

09/HD/87

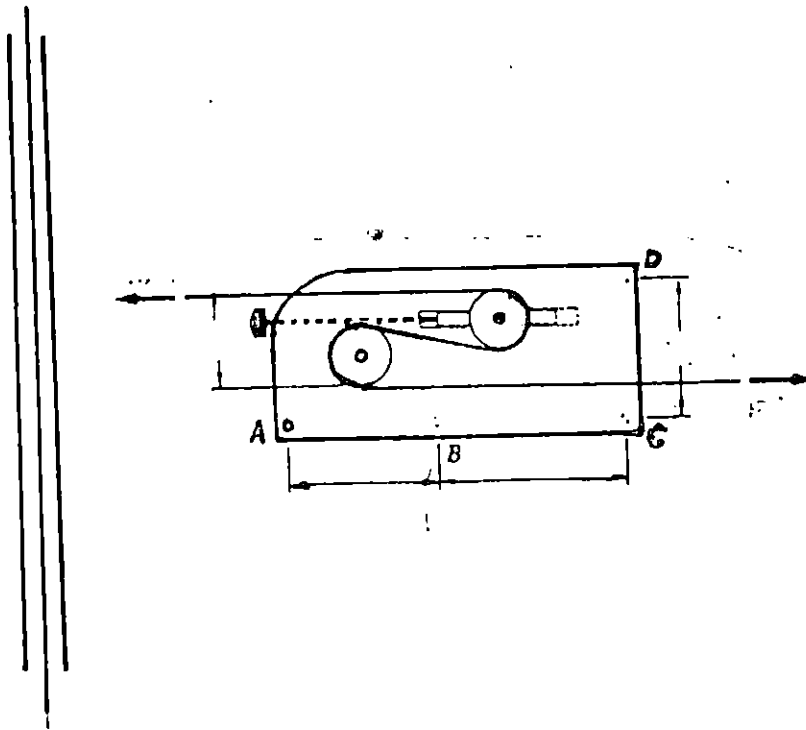
Seri Mekanika Teknik

PERPUSTAKAAN IKIP PADANG  
KOLEKSI RIDANG  
TIDAK DIPINJAMKAN  
KHUSUS DIFAKSI DALAM PERIF

# STATIKA

Bagian 1

Drs. Ambiyar. M.Pd.



INSTITUT KEGURUAN DAN ILMU PENDIDIKAN PADANG  
FAKULTAS PENDIDIKAN TEKNOLOGI DAN KEJURUAN

## KATA PENGANTAR

Berkat rahmat Tuhan Yang Maha Esa dapatlah diselesaikan buku mekanika teknik seri statika sesuai dengan rencana. Buku ini disusun untuk memenuhi kebutuhan bahan bacaan tentang mekanika teknik yang dirasa masih kurang dalam bahasa Indonesia. Materi yang disajikan diusahakan memakai bahasa yang sederhana serta menghindarkan pemakaian matematik yang kompleks dan sulit.

Dalam buku ini dilengkapi dengan contoh-contoh soal dan penyelesaiannya dan ditambah dengan soal-soal latihan beserta kunci jawabannya. Dengan demikian diharapkan supaya lebih mudah memahami dan mengetahui pemakaian rumus yang ada.

Pada kesempatan yang baik ini, penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih kepada semua pihak yang turut membantu dalam penyelesaian buku ini.

Terakhir sekali, bagaimanapun juga buku ini jauh dari sempurna dan segala kritik membangun dan koreksi dari teman sejawat, para ahli, dan para pembaca sangat ditunggu dengan segala senang hati dan hormat, guna untuk perbaikan di masa yang akan datang.

Penulis..

MILIK PERPUSTAKAAN IKIP PADANG	
DITERIMA TGL	23 - 11 - 1986
SUMBER/HARGA	- Harib
KOLEKSI	K1
NOMOR INVENTARIS	09/HR/87 - SD (2)
LOKASI	620.103 Amb SD

## DAFTAR ISI

	Halaman
KATA PENGANTAR . . . . .	i
DAFTAR ISI . . . . .	ii
BAB I : PENDAHULUAN . . . . .	1
1. Pengertian Mekanika . . . . .	1
2. Konsep dan Prinsip Dasar Mekanika . . . . .	2
3. Sistem Satuan . . . . .	3
4. Vektor . . . . .	9
BAB II : GAYA	
1. Pengertian Gaya . . . . .	15
2. Resultan Gaya . . . . .	15
3. Menguraikan Gaya . . . . .	18
4. Diagram gaya dan Jarak . . . . .	19
5. Resultan Lebih Dua Gaya yang Berlainan	19
BAB III : KESEIMBANGAN MOMEN . . . . .	37
1. Pengertian Momen . . . . .	37
2. Jenis Momen . . . . .	38
3. Teorema Varignon . . . . .	38
4. Momen Kopel . . . . .	40
5. Pemakaian Prinsip Momen . . . . .	41
DAFTAR PUSTAKA . . . . .	63

## BAB I

### PENDAHULUAN

#### 1. Pengertian Mekanika

Mekanika dapat didefinisikan sebagai ilmu yang menggambarkan dan meramalkan kondisi benda yang diam atau bergerak<sup>o</sup> karena pengaruh gaya yang beraksi pada benda. Mekanika dibagi menjadi tiga bagian, yakni mekanika benda tegar, mekanika benda lentuk dan mekanika fluida.

Mekanika benda tegar dibagi menjadi statika dan dinamika. Statika membahas benda dalam keadaan diam dan dinamika membahas benda dalam keadaan bergerak. Dalam pembahasan mekanika yang diuraikan disini benda dianggap tegar sempurna. Struktur dan mesin yang sesungguhnya tidak pernah benar-benar tegar dan mengalami deformasi (pelentukan) akibat pengaruh tekanan beban yang dikerjakan pada benda. Tetapi umumnya deformasi ini kecil dan tidak mempengaruhi kondisi keseimbangan atau gerakan struktur yang ditinjau. Masalah deformasi ini yang berhubungan dengan daya kemampuan suatu kerangka menahan suatu beban, dipelajari dalam mekanika bahan, yang merupakan sebagian dari mekanika fluida. Bagian ketiga dari mekanika adalah mekanika fluida. Mekanika fluida dibagi lagi menjadi studi mengenai fluida termampatkan dan taktermampatkan. Salah satu bagian penting dari studi mengenai fluida yang tak termampatkan adalah hidrolika. Sedangkan studi mengenai fluida yang termampatkan adalah termodinamika.

Mekanika adalah suatu cabang ilmu fisika, karena berhubungan dengan studi mengenai gejala fisis. Tetapi pada sebagian orang menghubungkan mekanika dengan matematika dan yang lain menanggapi sebagai ilmu teknik. Kedua pandangan ini sebagian dapat dibenarkan. Mekanika merupakan dasar

dari banyak ilmu-ilmu teknik dan merupakan persyaratan mula yang tidak dapat dihilangkan untuk mempelajarinya. Tetapi mekanika tidak berdasar pada kaidah empiris seperti yang terdapat pada ilmu teknik lain, pendekatan lebih di titik beratkan pada cara deduktif yang menyerupai pendekatan matematis. Mekanika bukanlah suatu ilmu yang abstrak atau murni, tetapi ilmu yang terpakai. Tujuan mekanika adalah menerangkan dan meramalkan gejala fisis dan dengan demikian meletakkan dasar-dasar aplikasi teknik.

## 2. Konsep dan Prinsip Dasar Mekanika

Konsep dasar yang digunakan dalam mekanika adalah ruang, waktu, massa, dan gaya. Konsep ini sukar untuk didefinisikan. Harus diterima atas dasar instuisi dan pengalaman untuk digunakan sebagai kerangka referensi (acuan) dalam studi mengenai mekanika.

Konsep ruang dihubungkan dengan kedudukan suatu titik, misalnya titik P. Posisi titik P dapat didefinisikan dengan tiga jarak diukur dari suatu titik referensi atau titik asal dalam tiga arah yang ditentukan, jarak ini dikenal sebagai koordinat titik P.

Untuk mendefinisikan suatu kejadian atau peristiwa, tidak cukup dengan menunjukkan posisinya dalam ruang. Waktu kejadian tersebut juga perlu diberikan. Konsep massa, digunakan untuk menentukan dan membedakan benda atas dasar suatu percobaan mekanika. Dua benda dengan massa yang sama, misalnya akan ditarik oleh bumi dengan cara yang sama, kedua benda tersebut juga menunjukkan sifat hambatan yang sama ketika mengalami perubahan gerak translasi.

Suatu gaya menunjukkan aksi suatu benda terhadap benda yang lain. Gaya ini dapat bereaksi melalui suatu kontak langsung atau dari suatu jarak tertentu, seperti pada gaya gravitasi dan gaya magnetik. Gaya ditentukan oleh titik aksi, besar, dan arah gaya yang dinyatakan sebagai su

tu vektor.

Dalam mekanika Newton, ruang, waktu dan massa adalah konsep yang absolut, saling tidak tergantung satu sama lain. Tetapi konsep gaya tergantung pada ketiga besaran di atas. Salah satu prinsip dasar mekanika Newton yang diuraikan disini menunjukkan bahwa gaya resultante yang bekerja pada sebuah benda berhubungan dengan massa benda dan bentuk perubahan kecepatan benda terhadap waktu.

Selanjutnya rumusan yang memuaskan dari prinsip dasar mekanika baru muncul sesudah dilakukan studi oleh Newton (1642 - 1727). Walaupun studi mengenai mekanika telah dimulai oleh Aristoteles (384 SM - 322 SM) dan Archimedes (287 SM - 212 SM). Kemudian prinsip dasar ini dinyatakan dalam bentuk yang telah dimodifikasi oleh D'Alembert, Lagrange, dan Hamilton. Validitas (kesahihan) prinsip mekanika tidak ada yang menyanggah sampai Einstein (1905) muncul dengan teori relativitasnya. Keterbatasan mekanika Newton telah diketahui, namun saat ini mekanika ini masih tetap menjadi dasar ilmu teknik.

Studi mekanika pendahuluan bertolak dari enam prinsip dasar yang diperoleh dari hasil eksperimen, yakni hukum paralelogram dalam penjumlahan gaya, prinsip transimibilitas, tiga hukum dasar Newton (I, II, dan III), dan hukum gravitasi Newton.

### 3. Sistem Satuan

Dengan keempat konsep dasar yang telah diuraikan diatas, diasosiasikan apa yang disebut satuan kinetik, yaitu satuan panjang, waktu, massa dan gaya. Satuan ini tidak dapat dipilih secara bebas bila persamaan  $F = m \cdot a$  (hukum kedua Newton) harus dipenuhi. Tiga dari keempat satuan ini dapat di definisikan secara bebas. Ketiga satuan tersebut disebut satuan dasar. Satuan keempat harus dipi-

lih sesuai dengan persamaan  $F = m \cdot a$ , dan disebut satuan turunan.

Ada 4 (empat) macam prinsip sistem satuan yang digunakan, yakni :

- a. Foot - Pound - Second System
- b. Centimetre - Gramme - Second System
- c. Metre - Kilogramme - Second System
- d. Systeme International d'Unite's

a. Foot-Pound-Second System

Dalam sistem ini satuan panjang adalah kaki (foot), satuan massa adalah pon (pound) dan satuan waktu detik (second). Satuan ini secara ringkas ditulis sistem FPS.

b. Centimetre-Gramme-Second System

Dalam sistem ini, satuan panjang centimeter, satuan massa adalah gram, dan satuan waktu adalah detik. Untuk ringkasnya ditulis CGS sistem.

c. Metre-Kilogramme-Second System

Sistem ini sangat erat hubungannya dengan sistem CGS. Untuk satuan panjang adalah meter. Satuan massa adalah kilogram dan satuan waktu adalah detik. Secara ringkas ditulis dengan sistem MKS dan dinamakan juga dengan sistem metrik. Dibawah ini diberikan tabel konversi untuk sistem MKS ke sistem FPS

Tabel : 1

Konversi Untuk Sistem MKS ke Sistem FPS

Faktor konversi	Dari Ke (Sistem FPS)	Ke Dari (Sistem MKS)	Faktor konversi
	<u>Panjang</u>		
0,3937	inchi	Centimeter	2,54
3,2809	kaki (feet)	Meter	0,3048
1,0936	Yard	Meter	0,9144
0,6208	Mil	Kilometer	1,609

sambung

Faktor konversi	Dari Ke (Sistem FPS)	Ke Dari (Sistem MKS)	Faktor konversi
Luas			
0,155	inchi <sup>2</sup>	centimeter <sup>2</sup>	6,4514
10,764	kaki <sup>2</sup>	meter <sup>2</sup>	0,0929
1,1961	yard <sup>2</sup>	meter <sup>2</sup>	0,8361
Volume			
0,061	inchi <sup>3</sup>	centimeter <sup>3</sup>	16,387
35,31	kaki <sup>3</sup>	meter <sup>3</sup>	0,0283
1,308	yard <sup>3</sup>	meter <sup>3</sup>	0,7645
0,263	Gallon	Liter	3,79
Berat			
2,226	pon	kilogram	0,4536
0,000984	Ton	Kilogram	1016,04
0,672	pon/kaki	kilogram/meter	1,4882

Dari tabel 1 di atas dapat dilihat untuk satuan panjang 1 inchi = 2,54 cm atau 1 Cm = 0,3937 inchi. Cara yang sama juga dapat diterapkan untuk satuan luas, volume, dan berat.

#### d. Systeme International d'Unite's

SI adalah singkatan dari Systeme International d'Unite's (International System of Units). Sistem ini dipakati pada konferensi Internasional berat dan ukuran di Paris tanggal 11 Oktober 1960. Sistem ini didasarkan pada enam satuan dasar, yakni :

- a. meter standart satuan panjang
- b. kilogram standart satuan massa
- c. detik standart satuan waktu
- d. Ampere standart satuan Arus listrik



- e. Kelvin standart satuan temperatur
- f. Kadela standart satuan intensitas cahaya

Sistem ini juga menggunakan satuan radian (rad) untuk mengukur sudut, baik sudut di bidang datar maupun di dalam ruang. Dalam sistem ini, kilogram merupakan satuan massa dan bukan satuan gaya. Satuan gaya adalah Newton dan simbolnya huruf N. Satuan gaya ini berasal dari massa (kilogram) dikalikan dengan percepatan ( $m/det^2$ ). Berikut ini diberikan beberapa satuan utama yang digunakan dalam sistem SI (tabel 2).

Tabel : 2

Beberapa Satuan Utama Yang Digunakan  
Dalam Sistem SI

Kuantitas	Nama Satuan	Lambang	Satuan yang dinya - takan dalam besaran dasar atau satuan pelengkap
Luas	meter kuadrat	$m^2$	$m^2$
Volume	meter kubik	$m^3$	$m^3$
Frekuensi	hertz, putaran/detik	Hz	$det^{-1}$
Density	kilogram/ meter kubik	$kg/m^3$	$kg/m^3$
Kecepatan	meter per detik	$m/det$	$m/det$
Kecepatan sudut	radian per detik kuadrat	$rad/det$	$rad/det$
Percepatan	meter per detik kuadrat	$m/det^2$	$m/det^2$
Percepatan sudut	radian per detik kuadrat	$rad/det^2$	$rad/det^2$
Volume aliran rata-rata	meter kubik per detik	$m^3/det$	$m^3/det$
Gaya	newton	N	$kgm/det^2$

sambung

Tegangan permukaan	newton per meter	N/m	
	Joule per meter kuadrat	J/m <sup>2</sup>	kg/det <sup>2</sup>
Tekanan, tegangan	newton per meter kuadrat, pascal	N/m <sup>2</sup> Pa	kg/m.det <sup>2</sup>
Kekentalan dinamik	newton detik per meter kuadrat, poissville	N.det/m <sup>2</sup> Pa	kg/m.det
Kekentalan kinematik	meter kuadrat per detik	m <sup>2</sup> /det	m <sup>2</sup> /det
Kerja, Momen Puntir	Joule, newton meter, Watt	J, Nm W.det	kg.m <sup>2</sup> /det
Energi, Panas.	detik		
Daya	Watt	W	kg.m <sup>2</sup> /det <sup>3</sup>
Kekuatan tumbukan	Joule per meter kuadrat	J/m <sup>2</sup>	J/m <sup>2</sup>
Momentum	kilogram meter	kg.m/det	kgm/det <sup>2</sup>
Momentum sudut	kilogram meter kuadrat per detik	kg.m <sup>2</sup> /det	kg.m <sup>2</sup> /det
Momen inersia	kilogram meter kuadrat	kgm <sup>2</sup>	kg.m <sup>2</sup>
Momen	newton meter	Nm	Nm
Temperatur	derajat Celsius	°C	°C
Beda temperatur	derajat Kelvin, dan Celcius	°K, °C	°K, °C

Dalam sistem SI ada faktor kelipatan dan sub-kelipatan. Faktor itu dapat diperoleh dengan menggunakan awalan seperti didefinisikan dalam tabel 3. Kelipatan dan subkelipatan satuan panjang, massa dan gaya yang sering digunakan dalam teknik adalah kilometer (km) dan millimeter (mm), mega gram (Mg), dan kilo Newton (kN). Menurut tabel 3 diperoleh misalnya : 1 km = 1000 m, 1 Mg = 1000 kg, 1 kN = 1000 N, 1 mm = 0,001 m, 1 gram = 0,001 kg, dan seterusnya.

Tabel : 3

## Awalan Dalam Sistem SI.

Awalan	Lambang	Faktor Pengali
Tera	T	$10^{12}$
Giga	G	$10^9$
Mega	M	$10^6$
Kilo	k	$10^3$
Hecto	h	$10^2$
Deca	da	10
Deci	d	$10^{-1}$
Centi	c	$10^{-2}$
Multi	m	$10^{-3}$
Micro		$10^{-6}$
Nano	n	$10^{-9}$
Pico	p	$10^{-12}$
Femto	f	$10^{-15}$
Atto	a	$10^{-18}$

Hanya ada satu awalan pengali yang diizinkan pada setiap simbol (lambang), yakni simbol 1 milli micrometer adalah tidak diizinkan, dan dapat disebut 1 nanometer ( 1 nm). Selanjutnya hasil dari dua satuan, yakni dari newton dan meter ditulis secara simbol sebagai N-m atau Nm.

Kemudian dapat ditambahkan, sebagai mana telah diuraikan di atas bahwa satuan dasar dalam sistem SI adalah meter, kilogram dan detik yang merupakan satuan panjang, massa, dan waktu. Meter ditentukan berdasarkan 1650763,73 panjang gelombang sinar oranye krypton. Kilogram ditentukan berdasarkan massa silinder platinum Iridium yang disimpan di Serves Perancis. Detik ditentukan berdasarkan 9192631770 cycles radiasi hyperfine.

#### 4. Vektor

Vektor didefinisikan sebagai pernyataan matematis yang mempunyai besaran dan arah yang penjumlahannya mengikuti hukum jajaran genjang. Besaran yang dinyatakan sebagai vektor misalnya gaya, kecepatan, momentum, percepatan, dan lain-lain. Sedangkan besaran yang tidak mempunyai arah dinamakan skalar, misalnya massa, kerja, energi, daya, dan lain-lain.

