

Tujuan Pembelajaran:

Peserta diklat mampu menganalisa kecepatan, percepatan, gaya inersia, dan penyeimbangan

NO.	POKOK BAHASAN	SUB POKOK BAHASAB
1.	Pendahuluan	<ul style="list-style-type: none">○ Definisi, Mekanisme, Mesin, Torak○ Kecepatan dan Percepatan linier○ Kecepatan dan Percepatan Sudut
2	Kecepatan Relatif	<ul style="list-style-type: none">○ Kecepatan dai dua titik yang berbeda○ Kecepatan relatif
3	Penerapan Persamaan Kecepatan Relatif	<ul style="list-style-type: none">○ Mekanisme Slider crank○ Mekanisme 4 batang○ Mesin Powell○ Mekanisme Penyerut
4	Percepatan Relatif	<ul style="list-style-type: none">○ Percepatan sebuah titik pada sebuah penghubung yang berputar thdp pusat tetap dengan jari-jari konstan○ Percepatan relatif 2 titik pada 1 penghubung kaku○ Percepatan sebuah titik yang berputar thp 1 pusat tetap dengan jari-jari konstan○ Percepatan relatif 2 titik thp 1 penghubung kaku○ Posisi-posisi istimewa
5	Penerapan Percepatan Relatif untuk Dua Titik pada Penghubung Kaku	<ul style="list-style-type: none">○ Mekanisme engkol peluncur○ Mekanisme engkol penghubung○ Mekanisme powell○ Posisi istimewa
6.	Gaya-gaya Statik dalam Mesin	<ul style="list-style-type: none">○ Gaya-gaya yang diberikan mesin○ Mekanisme engkol peluncur○ Mekanisme press○ Mekanisme empat penghubung○ Kopel statik pada penghubung○ Mesin torak ganda○ Gesekan○ Gesekan luncur○ Gesekan sambungan pena
7.	Gaya-gaya Inersia	<ul style="list-style-type: none">○ Gaya-gaya dalam gerak bidang○ Gaya-gaya inersia○ Penghubung transmisi○ Mekanisme empat engkol○ Mekanisme penyerut○ Penentuan momen inersia massa
8.	Analisa Dinamik	<ul style="list-style-type: none">○ Mekanisme engkol peluncur

		<p>gaya-gaya yang diberikan dan gaya-gaya inersia</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Memsin-mesin powell ○ Mekanisme penyerut ○ Analisa sebuah sistem ○ Analisa gaya statik dn inersia yang terpisah ○ Menentukan percepatan untuk mekanisme engkol peluncur
9.	Roda Gila	<ul style="list-style-type: none"> ○ Koefisien fluktuasi kecepatan ○ Berat roda gila untuk suatu koefisien fluktuasi kecepatan tertentu ○ Prosedur untuk menentukan persyaratan roda gila
10.	Balancing Masa-masa yang Berputar	<ul style="list-style-type: none"> ○ Massa putar tunggal ○ Dua bobot putar ○ Sistem bobot jamak

KINEMATIKA DAN DINAMIKA

A. KONSEP DASAR

Dynamics:

1. Kinematics – motions

2. Kinetics – motions + forces

- **Kinematika Mesin:** mempelajari tentang gerak relatif dari bagian-bagian mesin
- **Dinamika Mesin:** Mempelajari tentang gerak dan gaya-gaya yang bekerja pada mesin
- **Mesin:** Suatu alat untuk mengubah atau memindahkan energi

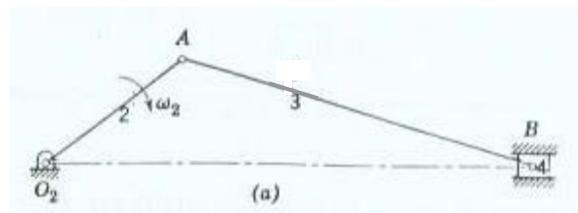
Dinamika didasari Hukum Newton:

$$\sum F_x = M \cdot A_x$$

$$\sum F_y = M \cdot A_y$$

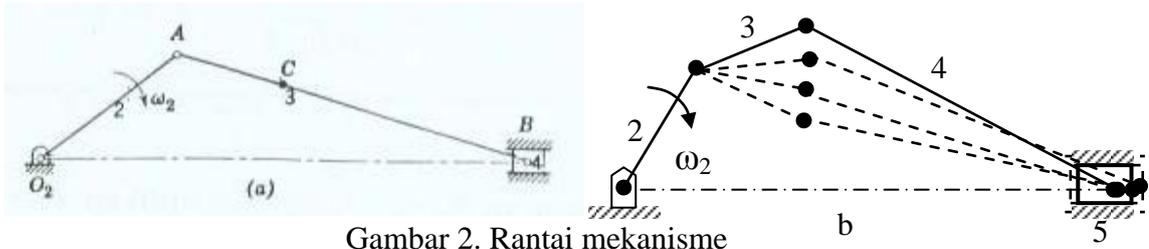
$$\sum T = I \cdot \alpha$$

- **Diagram Kinematis:** Sket bagian-bagian yang memberi efek gerakan pada mesin



Gambar 1. Mekanisme Engkol Peluncur

- Bagian yang diam (bantalan dan dinding silinder) di beri label 1 (batang 1) atau disebut rangka.
- Batang penghubung: Benda yang mempunyai gerak relatif terhadap yang lain (batang penghubung 2, 3, dan 4)
- Mekanisme
 - Rantai kinematis (kinematic chain): Sistem batang penghubung yang saling berhubungan dan bergerak secara relatif satu terhadap yang lainnya.
 - Rantai kinematis terbagi dua:
 - Rantai kinematis terbatas: gerakannya dapat diramalkan
 - Rantai kinematis tak terbatas: gerakannya tidak dapat diramalkan.



Gambar 2. Rantai mekanisme

- Mekanisme adalah rantai kinematis terbatas

B. SIFAT-SIFAT GERAKAN RELATIF

- ✓ **Gerakan Absolut:** gerakan suatu benda terhadap benda lain yang diam.
- ✓ **Gerakan Relatif:** gerakan suatu benda terhadap benda lain yang juga bergerak.

1. Kecepatan dan Percepatan

- Kecepatan dan percepatan adalah vektor, sehingga selain memiliki **besar** juga memiliki **arah**
- Kecepatan dan percepatan linier

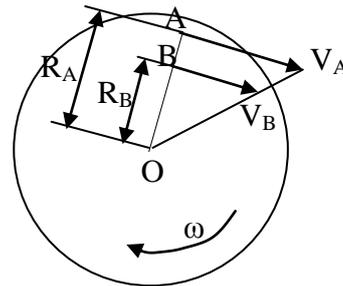
$$V = \frac{ds}{dt}$$

$$A = \frac{dv}{dt} = \frac{d^2s}{dt^2}$$

- Kecepatan dan percepatan sudut

$$\omega = \frac{d\theta}{dt}$$

$$\alpha = \frac{d\omega}{dt} = \frac{d^2\theta}{dt^2}$$



Gambar 3. Kecepatan linier berbanding lurus dengan jari-jari

Hubungan antara V, ω , dan R

$$V = R \cdot \omega$$

Jika ω dalam n (rpm):

$$\omega = 2\pi.n$$

$$V = 2\pi R.n$$

Arah V **selalu tegak** lurus dengan jari-jari R

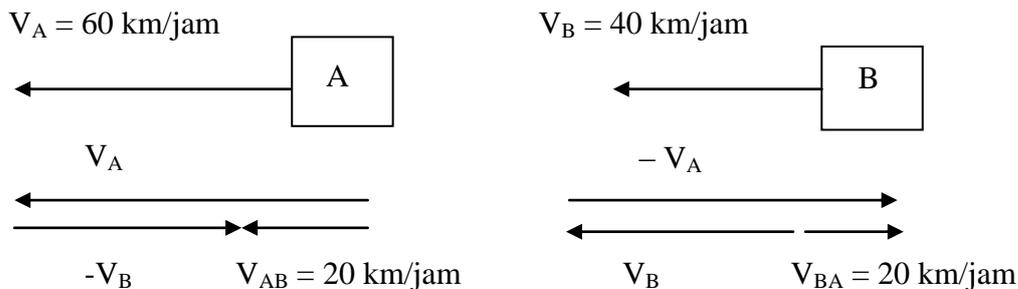
$$\omega = \text{rad/det}$$

$$V = \text{m/det}$$

$$N = \text{rpm}$$

2. Kecepatan relatif

Sebuah benda dikatakan mempunyai gerak relatif (relative) terhadap benda yang lain hanya jika mereka mempunyai perbedaan dalam gerakan-gerakan absolutnya. Jika kita memperhatikan sebuah mobil yang bergerak sepanjang jalur yang lurus, lintasan absolut dari keseluruhan benda (frame) adalah translasi. Sedangkan rodanya akan mempunyai lintasan absolut yang akan merupakan translasi yang sama dengan keseluruhan benda, ditambah dengan gerakannya sendiri yang berupa putaran. Selanjutnya, menurut definisi kita mengenai gerakan relatif, lintasan dari roda relatif terhadap keseluruhan benda hanyalah sebuah putaran. Sebagai gambar dari gerakan relatif, perhatikan dua mobil A dan B dalam gambar 4 yang berjalan dengan kecepatan 60 km/jam dan 40 km/jam. V_A dan V_B masing-masing merupakan kecepatan absolutnya.



Gambar 4. Kecepatan relatif dua benda A dan B

Apabila sebuah vektor ditulis dengan satu huruf bawah (subscript) itu berarti merupakan harga absolut. Kecepatan A relatif terhadap B ditulis $V_{A/B}$ dan adalah kecepatan absolut A dikurangi kecepatan absolut B. Jadi

$$V_{A/B} = V_A - V_B$$

Kecepatan A relatif terhadap B adalah suatu kecepatan yang dapat diperlihatkan oleh A terhadap seorang pengamat dalam mobil B, jika pengamat membayangkan bahwa mobil B ada dalam keadaan diam. Terhadap pengamat, mobil A akan kelihatan bergerak ke kiri dengan kecepatan 20 Km/jam. Hal ini dalam gambar ditunjukkan oleh $V_{A/B}$. Kecepatan B relatif terhadap A ditulis sebagai $V_{B/A}$ dan adalah kecepatan absolut dari B dikurangi kecepatan absolut dari A. Oleh karena itu:

$$V_{B/A} = V_B - V_A$$

Kecepatan dari B relatif terhadap A adalah kecepatan, yang dapat dipunyai oleh mobil B, yang terlihat oleh pengamat dalam mobil A, dan ini terjadi jika

pengamat membayangkan bahwa mobil A adalah diam. Terhadap pengamat, mobil B akan kelihatan bergerak kekanan dengan kecepatan 20 Km/jam. Hal ini ditunjukkan sebagai $A_{B/A}$ dalam gambar.

