 ke dalam komponen vertikal  $P_{va}$  dan komponen  $P_{p1}$  yang lain. Begitu juga komponen 2 menjadi  $P_{vb}$  dan  $P_{p2}$ . Pilihlah komponen-komponen  $P_{p1}$  dan  $P_{p2}$  sebegitu rupa, sehingga komponen-komponen tersebut kolinear, misalnya pada garis  $P$ .

Menurut lukisan kutub, maka  $P_{p1}$  dan  $P_{p2}$  merupakan gaya yang sama besar, berlawanan arah, karenanya kedua gaya tersebut dalam keadaan seimbang. Selanjutnya  $P$  dapat diganti dengan gaya  $P_{va}$  dan  $P_{vb}$  yang menimbulkan reaksi  $A$  dan  $B$ . Besarnya gaya reaksi ini didapat dengan menarik garis  $p'$  sejajar dengan  $p$  melalui kutub  $O$  yang membagi gaya  $P'$  menjadi  $V'_A$  dan  $V'_B$ . Garis  $p$  disebut *garis penutup*, yang membentuk *segi banyak batang*.

### II.2.3 Stabilitas Struktur

Suatu struktur yang memenuhi syarat persamaan statik belum tentu selalu stabil. Adakalanya suatu struktur masih mungkin tidak stabil sekalipun memenuhi syarat persamaan statik. Kondisi demikian dapat dilihat pada Gambar 2.10.



Gambar 2.10 Struktur Labil

Suatu struktur yang diletakkan pada tiga tiang pendel yang sejajar seperti pada Gambar 2.10a, maka secara analitis ketiga reaksi tersebut dapat dicari. Namun struktur demikian kurang stabil, karena tidak ada reaksi yang menahan gaya horisontal.

Demikian pula struktur pada Gambar 2.10b, dimana arah gaya reaksi adalah garis kerjanya berpotongan melalui suatu titik, maka struktur demikian kurang stabil terhadap gaya momen.

Oleh karena itu syarat persamaan statik tertentu perlu dilengkapi dengan syarat struktur stabil, yakni :

1. Suatu struktur akan stabil bila untuk segala macam gejala gerakan mengakibatkan perlawanan terhadap gerakan tersebut. Hal ini memerlukan sekurang-kurangnya ada tiga reaksi.
2. Suatu struktur statik tertentu akan stabil bila reaksi-reaksinya dapat dihitung dengan persamaan statik tertentu.

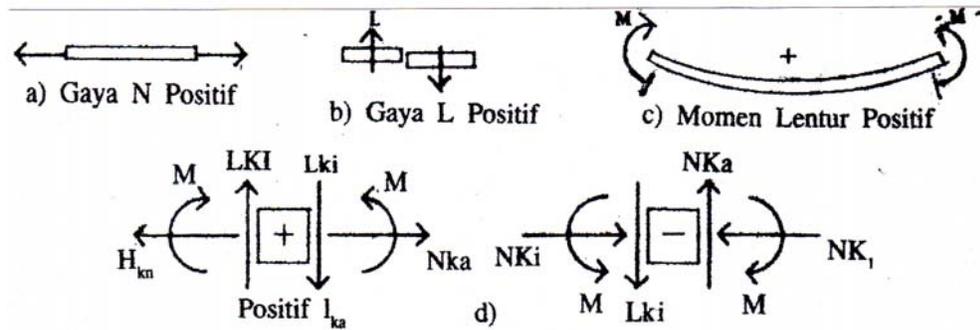
## **II.3 Gaya Dalam**

### **II.3.1 Pengertian Gaya Dalam**

Gaya-gaya yang bekerja di dalam struktur atau gaya yang merambat dari muatan kepada reaksi perletakan disebut *gaya dalam*. Gaya-gaya dalam dapat berupa :

1. *Gaya Normal* (N), yaitu gaya yang bekerja sejajar dengan sumbu memanjang batang.
2. *Gaya Lintang* (L), yaitu gaya yang bekerja tegak lurus dengan sumbu memanjang batang.
3. *Gaya Momen* (M), yaitu yang hendak membengkokkan batang.

Untuk menghitung gaya-gaya dalam, didalam mekanika teknik diperlukan perjanjian tanda, sebagaimana diperlihatkan pada Gambar 1.13.