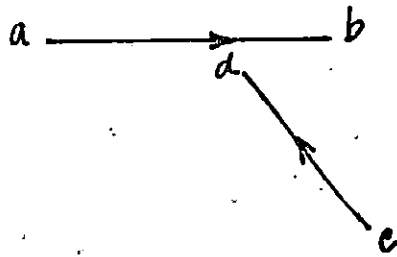
Vektor dinyatakan dengan anak panah dalam gambar. Dalam bentuk tulisan tangan, sebuah vektor dapat digambarkan dengan suatu garis panah di atas huruf yang mewakili vektor itu, misalnya vektor  $a$  dapat ditulis  $\vec{a}$ . Besaran suatu vektor sesuai dengan panjang anak panah yang menyatakan vektor tersebut.

Suatu vektor menyatakan suatu gaya yang beraksi pada sebuah partikel mempunyai suatu titik tangkap yang pasti, yaitu partikel itu sendiri. Vektor sedemikian disebut tertentu atau terikat dan tidak dapat dipisahkan tanpa merubah kondisi soal yang ditinjau. Besaran fisis lain, misalnya kopel gaya dinyatakan oleh vektor yang dapat diubah dengan bebas dalam ruang, dan vektor demikian disebut vektor bebas. Ada besaran lain, seperti gaya yang beraksi pada sebuah tegar dinyatakan oleh vektor yang dapat dipindahkan atau menggeser sepanjang garis aksi disebut vektor geser.

##### a. Penjumlahan dua buah vektor

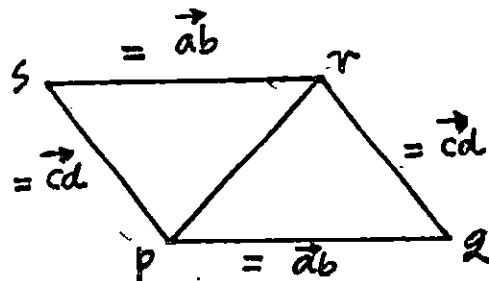
Dua vektor dinyatakan dengan garis  $\vec{ab}$  dan  $\vec{cd}$  seperti gambar 1 dan diperlukan untuk menghitung jumlahnya. Untuk menghitung jumlahnya, tarik garis  $\vec{pq}$  sama dan sejajar dengan  $\vec{ab}$  dan garis lain  $\vec{qr}$  sama dan sejajar dengan  $\vec{cd}$  pada titik  $q$ . Kemudian vektor  $\vec{pr}$  menyatakan jumlah vektor dari vektor  $\vec{ab}$  dan  $\vec{cd}$ , seperti dalam gambar 2.

Hasil yang sama dapat diperoleh dengan menarik  $\vec{ps}$



Gambar : 1  
Vektor ab dan cd

sama dan sejajar dengan cd dan sr sama dan sejajar dengan ab pada titik s, hasilnya tidak tergantung dari manakah mengambil mula-mula, apakah mengambil dari vektor ab yang pertama atau cd yang pertama. Metoda ini dari penjumlahan vektor disebut hukum segi tiga dari penjumlahan vektor.



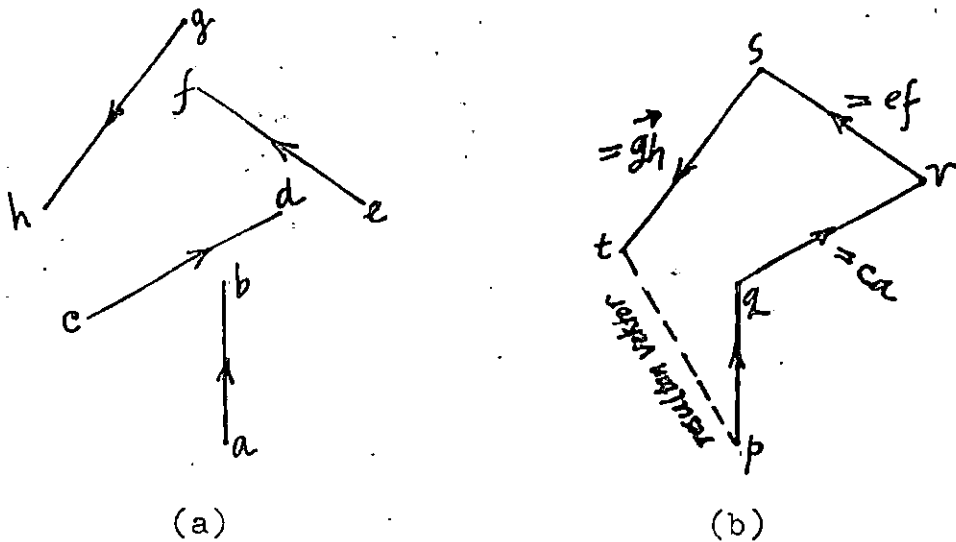
Gambar : 2

Penjumlahan dua vektor

#### b. Penjumlahan tiga vektor atau lebih.

Perhatikan beberapa vektor yang ditunjukkan dalam gambar. 3a. Untuk menentukan jumlah vektor dapat dilakukan lebih baik dengan metoda poligon (method of polygon law of vector addition). Tarik garis pq sama dan sejajar dengan vektor ab.

Pada titik q, tarik qr sama dan sejajar dengan vektor cd. Pada titik r tarik rs sama dan sejajar dengan ef dan teruskan sampai titik t. Hubungkan garis p dan t sehingga menghasilkan resultan vektor (gambar 3.b).



(a)

(b)

Gambar : 3

## Penjumlahan beberapa vektor

Metoda di atas dari penjumlahan vektor dapat diperluas untuk menambahkan beberapa buah vektor dengan hukum umum (general rule) dibawah ini. Tarik vektor pertama  $pq$  (gambar 3.b) dan pada ujungnya merupakan awal dari vektor kedua  $qr$ . Selanjutnya pada ujung vektor kedua tempatkan awal vektor ketiga  $rs$  dan pada ujung vektor ketiga merupakan awal dari vektor keempat, dan seterusnya. Teruskan proses ini sampai vektor terakhir. Jumlah vektor dinyatakan dengan menghubungkan awal vektor pertama dan ujung dari vektor terakhir, sehingga diperoleh  $pt$  (seperti dalam kasus gambar 3.b).

## Contoh Soal :

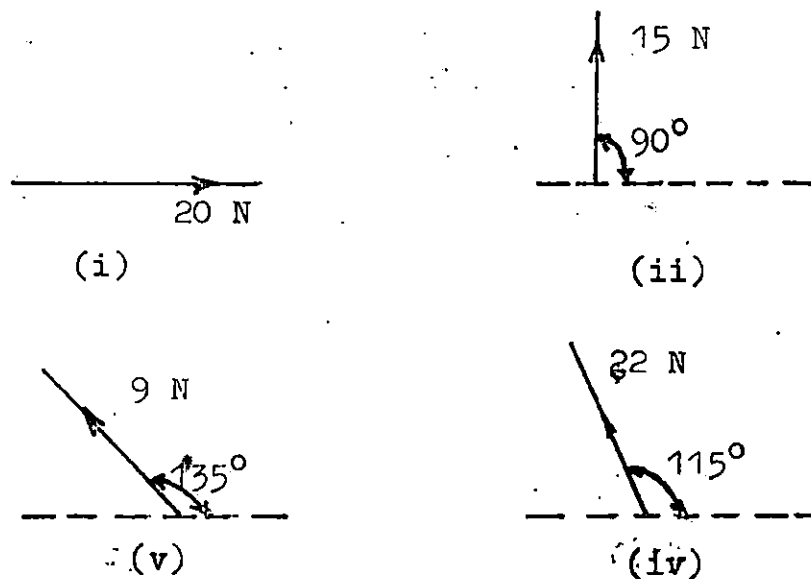
4 (empat) buah gaya bekerja pada sebuah bidang vertikal di atas sebuah balok kayu. Besar dan arah gaya adalah sebagai berikut :

- i. 20 kg membentuk sudut  $0^\circ$
- ii. 15 kg membentuk sudut  $90^\circ$
- iii. 9 kg membentuk sudut  $135^\circ$
- iv. 22 kg membentuk sudut  $115^\circ$

Tentukanlah sebuah gaya pengganti di bidang vertikal yang mempunyai pengaruh yang sama pada balok, bila empat gaya bekerja bersama-sama.

Penyelesaian :

o Masalah (soal) terdiri dari menghitung jumlah vektor dari empat buah gaya yang bekerja pada balok. Untuk menghitung ini, pertama gambarkanlah posisi vektor dengan benar, seperti ditunjukkan dalam gambar 4 dibawah ini.

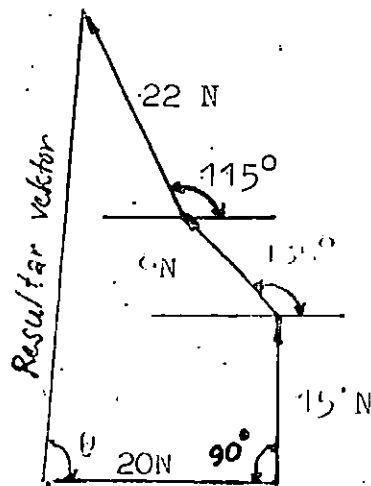


Gambar : 4

Posisi empat buah vektor

Untuk menghitung jumlah (gaya pengganti), maka digunakan hukum umum di atas, yakni: pertama tarik vektor pertama tempat permulaan dari tiap-tiap vektor pada ujung dari vektor yang mendahuluinya sampai diperoleh resultante vektor. Resultan vektor dinyatakan dengan vektor  $p_t$  (lihat gambar 5).

$$\begin{aligned} \text{Setelah diukur, : } p_t &= 41,66 \text{ N.} \\ &= 84^\circ \end{aligned}$$



Gambar 5

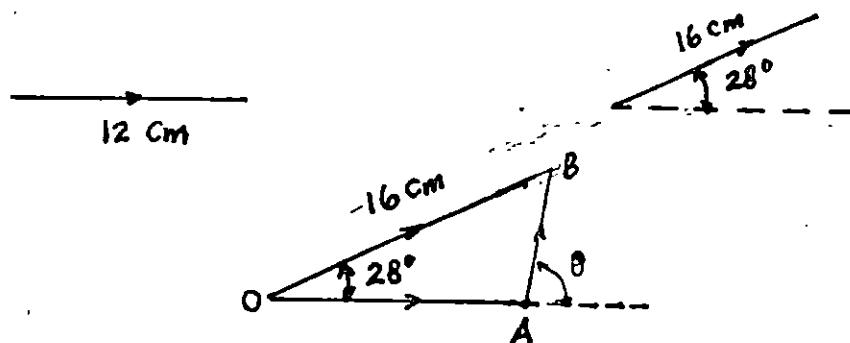
Penjumlahan empat buah vektor.

### Contoh 1-2

Sebuah vektor panjangnya 12 cm dan sebuah vektor lain yang belum diketahui panjangnya. Resultan vektor 16 cm yang membuat sudut  $28^\circ$  dengan vektor 12 cm. Hitung vektor yang belum diketahui panjangnya tersebut.

Penyelesaian :

Perhatian arah vektor 12 cm yang berada pada posisi horizontal (gambar 5.a) dan resultan vektor 16 cm yang membuat sudut  $28^\circ$  dengan garis horizontal (gambar 5.b). Masalah yang pokok menentukan beda vektor dari dua vektor (vektor 12 cm dengan sudut  $0^\circ$  dan vektor 16 cm dengan sudut  $28^\circ$  terhadap garis referensi horizontal).



Gambar 6

Penjumlahan dua vektor berlainan



Untuk menentukan ini, gambarlah OA menyatakan vektor 12 cm (gambar 5.c). Pada titik O gambar OB menyatakan vektor 16 cm yang membentuk sudut  $28^\circ$  terhadap referensi horizontal. Selanjutnya AB merupakan beda vektor yang dibutuhkan (gambar 5.c).

Setelah diukur diperoleh beda vektor = 7,81 cm dan sudut yang dibuat dengan referensi horizontal ( $\theta$ ) adalah  $71^\circ 10'$ .

### Soal-Soal Latihan

1. Apakah yang dimaksud dengan mekanika terpakai (terapan)? dan sebutkan bagian-bagian dari mekanika.
2. Apakah yang dimaksud dengan vektor dan skalar? Besaran berikut ini, apakah termasuk skalar atau vektor
  - a. Kuat Arus
  - b. Temperatur
  - c. Gaya gravitasi
  - d. Gaya magnet
  - e. Kecepatan sudut
3. Dua buah gaya  $F_1$  dan  $F_2$ . Gaya  $F_1$  besarnya 4 N dan bekerja arah Selatan dan gaya  $F_2$  sebesar  $2\sqrt{2}$  N bekerja arah Timur Laut. Hitunglah gaya pengganti yang mempunyai pengaruh sama dengan gaya  $F_1$  dan  $F_2$ . (Key :  $2\sqrt{2}$  N ; arah tenggara).
4. Dua buah vektor mempunyai besaran yang sama, bila dijumlahkan menghasilkan sebuah resultan yang sama dengan kedua gaya tersebut. Berapakah besar sudut antara kedua gaya tersebut. (Key :  $120^\circ$ )
5. Gunakanlah hukum poligon vektor. Tentukanlah besar dari resultan gaya dari sistem gaya sebagai berikut : (1) 10 N mengarah  $45^\circ$  ke Timur laut, (2) 25 N mengarah ke Utara, (3) 30 N mengarah  $60^\circ$  ke Barat Daya, dan (4) 20 N mengarah ke Tenggara. (Key : 20,4 N mengarah  $33^\circ$  ke Tenggara)

## BAB II

### GAYA

#### 1. Pengertian Gaya

Tiap sebab yang mengakibatkan sesuatu benda berubah dari keadaan diam menjadi bergerak dan dari keadaan bergerak menjadi diam disebut gaya. Sifat pokok pertama hukum pertama Newton menyebutkan, apabila sebuah benda dibiarkan pada dirinya sendiri, maka dalam keadaan bergerak atau diam kedudukan benda itu tak akan berubah (azas kelembaman /inersia). Jikalau sebuah benda beralih dari keadaan diam ke keadaan bergerak atau sebaliknya, atau jika ada perubahan dalam kedudukan diam atau kedudukan bergerak itu, maka ada suatu sebab yang menjadikan perubahan itu, penyebab ini dinamakan gaya.

Gaya juga menyebabkan perubahan arah atau kecepatan suatu gerak. Agar dapat menyatakan gaya itu pada gambar, haruslah diketahui terlebih dahulu ketentuan dari gaya, seperti titik tangkap, besar, dan arah gaya. Pada ilmu gerak dalam mekanika teknik terjadinya gaya itu karena beberapa hal, antara lain oleh gaya otot, gaya berat, gaya pusingan atau gaya sentrifugal, dan gaya pegas.

#### 2. Resultan Gaya

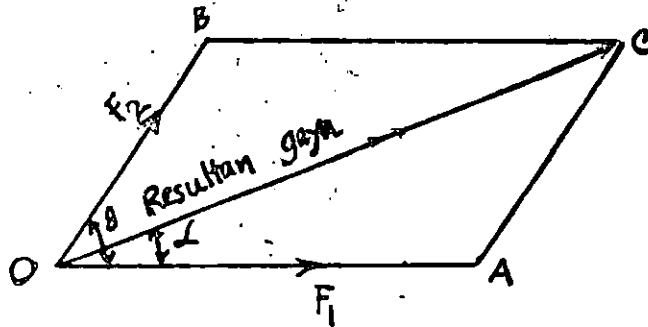
Jika sejumlah gaya  $F_1$ ,  $F_2$ ,  $F_3$  ..... bekerja pada sebuah benda tegar, maka gaya pengganti (resultan)  $R$  mempunyai pengaruh yang sama dengan gabungan pengaruh dari beberapa gaya tersebut, dinamakan resultan gaya. Gaya  $F_1$ ,  $F_2$ ,  $F_3$ , ..... dinamakan sebagai komponen gaya.

##### a. Resultan dari dua gaya yang berlainan

Resultan dapat diperoleh secara analitis atau grafis dengan hukum-hukum dibawah ini :

##### 1). Hukum paralelogram gaya

Jika dua gaya bekerja pada sebuah titik maka dapat digambarkan besaran dan arahnya dengan sisi yang berdekatan dari sebuah paralelogram. Selanjutnya diagonal dari paralelogram melalui titik potong menghasilkan besar dan arah resultan (gambar 7).



Gambar : 7

## Paralelogram gaya

Secara analitis :

$$R = \sqrt{F_1^2 + F_2^2 + 2 F_1 F_2 \cos \theta}$$

dimana :  $F_1$  dan  $F_2$  = gaya  
 $R$  = resultan gaya  
 $\theta$  = sudut antara gaya  $F_1$  dan  $F_2$

Jika  $\alpha$  adalah sudut resultan gaya  $R$  yang dibuat dengan garis  $OA$  dan arah dari gaya  $F_1$ , maka besar sudut dapat ditentukan dengan rumus :

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{F_2 \sin \theta}{F_1 + F_2 \cos \theta}$$

Beberapa kasus istimewa :

Jika  $\theta = 0^\circ$ , yakni bila dua gaya bekerja sepanjang garis lurus yang sama dan dalam arah yang sama pula, maka besar resultan dapat ditentukan dengan rumus :

$$R = F_1 + F_2$$

Jika  $\theta = 90^\circ$ , yakni bila gaya adalah tegak lurus satu sama lain, maka besar resultan adalah :

$$R = \sqrt{F_1^2 + F_2^2} \quad \text{dan} \quad \text{tg } \theta = \frac{F_2}{F_1}$$

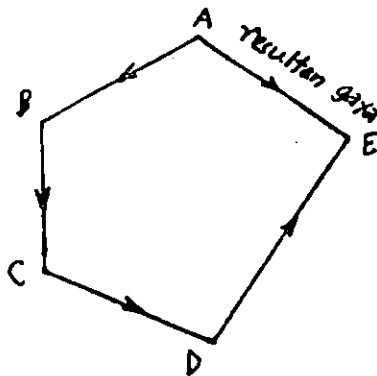
Jika  $\theta = 180^\circ$ , yakni bila gaya yang bekerja sepanjang garis lurus yang sama tetapi dalam arah yang berlawanan, maka besar resultan adalah :

$$R = F_1 - F_2$$

Resultan gaya bekerja menurut arah gaya yang lebih besar.

Secara Grafis :

Gaya-gaya juga boleh dijumlahkan secara grafis atau secara vektor seperti di ilustrasikan dalam gambar 8.



Gambar : 8

### Penjumlahan gaya

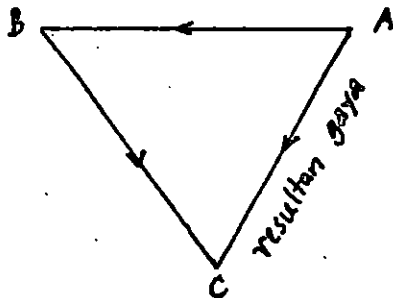
#### 2). Hukum segi tiga gaya

Jika sebuah partikel memiliki dua gaya yang bekerja dan digambarkan dengan sisi AB dan BC dari sebuah segi tiga, ini adalah setara dengan sebuah gaya yang digambarkan dengan sisi ketiga, yakni AC (lihat gambar 9).