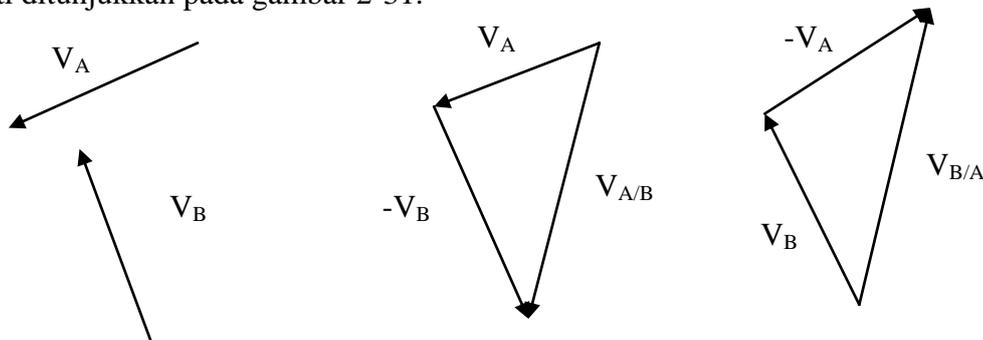
Contoh lain dari gerakan relatif ditunjukkan dalam gambar 5, dimana V_A dan V_B adalah kecepatan-kecepatan dari kedua pesawat terbang. Kecepatan dari A relatif terhadap B adalah kecepatan absolut A dikurangi kecepatan absolut B, oleh karena itu

$$\begin{aligned} V_{A/B} &= V_A \longrightarrow V_B \\ &= V_A \rightarrow (-V_B) \end{aligned}$$

Seperti terlihat dalam gambar 5. dengan cara yang sama kecepatan B relatif terhadap A adalah kecepatan absolut dari B dikurangi kecepatan dari A. Jadi

$$\begin{aligned} V_{B/A} &= V_B \longrightarrow V_A \\ &= V_B \rightarrow (-V_A) \end{aligned}$$

Seperti ditunjukkan pada gambar 2-31.



Gambar 5. Kecepatan relatif dua benda yang saling membentuk sudut

$$\begin{aligned} V_{A/B} &= V_A \longrightarrow V_B \\ -V_A &= -V_{A/B} \longrightarrow V_B \\ V_B &= V_A \longrightarrow V_{A/B} \end{aligned}$$

Selanjutnya, jika huruf bawah dari kecepatan dibalik pada sebuah vektor yang berada dalam sebuah persamaan vektor, tanda dari vektor harus diubah. Sebagai contoh, jika kita membalik huruf bawah pada $V_{A/B}$ dengan persamaan yang terakhir.

$$\begin{aligned} -V_{B/A} &= V_A \longrightarrow V_B \\ -V_A &= V_{B/A} \longrightarrow V_B \\ V_B &= V_A \longrightarrow V_{B/A} \\ V_{B/A} &= V_B \longrightarrow V_A \end{aligned}$$

Oleh karena itu

$$V_B = V_A \longrightarrow V_{B/A}$$

Dapat ditulis

$$\begin{aligned} V_B &= V_A + \vec{V}_{B/A} \\ V_B &= V_A + \vec{V}_B \Rightarrow (-V_A) \\ V_B &= V_B \end{aligned}$$

Mengingat pergeseran linier dan percepatan-percepatan linier adalah besaran-besaran vektor, mereka harus diperlakukan dalam cara yang sama sebagai kecepatan-kecepatan linier.

Jika benda 2 dan benda 3 mempunyai gerakan dalam sebuah bidang atau bidang-bidang yang sejajar, maka gerakan sudut relatifnya didefinisikan sebagai perbedaan gerakan-gerakan sudut absolutnya. Jadi

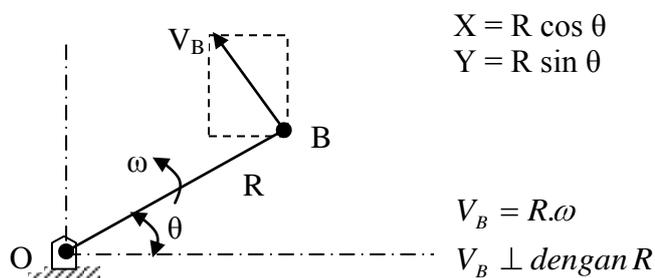
$$\theta_{3/2} = \theta_3 - \theta_2$$

$$\omega_{3/2} = \omega_3 - \omega_2$$

$$\alpha_{3/2} = \alpha_3 - \alpha_2$$

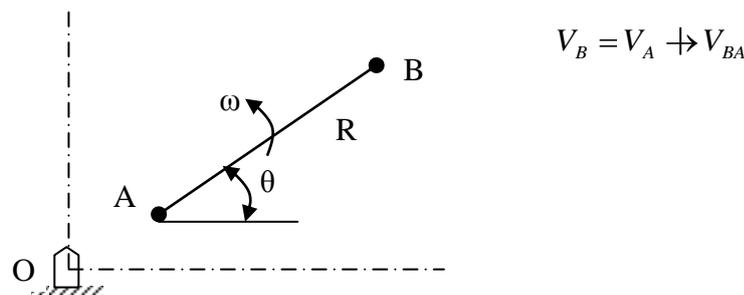
Dimana θ , ω , dan α dianggap positif jika bjj dan negatif jika sjj.

- **Kecepatan Penghubung yang berputar terhadap satu titik tetap**



Gambar 6. Penghubung yang berputar pada titik tetap

- **Kecepatan Dua Titik yang Sama-sama Bergerak pada Satu Penghubung Kaku**

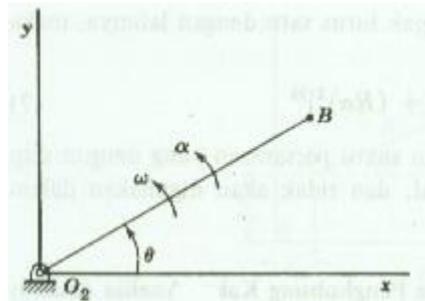


Gambar 7. Dua titik pada penghubung kaku yang sama-sama bergerak

2. Percepatan Relatif

Dalam analisa percepatan, dapat dijumpai tiga situasi yang telah dibahas dalam analisa kecepatan : (1) hubungan percepatana dua buah titik yang berbeda dan terpisah, (2) hubungan percepatan dua buah titik pada satu penghubung kaku dan (3) hubungan percepatan sebuah titik ke suatu badan, dimana titik bergerak terhadap badan.

- **Percepatan Sebuah Titik pada Sebuah Penghubung yang Berputar terhadap Satu Pusat Tetap dengan Suatu Jari-Jari Konstan. Analisa Analitis**



Gambar 8. Penghubung yang berputrar pada titik tetap

Sebuah penghubung, seperti ditunjukkan dalam gambar diatas, berputar terhadap satu pusat tetap, O_2 , dengan suatu sudut kecepatan sudut ω radian perdetik, kearah melawan putaran jam, percepatan sudut α . Jarak antara O_2 dan B ditentukan R . Garis O_2 - B membuat sudut dengan sumbu x . Diinginkan percepatan total B .

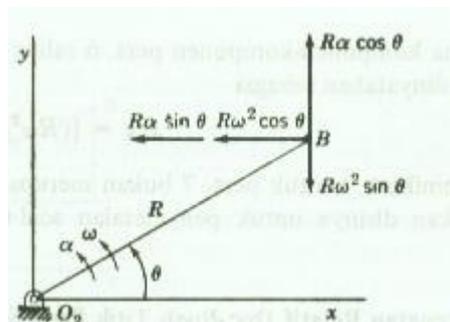
Kecepatan titik B dalam arah-arah x dan y diberikan oleh

$$V_B^x = -R\omega \sin\theta$$

$$V_B^y = R\omega \cos\theta$$

$$A_B^x = -R\omega^2 \cos\theta - R\alpha \sin\theta$$

$$A_B^y = -R\omega^2 \sin\theta - R\alpha \cos\theta$$

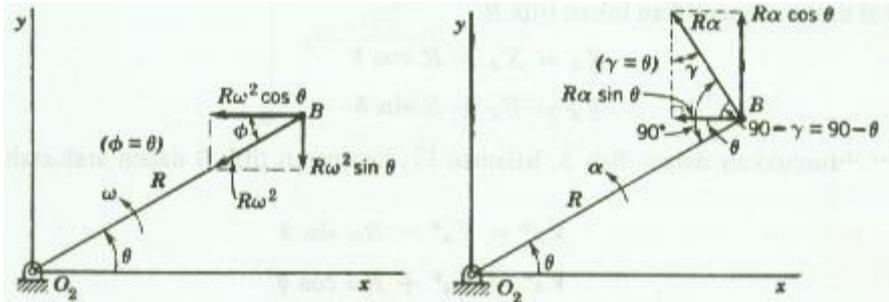


Gambar 9. Vektor-vektro dalam posisinya

Gambar diatas memperlihatkan vector-vektor dalam posisinya, tanda-tanda plus dan minus diambil dengan memperhatikan arah vector. Dalam mendapatkan percepatan

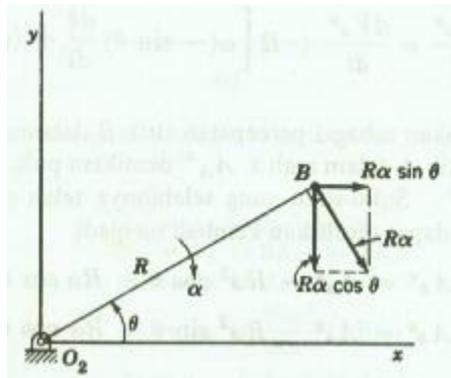
total titik B , urutan dalam penjumlahan vektornya boleh sembarang. Mari kita nyatakan percepatan total titik B sebagai

$$A_B = (R\omega^2 \cos\theta \leftrightarrow R\omega^2 \sin\theta) (R\alpha \sin\theta \leftrightarrow R\alpha \cos\theta)$$



Gambar 10a

Gambar 10b



Gambar 10c

Gambar 10. Komponen-komponen percepatan

Kedua komponen tegak lurus dalam tanda kurung pertama, yang ditunjukkan Gambar 10a, memberikan satu resultante yang sama dengan $R\omega^2$, yang dapat ditunjukkan mempunyai arah dari titik B ke pusat titik perputaran penghubung. Dua komponen tegak lurus dalam tanda kurung kedua, yang ditunjukkan dalam gambar 10b, memberikan satu resultante yang sama dengan $R\alpha$, yang dapat ditunjukkan tegak lurus ke garis $B-O_2$ dan arahnya sesuai dengan arah percepatan sudut penghubung. Gambar 10c menunjukkan pengaruh pembalikan arah percepatan sudut. Catat bahwa $R\omega^2$ adalah sebuah vektor yang merupakan fungsi dari harga numeric kecepatan sudut namun tidak bergantung pada arah putaran penghubung.

Sehingga percepatan total titik B dapat dinyatakan dengan,

$$A_B = R\omega^2 \leftrightarrow x$$

Dimana $R\omega^2$ disebut komponen percepatan normal atau radial dan $R\alpha$ disebut komponen percepatan tangensial. Catat bahwa kecepatan sudut harus dinyatakan

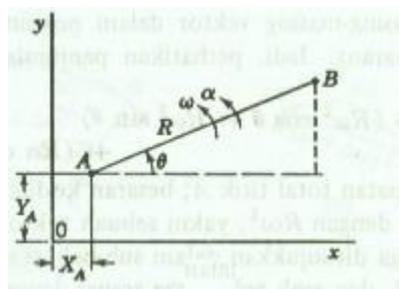
sebagai radian per waktu satuan, seperti radian perdetik dan percepatan sudut harus dinyatakan dengan radian per waktu satuan, seperti raian per detik.

Karena komponen-komponen pers.6 saling tegak lurus satu dengan lainnya, maka A_B dapat dinyatakan sebagai

$$A_B = [(R\omega^2)^2 + (R\alpha)^2]^{1/2}$$

Namnun demikian, bentuk pers. 7 bukan merupakan suatu persamaan yang dengan siap menyediakan dirinya untuk penyelesaian soal-soal dan tidak akan digunakan dalam buku ini.