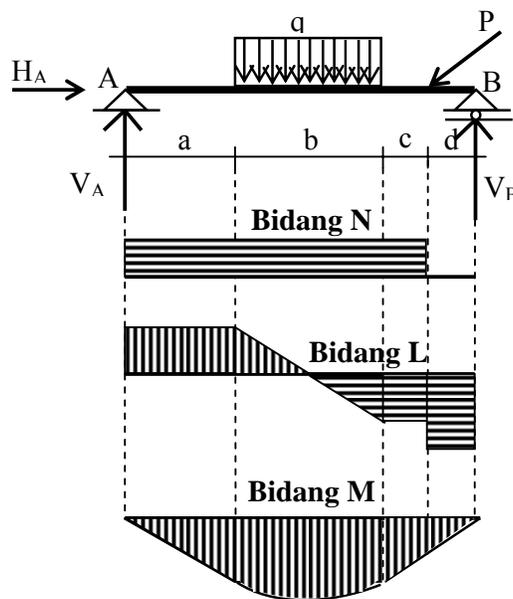


Gambar 2.11 Penentuan tanda gaya dalam

*Gaya normal* diberi tanda *positif*, apabila gaya tersebut cenderung menimbulkan sifat *tarik* pada batang, dan diberi tanda *negatif* bila gaya tersebut cenderung menimbulkan sifat *desak*.

*Gaya lintang* disebut *positif*, apabila gaya tersebut cenderung menimbulkan *patah* dalam *putaran jarum jam*, dan diberi tanda *negatif* bila gaya tersebut cenderung menimbulkan sebaliknya.

*Momen lentur* diberi tanda *positif*, apabila gaya tersebut menyebabkan sumbu batang *cekung ke atas*, dan diberi tanda *negatif* apabila menyebabkan sumbu batang *cekung ke bawah*.



Gambar 2.12 Keseimbangan Gaya-Gaya Dalam

Keseimbangan gaya-gaya pada Gambar 2.12 akibat muatan P dan q, dapat dilihat gaya reaksi yang dicari, yakni  $V_A$ ,  $H_A$ , serta  $V_B$ , dan gaya-gaya dalam berupa gaya normal, gaya lintang serta gaya momen. Secara matematika persamaan-persamaan gaya-gaya tersebut dapat dihitung dengan menggunakan ketiga persamaan statik tertentu.

- Keseimbangan gaya luar, dapat ditentukan dengan persamaan berikut :

$$\Sigma H = 0 \rightarrow H_A - P \cos \alpha = 0 \quad \dots\dots\dots 2.2a)$$

$$\rightarrow H_A = P \cos \alpha$$

$$\Sigma M_B = 0 \rightarrow V_A.L - q.b.(1/2.b + c + d) - P \sin \alpha.d = 0 \quad \dots\dots\dots 2.2b)$$

$$\rightarrow V_A = \frac{q.b.(1/2b + c + d) + P \sin \alpha.d}{L}$$

$$\Sigma M_A = 0 \rightarrow -V_B.L + q.b.(a + 1/2b) + P \sin \alpha.(a + b + c) = 0 \quad \dots\dots\dots 2.2c)$$

$$\rightarrow V_B = \frac{q.b(a + 1/2b) + P \sin \alpha.(a + b + c)}{L}$$

- Keseimbangan gaya dalam dapat ditentukan dengan persamaan berikut :

$$0 \leq x \leq a$$

$$N_x = -P \cos \alpha \quad \dots\dots\dots 2.3a)$$

$$L_x = V_A \quad \dots\dots\dots 2.3b)$$

$$M_x = V_A.x \quad \dots\dots\dots 2.3c)$$

$$a \leq x \leq (a + b)$$

$$N_x = -P \cos \alpha \quad \dots\dots\dots 2.3d)$$

$$L_x = V_A - q.x \quad \dots\dots\dots 2.3e)$$

$$M_x = V_A.x - 1/2.q.(x - a)^2 \quad \dots\dots\dots 2.3f)$$

$$(a + b) \leq x \leq (a + b + c) \quad \dots\dots\dots 2.3.g)$$

$$N_x = -P \cos \alpha \quad \dots\dots\dots 2.3h)$$

$$L_x = V_A - q.b \quad \dots\dots\dots 2.3i)$$

$$M_x = V_A.x - 1/2.q.b(x - a - 1/2b) \quad \dots\dots\dots 2.3j)$$

$$(a + b + c) \leq x \leq L \quad \dots\dots\dots 2.3k)$$

$$N_x = 0 \quad \dots\dots\dots 2.3l)$$

$$L_x = V_A - q.b - P \sin \alpha \quad \dots\dots\dots 2.3l)$$

$$M_x = V_A.x - 1/2.q.b(x - a - 1/2b) - P \sin \alpha(x - a - b - c)$$

### II.3.2 Analisa Struktur

Struktur yang paling sederhana dan lazim dipelajari berupa sebuah baloka sederhana. Hal ini disebabkan karena konstruksi bangunan umumnya terdiri dari bagian-bagian berupa balok.