#### 3). Hukum poligon gaya

Jika sebuah gaya bekerja pada sebuah partikel digambarkan besaran dan arahnya dengan sisi AB, BC, dan CD, maka sisi penutup dari poligon EA menggambarkan besar dan

arah dari resultan gaya (gambar 8).



Gambar : 9

Segi tiga gaya

### 3. Menguraikan Gaya

Sebuah gaya  $F$  yang beraksi sebuah partikel (benda) dapat diganti dengan dua atau lebih yang secara bersama - sama mempunyai efek yang sama pada benda tersebut. Proses penggantian sebuah gaya dengan bagian komponen dinamakan menguraikan gaya dan komponen bagian dinamakan bagian yang diuraikan dari sebuah gaya. Perhatikanlah gambar 7, dimana  $F_1$  dan  $F_2$  adalah uraian dari gaya  $R$ . Dengan memperhatikan gambar 7, jelaslah untuk tiap gaya  $F$  terdapat banyak sekali kombinasi komponen yang mungkin, tetapi kombinasi dua komponen  $F_1$  dan  $F_2$  merupakan kombinasi yang paling penting dan banyak dipakai secara praktis.

Ada dua kasus yang perlu diperhatikan dalam menguraikan gaya, yakni :

a. Salah satu dari dua komponen gaya diketahui.

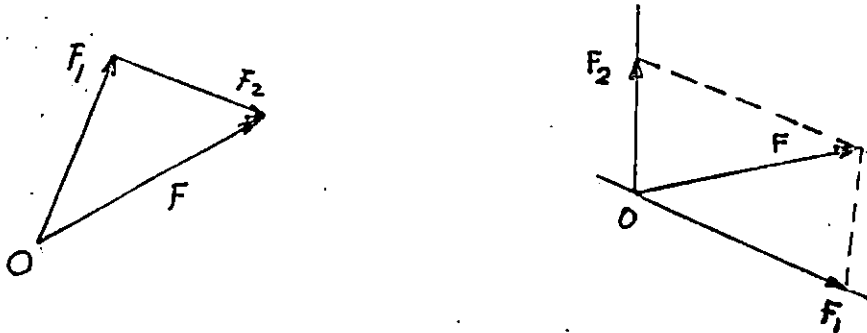
Bila gaya  $F_1$  diketahui, maka gaya  $F_2$  diperoleh dengan menggunakan hukum segitiga dan dengan menghubungkan ujung  $F_1$  ke  $F$  (gambar 10.a), besar dan arah  $F_2$  ditentukan secara grafis atau ilmu ukur segitiga.

b. Garis aksi dari setiap komponen diketahui

Besar dan arah komponen diperoleh dengan menggunakan hukum jajaran genjang dan dengan meng-

gambarkan garis melalui ujung  $F$  sejajar dengan garis gaya yang diketahui (gambar 10.b).

Banyak kasus lain yang mungkin dijumpai, namun untuk semua hal segitiga atau jajaran genjang yang sesuai digambarkan dan sesuai dengan syarat yang diberikan.



Gambar : 10

Menguraikan gaya

#### 4. Diagram Gaya dan Jarak

Diagram gaya (force diagram) juga dinamakan diagram vektor. Diagram gaya adalah sebuah diagram yang digambarkan dengan suatu skala tertentu dari diagram jarak (space diagram) dan untuk menghitung gaya-gaya yang dilibatkan dalam sebuah sistem. Sedangkan sebuah diagram jarak adalah untuk menunjukkan secara garis besar keadaan benda atau struktur bermacam-macam gaya yang bekerja pada benda, termasuk gaya aksi dan reaksi, posisi dan arah gaya.

#### 5. Resultan Lebih Dua Gaya Yang Berlainan

Resultan lebih dari dua gaya yang berlainan dapat ditentukan dengan cara grafis dan analitis. Secara grafis dapat dilakukan dengan hukum poligon gaya. Secara analitis, uraikan semua gaya secara horizontal dan vertikal (katakanlah sepanjang sumbu X dan Y) dan hitunglah :

$$F_v = \text{jumlah dari komponen gaya vertikal}$$

$$F_h = \text{jumlah dari komponen gaya horizontal}$$

Selanjutnya besar resultan dapat ditentukan dengan rumus :

$$R = \sqrt{(\sum F_V)^2 + (\sum F_H)^2}$$

Besar sudut kemiringan ( $\theta$ ) terhadap bidang horizontal diperoleh dengan rumus :

$$\text{tg } \theta = \frac{\sum F_V}{\sum F_H}$$

Cara lain untuk menentukan resultan gaya yang lebih dari dua gaya dapat digunakan Dalil Lami's (Lami's theorem) Dalil Lami's mempunyai keterbatasan dalam pemakaiannya, dan hanya berlaku untuk tiga buah gaya yang bekerja pada satu titik tangkap (gaya konkuren). Bunyi dari dalil Lami's adalah : jika tiga buah gaya bekerja pada satu titik tangkap berada dalam keadaan seimbang, maka masing-masing gaya berbanding langsung dengan sinus dari sudut antara dua gaya lainnya.

#### Contoh Soal 2.1

Dua buah gaya 100 kg dan 150 kg bekerja pada sebuah titik. Jika sudut antara garis kerja gaya  $30^\circ$ , maka tentukanlah besar resultan gaya : a) secara analitis, dan b) secara grafis.

Penyelesaian : (a) secara analitis

Gunakan rumus :

$$R = \sqrt{(F_1^2 + F_2^2 + 2 F_1 F_2 \cos \theta)}$$

dimana  $F_1 = 100$  kg,  $F_2 = 150$  kg, dan  $\theta = 30^\circ$

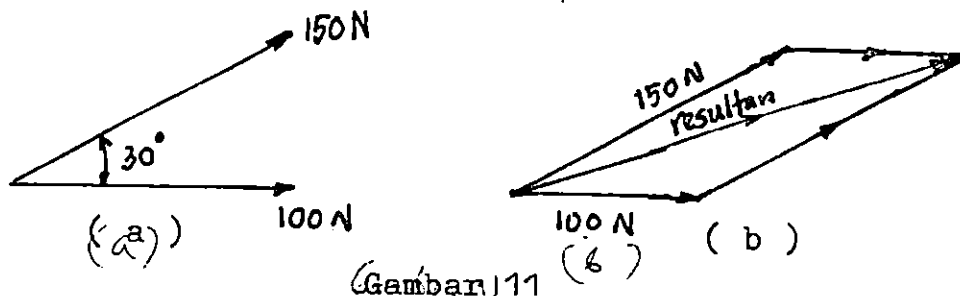
$$R = \sqrt{(100^2 + 150^2 + 2 \cdot 100 \cdot 150 \cdot \cos 30^\circ)}$$

$$R = \sqrt{58480}$$

$$R = 241.82 \text{ kg}$$

(b) Secara grafis

Tarik garis OA untuk menggambarkan gaya 100 kg dan OB untuk menggambarkan gaya 150 kg sebesar  $30^\circ$  terhadap OA. Lengkapi paralelogram OACB dengan OA dan OB sebagai sisi yang berdekatan. Selanjutnya diagonal OC adalah resultan yang dibutuhkan. Setelah diukur diperoleh  $R = OC = 242$  kg. (lihat gambar 11 a dan b).



Gambar 11

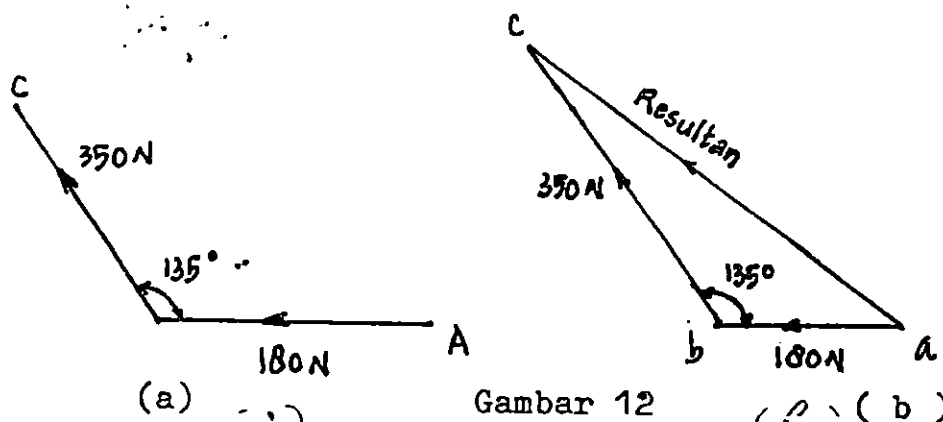
Resultan dua buah gaya dengan paralelogram gaya

Sebagai tambahan, agar memudahkan untuk melukis gaya maka sebaiknya tetapkan dahulu skala gaya, misalnya satu (1) Cm = 50 kg, dan seterusnya.

### Contoh 2.2

Sebuah gaya sebesar 180 N bekerja pada sebuah titik dan mempunyai kemiringan  $135^\circ$  terhadap gaya lain yang besarnya 350 N. Hitunglah resultan dari dua buah gaya tersebut.

Penyelesaian :



Gambar 12

Resultan dua buah gaya dengan segitiga gaya



Dalam gambar 12 a ditunjukkan posisi relatif dari dua gaya. Untuk menghitung resultan gaya, tarik garis ab untuk menggambarkan gaya sebesar 180 N dengan suatu skala gaya yang telah ditetapkan. Pada titik b, tarik bc sama dan sejajar dengan gaya 350 N (dengan skala gaya yang sama). Hubungan ac menyatakan resultan gaya (gambar 12 b). Setelah diukur diperoleh  $ac = 494$  Newton dengan membentuk sudut  $30^\circ$  terhadap bidang horizontal.

### Contoh 2.3

Hitunglah besar resultan dari gaya dibawah ini yang bekerja pada satu titik tangkap :

- (i) 80 N arah utara
- (ii) 20 N arah timur laut
- (iii) 40 N arah timur
- (iv) 60 N membentuk sudut  $30^\circ$  arah tenggara
- (v) 70 N membentuk sudut  $60^\circ$  arah barat daya

Penyelesaian :

Uraikan semua gaya secara horizontal

$$\begin{aligned}
 F_H &= \text{Jumlah dari komponen gaya horizontal} \\
 &= 80 + 20 \cos 45^\circ + 40 + 60 \cos 60^\circ + (-70 \cos 60^\circ) \\
 &= 40 - 10 \cos 60^\circ + 20 \cos 45^\circ \\
 &= 40 - 5 + 10 \sqrt{2} \\
 &= 49,142 \text{ N (arah Timur)}
 \end{aligned}$$

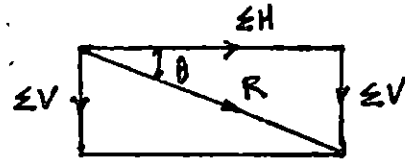
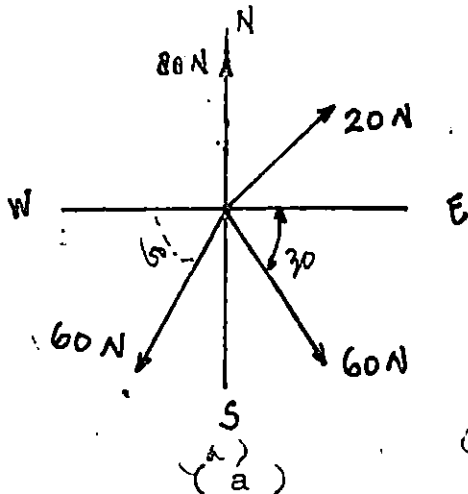
Juga, uraikan semua gaya secara vertikal

$$\begin{aligned}
 F_V &= 80 + 20 \sin 45^\circ + 0 - 60 \sin 60^\circ - 70 \sin 60^\circ \\
 &= 80 + 14,142 - 51,96 - 60,62 \\
 &= -18,438 \text{ N (arah Utara)}
 \end{aligned}$$

Dimana  $F_V = 18,438$  N arah Selatan (lihat gambar 13)

Jika R adalah resultan semua gaya, maka :

$$\begin{aligned}
 R &= \sqrt{\sum F_H^2 + \sum F_V^2} \\
 &= \sqrt{49,142^2 + 18,438^2} = 52,5 \text{ Newton}
 \end{aligned}$$



Gambar 13  
Gambar 13

Resultan 4 buah gaya dengan satu titik tangkap  
Jika resultan gaya ( $R$ ) membuat sudut  $\theta$  dengan bidang horizontal, maka :

$$\operatorname{tg} \theta = \frac{\sum F_V}{\sum F_H} = \frac{18,438}{49,142} = 0,3752$$

$$\theta = 20.5^\circ$$

Dengan demikian resultan  $R$  membentuk sudut sebesar  $20.5^\circ$  arah tenggara seperti ditunjukkan dalam gambar 13.

#### Tambahan

Di dalam perhitungan di atas digunakan suatu perjanjian tanda sebagai berikut :

##### a. Gaya

Bila gaya mengarah kekanan ( $\xrightarrow{F}$ ) dan mengarah ke atas ( $\uparrow F$ ) diberi tanda positif (+), sebaliknya, gaya yang mengarah ke kiri ( $\xleftarrow{F}$ ) dan ke bawah diberi tanda negatif (-)

##### b. Sudut

Bila arah putar sudut ke atas diberi tanda positif (+) dan tanda negatif (-) untuk arah putar sudut ke bawah ( $\downarrow$ ).

Perjanjian tanda di atas yang merupakan referensinya adalah terhadap sistem koordinat yang ditentukan/ditetapkan.

## Contoh 2-4

Hitunglah resultan 4 gaya konkuren yang besarnya masing-masing 8 N, 12 N, 15 N dan 20 N dan besar sudut yang dibentuk  $30^\circ$ ,  $70^\circ$ ,  $120^\circ 15'$  dan  $155^\circ$  dengan sebuah garis tetap (fixed line).

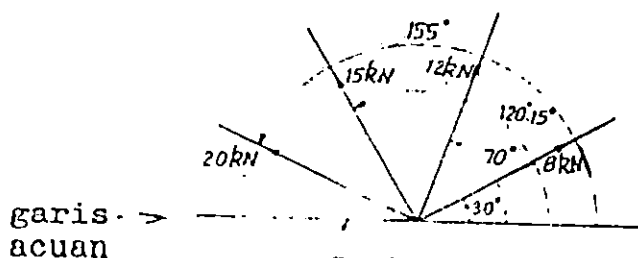
Penyelesaian :

Perhatikanlah resultan gaya (R) dengan sudut kemiringan ( $\theta$ ) terhadap garis tetap. Komponen dari resultan sepanjang garis tetap adalah  $R \cos \theta$  dan sama dengan jumlah aljabar dari komponen tiap-tiap gaya dalam arah itu.

$$\begin{aligned} R \cos \theta &= 8 \cos 30^\circ + 12 \cos 70^\circ + 15 \cos 120^\circ 15' \\ &\quad + 20 \cos 155^\circ \\ &= -14,65 \text{ N} \end{aligned}$$

Dengan cara yang sama, komponen dari resultan pada sisi tegak lurus terhadap garis tetap adalah  $R \sin \theta$ .

$$\begin{aligned} R \sin \theta &= 8 \sin 30^\circ + 12 \sin 70^\circ + 15 \sin 120^\circ 15' \\ &\quad + 20 \sin 155^\circ \\ &= 36,69 \text{ N} \end{aligned}$$



Gambar 14

Empat buah gaya di bidang datar

Besarnya resultan (R) dapat ditentukan dengan rumus yakni :

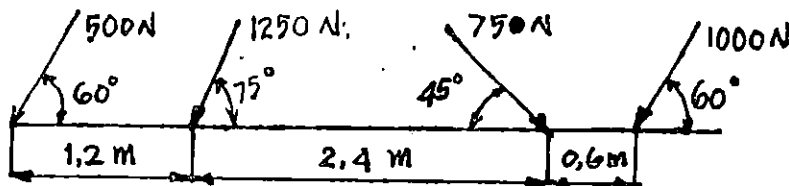
$$\begin{aligned} R &= \sqrt{(R \sin \theta)^2 + (R \cos \theta)^2} \\ &= \sqrt{(36,69)^2 + (-24,65)^2} \\ &= 39,5 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\text{dan } \operatorname{tg} \theta = \frac{R \sin}{R \cos} = \frac{36,69}{-14,65} = -2,504$$

$$= 111^{\circ} 47'$$

### Contoh 2-5

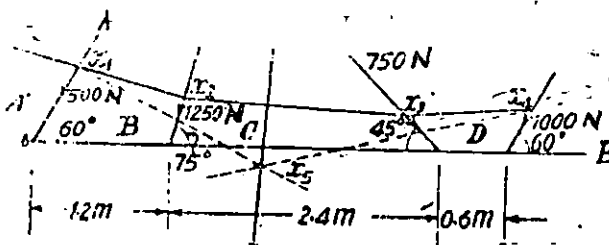
Tentukanlah besar dan arah resultan gaya dari sistem gaya yang ditunjukkan dalam gambar 15.a



GBR 15.a  
(a)

Penyelesaian :

Gambar diagram jarak dari gaya-gaya seperti ditunjukkan dalam gambar 15.b.

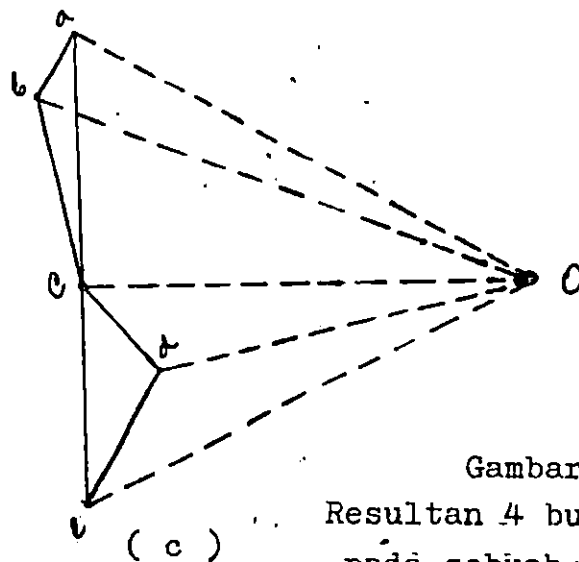


GBR 15.b  
(b)

Untuk menghitung besar dan arah resultan, dilukis diagram gaya seperti ditunjukkan dalam gambar 15.c. Tarik vektor ab mewakili gaya  $F_1$  sebesar 500 N dan bc mewakili gaya  $F_2$  sebesar 1250 N dan demikian seterusnya sampai titik e diperoleh. Hubungkan a dengan e sehingga di dapat resultan gaya dan sekaligus arahnya. Ukur ae. Setelah diukur resultan gaya sama dengan 3080 N

Untuk memperoleh garis kerja resultan, ambil suatu

titik (0) pada diagram gaya (dinamakan titik kutub) dan hubungkan 0 dan a, 0 dengan b, 0 dengan c, 0 dengan d, dan 0 dengan e. Selanjutnya ambil titik  $X_1$  pada garis kerja gaya pertama dan gambar garis sejajar dengan a0 dan garis lain sejajar Ob sehingga diperoleh titik  $X_2$  pada garis kerja gaya kedua. Teruskan proses ini sampai titik  $X_4$  diperoleh. Hasil garis pertama dan terakhir memotong pada  $X_5$ . Selanjutnya resultan harus melalui titik ini. Melalui  $X_5$  gambar sebuah garis yang sejajar dengan ae dan menentukan garis kerja dari resultan gaya.