- Percepatan Relatif Dua Buah Titik Pada Satu Penghubung Kaku. Analisa Analitis



Gambar 11. Dua titik pada penghubung kaku yang sama-sama bergerak

Perhatikan sebuah garis $A-B$ dalam gambar diatas. Yang merupakan bagian dari sebuah penghubung kaku yang bergerak dalam suatu bidang dengan suatu gerak sembarang. Satu system sumbu koordinat akan dipakai untuk menentukan lokasi dititik B .

$$X_B = X_A + R \cos \theta$$

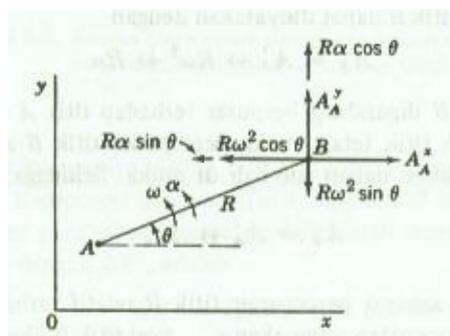
$$Y_B = Y_A + R \sin \theta$$

$$A_B^x = A_A^x - R\omega^2 \cos \theta - R\alpha \sin \theta$$

$$A_B^y = A_A^y - R\omega^2 \sin \theta - R\alpha \cos \theta$$

Percepatan total titik B , A_B , diperoleh dengan penjumlahan kedua komponen lurus:

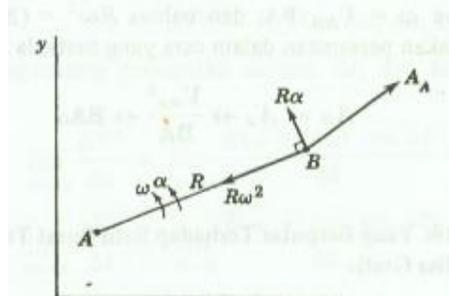
$$A_B = A_B^x \leftrightarrow A_B^y$$



Gambar 12. Komponen-komponen percepatan

Gambar diatas memperlihatkan masing-masing vector dalam posisinya. Urutan dalam penjumlahan vector adalah sembarang. Jadi, perhatikan penjumlahan vector-vektor sebagai berikut:

$$A_B = (A_A^x \leftrightarrow^v) (R\omega^2 \cos\theta \leftrightarrow^v \sin\theta) \leftrightarrow^v \alpha \sin\theta \leftrightarrow^v \chi \cos\theta$$



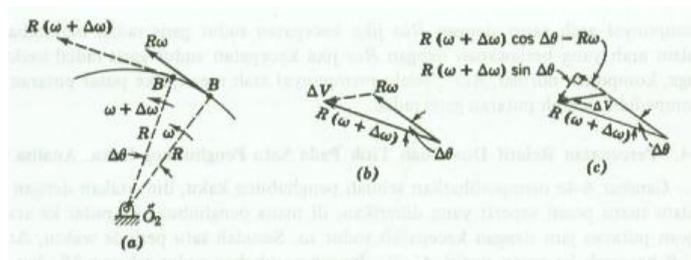
Gambar 13. Vektor-vektor percepatan dalam posisinya

Gambar di atas memperlihatkan vector-vector dalam posisinya.

Dengan mencatat bahwa $\omega = V_{BA}/BA$ dan bahwa $R\omega = (BA) (V_{BA}/BA)^2 = V_{BA}^2/BA$, kita dapat menyatakan persamaan dalam cara yang berbeda:

$$A_B = A_A \leftrightarrow^v \frac{V_{BA}^2}{BA} \leftrightarrow^v BA\alpha$$

- **Percepatan Sebuah Titik Yang Berputar Terhadap Satu Pusat Tetap Dengan Suatu Jari-Jari Konstan. Analisa Grafis**



Gambar 6-3a memperlihatkan suatu titik B yang bergerak sepanjang busur lingkaran, dengan dengan jari-jari konstan R kesuatu posisi baru B'. Kecepatan awal titik adalah $R\omega$, dan kecepatan titik sebuah suatu perubahan sudut sebesar $\Delta\theta$ dari garis radial adalah $R(\omega + \Delta\omega)$, dimana $\Delta\omega$ adalah perubahan kecepatan sudut garis radial. Perubahan kecepatan seperti terlihat dalam gambar 6-3b adalah perbedaan vector kecepatan awal dan akhir, yang perubahan kecepatan ini ditandai dengan ΔV .

Komponen-komponen yang dipilih di sini ada dua seperti ditunjukkan dalam gambar 6-3c, dimana suatu komponen, $[R(\omega + \Delta\omega)\cos \Delta\theta - R\omega]$, mempunyai arah sepanjang vector " $R\omega$ ", dan komponen yang lainnya, $R(\omega + \Delta\omega)\sin \Delta\theta$ tegak lurus ke vector $R\omega$.

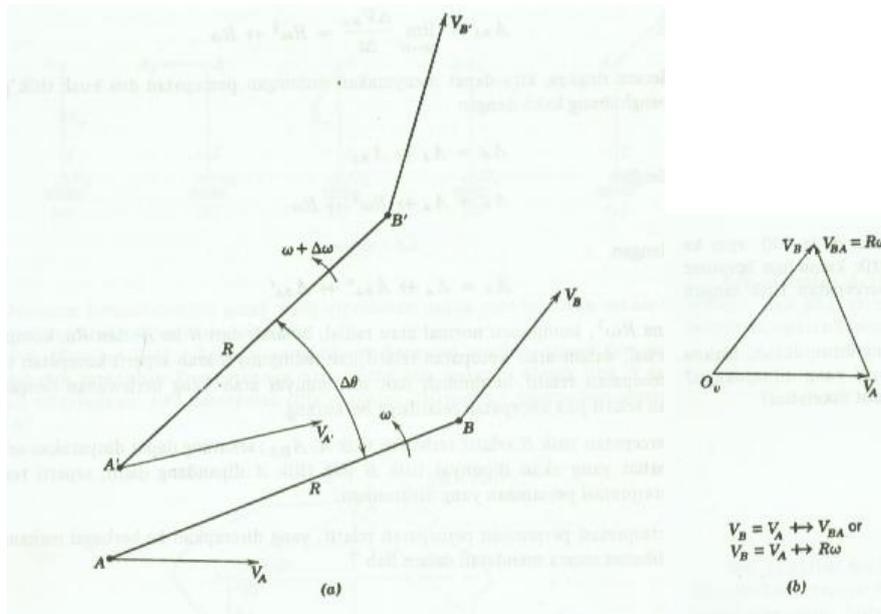
Jadi komponen perubahan kecepatan dalam arah normal atau radial, yakni tegak lurus ke vector “ $R\omega$ ”, ditandai dengan ΔV^t , adalah

$$\Delta V^t = R(\omega + \Delta\omega) \cos \Delta\theta - R\omega$$

Dan komponen perubahan kecepatan dalam arah tangensial, yakni tegak lurus ke vector $R\omega$, ditandai dengan ΔV^n , adalah

$$\Delta V^n = R(\omega + \Delta\omega) \sin \Delta\theta$$

Percepatan Relatif Dua Buah Titik Pada Satu Penghubung Kaku. Analisis Grafis



Gambar 6-4a memperlihatkan sebuah penghubung kaku, dinyatakan dengan $A-B$ dalam suatu posisi seperti yang diberikan, dimana penghubung berputar ke arah melawan putaran jam dengan kecepatan sudut ω . Sesudah satu periode waktu, Δt , garis $A-B$ bergerak ke suatu posisinya $A'-B'$, dengan perubahan sudut sebesar $\Delta\theta$, dan dalam posisinya yang baru garis mempunyai kecepatan sudut dengan $(\omega + \Delta\omega)$. Gambar 6-4b memperlihatkan polygon vector kecepatan untuk persamaan

$$V_B = V_A + \omega R$$

Dan gambar 6-4c memperlihatkan polygon vector kecepatan untuk persamaan

$$V_{B'} = V_{A'} + (\omega + \Delta\omega) R$$

Kurangkan persamaan 1 dari persamaan 2

$$(V_{B'} - V_B) = (V_{A'} - V_A) + (\omega + \Delta\omega)R - \omega R$$

Dalam persamaan diatas $V_{B'} - V_B = \Delta V_B$ adalah perubahan kecepatan titik B ; $V_{A'} - V_A = \Delta V_A$ adalah perubahan kecepatan titik A , sedangkan $(\omega + \Delta\omega)R - \omega R = \Delta V_{BA}$ adalah perubahan kecepatan relative.

Substitusikan hal ini kedalam pers. 3 maka kita dapatkan,

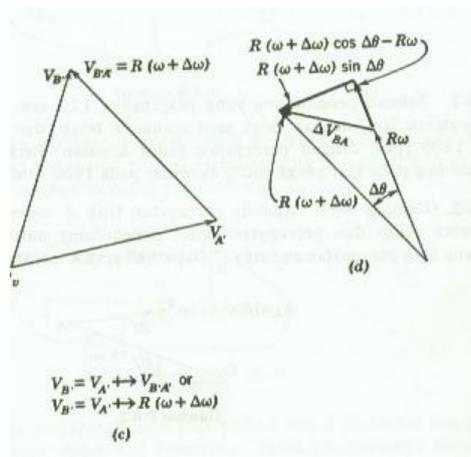
$$\Delta V_B = V_A \quad \leftrightarrow \quad v_A$$

Bagi seluruhnya dengan Δt dan ambil limitnya pada saat mendekati nol, maka kita dapatkan

$$A_B = A_A \quad \leftrightarrow \quad a_A$$

Pertanyaanya sekarang adalah berapa besarnya A_B . Harga ini dapat ditentukan dari pengujian yang dapat dinyatakan dengan

$$\lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta V_{BA}}{\Delta t} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{R(\omega + \Delta\omega)}{\Delta t} \rightarrow \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{R\omega}{\Delta t}$$



Dengan membandingkan Gambar 6-3c dan Gambar 6-4d terlihat bahwa perubahan kecepatan sebuah titik pada sebuah penghubung yang berputar terhadap satu pusat tetap adalah sama persis seperti perubahan kecepatan relative dua buah titik pada satu penghubung yang bergerak dalam suatu bidang: sehingga dengan memakai hasil-hasil pada sub-sub dimuka, kita dapat menuliskan persamaan.

Secara ringkas, kita dapat menyatakan hubungan percepatan dua buah titik pada satu penghubung kaku dengan

$$A_B = A_A \quad \leftrightarrow \quad a_A$$

Atau dengan

$$A_B = A_A R\omega^2 \quad \leftrightarrow \quad \alpha$$

Atau dengan

$$A_B = A_A A_{BA}^n \quad \leftrightarrow \quad a_{BA}^t$$

Dimana $R\omega^2$, komponen normal atau radial, berarah dari B ke A ; dan $R\alpha$, komponen tangensial, dalam arah kecepatan relatif dan mempunyai arah seperti kecepatan jika

kecepatan relative bertambah dan mempunyai arah yang berlawanan dengan kecepatan relatifnya berkurang.

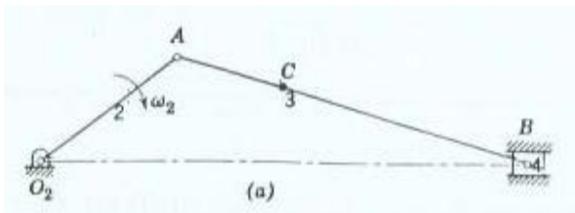
C. PENERAPAN PERSAMAAN KECEPATAN RELATIF

Penerapan persamaan kecepatan relatif bermacam-macam tipe mekanisme. Klasifikasi mekanisme dasar atau komponen-komponen mekanisme sebagai berikut:

1. Mekanisme engkol peluncur
2. Mekanisme empat penghubung
3. Mekanisme penyerut
4. Mekanisme Penghubung Apung
5. Mekanisme bubungan
6. Roda gigi
7. Kombinasi dari bentuk di atas.