Dengan mengetahui sifat-sifat struktur balok, diharapkan dapat pula mengetahui lebih lanjut bentuk-bentuk struktur portal dan konstruksi rangka batang. Adapun cara menganalisis struktur adalah menurut langkah-langkah berikut :

1. Tentukan keseimbangan gaya luar atau reaksi perletakan dengan menggunakan persamaan statika, yakni :

$$\Sigma X = 0$$

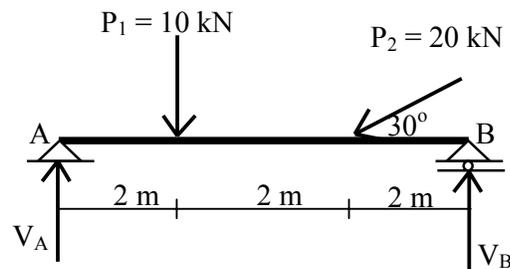
$$\Sigma Y = 0$$

$$\Sigma M = 0$$

2. Tentukan keseimbangan gaya dalam, apabila konstruksi stabil dengan memandang bagian sebagai *free body* yang seimbang, tampilkan gaya-gaya dalam yang harus mengimbangi gaya luar.

### II.4 Contoh-Contoh Soal dan Pembahasan

Soal 1. Tentukan keseimbangan struktur sederhana seperti gambar di bawah ini dengan cara analitis



Gambar 2.13 Contoh Soal 1 Keseimbangan Struktur

Penyelesaian :

a. Keseimbangan gaya luar : :

- Keseimbangan gaya horizontal :

$$\Sigma H = 0$$

$$H_A - 20 \cos 30 = 0$$

$$H_A = 17,32 \text{ kN}$$

- Keseimbangan gaya vertikal :

$$\Sigma M_B = 0$$

$$V_A \cdot 6 - 10 \cdot 4 - 20 \sin 30 \cdot 2 = 0$$

$$V_A = \frac{40 + 20}{6} = 10 \text{ kN}$$

$$\Sigma M_A = 0$$

$$-V_B \cdot 6 + 10 \cdot 2 + 20 \sin 30 \cdot 4 = 0$$

$$V_B = \frac{20 + 40}{6} = 10 \text{ kN}$$

- Keseimbangan gaya dalam :