Gambar 15

Resultan 4 buah gaya  
pada sebuah batang

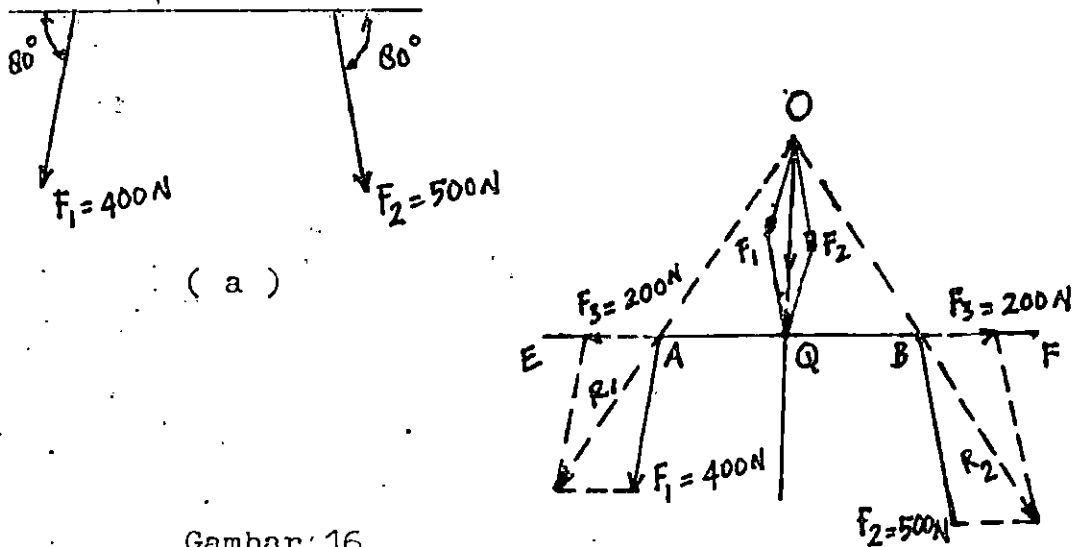
#### Contoh 2-6

Dua buah gaya ( $F_1$  dan  $F_2$ ) bekerja pada sebuah benda tegar seperti ditunjukkan dalam gambar 16.a. Tentukanlah garis kerja, besar dan arah resultan.

Penyelesaian :

Dari gambar dapat dilihat bahwa sudut yang dibuat oleh masing-masing gaya dengan garis horizontal adalah  $80^\circ$  dan titik tangkap kedua gaya tidak sama.

Untuk memperoleh sebuah titik tangkap pada garis kerja resultan dibuatlah dua gaya  $F_3$  yang sama (katakanlah = 200 N) pada titik A dan B seperti ditunjukkan dalam gambar 16.b. Penambahan gaya ini tidak akan mempengaruhi ke-



Gambar 16

Resultan dua gaya berlainan

( b )

seimbangan sistem. Lengkapi paralelogram ACDE dengan AC dan AE sebagai sisi yang berdekatan dan diperoleh resultan  $R_1$  dan dengan cara yang sama diperoleh resultan  $R_2$  dari gaya  $F_2$  dan  $F_3$  yang bekerja pada titik B. Garis kerja dari  $R_1$  dan  $R_2$  akan memotong pada titik O. Selanjutnya O merupakan sebuah titik pada garis kerja resultan. Gambarlah sebuah paralelogram pada titik O dengan  $F_1 = 400 \text{ N}$  dan  $F_2 = 500 \text{ N}$  sebagai sisi yang berdekatan dan gambarlah sejajar dengan arah gaya seperti pada titik A dan B. Kemudian diagonal dari paralelogram OPQR yang melalui titik O menghasilkan besar dan arah resultan. Setelah diukur besar resultan = 885 N (dinyatakan dengan OQ dalam paralelogram OPQR).

### Contoh 2-7

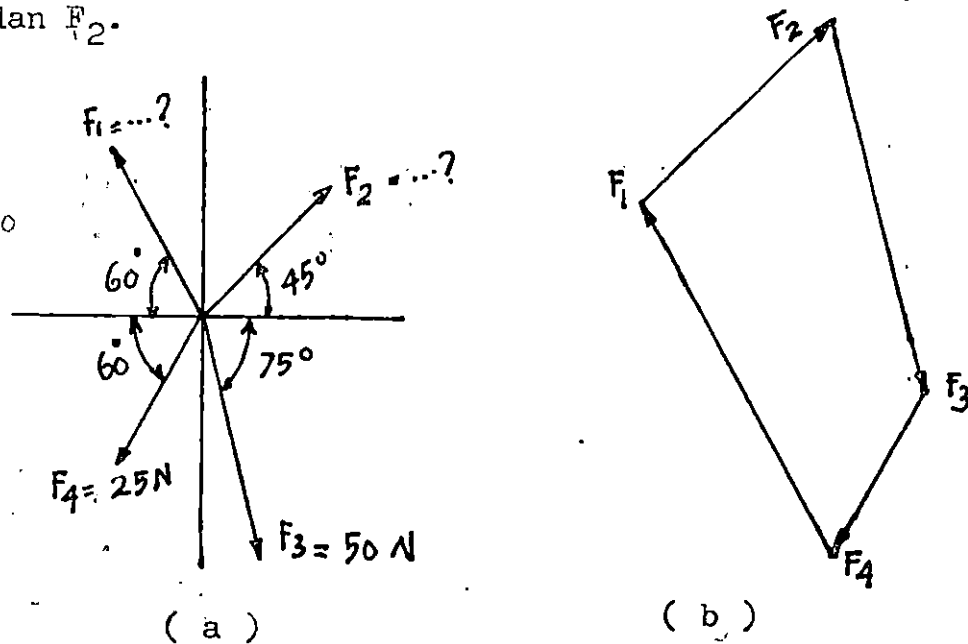
Suatu sistem gaya seperti dalam gambar 17.a. Tentukanlah besar gaya  $F_1$  dan  $F_2$  agar sistem tersebut jadi seimbang.

Penyelesaian :

a. Cara grafis

Tentukanlah besar skala gaya. Untuk soal ini di-

ambil skala gaya 1 cm = 10 N. Selanjutnya lukislah poligon gaya, dimana poligon gaya harus saling menutup sebab seimbang ( $R = 0$ ). Untuk melukisnya mulai dari gaya  $F_3$ ,  $F_4$ ,  $F_1$ , dan  $F_2$ .



Dari gambar 17.b, setelah diukur diperoleh :

$$F_1 = 5,15 \text{ cm} \times \frac{10 \text{ N}}{1 \text{ cm}} = 51,5 \text{ N}$$

$$F_2 = 3,6 \text{ cm} \times \frac{10 \text{ N}}{1 \text{ cm}} = 36 \text{ N}$$

b. Cara Analitis : Gunakan prinsip keseimbangan

$$\sum F_H = 0$$

$$- F_{H1} - F_{H4} + F_{H2} + F_{H3} = 0$$

$$- F_1 \cos 60^\circ - F_4 \cos 60^\circ + F_2 \cos 45^\circ + F_3 \cos 75^\circ = 0$$

$$- 0,5 F_1 - 25 \times 0,5 + F_2 \times \frac{1}{2} + 50 \times 0,259 = 0$$

$$F_2 \times \frac{1}{2} - 0,5 F_1 + 12,95 - 12,5 = 0$$

$$0,7071 F_2 - 0,5 F_1 + 0,45 = 0 \dots\dots(1)$$

$$\sum F_V = 0$$

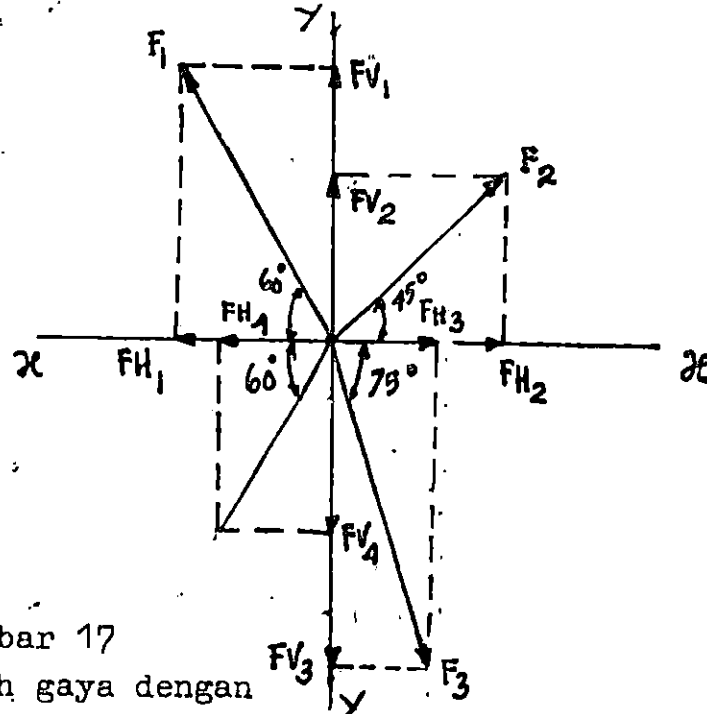
$$F_{V1} + F_{V2} - F_{V3} - F_{V4} = 0$$

$$F_1 \sin 60^\circ + F_2 \sin 45^\circ - F_3 \sin 75^\circ - F_4 \sin 60^\circ = 0$$

$$\frac{1}{2} \sqrt{3} F_1 + \frac{1}{2} \sqrt{2} F_2 - 50 \times 0,9659 - 25 \times \frac{1}{2} \sqrt{3} = 0$$

$$0,8666 F_1 + 0,7071 F_2 - 48,3 - 21,65 = 0$$

$$0,8666 F_1 + 0,7071 F_2 - 69,95 = 0 \dots\dots (2)$$



Gambar 17  
Empat buah gaya dengan titik tangkap sama (c)

Substitusikan persamaan (1) dan (2) :

$$0,7071 F_2 - 0,5 F_1 + 0,45 = 0$$

$$0,7071 F_2 + 0,8666 F_1 - 69,95 = 0$$


---


$$- 0,3666 F_1 + 69,5 = 0$$

$$- 0,3666 F_1 = 69,5$$

$$F_1 = 51,514 \text{ N}$$

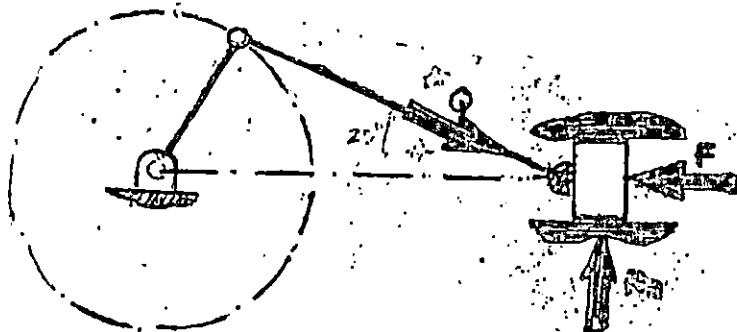
Untuk menentukan harga  $F_2$  diambil salah satu persamaan. Boleh persamaan (1) atau (2). Kemudian masukkan harga  $F_1$  yang telah didapat. Dengan demikian akan diperoleh besar gaya  $F_2$ . Setelah dihitung  $F_2 = 35,8 \text{ N}$



## Contoh 2-8

Sebuah poros engkol seperti tergambar, gaya  $F$  pada piston 6 kN. Sudut  $\theta = 25^\circ$ . Tentukanlah :

- Gaya  $F_q$  pada batang penggerak
- Reaksi normal akibat berat piston terhadap dinding silinder.

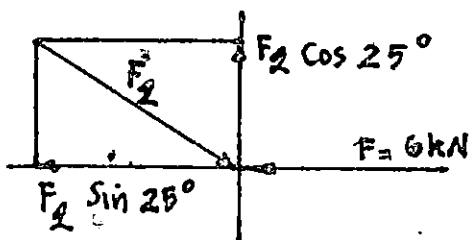


( a )

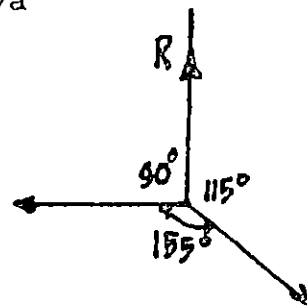
Penyelesaian :

Untuk menjawab persoalan di atas dapat digunakan dua macam cara, yakni : prinsip keseimbangan gaya dan dalil Lami's (Lami's theorem).

- Menggunakan prinsip keseimbangan gaya



( b )



( c )

Gambar 18

Gaya pada sebuah poros engkol

Perhatikan gambar 18.b

$$\sum F_H = 0$$

$$F_q \cos 25^\circ - F = 0$$

$$F_q = \frac{F}{\cos 25^\circ} = 6,62 \text{ kN}$$

$$F_V = 0$$

$$R_N = F_q \sin 25^\circ = 6,62 \sin 25^\circ = 2,8 \text{ kN}$$

b. Menggunakan teorem Lami's

Perhatikanlah gambar 18.c.

$$\frac{F}{\sin 115^\circ} = \frac{F_q}{\sin 90^\circ}$$

$$F_q = \frac{F \times \sin 90^\circ}{\sin 115^\circ} = 6,62 \text{ kN}$$

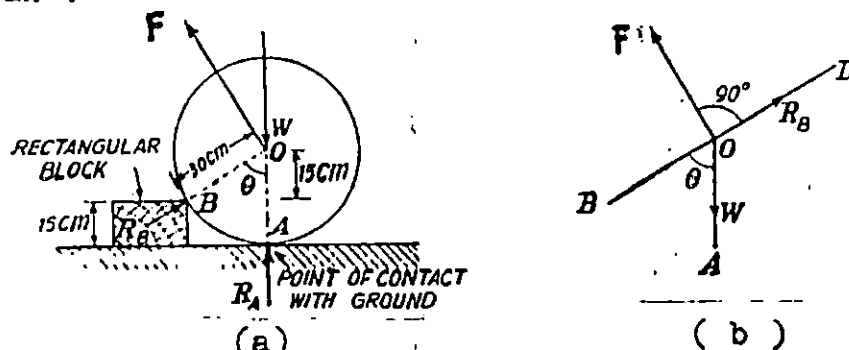
$$\frac{R_N}{\sin 155^\circ} = \frac{F}{\sin 115^\circ}$$

$$R_N = \frac{F \times \sin 155^\circ}{\sin 115^\circ} = 2,8 \text{ kN}$$

Contoh 2-9

Sebuah roda mempunyai diameter 60 cm berada dalam keadaan diam yang ditahan oleh balok empat persegi panjang dengan tebal 15 cm. Hitunglah gaya tarik  $F$  terkecil melalui pusat roda untuk memutar roda di atas sudut (corner) dari balok. Semua permukaan adalah halus. Hitunglah juga reaksi dari balok. Berat roda 907.2 N.

Penyelesaian :



(a) Gambar 19

Gaya tarik pada sebuah roda

Gaya  $F$  mempunyai kecenderungan memutar roda disekitar B dan momen putar adalah sama dengan hasil kali gaya

dengan jarak tegak lurus terhadap garis kerja gaya (lihat gambar 19.a).

Untuk sebuah momen putar yang tetap, gaya terkecil diperoleh jika lengan momen adalah maksimum. Nilai maksimum dari lengan momen = BO, sebab gaya melalui titik O. Gaya terkecil F akan mempunyai arah tegak lurus dengan BO. Di titik putar bekerja tiga gaya pada roda dan keseimbangannya adalah :

- (i) reaksi  $R_B$  dari balok
- (ii) gaya F
- (iii) berat roda ( $W$ ) = 907,2 N bekerja arah vertikal kebawah melalui titik O,
- (iv) reaksi  $R_A$  antara balok dan tanah.

Bila gaya yang dipakai cukup untuk memutar roda, maka tidak ada tekanan antara roda dan bidang horizontal, sehingga  $R_A = 0$ .

Selanjutnya gunakan teorem Lami's (lihat gambar 19.b), sehingga diperoleh persamaan :

$$\frac{W}{\sin 90^\circ} = \frac{R_B}{\sin POA} = \frac{F}{\sin DOA}$$

$$BOA =$$

$$POA = (90^\circ + 0)$$

$$DOA = (180^\circ - 0)$$

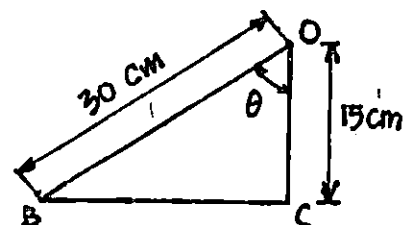
$$\frac{W}{\sin 90^\circ} = \frac{R_B}{\sin (90^\circ + 0)} = \frac{F}{\sin (180^\circ + 0)}$$

$$\frac{W}{1} = \frac{R_B}{\cos 0} = \frac{F}{\sin 0} \dots \dots \dots (1)$$

Perhatikan gambar 19.c

$$\cos 0 = \frac{OC}{OB} = \frac{15}{30} = 0,5$$

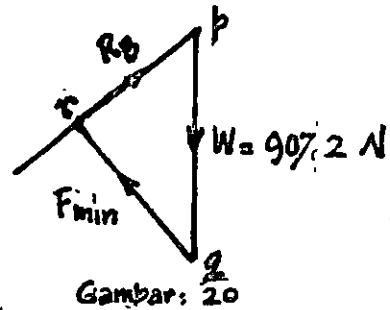
$$\sin 0 = 1 - (0,5)^2 = 1/2 \quad 3$$



Gambar 19.c  
Segi tiga siku.

Dari persamaan diperoleh :

$$\begin{aligned} R_B &= W \cos \theta \\ &= 907,2 \times 0,5 \\ &= 453,6 \text{ N} \end{aligned}$$



Gambar: 20  
Diagram Gaya dari roda

#### Contoh 2-10

Selesaikan secara grafis contoh 2-9, dan hitung nilai  $F_{\min}$  dan  $R_B$ . Bandingkan kedua hasil ini dengan hasil yang diperoleh secara analitis.