Disini kita akan membahas analisa kecepatan dari tipe-tipe dasar dan beberapa mekanisme yang terdiri dari komponen-komponen dasar.

1. Mekanisme Engkol Peluncur



Mekanisme Engkol Peluncur:

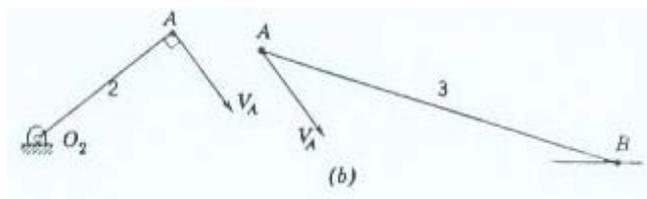
Penghubung 2 adalah penggerak (Driver)

Penghubung 4 adalah yang digerakkan (Driven/follower)

Asumsi : 1. semua dimensi mekanisme sudah di ketahui

2. semua penghubung digambar dengan skala dalam posisi saat di analisa

Kecepatan titik A berputar terhadap satu titik tetap yaitu O_2 maka $V_A = O_2 \cdot A \cdot \omega_2$



V_A harus tegak lurus terhadap jari-jari karena titik A bergerak dan O_2 yang diam.

sedangkan V_{BA} mempunyai garis gaya yang berada pada garis sumbu atau berhimpitan dengan garis sumbu $V_B = V_A \rightarrow V_{BA}$ atau $V_B = V_A \rightarrow BA \omega_3$.

$V_B = V_A \rightarrow BA \omega_3$ tidak dapat dipakai karena ω_3 tidak diketahui besar dan arahnya sehingga pada rumus itu ada 3 anu yang tidak diketahui.

- artinya belum diketahui

artinya sudah diketahui

rumus yang dipakai adalah $V_B = V_A \rightarrow V_{BA}$ karena ada dua anu yang belum diketahui

$$V_B = V_A \rightarrow V_{BA}$$

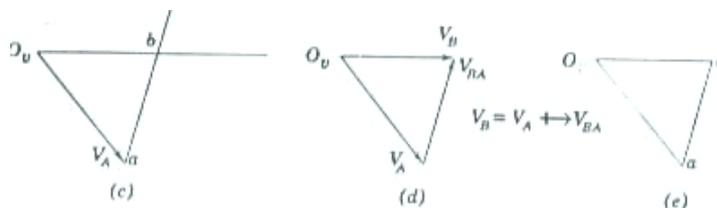
V_{BA} diketahui dari gambar dibawah

Titik A diasumsikan diam



Arahnya V_B diketahui dan besarnya belum diketahui

Besaran-besaran yang sudah diketahui ialah arah V_B (karena titik B bergerak dalam satu garis lurus maka arahnya pun sejajar dengan garis kerjanya), besar dan arah V_A , arah V_{BA} (tegak lurus terhadap penghubung 3). Setelah komponen-komponen diatas diketahui maka kita buat poligon vektornya dengan menghubungkan-komponen yang sudah diketahui dimulai dari kutub poligon kecepatan (O_V) dengan menggunakan satu skala. Sehingga besar V_B dapat diketahui dengan mengukur poligon vektor.



Dari poligon diatas kita dapat mengetahui arah dari V_{BA} . Kecepatan V_{BA} dapat digunakan untuk mencari ω_3 (kecepatan sudut penghubung 3) Untuk mencari kecepatan titik C pada penghubung 3 kita gunakan persamaan kecepatan untuk dua titik C dan A. Bila kita menggunakan rumus $V_C = V_A \rightarrow V_{CA}$ maka kita tidak akan

dapat menyelesaikannya. Karena besar V_C tidak diketahui, dan besar V_{CA} tidak diketahui, kita harus mencari informasi tambahan sebelum dapat melanjutkan, informasi tambahan tersedia jika kita memperhatikan hubungan V_{CA} dan V_{BA} :

$$V_{CA} = CA \omega_3$$

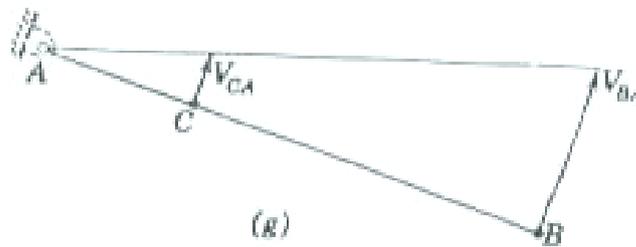
dan

$$V_{BA} = BA \omega_3$$

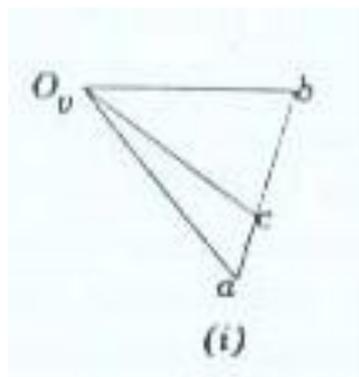
Bagi salah satu persamaan dengan persamaan yang lain, maka kita dapatkan:

$$\frac{V_{CA}}{V_{BA}} = \frac{CA \omega_3}{BA \omega_3} = \frac{CA}{BA}$$

Dari persamaan diatas kita dapat mengetahui besarnya V_{CA} atau ditentukan secara grafis, seperti ditunjukkan pada gambar dibawah ini:

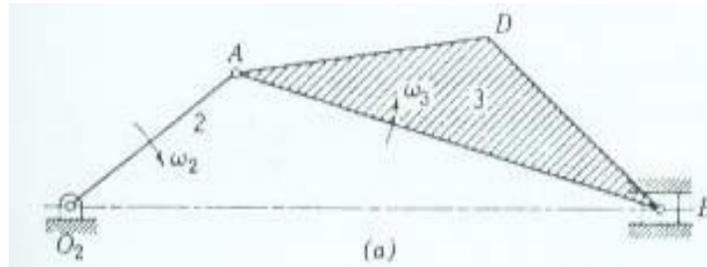


Maka kalau kita hubungkan komponen-komponen yang sudah kita ketahui menjadi satu poligon utuh akan membuat suatu poligon tertutup seperti ditunjukkan dibawah:

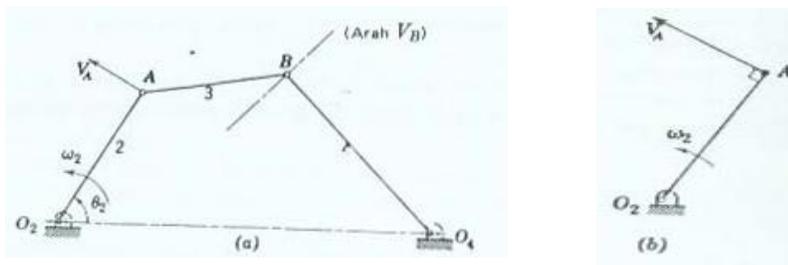


2. Mekanisme Empat Penghubung

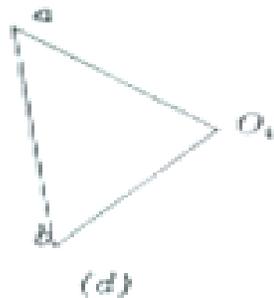
Sebuah mekanisme empat penghubung terlihat dalam gambar. Kita anggap bahwa mekanisme digambarkan dalam skala untuk posisi dimana analisa kecepatan dilakukan. Juga ditentukan bahwa kecepatan sudut penghubung 2, ω_2 .



Untuk Langkah penyelesaiannya empat penghubung ini hampir sama dengan mekanisme engkol peluncur $V_A = O_2 \cdot A \omega_2$

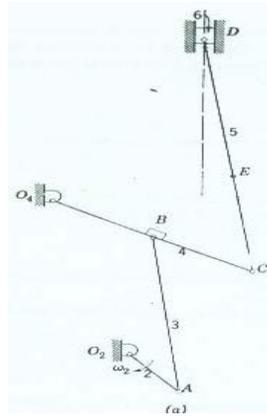


Untuk mencari kecepatan V_B kita asumsikan bahwa titik O_4 itu diam. Sehingga arah V_B dapat diketahui yaitu tegak lurus ke garis A-B. Mencari arah V_{BA} kita asumsikan titik A diam dan arah V_{BA} adalah tegak lurus terhadap penghubung 3. Gabungkan Arah V_A , Arah V_B dan arah V_{BA} sehingga menjadi poligon tertutup seperti terlihat pada gambar:



3. Mesin Powell

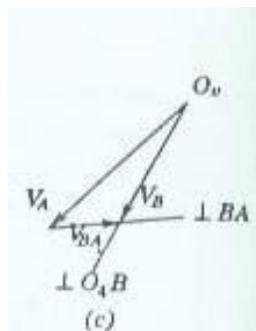
Mesin powell menggunakan mekanisme kombinasi yaitu mekanisme engkol pelucur dan mekanisme empat penghubung. Gambar mekanisme Mesin Powell Serti ditunjukkan pada gambar dibawah:



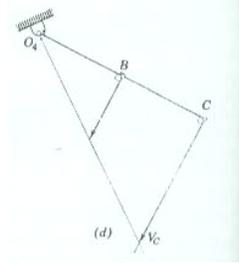
Kecepatan titik A berputar terhadap satu titik tetap yaitu O_2 maka $V_A = O_2 \cdot A \omega_2$



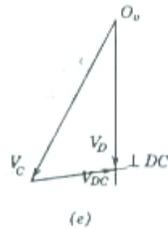
Untuk mencari arah dari V_{BA} kita mengasumsikan bahwa titik A diam, sehingga arah V_{BA} dapat kita ketahui yaitu tegak lurus terhadap batang 3. Setelah itu kita cari arah V_B . Arah V_B tegak lurus terhadap batang penghubung 4. Kita gabungkan arah-arah kecepatan yang sudah diketahui sehingga menjadi poligon tertutup.



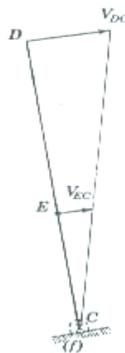
Untuk mencari besar V_C kita harus mencari informasi tambahan yaitu dengan membandingkan $\frac{V_C}{O_4C} = \frac{V_B}{O_4B}$ sehingga mendapatkan kecepatan V_C seperti terlihat pada gambar di bawah ini.



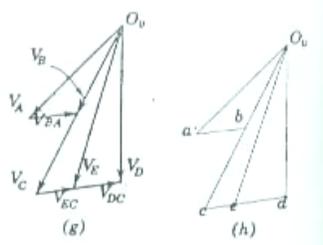
Arah V_{DC} dapat diketahui dengan dengan mengasumsikan titik C diam Sehingga arah V_{DC} dapat diketahui yaitu tegak lurus terhadap DC. Sedangkan arah V_D yaitu seara penghubung 6.



Sedangkan untuk mencari arah V_{EC} Dapat diketahui melalui perbandingan $\frac{V_{EC}}{CE} = \frac{V_{DC}}{CD}$ sehingga dapat diketahui besar V_{EC} dari gambar.



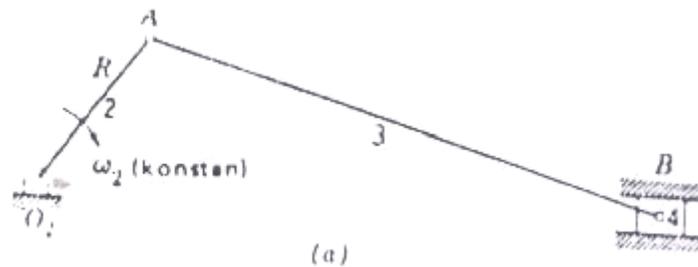
Kita gabungkan kecepatan-kecepatan yang sudah diketahui sehingga membuat suatu poligin tertutup.