$$0 \leq x \leq 2m$$

$$N_x = -P_2 \cos \alpha$$

$$x = 0 \rightarrow N_0 = -17,32 \text{ kN}$$

$$x = 2m \rightarrow N_2 = -17,32 \text{ kN}$$

$$L_x = V_A$$

$$x = 0 \rightarrow L_0 = 10 \text{ kN}$$

$$x = 2m \rightarrow L_2 = 10 \text{ kN}$$

$$M_x = V_A \cdot x$$

$$x = 0 \rightarrow M_0 = 0$$

$$x = 2m \rightarrow M_2 = 10 \cdot 2 = 20 \text{ kNm}$$

$$2m \leq x \leq 4m$$

$$N_x = -P_2 \cos \alpha$$

$$x = 2m \rightarrow N_0 = -17,32 \text{ kN}$$

$$x = 4m \rightarrow N_2 = -17,32 \text{ kN}$$

$$L_x = V_A - P_1$$

$$x = 2m \rightarrow L_0 = 10 - 10 = 0$$

$$x = 4m \rightarrow L_2 = 10 - 10 = 0$$

$$M_x = V_A \cdot x - P_1 \cdot (x - 2)$$

$$x = 2m \rightarrow M_0 = 10 \cdot 2 - 10(2 - 2) = 20 \text{ kNm}$$

$$x = 4m \rightarrow M_2 = 10 \cdot 4 - 10(4 - 2) = 20 \text{ kNm}$$

$$4m \leq x \leq 6m$$

$$N_x = 0$$

$$L_x = V_A - P_1 - P_2 \sin \alpha$$

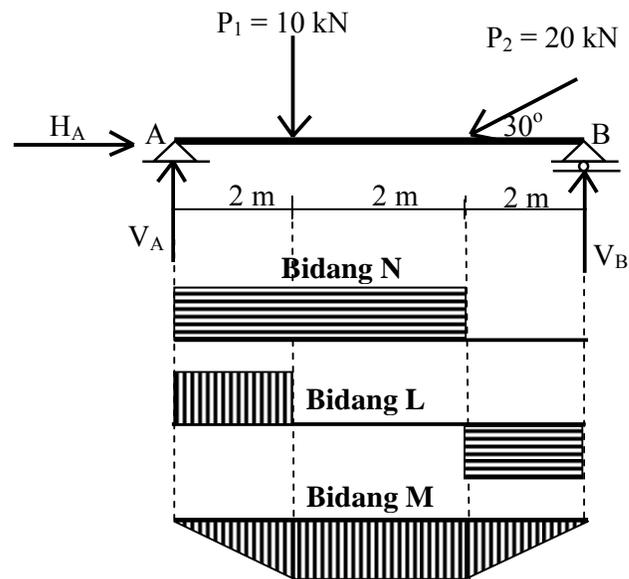
$$x = 4m \rightarrow L_0 = 10 - 10 - 20 \sin 30 = -10.kN$$

$$x = 6m \rightarrow L_2 = 10 - 10 - 20 \sin 30 = -10.kN$$

$$M_x = V_A \cdot x - P_1 \cdot (x - 2) - P_2 \cdot \sin \alpha (x - 4)$$

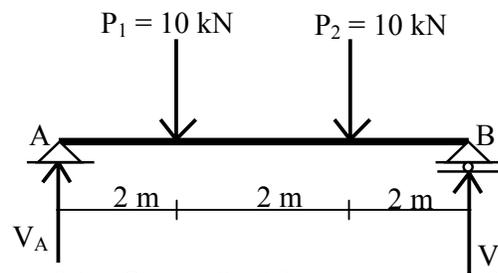
$$x = 4m \rightarrow M_0 = 10 \cdot 4 - 10(4 - 2) - 20 \sin 30 \cdot (4 - 4) = 20.kNm$$

$$x = 6m \rightarrow M_2 = 10 \cdot 6 - 10(6 - 2) - 20 \sin 30 \cdot (6 - 4) = 0$$



Gambar 2.14 Keseimbangan Gaya Luar dan Gaya Dalam Struktur Soal 1

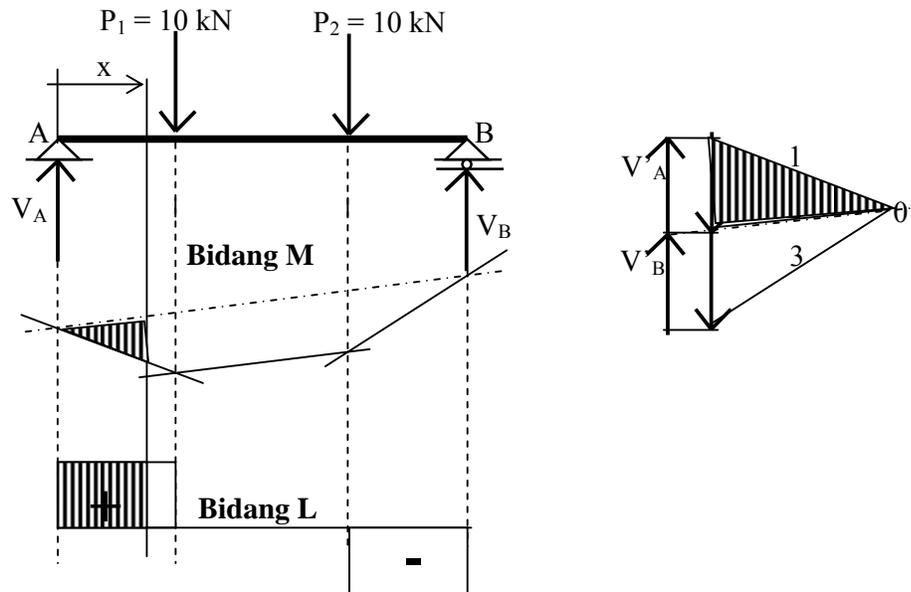
Soal 2. Tentukan keseimbangan struktur sederhana seperti gambar di bawah ini dengan cara grafis.



Gambar 2.15 Contoh Soal 2 Keseimbangan Struktur

Penyelesaian :

Untuk menentukan nilai  $V_A$  dan  $V_B$ , terlebih dahulu perlu ditetapkan skala gaya, misalnya  $1 \text{ cm} = 10 \text{ kN}$



Gambar 2.16 Keseimbangan Gaya Luar dan Gaya Dalam Soal 2

Besarnya nilai  $V_A$  dan  $V_B$ , selanjutnya ditentukan dengan mengukur panjang  $V'_A$  dan  $V'_B$  yang diperoleh dari lukisan kutub dan dikalikan dengan skala gaya, begitu juga untuk bidang gaya lintang dan bidang gaya momen.