Penyelesaian :

Untuk memperoleh gaya  $F_{\min}$  dan reaksi  $R_B$  maka gambarlah diagram gaya seperti ditunjukkan dalam gambar 20. Gambar garis vertikal pq mewakili berat roda ( $W = 907,2 \text{ N}$ ) dengan suatu skala gaya tertentu. Melalui p gambar garis sejajar yang searah dengan  $R_B$  dan dari q tarik garis tegak lurus terhadap garis kerja  $R_B$ , sehingga bertemu di titik r. Oleh karena itu p q r adalah segitiga gaya dari balok.

Selanjutnya diukur  $qr = F_{\min}$  dan  $rp = R_B$ . Setelah diukur diperoleh :

$$\begin{aligned} qr &= 785 \text{ N}, & \text{Gaya, } F_{\min} &= 785 \text{ N} \\ rp &= 454 \text{ N} & \text{Reaksi } (R_B) &= 454 \text{ N} \end{aligned}$$

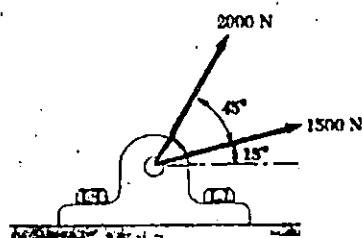
Dapat disimpulkan bahwa kedua hasil yang diperoleh secara analitis maupun grafis, praktis dapat dikatakan tidak jauh berbeda (sama).

#### Soal-Soal Latihan

1. Hitunglah resultan maksimum dan minimum dari dua gaya yang besarnya 10 N dan 8 N. Berikanlah komentar terhadap hasil yang diperoleh. (Key : 18 N ; 2 N)
2. Tentukanlah secara grafis, besar dan arah gaya resultan dari dua gaya yang ditunjukkan dalam gambar 21, dengan menggunakan : (a) Hukum jajaran genjang  
(b) Hukum Segitiga

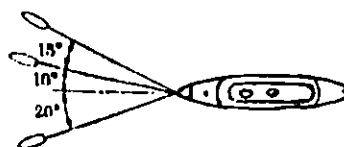
(Key : 3240 N  $\angle$  40,9°)

3. Sebuah kapal yang mogok ditarik oleh tiga kapal penolong seperti tampak pada gambar 22. Tegangan pada masing-masing tali adalah 5000 lb ( $1 \text{ lb} = 4,448 \text{ N}$ ). (a) Tentukan secara grafis harga resultan gaya yang beraksi pada kapal. (b) Bila kapal penarik hanya dapat bekerja dengan selamat kalau sudut diantara kedua tali kurang dari  $10^\circ$  dimana kapal penarik tersebut harus ditempatkan agar memberikan gaya resultan terbesar dengan badan kapal? Berapa besar gaya ini? (Key : (a)  $63,2 \text{ kN}$   $\rightarrow 5,1^\circ$   
(b)  $66,1 \text{ kN}$ )



Gambar 21

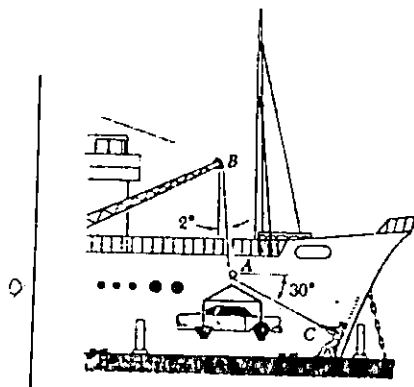
Gaya pada ragum



Gambar 22

Gaya untuk menarik sebuah kapal

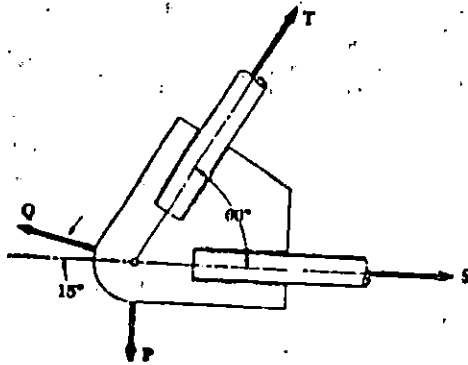
4. Dalam suatu operasi bongkar muat kapal, sebuah mobil seberat 3500 lb diangkat oleh seutas kabel. Seutas tali diikatkan pada kabel tersebut di titik A dan ditarik agar mobil sampai ditempat yang dikehendaki. Sudut antara kabel dan arah vertikal adalah  $2^\circ$ , sedang sudut antara tali dan arah horizontal  $30^\circ$ . Berapa tegangan tali.

(Key :  $F_{AB} = 3570 \text{ lb}$  atau = kN) $F_{AC} = 144 \text{ lb}$  atau = kN)

Gambar 23

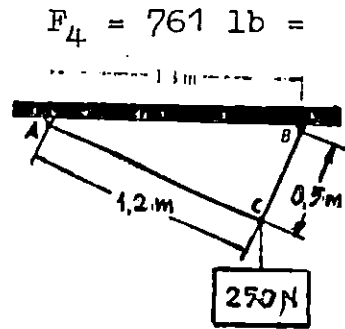
Gaya derek kapal

5. Dua buah gaya  $F_1$  dan  $F_2$  yang besarnya masing-masing  $F_1 = 1000 \text{ lb}$  dan  $F_2 = 1200 \text{ lb}$ , beraksi pada suatu bagian pesawat terbang seperti tampak pada gambar 24. Bila bagian tersebut dalam keadaan setimbang, maka tentukanlah tegangan  $F_3$  dan  $F_4$ . (Key :  $F_3 = 796 \text{ lb} = \text{ kN}$ )



Gambar 24

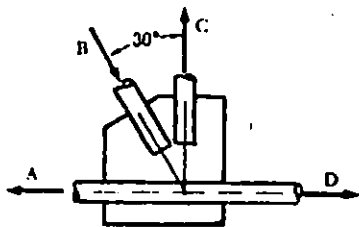
Gaya pada bagian pesawat



Gambar 25

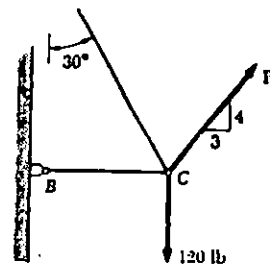
Beban digantungkan pada kabel

6. Dua kabel diikat di titik C dan diberi beton seperti tampak pada gambar. Tentukan tegangan AC dan BC.
7. Dua gaya  $F_1$  dan  $F_2$  yang besarnya masing-masing  $F_1 = 5 \text{ kN}$  dan  $B = 2,5 \text{ kN}$  beraksi pada suatu sambungan seperti pada gambar 26. Bila sambungan tersebut dalam keadaan setimbang, tentukan besar gaya  $F_1$  dan  $F_2$ . (Key :  $2170 \text{ N}$ , dan  $3750 \text{ N}$ ).



Gambar 26

Gaya pada sambungan poros



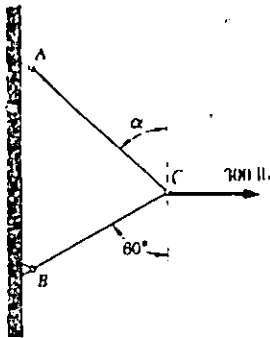
Gambar 27

Satu kabel diikatkan

8. Bila besar gaya  $F = 100 \text{ lb}$ , tentukanlah tegangan pada kabel AC dan BC seperti gambar 27. (Key :  $206 \text{ N}$ , dan  $164,1 \text{ N}$ ).

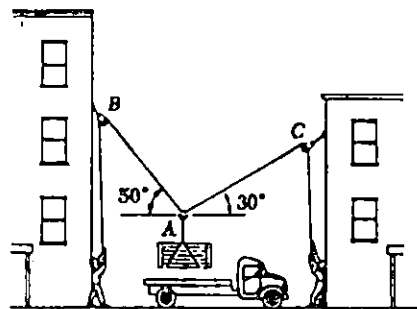
9. Gaya 300 lb dikerjakan dititik C. (a) Untuk harga be-  
rapakah tegangan AC minimum ?. (b) Berapakah tegangan  
pada kabel AC dan BC dalam keadaan ini. (Key :  $60^\circ$ ; 770N)
10. Sebuah kereta dengan massa 75 kg seperti tampak pada  
gambar 29. Kereta ini terletak diantara dua bangunan,  
dan selanjutnya diangkat dan diletakkan di atas truk  
yang akan memindahkan kereta tersebut. Kereta tersebut  
ditahan oleh suatu kabel vertikal yang dihubungkan di  
titik A dengan dua tali yang diikatkan pada dua pulli  
yang dipasang pada kedua bangunan di titik B dan C.  
Tentukanlah harga tegangan pada tali AB dan AC.

(Key : 647 N ; 480 N)



Gambar 28

Gaya tarik pada dua  
kabel yang diikatkan  
ke dinding



Gambar 29

Gaya kabel pada kereta

11. Gaya-gaya dibawah ini bekerja pada sebuah benda, :
- (i) 6 N arah  $45^\circ$  terhadap bidang horizontal
  - (ii) 4 N arah horizontal
  - (iii) 3 N arah  $120^\circ$  terhadap bidang horizontal
  - (iv) 8 N arah  $210^\circ$  terhadap bidang horizontal.

Tentukanlah resultan gaya ?.

(Key : 9,94 N  $\angle$   $60^\circ$  56)

## BAB III

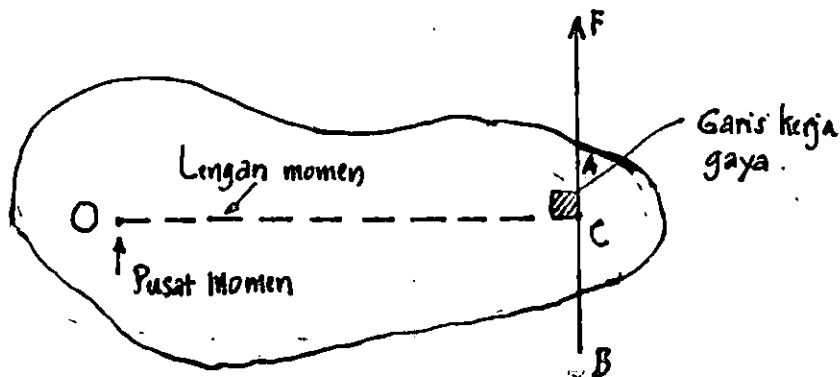
### KESTETMBANGAN MOMEN

#### 1. Pengertian Momen

Pengaruh sebuah gaya pada sebuah benda dapat menyebabkan kecenderungan untuk menggerakkan benda (tarik, tekan) dan memutar benda (rotasi). Kecenderungan untuk memutar benda tersebut merupakan pengaruh gaya terhadap benda yang ditinjau dari titik tertentu (titik perputaran) yang letaknya pada benda di luar garis kerja gaya tersebut. Pengaruh putaran ini disebut momen, yang besarnya ditentukan oleh besar gaya dan lengan momen.

Di dalam kehidupan sehari-hari banyak sekali dijumpai seperti pada waktu seseorang sedang menaiki/mendayung sepeda. Gaya pada pedal menyebabkan lever pedal berputar pada sumbunya. Sewaktu seseorang sedang membuka pintu (tarik/tekan) menyebabkan daun pintu berputar pada engselnya.

Perhatikanlah gambar 30, Jika  $F$  adalah gaya yang bekerja sepanjang  $AB$  (dinamakan garis kerja gaya), maka momen dari gaya ini terhadap titik  $O$  (dinamakan pusat momen) adalah  $F \times OC$ , dimana  $OC$  = jarak tegak lurus dari  $O$  ke  $AB$ .  $OC$  dinamakan lengan momen.



Gambar : 30  
Gaya pada sebuah benda



Momen sebuah gaya = gaya x jarak tegak lurus antara garis kerja gaya dan fulcrum (pusat momen)

## 2. Jenis Momen

Momen sebuah gaya dapat diklasifikasikan atas : (a) arah putaran disebabkan oleh gaya, dan (b) pengaruh yang dihasilkan oleh putaran benda. Arah dan putaran momen adalah momen searah jarum jam atau momen berlawanan arah jarum jam. Momen searah jarum jam menyebabkan putaran benda sama arahnya dengan gerakan jarum jam. Sedangkan momen berlawanan arah jarum jam cenderung untuk memutar benda berlawanan arah dengan gerakan jarum jam. Momen gaya dapat dijumlahkan secara aljabar seperti besaran skalar jika konvensi tanda diambil. Dalam buku ini diambil momen berlawanan jarum jam sebagai positif dan momen searah jarum jam negatif. Tetap konvensi (perjanjian) lain boleh diasumsikan untuk menyatakan tanda positif dan negatif dari hasil sebuah momen.

Pengaruh yang dihasilkan sebuah momen adalah sebuah momen bengkok atau momen puntir. Pengaruh momen bengkok menyebabkan penurunan batang (deflection) pada benda dan momen puntir cenderung memuntir benda, misalnya sebuah poros.

## 3. Teorema Varignon

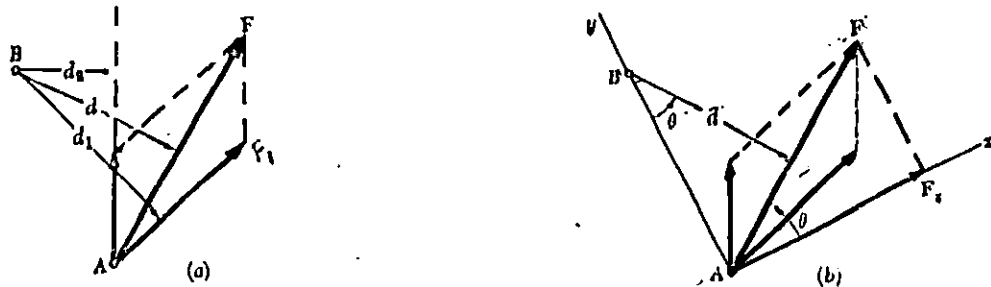
Suatu teorema yang sangat penting dalam statika ditemukan oleh matematikawan Perancis yang bernama Varignon (1654 - 1722). Teorema ini menyatakan bahwa momen sebuah gaya terhadap setiap sumbu sama dengan jumlahan momen komponen gaya itu terhadap sumbu yang bersangkutan.

Untuk membuktikannya, tinjau sebuah gaya  $F$  beraksi pada titik  $A$  dan komponen  $F_1$  dan  $F_2$  dari gaya itu dengan arah yang bebas. (gambar 31.a). Momen  $F$  terhadap sumbu yang melalui titik sembarang ialah  $Fd$ , dengan  $d$  menyatakan jarak tegak lurus dari  $B$  ke garis aksi  $F$ . Demikian juga momen  $F_1$  dan  $F_2$  sekitar sumbu yang melalui  $B$  ialah  $F_1d_1$  dan

$F_2 d_2$  berturut-turut, dengan  $d_1$  dan  $d_2$  menyatakan jarak tegak lurus dari B ke garis aksi  $F_1$  dan  $F_2$ . Akan dibuktikan bahwa :

$$Fd = F_1 d_1 + F_2 d_2 \dots\dots\dots (1)$$

Pada A akan diterapkan dua sumbu tegak lurus seperti yang terlihat pada gambar 31.b, sumbu X nya tegak lurus pada AB, sedangkan sumbu Y searah dengan AB.



Gambar 31

Momen gaya terhadap sumbu

Beri tanda untuk sudut  $F$  dengan sumbu X, dan perhatikan bahwa juga merupakan sudut antara AB dan garis tegak lurus pada B terhadap garis aksi  $F$ , sehingga dapat dituliskan :

$$Fd = F (AB) \cos \theta = (AB) F \cos \theta$$

$$Fd = (AB) F_x \dots\dots\dots (2)$$

dengan  $F_x$  menyatakan komponen x dan  $F$ . Dengan menyatakan momen  $F_1 d_1$  dan  $F_2 d_2$  dari gaya  $F_1$  dan  $F_2$  dengan cara serupa itu, maka dapat dituliskan :

$$F_1 d_1 + F_2 d_2 = (AB) F_1 x + (AB) F_2 x$$

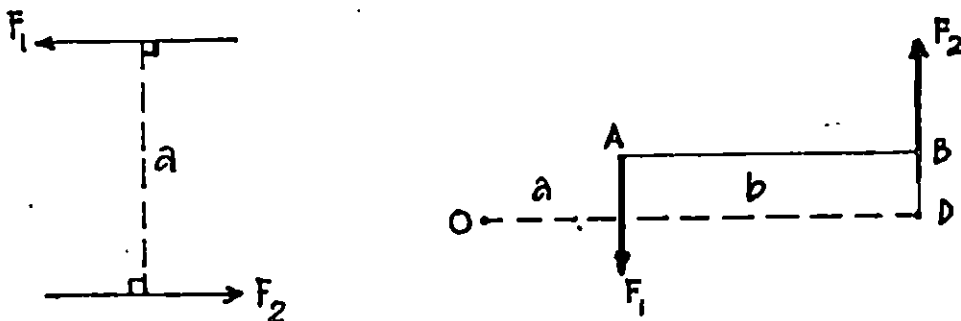
$$= (AB) (F_1 x + F_2 x)$$

Jumlahan  $F_1 x + F_2 x$  dari komponen kedua gaya  $F_1$  dan  $F_2$  sama dengan komponen x yaitu  $F_x$  dari gaya resultan  $F$ . Pernyataan yang diperoleh dari jumlahan  $F d_1 + F_2 d_2$  dari momen gaya  $F_1$  dan  $F_2$ , menjadi identik dengan pernyataan

yang di dapat dalam persamaan (2) untuk momen  $Fd$  dari gaya  $F$ . Hubungan persamaan (1) terbukti, ini berarti juga bahwa teorema Varignon terbukti.

#### 4. Momen Kopel

Dua buah gaya yang sama besar dan berlawanan arah tetapi sejajar, dinamakan kopel. Gaya-gaya pada kopel tidak dapat menghasilkan gaya susunan, karena resultante gaya susunannya = nol, tetapi tidak saling meniadakan, ini disebabkan karena titik tangkapnya berlainan (lihat gambar 32. a).



Gambar : 32

#### Kopel

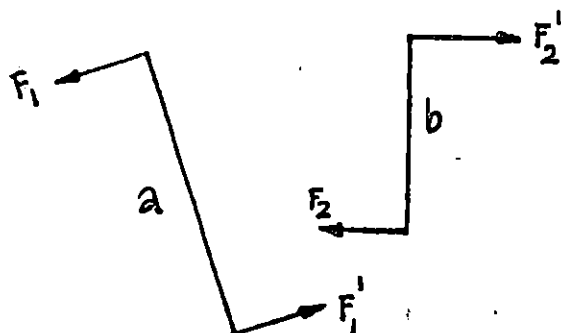
Momen sebuah kopel sama dengan jumlah aljabar momen gaya-gaya dari kopel tersebut terhadap sebuah titik sembarang yang letaknya pada bidang kopel tersebut (lihat gambar 32.b).

Dari gambar 32.b, jumlah momen-momen gaya terhadap titik O adalah :

$$\begin{aligned}
 M_O &= - F_1 \cdot b + F_2 (a + b) \\
 & \quad F_1 = F_2 \text{ sebab kopel} \\
 &= - F_1 \cdot (b - a - b) \\
 &= + F_1 \cdot a
 \end{aligned}$$

Momen dari kopel ini =  $+ F_1 \cdot a$ , tanda positif, karena perputarannya berlawanan arah putaran jarum jam.