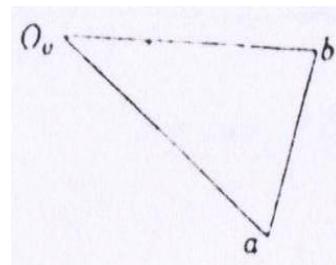
D. PENERAPAN PERSAMAAN PERCEPATAN RELATIF

1. Mekanisme Engkol Peluncur

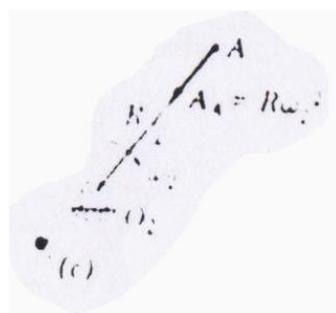
Mekanisme engkol peluncur di perlihatkan pada gambar dibawah ini :



Di mana penghubung 2 dimisalkan berputar kearah putaran jam dengan suatu kecepatan sudut konstan, dan di mana mekanisme digambarkan terskala dalam posisi saat dilakukan analisa. Gambar disamping ini memperlihatkan poligon kecepatannya.



Untuk langkah pertama, pisahkan penghubung 2, seperti ditunjukkan dalam gambar dibawah ini.

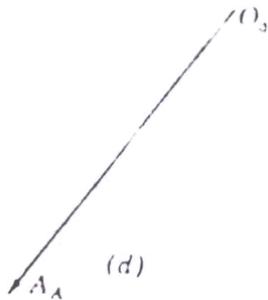


Percepatan titik A, karena titik A berputar terhadap satu pusat tetap, diberikan oleh :

$$A_A = R\omega_2^2 \rightarrow R\alpha_2$$

Karena R dan ω_2 diketahui, maka percepatan normal, $R\omega_2^2$, dapat dihitung. Arah $R\omega_2^2$ adalah sepanjang garis A-O₂, dari A menuju O₂. karena α_2 nol (karena ω_2 konstan).

$R\alpha_2 = 0$. A_A digambarkan dengan skala percepatan sembarang alam seperti gambar di bawah ini :



Selanjutnya perhatikan penghubung 3 yang dipisahkan. Percepatan titik A dapat dikaitkan dengan percepatan titik B, atau percepatan titik B dapat dikaitkan ke percepatan titik A, dengan hasil akhir yang sama. Mari kita perhatikan yang terakhir dan menyatakan hubungan percepatan – percepatan dengan salah satu dari persamaan di bawah ini:

$$\begin{aligned} & A_B = A_A \rightarrow A_{BA} \\ \text{Atau} & A_B = A_A \rightarrow A_{BA}^n \rightarrow A_{BA}^t \\ \text{Atau} & A_B = A_A \rightarrow BA\omega_3^2 \rightarrow BA\alpha_3 \\ \text{Atau} & A_B = A_A \rightarrow \frac{V_{BA}^2}{BA} \rightarrow BA\alpha_3 \end{aligned}$$

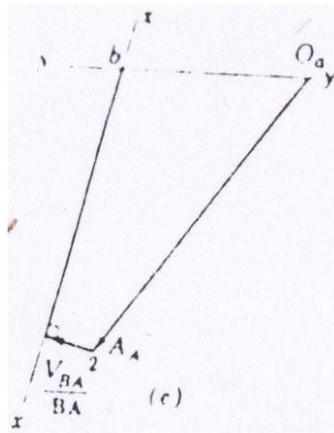
Semua persamaan di atas adalah sama, dengan interpretasi yang sama untuk masing – masing bentuk persamaan. Mari kita pakai bentuk yang terakhir, karena kecepatan relatif, V_{BA} , dapat diperoleh secara langsung dari poligon kecepatan dan akan meniadakan kebutuhan penghitungan kecepatan surut penghubung 3. langkah penting sekaang yaitu interpretasi dari setiap suku dalam persamaan berikut:

- A_B diketahui arahnya, karena titik B bergerak dengan translasi murni dan ini hanya dapat mempunyai percepatan dalam arah gerak. (besar A_B tidak diketahui)
- V_{BA}^2 / BA dapat ditentukan secara lengkap, baik dalam besarnya maupun arahnya. V_{BA} dapat ditentukan dari poligon kecepatan, BA diketahui, dan komponen percepatan normal arahnya dari B ke A karena yang ditentukan adalah percepatan B relatif terhadap A.
- $BA\alpha_3$ diketahui tegak lurus ke garis dari B ke A, tetapi besarnya belum diketahui.

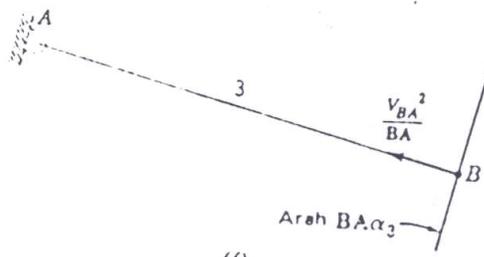
Sehingga terdapat dua anu, yakni besar A_B dan besarnya $BA\alpha_3$, yang dapat diperoleh dari penyelesaian sebuah poligon vektor. Suatu poligon vektor dapat

digambarkan dengan menjumlahkan vektor-vektor dalam cara apapun sejauh persamaan vektornya terpenuhi. Namun, untuk penyederhanaan selanjutnya dalam penentuan percepatan titik-titik pada sebuah penghubung, semua vektor yang menyatakan percepatan total akan digambarkan dari satu titik bersama, yang disebut kutub poligon percepatan.

Diagram percepatan untuk penghubung 3 mulai di O_α , seperti ditunjukkan dalam gambar dibawah ini, dengan menggambarkan A_A dalam skala dan dalam arah yang sesuai. Seperti dinyatakan oleh persamaan, tambahkan V_{BA}^2/BA ke A_A .(Catat arah Komponen)



Gambar dibawah memperlihatkan titik B terhadap titik A berarah dari titik B ke titik A).



Komponen percepatan normal titik B terhadap titik A berarah dari titik B ke titik A. Komponen selanjutnya, $BA\alpha_3$, diketahui arahnya dan dapat diperkirakan terletak sepanjang garis $x - x$ pada gambar di atas. sejauh ini kita dapat berjalan dalam mengerjakan ruas kanan persamaan. Kita tahu percepatan titik B harus dimulai dari O_α dan berujung di suatu tempat di garis $x - x$. Resultante ketiga komponen harus berupa sebuah vektor yang arahnya diketahui, yaitu dalam arah gerak torak. Titik yang akan memenuhi persamaan vektor dalam semua persyaratan hanya diberikan oleh

perpotongan $x - x$ dan $y - y$, yaitu titik B. Karena hasil perkalian BA dan α_3 , yakni $BA\alpha_3$, dapat dibaca dari diagram percepatan, dan karena BA diketahui, maka α_3 dapat dihitung dari

$$\alpha_3 = \frac{(BA\alpha_3)}{BA}$$

Jika satuan – satuan yang digunakan adalah meter, detik, maka percepatan sudut harus dinyatakan dengan rad/detik². perhatikan kenyataan bahwa jika A_A dinyatakan sebagai fungsi dari A_B , maka:

$$A_A = A_B \rightarrow A_{AB}$$

$$A_A = A_B \rightarrow \frac{V_{AB}^2}{AB} \rightarrow AB\alpha_3$$

Akan diperoleh hasil yang sama untuk besar dan arah – arahnya dengan interpretasi persamaan yang sesuai. Vektor – vektor yang dibalik hanyalah vektor – vektor komponen percepatan relatif. Namun, pengambilan komponen tangensial pada penghubung 3 yang terpisah menunjukkan bahwa percepatan sudut penghubung 3 arahnya melawan putaran jam, seperti yang telah diperoleh sebelumnya, dengan harga yang sama. Sekarang akan ditunjukkan bahwa percepatan suatu titik pada penghubung 3 dapat diperoleh melalui poligon percepatan. Dengan memakai:

$$A_C = A_A \rightarrow \frac{V_{CA}^2}{CA} \rightarrow CA\alpha_3$$

Kita tidak memperoleh secara langsung karena terdapat tiga anu yaitu: arah dan besar A_C dan besar $CA\alpha_3$. ada dua metode pendekatan:

- a. hitung α_3 , dan kemudian hitung $CA\alpha_3$.
- b. Memahami bahwa $CA\alpha_3/BA\alpha_3 = CA/BA$, yaitu kesebandingan yang dapat diperoleh dari segitiga sebangun.

2. Mekanisme Empat Penghubung

Untuk ilustrasi lebih lanjut mengenai prinsip – prinsip dalam penentuan percepatan dipilih mekanisme empat penghubung. misalnya bahwa mekanisme digambarkan terskala dalam posisi tatkala dilakukan analisa, dan bahwa penghubung 2 berputar dengan kecepatan sudut sesaat sebesar ω_2 rad/det melawan putaran jam dan berkurang kecepatannya dengan percepatan sudut sebesar α_2 rad/detik². atau percepatan sudut searah putaran jam.

Percepatan titik A adalah:

$$A_a = O_2A\omega_2^2 \rightarrow O_2A\alpha_2$$

Untuk menentukan percepatan titik B, nyatakan hubungan antara B dan A dengan:

$$A_B = A_A \rightarrow \frac{V_{BA}^2}{BA} \rightarrow BA\alpha_3$$

Sehingga, terdapat tiga anu dalam persamaan vektor diatas: arah dan besar A_B ; besar $BA\alpha_3$. perlu untuk mendapatkan kondisi lain agar dapat memecahkan persamaan. karena B berputar terhadap satu titik tetap, O_4 , maka percepatan B dapat dinyatakan dengan

$$A_B = BO_4\omega_4^2 \rightarrow BO_4\alpha_4$$

Sehingga, dengan mensubstitusikan harga A_B dari persamaan ke dalam persamaan $A_B = A_A \rightarrow A_{BA}$, dapat dituliskan persamaan berikut ini:

$$\frac{V_B^2}{BO_4} \rightarrow BO_4\alpha_4 = A_A \rightarrow \frac{V_{BA}^2}{BA} \rightarrow BA\alpha_3$$

Penyelesaian persamaan vektornya ditunjukkan dalam gambar. prosedur pembuatannya adalah:

- Gambarkan A_A dari kutub O_a
- Gambarkan V_{BA}^2/BA
- Gambarkan x-x tegak lurus ke garis B-A. A_B harus dimulai di O_a dan berujung di suatu tempat di sepanjang x-x
- Gambarkan V_B^2/BO_4 dari kutub O_a
- Gambarkan sebuah garis y-y yang tegak lurus ke garis B- O_4 . A_B harus dimulai di O_a dan berujung di suatu tempat di sepanjang y-y.

Percepatan sudut penghubung-penghubung 3 dan 4 sekarang dengan mudah dapat ditentukan baik arah maupun besarnya. ditentukan dengan membaca skala $BA_{\alpha 3}$ dan $BO_{4\alpha 4}$, dan menghitung percepatan sudut dengan:

$$\alpha_3 = \frac{(BA_{\alpha 3})}{BA}$$

$$\alpha_4 = \frac{(BO_{4\alpha 4})}{BO_4}$$

Arah percepatan sudut 3 adalah melawan putaran jam seperti ditunjukkan oleh penghubung 3 yang terpisah dan menyatakan arah komponen percepatan tangensial B terhadap A.

Arah percepatan penghubung 4 adalah melawan putaran jam seperti ditunjukkan oleh penghubung 4 yang terpisah dan menyatakan komponen percepatan tangensial B terhadap O_4 .