Selanjutnya dua buah kopel yang terletak dalam satu bidang datar yang mempunyai momen yang sama besar dan berlawanan arah adalah saling meniadakan/setimbang.



Gambar 33

## Sepasang Kopel

Dalam gambar 33,  $F_1 = F_1'$  dan  $F_2 = F_2'$ . Gaya-gaya  $F_1$  dan  $F_1'$  membentuk kopel  $F_1 F_1'$  dengan momen  $F_1 \cdot a$ , yang sama besarnya tetapi berlawanan arah dengan kopel  $F_2 F_2'$  yang momennya  $F_2 \cdot b$ .

Jika jumlah aljabar momen-momen keempat gaya itu diambil terhadap sebuah titik sembarang, maka akan diperoleh suatu hubungan :

$$F_1 \cdot a = F_2 \cdot b$$

dengan catatan :

- a. Gaya  $F_1$  dan  $F_2$ , lengan  $a$  dan  $b$  belum tentu sama, baik besar maupun panjangnya, tetapi harga  $F_1 \cdot a$  harus sama dengan  $F_2 \cdot b$ , supaya kopel-kopel tersebut saling meniadakan.
- b. Sebuah kopel ( $F_2 F_2'$ ) dengan momen  $F_2 \cdot b$  dapat diubah menjadi kopel ( $F_1 F_1'$ ) dengan momen  $F_1 \cdot a$ , jika nilai :  $F_1 = F_2 \cdot b/a$ .

## 5. Pemakaian Prinsip Momen

Bila gaya menyebabkan suatu benda berrotasi atau terpuntir, maka momen yang timbul disebut momen puntir.

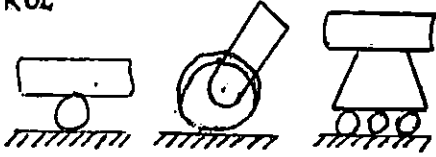

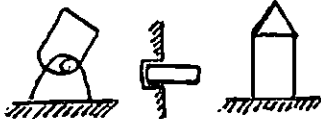
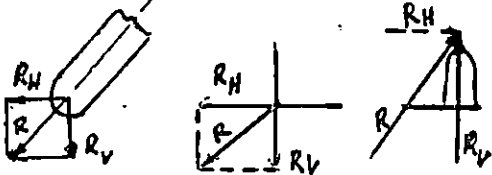
Ini sering dijumpai pada poros-poros pemindah dan roda-roda penggerak atau pada suatu elemen utama mesin yang padanya bekerja suatu kopel.

Jika sejumlah gaya bekerja pada suatu gelagar (beam) yang mendapat tumpuan setiap ujungnya, gaya akan menyebabkan terjadinya bengkokkan, maka momen yang timbul di sebut momen bengkok. Biasanya pada tumpuan timbul reaksi, dan dapat dihitung berdasarkan prinsip momen.

Prinsip keseimbangan momen tersebut sering diaplikasikan di dalam cranklever (tuas), atau pada mesin-mesin sederhana.

#### a. Menghitung reaksi titik tumpuan

Arah reaksi titik tumpuan tersebut tergantung dari posisi beban dukung serta jenis titik tumpuan yang digunakan. Adapun jenis-jenis tumpuan yang dipakai sebagai berikut :

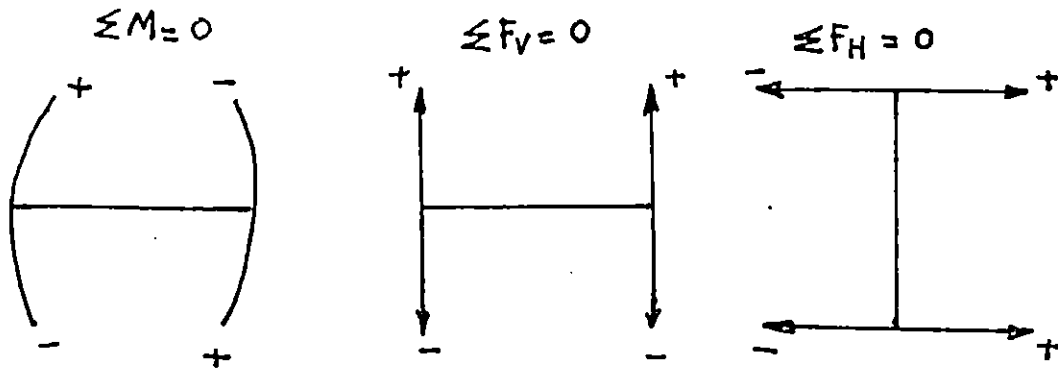
NO.	JENIS TUMPUAN	ARAH REAKSI YANG TIMBUL
1.	<p data-bbox="306 1274 359 1300">ROL</p> 	
2.	<p data-bbox="306 1522 662 1548">SENDI ENGSEL DAN JEPIT</p> 	

Untuk menghitung besarnya reaksi tumpuan ada dua cara, yakni cara analitis dan cara grafis.

Untuk menghitung besarnya reaksi tumpuan secara analitis, maka harus menggunakan syarat-syarat kesetimbangan. Sebuah benda (konstruksi) dikatakan seimbang bila :

- Jumlah aljabar dari komponen gaya-gaya dalam arah horizontal (datar) harus sama dengan nol. Secara matematis dapat ditulis  $\sum F_H = 0$ .
- Jumlah aljabar dari komponen gaya-gaya dalam arah tegak lurus (vertikal) harus sama dengan nol. Secara matematis dapat ditulis  $\sum F_V = 0$ .
- Jumlah aljabar dari momen gaya terhadap sebuah titik di bidang datar harus sama dengan nol. Secara matematis dapat ditulis  $\sum M = 0$ .

Untuk mengaplikasikan kaedah (syarat-syarat) kesetimbangan di atas diperlukan suatu perjanjian tanda sebagai berikut :



Gambar 34

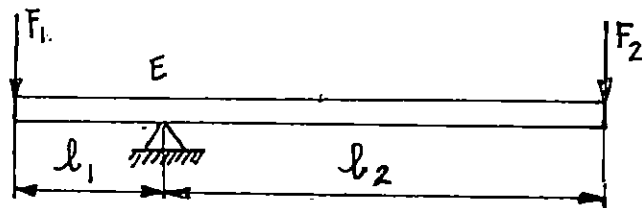
Perjanjian tanda kaedah kesetimbangan

Selanjutnya untuk menghitung besarnya reaksi titik tumpuan secara grafis dapat digunakan diagram gaya (forces diagram) dan diagram jarak (space diagram).

#### b. Lever (Tuas)

Lever biasanya digunakan untuk bermacam-macam tujuan, yang pada dasarnya untuk memindahkan usaha, yaitu gaya kecil menghasilkan besar. Prinsip dasar bekerjanya lever adalah gaya menimbulkan momen dan menggunakan keseimbangan

momen. Agar lebih jelasnya prinsip dasar bekerjanya lever, maka perhatikanlah sebuah lever yang ditunjukkan pada gambar 35.



Gambar 35  
Sebuah Lever

Penerangan gambar :

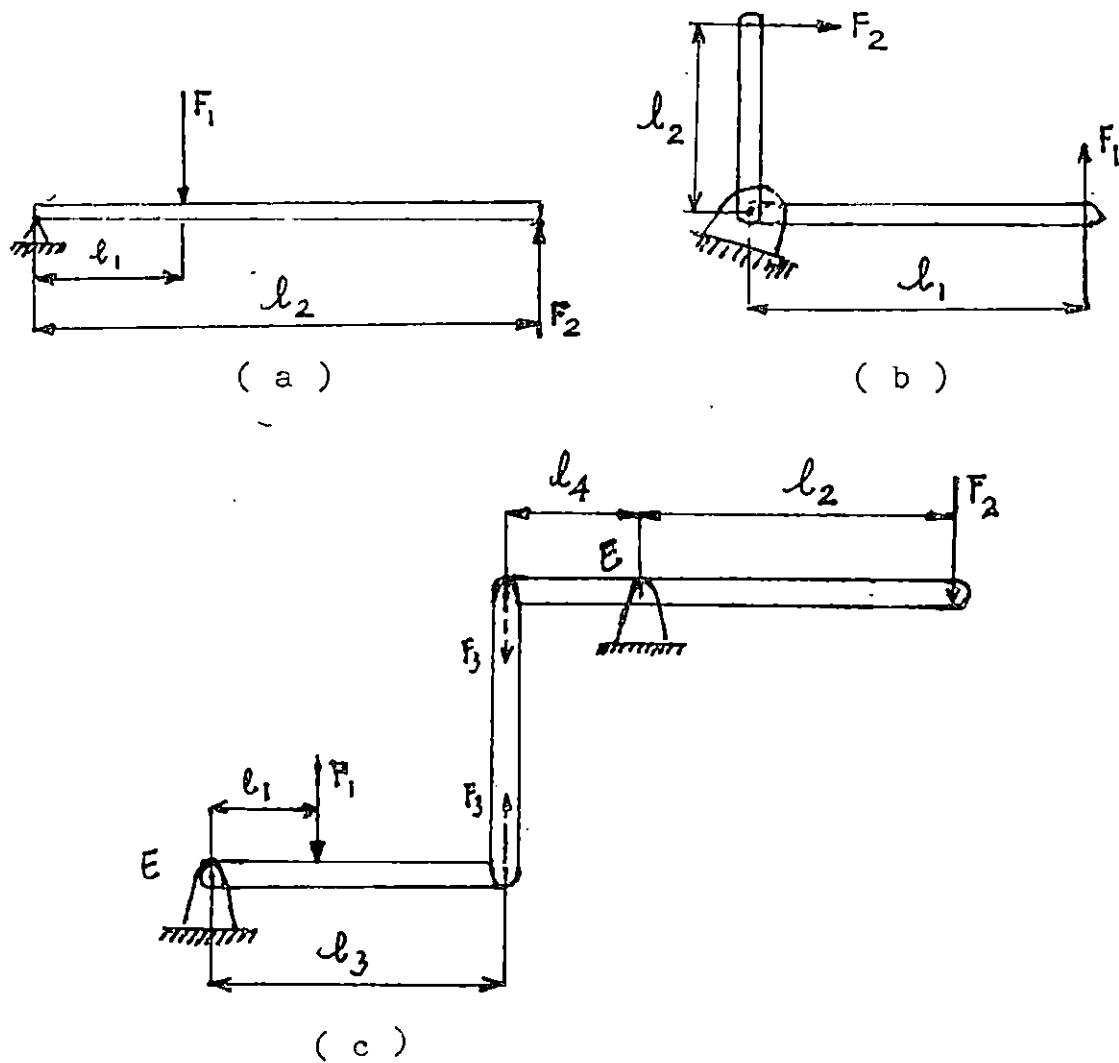
- $F_1$  = beban
- $F_2$  = gaya penggerak
- E = Engsel (fulcrum)
- $l_1$  = panjang tuas beban
- $l_2$  = panjang tuas gaya penggerak.

Dalam hal ini :

$$F_1 \cdot l_1 = F_2 \cdot l_2$$

Selanjutnya ada 4 (empat) macam lever, yakni :

- (1). Fulcrum (engsel) diletakkan antara gaya penggerak dan beban, misalnya tang. Diagramnya seperti gambar 35 di atas.
- (2). Beban diletakkan antara gaya penggerak dan fulcrum, misalnya tuas mekanik alat pres (tekan). Diagramnya seperti gambar 36.a.
- (3). Gaya penggerak diletakkan antara fulcrum dan beban, misalnya tuas katup pengaman. Diagram seperti pada gambar 36.b.
- (4) Kombinasi dua bentuk lever  
Salah satu contoh bentuk kombinasi dua bentuk lever ditunjukkan pada gambar 36.c.



Gambar : 36

## Macam-Macam Lever

Dari gambar 36.c dapat diperoleh 3 (tiga) macam persamaan, yakni :

$$(a) \quad F_3 \cdot l_4 = F_2 \cdot l_2$$

$$F_3 = \frac{F_2 \cdot l_2}{l_4}$$

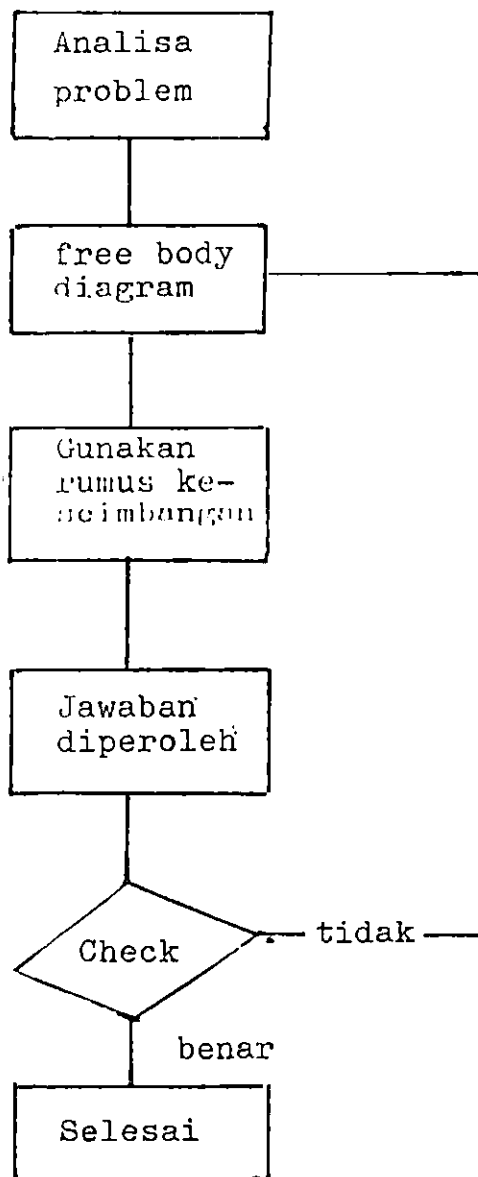
$$(b) \quad F_3 \cdot l_3 = F_1 \cdot l_1$$

$$F_3 = \frac{F_1 \cdot l_1}{l_3}$$



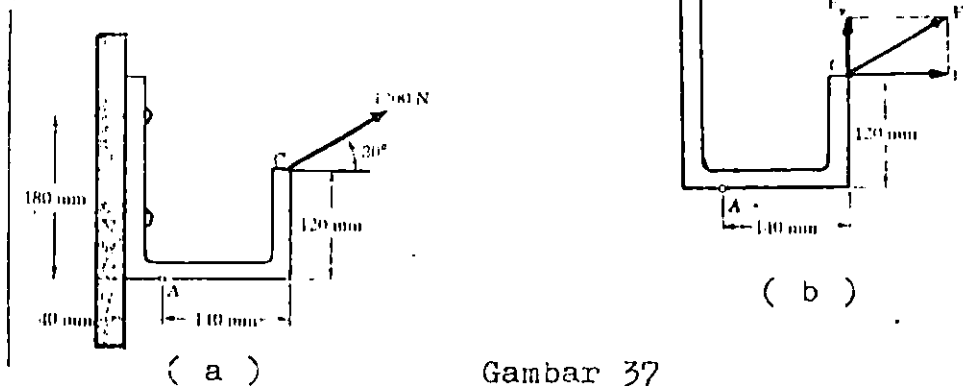
$$(c) \quad \frac{F_1 \cdot l_1}{l_3} = \frac{F_2 \cdot l_2}{l_4}$$

Seterusnya, pola penyelesaian soal pada lever di -  
tunjukkan seperti flow chart dibawah ini :



## Contoh Soal 3-1

Gaya 1200 N beraksi pada braket seperti ditunjukkan dalam gambar 37.a. Tentukanlah momen  $M_A$  dari gaya itu terhadap A.



Gambar 37

Gaya pada braket

Penyelesaian :

Uraikan gaya itu menjadi komponen x dan y sehingga:

$$F_x = 1200 \cdot \cos 30^\circ = 1039 \text{ N}$$

$$F_y = 1200 \cdot \sin 30^\circ = 600 \text{ N}$$

Dengan mengingat konvensi tanda yang diperkenalkan dalam pasal 3-2, maka didapatkan momen  $F_x$  sekitar A ialah :

$$1039 \text{ N} \cdot 0,12 \text{ m} = 124,7 \text{ Nm} = - 124,7 \text{ Nm}$$

Momen  $F_y$  terhadap A ialah :

$$(600 \text{ N}) \cdot (0,14 \text{ m}) = 84 \text{ Nm} = + 84 \text{ Nm}$$

Gunakan teorema Varignon, maka diperoleh :

$$M_A = + 84 \text{ Nm} - 124,7 \text{ Nm} = - 40,7 \text{ Nm}$$

## Contoh 3-2

Dua buah gaya bekerja seperti ditunjukkan dalam gambar 38.  $F_1$  adalah 14 N mengarah  $10^\circ$  ke Timur Laut dan  $F_2$  adalah 18 N mengarah ke Barat Laut. Hitunglah resultan momen terhadap titik A.

Penyelesaian :

Ambil momen terhadap titik A

Momen putar yang disebabkan oleh gaya  $F_1$  adalah :

$$14 \times 0,09 = 1,26 \text{ Nm}$$

$$= + 1,26 \text{ Nm}$$

Momen putar yang disebabkan oleh gaya  $F_2$  adalah :

$$18 \times 0,045 = 0,81 \text{ Nm}$$

$$= - 0,81 \text{ Nm}$$

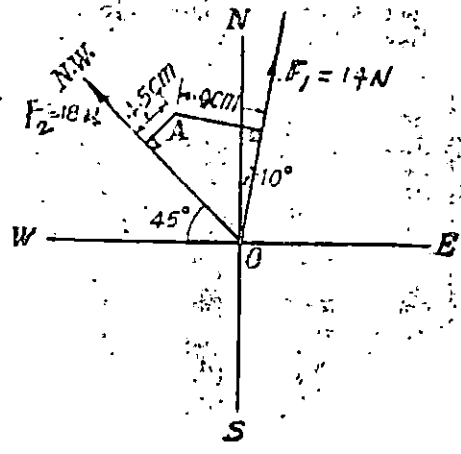
Resultan momen dapat dihitung dengan menggunakan teorema varignon, yakni :

$$M_A = 1,26 - 0,81 = 0,45 \text{ Nm}$$

Contoh 3-3

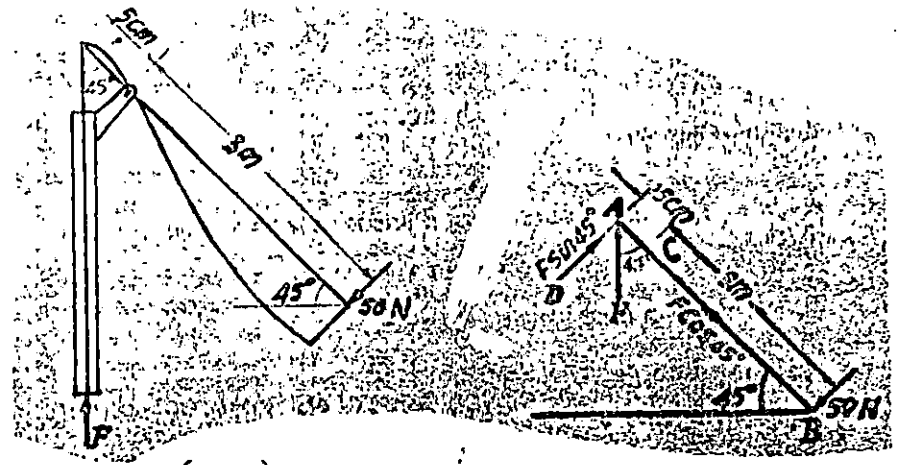
Sebuah handel pompa seperti ditunjukkan dalam gambar 39.a, bekerja sebuah gaya yang besarnya 50 N dengan jarak 3 meter dari fulcrum (engsel). Hitunglah gaya vertikal pada pompa.

Penyelesaian :



Gambar 38

Dua gaya dengan titik tangkap yang sama



( a ) ( b )

Gambar 39

Gaya pada handel pompa

Gambar 39 menunjukkan skeleton diagram dari handel pompa. Gaya F bekerja pada titik A, yang besarnya sama dengan gaya  $F \sin 45^\circ$  bekerja sepanjang DA (tegak lurus terhadap AB) dan gaya  $F \cos 45^\circ$  sepanjang AB.

Ambil momen terhadap titik C, maka diperoleh :

$$F \sin 45^\circ \times 0,15 + 3 \times 50 = 0$$

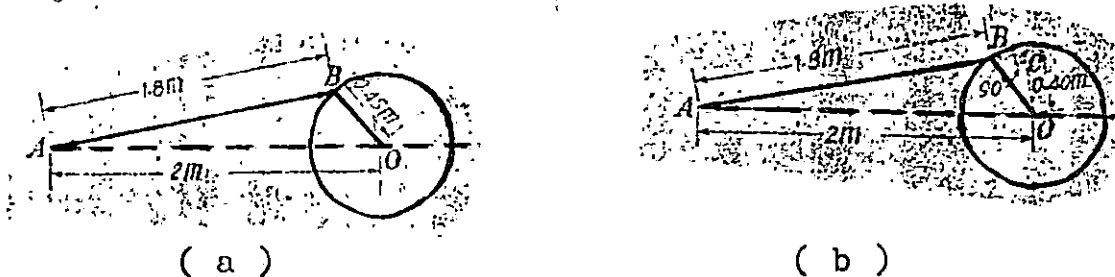
$$F = - \frac{3 \times 50}{0,15 \times \sin 45^\circ}$$

$$F = - 1414,2 \text{ N.}$$

#### Contoh 3-4

Sebuah batang penggerak dari sebuah mesin uap (gambar 40.a) mempunyai panjang 1,8 meter dan panjang engkol adalah 45 cm. Gaya dorong pada batang penggerak 12500 N. Jika batang dan engkol posisinya seperti dalam gambar, maka hitunglah momen putar terhadap poros engkol O.

Penyelesaian :



Gambar 40

Batang penggerak dari sebuah mesin uap

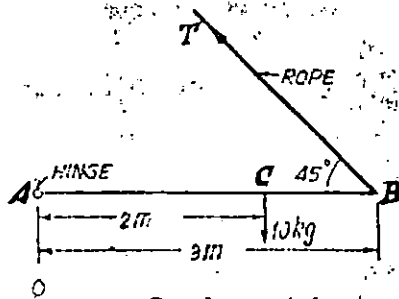
Gambar 40.b menunjukkan posisi batang penggerak dan engkol. Gaya dorong pada batang adalah 12500 N. Untuk menentukan momen puntir terhadap poros engkol O, maka dari O gambar OC tegak lurus batang penggerak A. Ukur OC dengan skala yang sama dengan OB. Panjang OB = 0,45 m. Setelah diukur diperoleh OC = 0,40 m. Momen putar terhadap titik O =  $12500 \times 0,40 = 5000 \text{ Nm}$ .

#### Contoh 2-5

Sebuah batang lampu mempunyai panjang 3 meter dan berada dalam posisi horizontal. Satu ujungnya ditumpu dan ujung lainnya ditempatkan sebuah tali yang membentuk sudut  $45^\circ$  dengan batang. Kemudian digantungkan sebuah benda yang

beratnya 10 N pada jarak 2 meter dari tumpuan. Hitunglah gaya tegang tali.

Penyelesaian :



Gambar 41

Gaya tegang tali

Gambar 41 menunjukkan batang AB sepanjang 3 meter yang di tumpu pada titik A dan dengan sebuah tali pada titik B. Ambil momen terhadap titik A

$$T \sin 45^\circ \times 3 = 10 \times 2$$

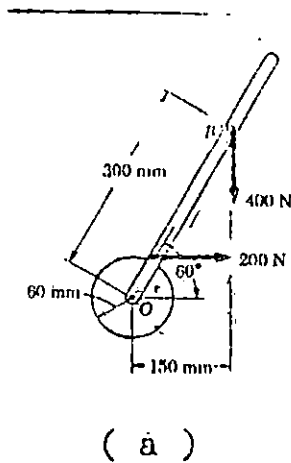
$$T \frac{1}{2} \sqrt{2} \times 3 = 20$$

$$T = 9,428 \text{ N}$$

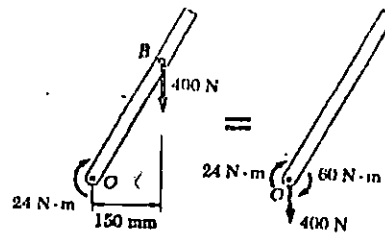
Contoh 2-6

Gantilah kopel dan gaya dibawah ini (gambar 42. a) dengan gaya tunggal ekuivalen yang diterapkan pada lengan. Tentukan jarak dari poros ke titik tangkap dari gaya ekuivalen ini.

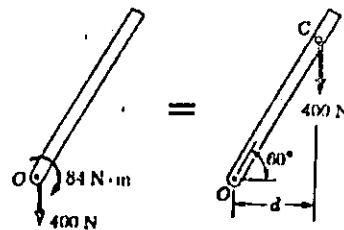
Penyelesaian :



( a )



( b )



( c )

Gambar 42  
Kopel dan gaya

Mula-mula diganti gaya dan kopel yang diketahui dengan sistem gaya-kopel yang ekuivalen di O. Pindahkan

gaya 400 N ke O disertai dengan penjumlahan momen kopel yang sama dengan momen gaya pada kedudukan semula terhadap O yaitu :

$$M_O = - (400 \text{ N}) (0,15 \text{ m}) = -60 \text{ Nm} \quad M_O = 60 \text{ Nm}$$

Kopel ini dijumlahkan pada kopel semula sebesar 24 Nm dan dalam arah jarum jam yang dibentuk oleh kedua gaya 200 N dan kopel 84 Nm dalam arah jarum jam diperoleh Selanjutnya pindahkan gaya 400 N ke kanan pada jarak d sehingga momen gaya terhadap O ialah 84 Nm searah jarum jam.

$$84 \text{ Nm} = (400 \text{ N}) d \quad d = 0,210 \text{ m} = 210 \text{ mm}$$

Gaya tunggal ekuivalen atau resultan terikat pada titik C, pada tempat itu garis aksinya berpotongan dengan lengan itu. Besarnya OC adalah :

$$OC \cos 60^\circ = 210 \text{ mm} \quad OC = 420 \text{ mm}$$

#### Contoh 2-7

Tiga buah gaya bekerja pada sebuah benda diam. Titik A adalah garis kerja gaya  $F_1$  dan jarak tegak lurus dari gaya 7 N adalah 2 meter. Berapakah momen Q terhadap A. Ukur jarak tegak lurus dari garis kerja Q terhadap A dan hitunglah besar Q. Titik B adalah pada Q dan 1,5 meter dari garis kerja gaya 7 N. Berapakah besar momen dari gaya  $F_1$  terhadap titik B. Ukur jarak tegak lurus B dari garis kerja  $F_1$  dan hitunglah besar gaya  $F_1$ . Check hasilnya dengan sebuah diagram vektor.

Penyelesaian :

Gambar 43.a dan b menunjukkan gaya-gaya dalam posisinya. Untuk menghitung momen dari gaya Q terhadap titik A, ambil momen dari semua gaya terhadap titik A dan gunakan prinsip (hukum) momen :

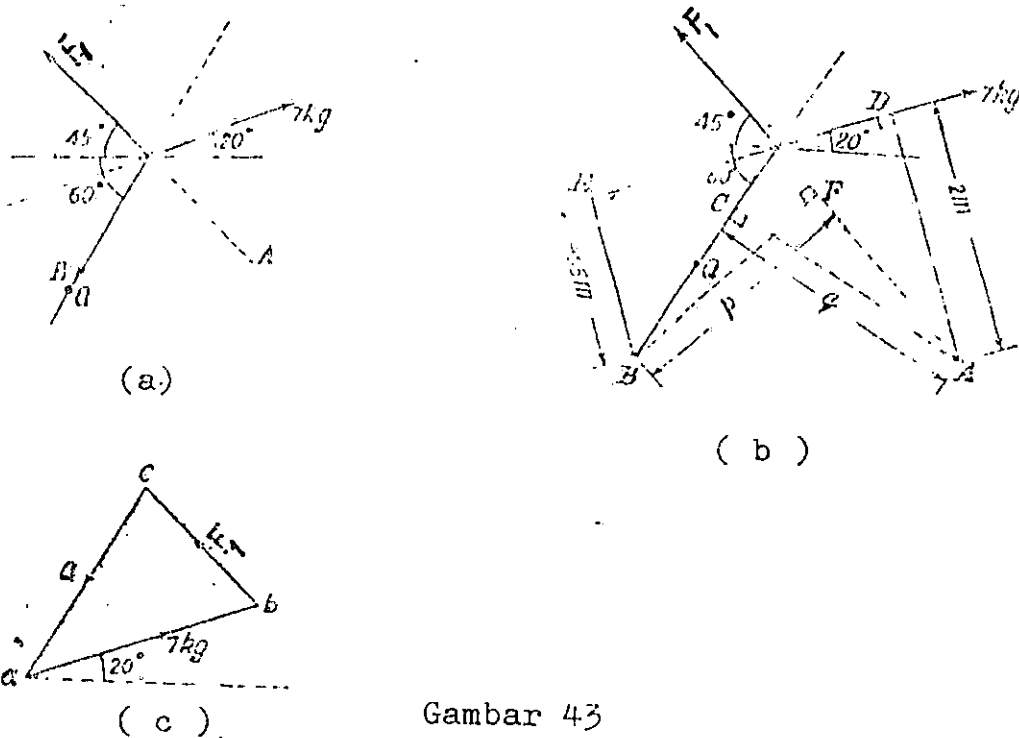
$$Q \times q - 2 \times 7 + 0 = 0$$

$$Q \times q = 14 \text{ Nm}$$

dimana q = jarak tegak lurus Q dari A

Disini momen yang disebabkan oleh gaya  $F_1$  adalah nol sebab

titik A terletak pada garis kerja



Gambar 43

Tiga gaya dengan titik tangkap sama

Dari A tarik AC tegak lurus garis kerja gaya Q.  
Ukur AC dengan skala yang sama dengan AD. Jarak AD 2 m.  
Setelah diukur diperoleh :

$$AC = 2,12 \text{ meter}$$

$$q = 2,12 \text{ meter}$$

$$Q = \frac{14}{2,12} = 6,6 \text{ N}$$

Untuk menentukan momen dari gaya  $F_1$  terhadap titik B, ambil momen terhadap titik B, maka diperoleh :

$$7 \times 1,5 - p \times F_1 = 0$$

$$p \times F_1 = 10,5 \text{ Nm}$$

p = jarak tegak lurus B dari gaya  $F_1$

$$p = BF = 2,3 \text{ meter}$$

$$F_1 = \frac{10,5}{p} = 4,57 \text{ N}$$

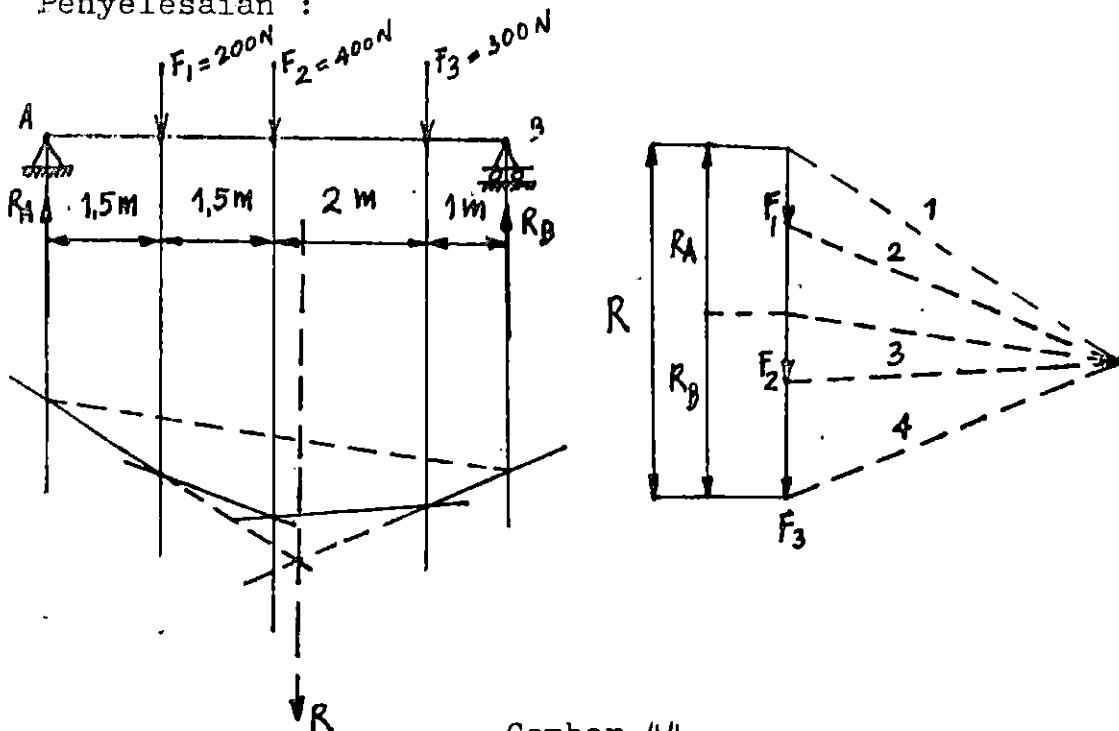
Untuk mengecek hasil dengan sebuah diagram vektor, gambar ab sama dan sejajar dengan gaya 7 N. Dari a tarik garis sejajar dengan Q dan dari b tarik garis sejajar dengan gaya  $F_1$ . Kedua garis tersebut akan bertemu pada titik c. Selanjutnya dilakukan pengukuran. Pada pengukuran diperoleh  $ca = 6,6$  N dan  $bc = 4,57$  N dengan skala yang sama sewaktu melukis ab. Besarnya  $ab = 7$  N. Dengan demikian hasil yang diperoleh di atas adalah benar.

Juga segitiga abc adalah sebuah segitiga yang menutup seperti ditunjukkan dalam gambar 43.c.

#### Contoh 2-8

Suatu batang mendapat pembebanan seperti yang ditunjukkan dalam gambar 44. Panjang batang 6 meter. Tentukan besar reaksi tumpuan A dan B, serta perlihatkan pengaruh momen bengkok pada titik C, D, dan E.

Penyelesaian :



Gambar 44

Menentukan reaksi titik tumpuan



Jumlah momen terhadap titik A ( $\sum M_A$ ) = 0

$$F_1 \cdot 1,5 + F_2 \cdot 3 + F_3 \cdot 5 - R_B \cdot 6 = 0$$

$$200 \cdot 1,5 + 400 \cdot 3 + 300 \cdot 5 - R_B \cdot 6 = 0$$

$$R_B = \frac{3000}{6} = 500 \text{ N}$$

Jumlah momen terhadap titik B ( $\sum M_B$ ) = 0

$$R_A \cdot 6 - F_1 \cdot 4,5 - F_2 \cdot 3 + F_3 \cdot 1 = 0$$

$$6 R_A - 200 \cdot 4,5 - 400 \cdot 3 + 300 \cdot 1 = 0$$

$$R_A = \frac{2400}{6} = 400 \text{ N}$$

Atau :

$$\sum F_V = 0$$

$$R_A + R_B - F_1 - F_2 - F_3 = 0$$

$$R_A = 200 + 400 + 300 - 500$$

$$R_A = 400 \text{ N}$$

Untuk melihat pengaruh momen bengkok pada batang maka perlu dihitung dan dilukiskan momen pada titik A, B, C, D, dan E sebagai berikut :

Momen pada titik A adalah :

$$M_A = (R_A \cdot 0) = 400 \cdot 0 = 0 \text{ Nm}$$

Momen pada titik C adalah :

$$M_C = (R_A \cdot 1,5) = 400 \cdot 1,5 = 600 \text{ Nm}$$

Momen pada titik D adalah :

$$\begin{aligned} M_D &= (R_A \cdot 3) - (F_1 \cdot 1,5) \\ &= (400 \cdot 3) - (200 \cdot 1,5) = 900 \text{ Nm} \end{aligned}$$

Momen pada titik E adalah :

$$\begin{aligned} M_E &= (R_A \cdot 5) - (F_1 \cdot 3,5) - (F_2 \cdot 2) \\ &= (400 \cdot 5) - (200 \cdot 3,5) - (400 \cdot 2) \\ &= 500 \text{ Nm} \end{aligned}$$

Momen pada titik B adalah :

$$\begin{aligned} M_B &= (R_A \cdot 6) - (F_1 \cdot 4,5) - (F_2 \cdot 3) - (F_3 \cdot 1) \\ &= (400 \cdot 6) - (200 \cdot 4,5) - (400 \cdot 3) - (300 \cdot 1) \\ &= 2400 - 900 - 1200 - 300 = 0 \text{ Nm} \end{aligned}$$

Kemudian dilukis seperti terlihat pada gambar 44, dan ambillah skala tertentu untuk melukis bidang momen tersebut; dengan catatan positif digambarkan kebawah dan negatif ke atas (hanya suatu perjanjian).

Secara grafis reaksi titik tumpuan dapat dihitung sebagai berikut :

a. Ambil skala gaya dan jarak, misalnya

$$\text{gaya : } 1 \text{ cm} = 200 \text{ N}$$

$$\text{jarak : } 1 \text{ cm} = 1 \text{ m}$$

b. Lukislah diagram gaya dan diagram jarak.

Untuk melukis diagram gaya dan jarak perhatikan gambar 44 a. dan b. Tarik 1 sejajar dengan I, 2 sejajar dengan II, 3 sejajar dengan III, 4 sejajar dengan IV, dan s sejajar dengan s'.

c. Ukurlah  $R_A$  dan  $R_B$  pada diagram gaya.