3. Mesin Powell

Mekanisme yang dipilih, yang memakai suatu kombinasi engkol peluncur dan empat penghubung, ialah mesin Powell. penghubung 2 dimisalkan berputar pada suatu kecepatan konstan, ω_2 , searah putaran jam. poligon kecepatan dan percepatannya ditunjukkan pada gambar di bawah. persamaan-persamaan ini akan memberikan jawabnya:

$$A_A = O_2 A_{\omega_2}^2$$

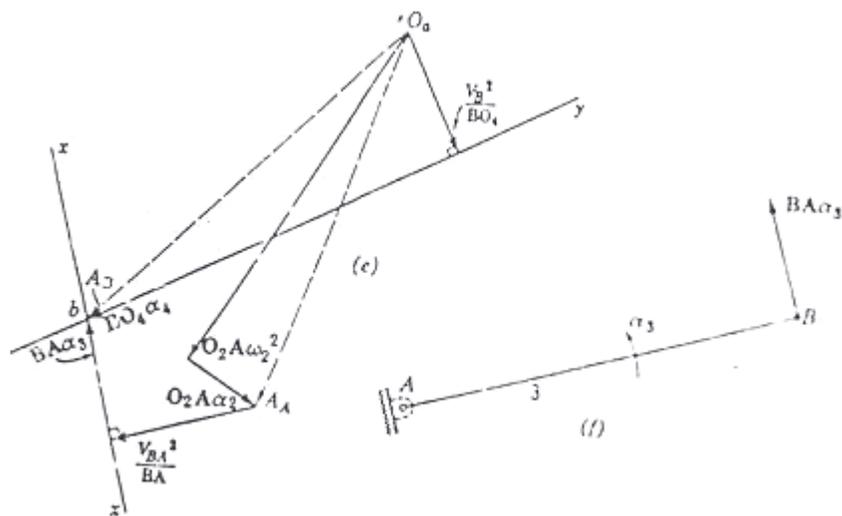
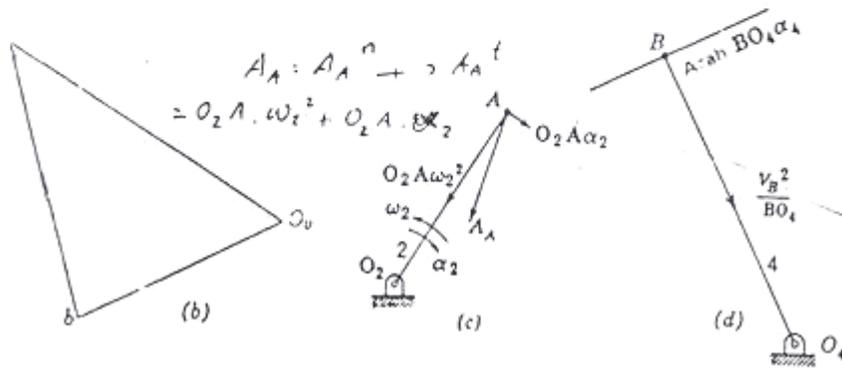
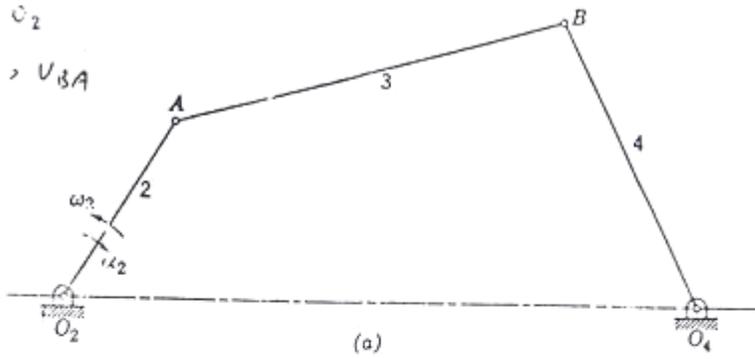
$$A_B = A_A \rightarrow \frac{V_{BA}^2}{BA} \rightarrow BA_{\alpha 3}$$

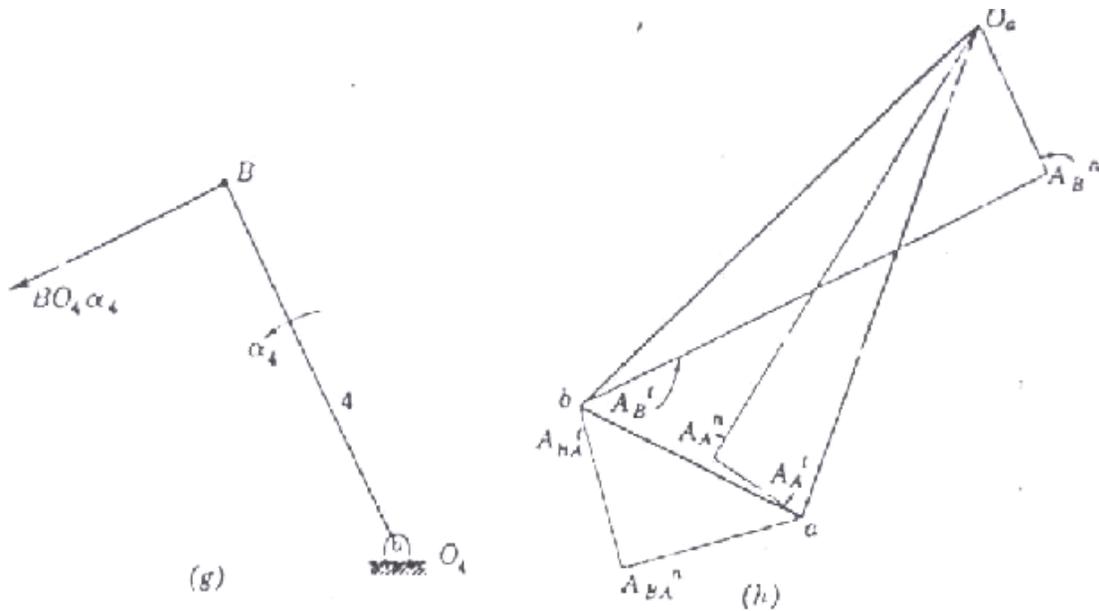
$$A_B = \frac{V_B^2}{BO_4} \rightarrow BO_{4\alpha 4}$$

$$\frac{A_c}{A_b} = \frac{CO_4}{BO_4}$$

$$A_D = A_c \rightarrow \frac{V_{DC}^2}{DC} \rightarrow DC_{\alpha 5}$$

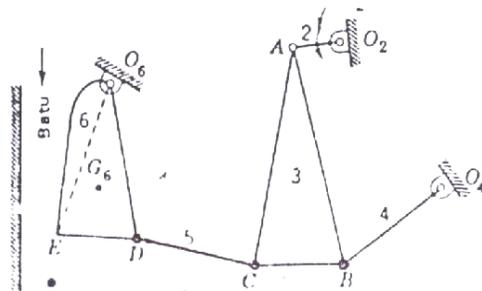
Lakukan penghubung-penghubung terpisah, dan tunjukkan bahwa percepatan sudut penghubung 3 searah putaran jam, percepatan sudut penghubung 4 arahnya melawan putaran jam, dan bahwa percepatan sudut penghubung 5 arahnya melawan putaran jam.





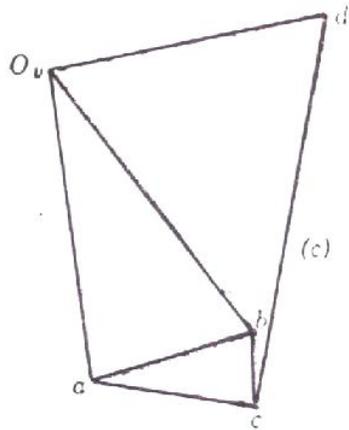
4. Mekanisme Rahang Pemecah

Mekanisme lain yang dianalisa adalah mekanisme rahang pemecah. Gambar di samping ini memperlihatkan susunan skematisnya. Mekanisme digambarkan dari aslinya dengan skala 1 cm = 0,25 m.



penghubung dua berputar pada suatu kecepatan sudut konstan sebesar 500 rpm ke arah yang berlawanan putaran jam. Diagram kecepatan ditunjukkan dalam gambar di samping.

Digambarkan untuk skala 1 cm = 2,4 m/det. Skala untuk diagram percepatan adalah 1 cm = 72 cm/det². Untuk mendapatkan percepatan G₆ dengan pusat gravitasi penghubung 6, maka penyelesaiannya sebagai berikut.



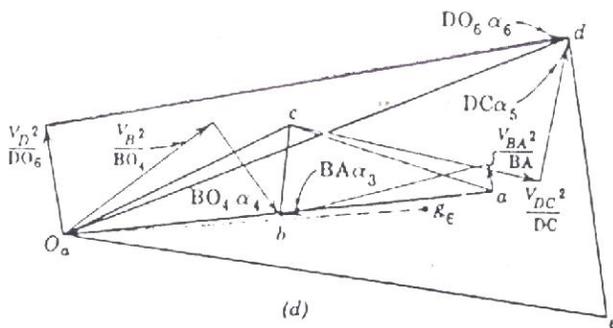
a) $A_A = O_2 A \omega_2^2 = (0,225) \left[\frac{500(2\pi)}{60} \right]^2 = 617 \text{ m/det}^2.$

b) $A_B = A_A \rightarrow V_{BA}^2 \frac{V_{BA}}{BA} \rightarrow BA \alpha_3.$

$$A_B = \frac{V_B^2}{BO_4} \rightarrow BO_4 \alpha_4.$$

Di mana $\frac{V_{BA}^2}{BA} = \frac{(6,5)^2}{1,05} = 40,2 \text{ m/det}^2$. Dan $\frac{V_B^2}{BO_4} = \frac{(12,6)^2}{0,6} = 264,6 \text{ m/det}^2$.

- c) Untuk mendapatkan percepatan titik C. Ada beberapa metode yang dapat dipakai :
1. Nyatakan hubungan $A_C = A_A \rightarrow V_{CA}^2/CA \rightarrow CA \alpha_3$, di mana A_A telah diperoleh, V_{CA}^2/CA dapat dihitung, dan $CA \alpha_3$ dapat diperoleh besarnya dari $\frac{CA_{\alpha_3}}{BA_{\alpha_3}} = \frac{CA}{BA}$.
 2. Dengan memahami bahwa percepatan relatif titik C terhadap titik A sebanding dengan percepatan titik B terhadap titik A, dan juga bahwa percepatan relatif titik C terhadap titik B sebanding dengan percepatan titik A terhadap titik B. Sehingga, gambar *c-a-b* pada gambar di bawah dalam poligon percepatan sebangun dengan gambar *C-A-B* dalam mekanisme aslinya. Kesebangunan gambar akan dipakai dalam penyelesaian.