Setelah diukur diperoleh  $R_B = 2,5 \text{ cm} = 500 \text{ N}$ , dan  $R_A = 2 \text{ cm} = 400 \text{ N}$ .

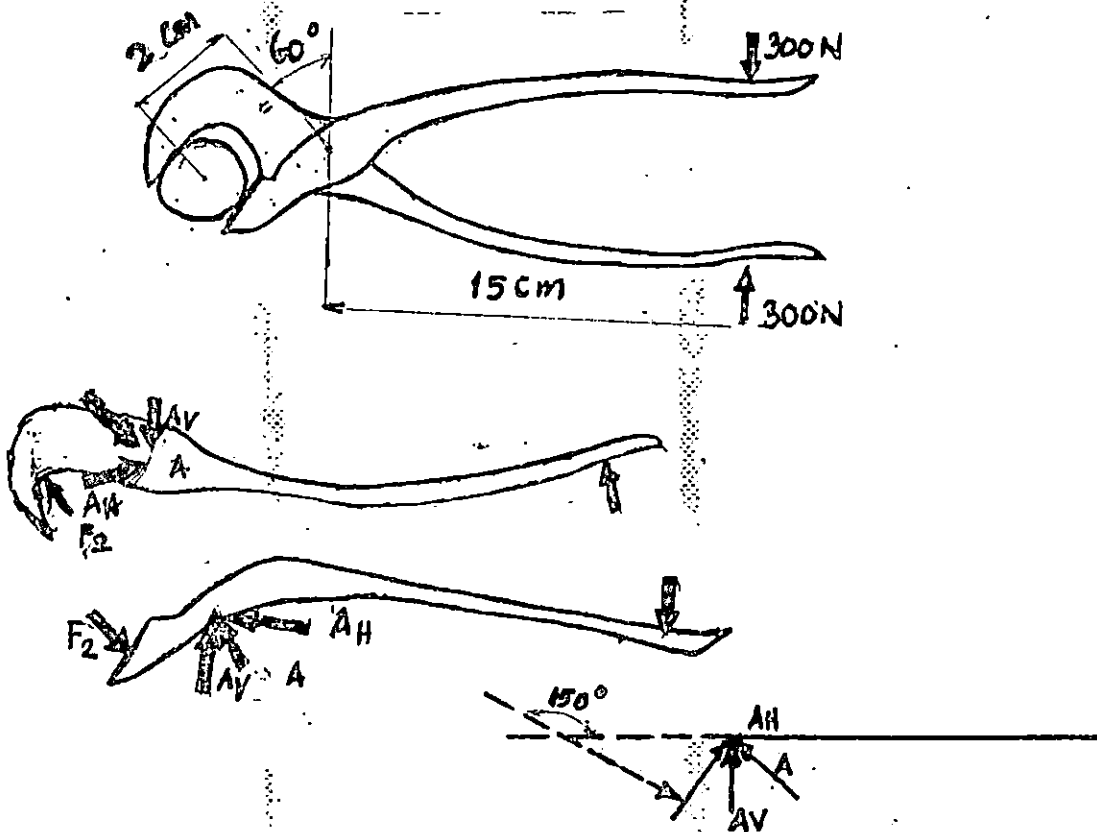
#### Contoh 2-9

Sebuah tang jepit seperti tergambar. Gaya tekan yang bekerja pada tangkainya sebesar 300 N. Tentukan besar gaya pada mulut tang dan reaksi tumpuan A.

Penyelesaian :

Untuk menyelesaikan soal ini, maka dapat digunakan flowchart yang tertera pada halaman 46. Jadi langkah pertama menganalisa soal, yakni perhatikan titik tumpuan. Selanjutnya buat free body diagram dan terapkan prinsip keseimbangan ( $\sum M = 0$ ,  $\sum F_V = 0$ , dan  $\sum F_H = 0$ ).

Free body diagram dari tang jepit ini dapat dilihat pada gambar 45. b.



Gambar 45  
Gaya pada tang jepit

Perhatikan gambar 45.b. Jumlah momen pada titik A ( $\sum M_A = 0$ ) sehingga diperoleh persamaan :

$$\begin{aligned} F_1 \times 15 &= F_2 \times 2 \\ 300 \times 15 &= 2 F_2 \\ F_2 &= 2250 \text{ N} \end{aligned}$$

Jadi gaya pada mulut tang ( $F_2$ ) = 2250 N

Selanjutnya reaksi titik tumpuan A dapat diperoleh dengan menggunakan prinsip keseimbangan  $\sum F_H = 0$  dan  $\sum F_V = 0$ . Perhatikan gambar 45.c.

$$\sum F_H = 0$$

$$2250 \cos 150^\circ - A_H = 0$$

$$A_H = 2250 \cos 150^\circ$$

$$A_H = 1125 \text{ N (reaksi horizontal).}$$

$$\sum F_V = 0$$

$$2250 \sin 150^\circ + 300 - A_V = 0$$

$$A_V = 2250 \sin 150^\circ + 300$$

$$A_V = 2248,557 \text{ N (reaksi vertikal)}$$

Reaksi di titik tumpuan A ( $R_A$ ) :

$$\begin{aligned} R_A &= \sqrt{(A_H)^2 + (A_V)^2} \\ &= \sqrt{(1125)^2 + (2248,56)^2} \\ &= 2514,3 \text{ N} \end{aligned}$$

#### Contoh 2-10

Sebuah meja pesawat hidrolik digunakan untuk mengangkat beban 10 kN. Gambar dibawah ini adalah menunjukkan meja hidrolik tersebut, yang lengkapnya terdiri dari dua bagian (dalam gambar terlihat separo saja) yaitu dua link yang sama serta dua silinder. EDB dan CG panjangnya 2 a dan AD diengselkan pada seperdua EDB. Apabila beban diletakkan pada meja, dan setengah dari beban diterima oleh sistem mekaniknya (lihat gambar). Tentukan besar gaya yang diperlukan/dihasilkan tiap silinder untuk menaikkan beban sehingga  $\theta = 60^\circ$ , dimana  $a = 0,70 \text{ m}$  dan  $L = 3,20 \text{ m}$ . Tunjukkan bahwa kondisi ini terjadi pada panjang langkah (DH) tertentu.

Penyelesaian :

Pertama-tama buatlah free body diagram untuk seluruhnya. Kemudian dari sini dibuatlah free body untuk masing-masing batang. Baru dari masing-masing batang ini digunakan hukum (prinsip) keseimbangan untuk menyelesaikan dan mendapatkan jawabnya.

Perhatikan gambar 46.b dibawah ini.

Batang ABC

$$\sum F_x = 0 \quad - F_{AD} \cdot \cos \theta = 0, \text{ sehingga } F_{AD} = 0$$

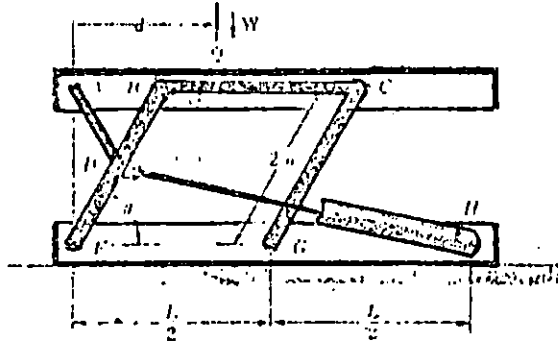
$$\sum F_y = 0 \quad B + C - 1/2 W = 0, \text{ shg. } B + C = 1/2 W$$

Rol C :

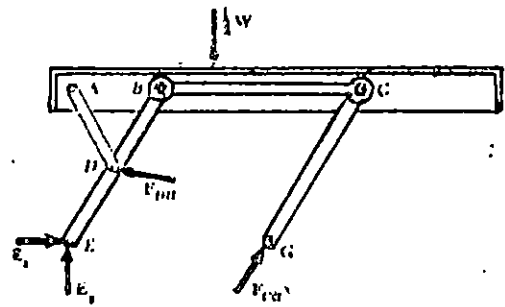
Dilukiskan segitiga gayanya seperti ditunjukkan dalam gambar 46.d..

$$\text{Cotg } \theta = \frac{F_{BC}}{C}$$

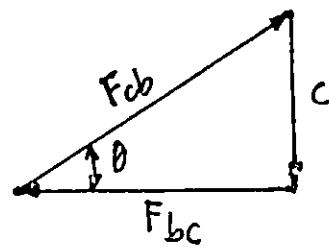
$$F_{BC} = C \cdot \text{Cotg } \theta$$



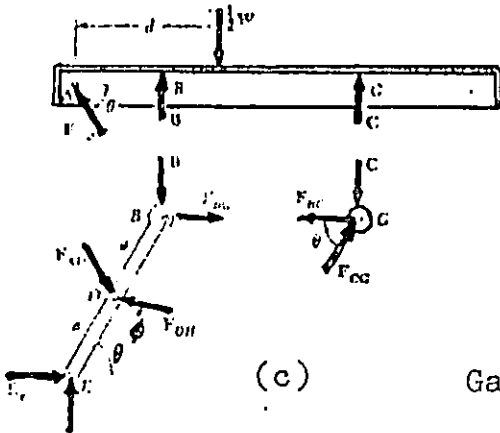
(a)



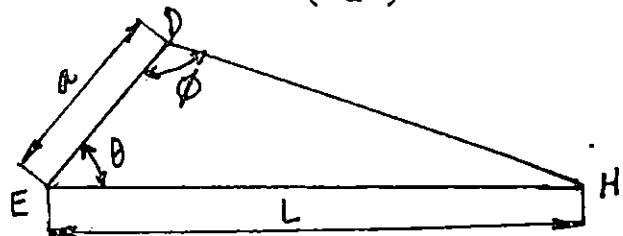
(b)



(d)



(c)



(e)

Gambar 46

Pesawat Hidrolik

Batang EDB :

disini  $F_{AD} = 0$

$$M_E = 0$$

$$F_{DH} \cdot \text{Cos} (\phi - 90^\circ) a - B (2a \text{Cos } \phi) - F_{BC} (2a \text{Sin } \theta) = 0$$

$$F_{DH} \cdot a \text{Sin } \phi - B (2a \text{Cos } \phi) - (C \text{ Cotg } \theta) (2a \text{Sin } \theta) = 0$$

$$F_{DH} \cdot \text{Sin } \phi - 2 (B + C) \text{Cos } \theta = 0.$$

Dimana  $B + C = 1/2 W$  dari persamaan (1), sehingga :

$$F_{DH} \cdot \sin \phi - 2 \cdot \frac{1}{2} W \cdot \cos \theta = 0$$

$$\text{atau ; } F_{DH} = \frac{W \cos \theta}{\sin \phi} \dots\dots\dots (2)$$

Ini terjadi panjang DH (langkah hidrolik) tertentu. Lihat batang EDH (gambar 46.e), sehingga diperoleh :

$$\frac{\sin \phi}{EH} = \frac{\sin \theta}{DH} \text{ atau } \sin \phi = \frac{EH}{DH} \cdot \sin \theta \dots (3)$$

Dari rumus Cosinus diperoleh :

$$\begin{aligned} (DH)^2 &= a^2 + L^2 - 2 \cdot a \cdot L \cos \theta \\ &= (0,7)^2 + (3,2)^2 - 2 \cdot 0,7 \cdot 3,2 \cos 60^\circ \\ &= 8,49 \\ DH &= 2,91 \text{ m} \end{aligned}$$

Dengan diperolehnya DH dan memasukkan persamaan (3) ke dalam persamaan (2) akan diperoleh :

$$\begin{aligned} F_{DH} &= W \frac{DH}{EH} \cotg 60^\circ \\ &= 10 \cdot 10^3 \frac{2,91}{3,20} \cotg 60^\circ \\ &= 5,15 \text{ kN} \end{aligned}$$

Jadi besarnya gaya tiap silinder hidrolik untuk menaikkan beban 10 kN sehingga membentuk sudut  $\phi = 60^\circ$ , adalah  $F_{DH} = 5,15 \text{ kN}$ .

#### Soal-Soal Latihan

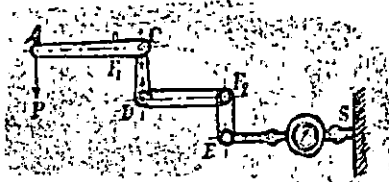
1. Sebuah batang panjangnya 16 meter dan massanya 200kg, ditumpu pada kedua ujungnya. Seorang manusia mempunyai berat 750 N berdiri di atasnya. Dimana posisinya jika gaya pada satu titik tumpuan 2 kali dari titik tumpuan lainnya.
2. Sebuah batang horizontal, panjangnya 30 meter dan ditumpu kedua ujungnya. Di atas batang bekerja gaya 3 kN, 4 kN, dan 5 kN dengan jarak 4 m, 10 m, dan 14 m dari

kiri titik tumpuan. Hitunglah reaksi titik tumpuan.

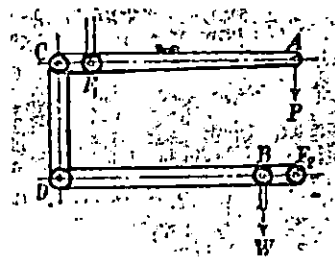
(/Key : 5,9 kN ; 6,1 kN)

3. Berat sebuah lever 10 N dan panjangnya 3 meter. Pada satu ujungnya digantungkan sebuah benda yang beratnya 6 N dan benda seberat 17 N pada ujung yang lainnya. Hitunglah posisi dari titik tumpuan sehingga lever menjadi setimbang. Berapakah reaksi dari titik tumpuan ?
4. Sebuah kombinasi lever ditunjukkan dalam gambar 47.a.  $AF_1 = 45$  cm,  $F_1C = 6,25$  cm, link  $CD = 15$  cm,  $DF_2 = 24,375$  cm,  $F_2E = 7,5$  cm, sudut  $CDF_2 = 90^\circ$ . Posisi AC adalah horizontal, CD dan  $F_2E$  adalah vertikal,  $DF_2$  dan ES adalah horizontal. Berapakah usaha P yang diperlukan untuk mengatasi berat beban di titik E sebesar 280 N.

(Key : 11,95 N)



( a )



( b )

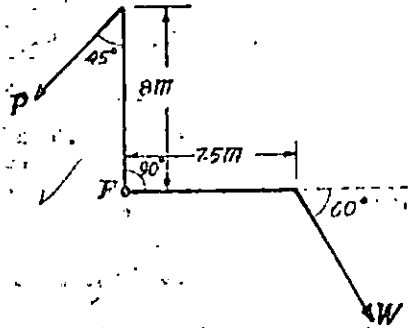
Gambar 47

Kombinasi beberapa bentuk lever

5. Dari gambar 47.b di atas diketahui panjang  $AF_1 = 27,5$  cm,  $CF_1 = 2,5$  cm,  $CD = 16,25$  cm,  $DB = 33,75$  cm, dan  $BF_2 = 2,1875$  cm. Jika  $P = 28$  N, berapakah besar W ?
6. Sebuah batang panjangnya 1 meter. Satu ujungnya diberi pasak (ditumpu) dan ujung yang lainnya ditumpu dengan tumpuan rol. Sebuah gaya yang besarnya 100 N bekerja pada batang dengan membentuk sudut  $45^\circ$  sejauh 45 mm dari tumpuan rol. Hitunglah besar reaksi titik tumpuan.

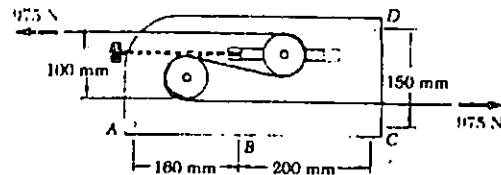
(Key : 38,9 N ; 77,54 N)

7. Jika  $P$  dan  $W$  bekerja pada lever tangkai bel (bell crank lever) seperti ditunjukkan dalam gambar 48, maka hitunglah besar  $W$  bila  $P = 28 \text{ N}$ . (Key :  $24,4 \text{ N}$ ).



Gambar 48

Lever tangkai bel



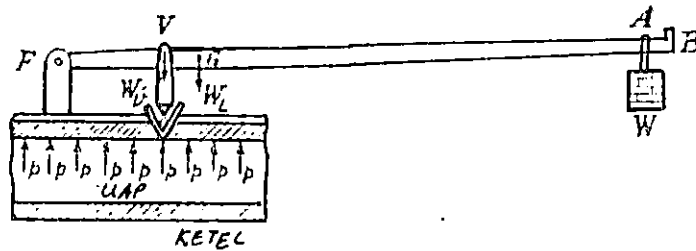
Gambar 49

Kopel gaya pada susunan kerek

8. Suatu kopel yang dibentuk oleh dua gaya  $975 \text{ N}$  diterapkan pada susunan kerek. (gambar 49). Tentukan kopel ekuivalen yang dibentuk oleh : (a) gaya vertikal yang beraksi di B dan di D, (b) gaya yang beraksi di B dan D, (c) gaya terkecil yang dapat diterapkan pada susunan itu. (Key :  $271 \text{ N}$ ,  $390 \text{ N}$ ,  $250 \text{ N}$ )
9. Sebuah rangka atap segitiga ABC mempunyai ukuran horizontal  $AC = 4 \text{ m}$  dan sudut puncak di B adalah  $120^\circ$ , AB dan BC panjangnya sama. Atap diberi tumpuan jepit pada titik A dan di C tumpuan rol. Beban yang dipikulnya adalah sebagai berikut :
- Gaya  $4000 \text{ N}$  yang terletak pada pertengahan AB dan tegak lurus AB
  - Gaya vertikal sebesar  $1500 \text{ N}$  pada titik B, dan
  - Gaya vertikal sebesar  $1400 \text{ N}$  terletak pertengahan B dan C.
- Hitunglah reaksi atau gaya-gaya yang menahan atap pada titik A dan C. (Key :  $3950 \text{ N}$  ;  $2955 \text{ N}$ )

- 10 Sebuah lever katup keamanan mempunyai berat  $40 \text{ N}$ . Jarak antara fulcrum (engsel) dan ujung dari tangkai katup  $7,5 \text{ cm}$ . Panjang lever  $62,5 \text{ cm}$  dan letak titik





Gambar 50  
Katup Keamanan Ketel Uap

berat adalah 20 cm dari tangkai katup, berapakah berat (W) yang harus diletakkan pada ujung lever sehingga uap akan mengalir keluar dengan tekanan  $10^6 \text{ N/m}^2$ . Berat katup dan tangkainya 10 N dan diameter dari katup 7,5 cm.

(Key : 518,5 kN ).

## DAFTAR PUSTAKA

- David Halliday and Robert Resnick, Physics, Alih Bahasa Pantur Silaban dan Erwin Sucipto, Bandung, Erlangga, 1985.
- Ferdinand P. Beer and E. Russel Johnston Jr, Mechanics for Engineer, New York, 1976
- M. F Spotts, Design of Machine Element, New Delhi, Prentice Hall of India, 1985
- R.S. Khurmi and J.K Gupta, Machine Design, New Delhi, Eurasia Publishing House, 1976
- Sumarlan D.S dkk, Mekanika Teknik Mesin, Jakarta, Departemen P dan K, 1978