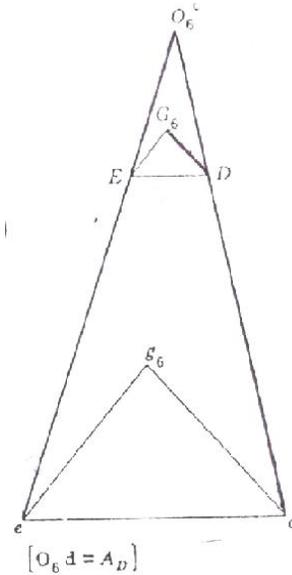


d) $A_D = A_2 \rightarrow \frac{V_{DC}^2}{DC} \rightarrow DC \alpha_5.$

$$A_D = \frac{V_D^2}{DO_6} \rightarrow DO_6 \alpha_6.$$

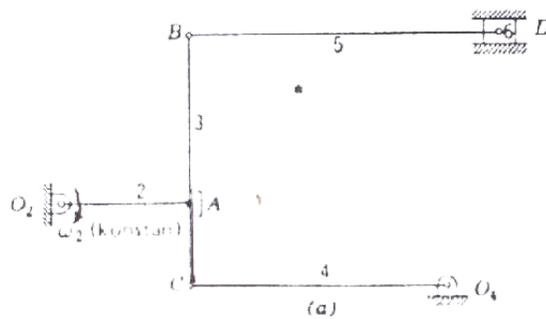
Di mana $\frac{V_{DC}^2}{DC} = \frac{(15)^2}{0,6} = 375 \text{ m/det}^2$. Dan $\frac{V_D^2}{DO_6} = \frac{(11)^2}{0,75} = 161,3 \text{ m/det}^2$.

e) Percepatan titik E dan G_6 diperoleh dari segitiga-segitiga sebangun yang ditunjukkan dalam gambar disamping. Catat bahwa dalam poligon percepatan lengkap pada gambar di atas diberikan arah yang benar dari percepatan, susunan dalam gambar disamping hanya digunakan untuk menentukan besarnya saja.

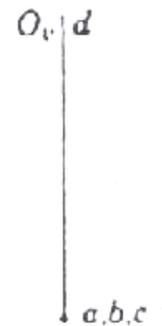


5. Posisi-Posisi Istimewa

Suatu mekanisme dalam posisi-posisi istimewa yang telah dibahas dalam analisa kecepatan, akan dinyatakan untuk analisa percepatan. Mekanisme tersebut ditunjukkan dalam gambar di bawah, di mana penghubung 2 dimisalkan berputar pada suatu kecepatan konstan sebesar ω_2 rad/det searah putaran jam.



Gambar samping ini memperlihatkan jawab kecepatan.



Dan gambar di bawah ini memperlihatkan jawab percepatan. Ini ditujukan untuk mengisolir penghubung-penghubung, menuliskan persamaan-persamaan yang diperlukan untuk penyelesaian, dan menjelaskan hasilnya. Tunjukkan bahwa percepatan sudut penghubung 4 dan penghubung 5 masing-masing adalah nol untuk posisi yang ditunjukkan.



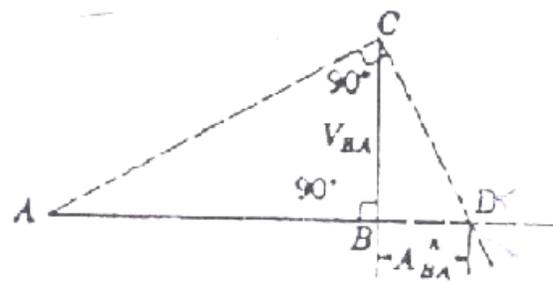
6. Penyelesaian Grafis secara Lengkap

Dalam penyelesaian grafis ini memberikan sebuah metode yang dengan ini komponen percepatan normal dapat ditentukan secara grafis, menggantikan perhitungan numerik, karena sejauh ini analisa yang diberikan memungkinkan seseorang menentukan secara lengkap poligon-poligon percepatan untuk mekanisme-mekanisme di mana persamaan percepatan relatif dapat diterapkan. Perhitungan yang diperlukan hanyalah untuk komponen-komponen normal, sedangkan untuk komponen tangensial ditentukan oleh penyelesaian vektor dari persamaan.

Persamaan untuk komponen percepatan normal B terhadap A , dua buah titik pada satu penghubung kaku, adalah :

$$A_{BA}^n = \frac{V_{BA}^2}{BA} \text{ yang dapat dituliskan kembali sebagai } \frac{A_{BA}^n}{V_{BA}} = \frac{V_{BA}}{BA}$$

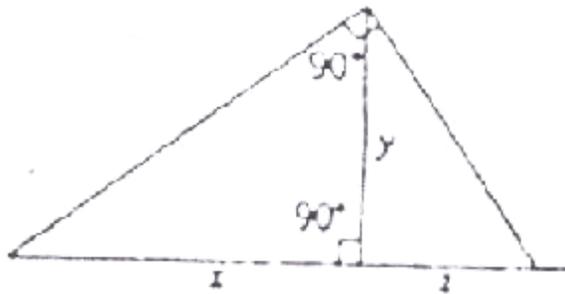
Persamaan diatas menyatakan kesebandingan dari besaran-besaran, yang dapat diperoleh dengan segitiga-segitiga sebangun. Gambar di samping memperlihatkan sebuah penghubung BA , dengan V_{BA} digambarkan di B tegak lurus ke garis BA , dan sudut ACD dibuat 90° . Panjang garis BD adalah besarnya A_{BA}^n



(arahnya harus ditentukan secara terpisah), jika besaran-besaran digambarkan dengan skala yang sesuai.

Suatu hubungan tertentu dari skala-sakala harus digunakan apabila gambar dimaksudkan untuk memberikan hubungan-hubungan besaran yang sesuai, seperti dapat terlihat dari analisa berikut ini :

Gambar dibawah ini memperlihatkan satu bentuk yang serupa dengan gambar diatas kecuali bahwa x , y dan z dinyatakan sebagai jarak-jarak sebenarnya dari panjang-panjang yang ditunjukkan. Diketahui dari geometri bahwa $\frac{x}{y} = \frac{y}{z}$



Skala-skala dinyatakan dengan simbol-simbol berikut:

k_g = skala jarak (1 cm = k_g m, yakni, 1 cm = 30 cm, untuk contoh, 1 cm = 0,3 m, atau 1 cm = 3/10 m; atau $k_g = 3/10$).

k_v = skala kecepatan (1 cm = k_v m/det, yakni, jika 1 cm = 200 m/det, maka untuk contoh, $k_v = 200$).

k_a = skala percepatan (1 cm = k_a m/det², yakni, jika 1 cm = 4000 m/det², maka untuk contoh, $k_a = 4000$).

Jika jarak x sebanding dengan panjang garis $B-A$ menurut skala jarak k_g , maka panjang garis $B-A$ yang benar adalah xk_g .

Juga, jika jarak y sebanding dengan V_{BA} menurut skala kecepatan k_v , maka harga sebenarnya dari V_{BA} adalah yk_v .

Akhirnya, jika jarak z dipandang sebanding dengan A_{BA}^n menurut skala percepatan k_a , maka harga sebenarnya dari A_{BA}^n adalah zk_a . Jadi :

$$x = \frac{BA}{k_g} \quad y = \frac{V_{BA}}{k_v} \quad z = \frac{A_{BA}^n}{k_a}$$

substitusi persamaan-persamaan di atas dapat memberikan persamaan sebagai berikut :

$$\frac{BA/k_v}{V_{BA}/k_v} = \frac{V_{BA}/k_v}{A_{BA}^n/k_a}$$

jika suku-sukunya dikumpulkan, maka didapatkan $A_{BA}^n = \left(\frac{V_{BA}^2}{BA} \right) \left(\frac{k_g k_a}{k_v^2} \right)$

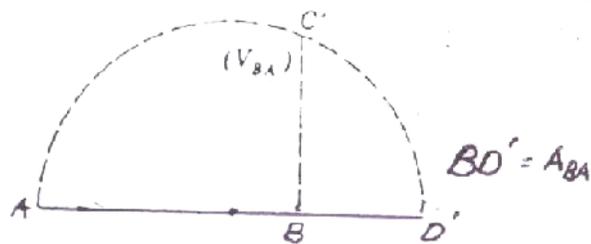
Jadi $k_g k_a / k_v^2$ harus sama dengan 1 untuk mencegah munculnya satu faktor skala tambahan.

Atau, pada akhirnya, untuk metode segitiga sebangun, hubungan skala-skala harus sedemikian sehingga memenuhi $k_g k_a = k_v^2$ untuk memberikan besaran yang benar untuk percepatan normal. Juga perlu dicatat bahwa dua skala dapat dipilih sembarang tetapi yang ketiga harus ditentukan dari persamaan.

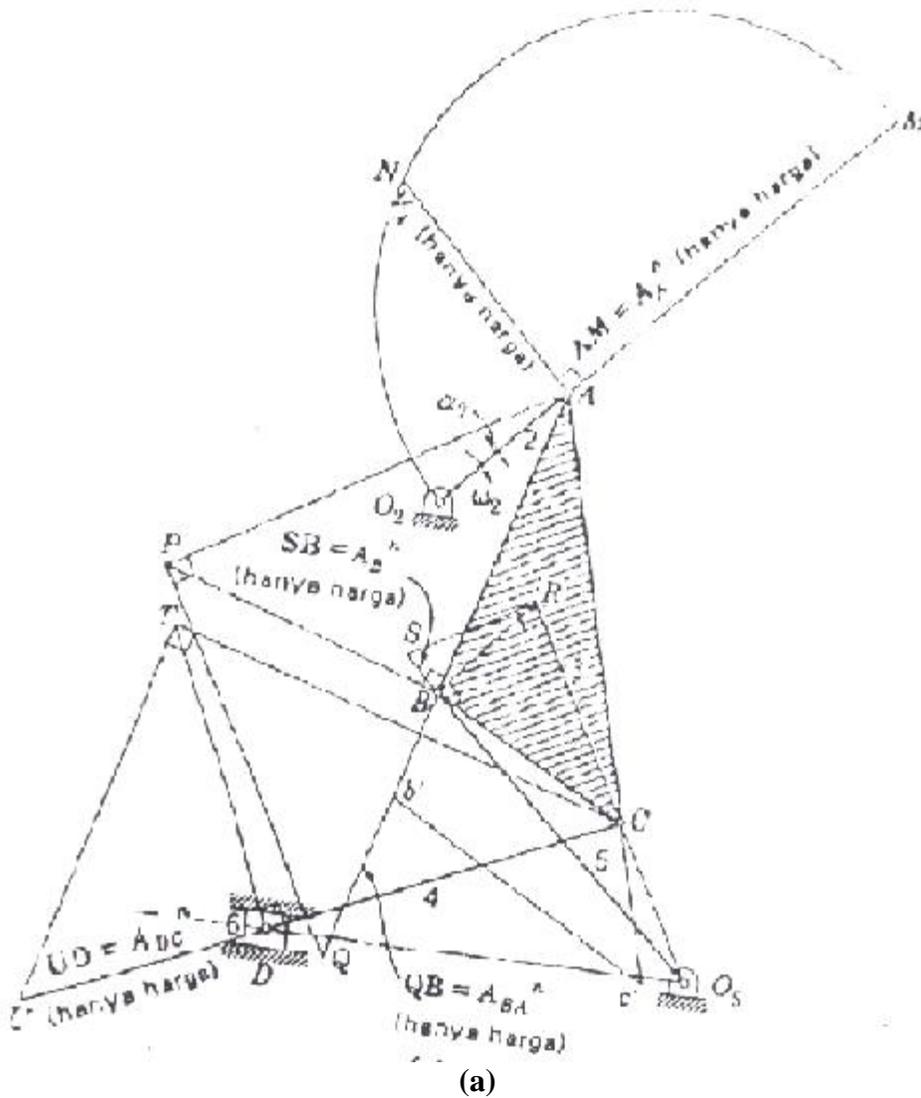
Dari sini ada dua tipe soal yang dijumpai :

1. Menentukan komponen percepatan normal secara grafis dengan mengetahui kecepatan relatif.
2. Menentukan kecepatan relatif apabila diketahui komponen percepatan normal.

Pembuatan untuk tipe ini ditunjukkan dalam gambar di samping di mana A_{BA}^n digambarkan dalam skala yang sesuai di sepanjang penghubung, seperti ditunjukkan oleh BD panjang garis BC'' , pada garis tegak lurus ke AD' digambarkan melalui B, adalah kecepatan relatif, V_{BA} . Catat bahwa sudut $AC''D'$ adalah 90° .



Contoh soal :



Mesin Atkinson sangat cocok sebagai mekanisme untuk ilustrasi metode grafis secara lengkap. Yang ditunjukkan gambar a diatas. Engkol penghubung 2 berputar pada suatu kecepatan sudut sebesar 67 rad/det searah putaran jam. Percepatan sudut engkol 1200 rad/det² melawan putaran jam.

Skala jarak 7,5 cm = 30 cm. Jadi, 1 cm = 4 cm, atau 1 cm = 0,04 m, atau $k_s = 1/25$.

Skala kecepatan atau percepatan dapat dipilih sembarang. Dipilih skala percepatan saja yang akan ditentukan sembarang, sebagai 1 cm = 75 m/det² atau $k_a = 75$. Skala kecepatan diperoleh dari :

$$\begin{aligned}
K_v^2 &= k_g k_a \\
&= (1/25) \text{ (75)} \\
k_v &= 1,7 \text{ atau } 1 \text{ cm} = 1,7 \text{ m/det.}
\end{aligned}$$

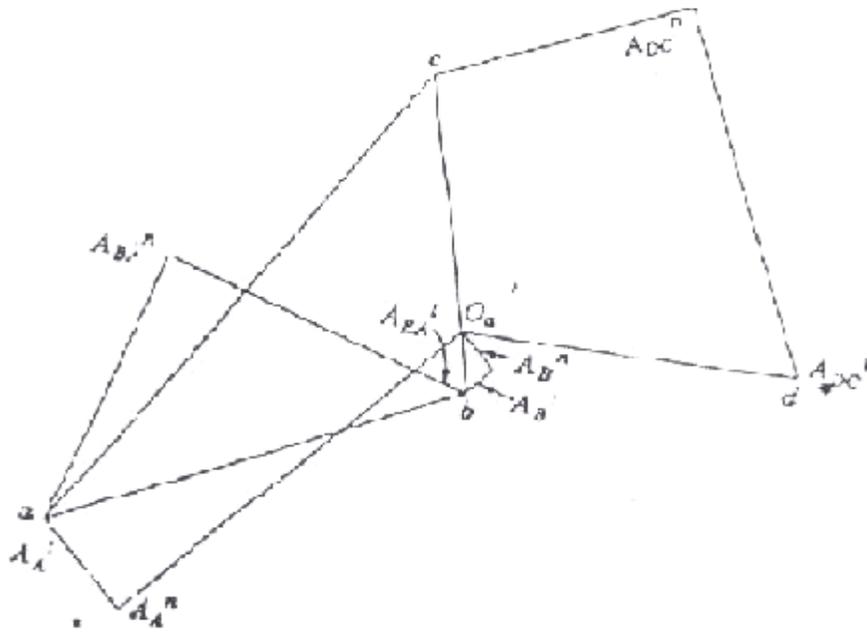
Langkah pertama melibatkan kebutuhan perhitungan sebuah mistar hitung. Salah satu dari komponen percepatan normal titik A atau kecepatan titik A telah ditentukan, sehingga besaran lain dapat ditentukan secara grafis. Di sini diperoleh A_A^n . Juga perlu untuk menghitung A_A^t .

Sehingga untuk kasus di mana terdapat suatu percepatan sudut dari penghubung pertama yang dianalisa, maka perlu dua perhitungan dalam metode grafis secara lengkap. Jika penghubung pertama yang dianalisa tidak mempunyai percepatan sudut, maka hanya perlu satu perhitungan :

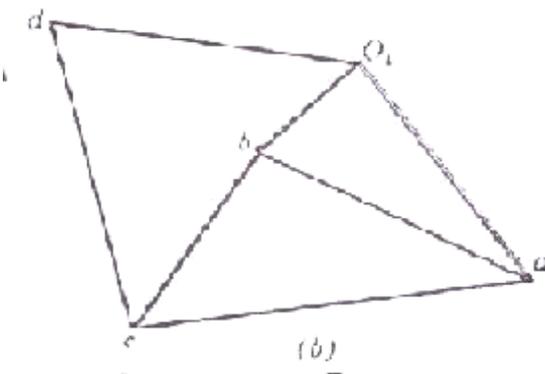
$$A_A^n = O_2 A \omega_2^2 = \left(\frac{12}{100} \right) \left(7 \right) = 540 \text{ m/det}^2$$

$$A_A^t = O_2 A \alpha_2 = \left(\frac{12}{100} \right) \left(200 \right) = 144 \text{ m/det}^2$$

Diagram percepatan dimulai O_a dalam gambar c. A_A diperoleh. Untuk menentukan diagram percepatan selebihnya harus ditentukan komponen-komponen normal dari percepatan relatif, dan untuk menentukan ini, perlu untuk mendapatkan diagram kecepatan. Skala yang sesuai untuk diagram kecepatan telah ditentukan, 1 cm = 1,7 m/det. Jadi sekarang mungkin untuk menghitung V_A , dan menggambarkan poligon kecepatan ke skala kecepatan. Tetapi untuk menggantikan pekerjaan ini, akan lebih mudah untuk menentukan secara grafis panjang vektor V_A yang benar dengan metoda yang telah dibahas : tempatkan A_A^n disepanjang penghubung 2, seperti ditunjukkan dalam gambar a, gambarkan setengah lingkaran dengan O_2M sebagai diameter, tarik garis tegak lurus ke O_2A di A untuk mendapatkan titik N. Maka NA adalah V_A dengan skala 1 cm = 1,7 m/det. Diagram kecepatan lengkap dapat digambarkan, seperti ditunjukkan dalam gambar b, apabila V_A telah diperoleh.



(c)



(b)

A_{BA}^n dapat ditentukan dengan memindahkan V_{BA} ke gambar a, dengan menggambar AP , dan kemudian membuat sudut $APQ = 90^\circ$. Maka QB sama dengan A_{BA}^n dengan skala. QB kemudian ke diagram percepatan. Catat bahwa arah A_{BA}^n adalah dari B ke A .

Selanjutnya BR digambarkan sama dengan VB , dan diperoleh SB yang merupakan A_B^n . A_B dapat diperoleh, seperti ditunjukkan dalam gambar c, dengan pemecahan secara simultan dua persamaan vektor.

Titik c dalam diagram percepatan diperoleh dengan segitiga-segitiga sebangun (segitiga $A-B-C$ dan $A-b'-c'$ dalam gambar a adalah sebangun, dengan Ab' sama dengan besarnya A_{BA}).

A_{DC}^n diperoleh dengan mendapatkan UD . AD dapat diperoleh.

E. PEMBAHASAN GAYA – GAYA STATIK DAN STATIKA GRAFIS

Pada pembahasan tentang gaya merupakan masih penerapan dari keseimbangan gaya. Dan mempunyai 2 jenis gaya yaitu:

- ❖ Gaya statis
- ❖ Gaya dinamik

1. Keseimbangan gaya

Pada jenis gaya yang bekerja seperti contoh pada engkol peluncur disini di jelaskan dalam mekanisme batang - batang penghubung satu atau lebih, terhadap suatu sumber. Atau titik pusat harus seimbang.

Seperti dalam rumus bahwa, gaya – gaya momen terhadap satu titik yang tegak lurus kebidang.acuan untuk keseimbangan adalah nol. Dan persamaan ini merupakan Hukum Newton.

- $\sum F = 0$
- $\sum M = 0$

Hubungan gaya – gaya dalam suatu bidang ialah:

- $\sum F_x = 0$
- $\sum F_y = 0$
- $\sum M = 0$

Dikatan bahwa komponen – komponen x dan y saebagai pengganti gaya – gaya resultan

2. Gaya sebagai vector

Merupakan sebuah besaran untuk percepatan dan kecepatan yang mempunyai 3 sifat.

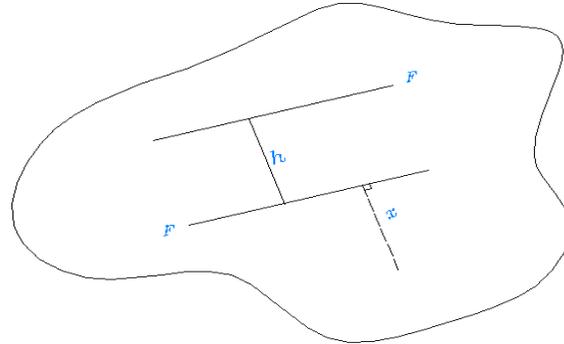
- Harga
- Satu titik pada garis kerja gaya
- Arah gaya

3. Kopel

Kopel adalah merupakan dua buah gaya yang sama besar, paralel dan berlawanan arah resultante = 0 tetapi momen dan kedua gaya adalah harga konstan

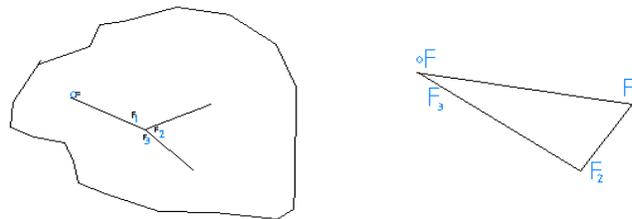
Terlihat dalam gambar

- $M = F(h + x)$
- $M = F(h + x) - F(x)$



Gambar 11-1 sebuah kopel yang didefinisikan sebagai dua buah gaya yang sama besar, paralel dan berlawanan arah

4. Tiga gaya tak sejajar dalam keseimbangan



Gambar 11.2 Untuk memenuhi persamaan-persamaan keseimbangan, tiga buah gaya harus memberikan satu polygon gaya tertutup dan harus berpotongan pada satu titik bersama.

Pada tiga gaya tak sejajar ini walaupun resultannya 0 tetapi momennya tidak bisa dipenuhi resultan gayanya yang bekerja dapat berupa sebuah kopel yaitu : dua buah gaya yang sama besar, sejajar dan berlawanan arah seperti terlihat dalam gambar.

5. Empat gaya tak sejajar dalam keseimbangan

Contoh dua buah kasus untuk keadaan dimana empat buah gaya tak sejajar bekerja pada sebuah badan yang berada dalam keseimbangan yaitu

- (1) tiga harga anu
- (2) dua harga anu dan satu arah anu

cara penyelesaiannya :

Kasus (1):

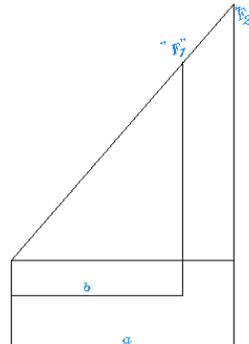
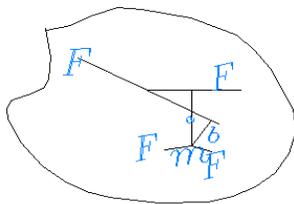
Metode (a):

Gaya – gaya diambil dari titik m; (f_1, f_2, f_3, f_4)

$(F_1)(a) = F_2(b)$ dimana a dan b menyatakan jarak ke gaya – gaya yang bersangkutan sehingga persamaan ini dapat dipecahkan dengan persamaan segitiga – segitiga sebangun:

$$\frac{F_1}{F_2} = \frac{b}{a}$$

Di jelaskan hanya harga F_2 yang ditentukan diatas.



Metode (b):

Jika momen-momen diambil terhadap titik m, maka Resultan F_1 dan F_2 harus melalui titik m, sehingga persamaan momen dapat dipenuhi.

Kasus (2):

Keseimbangan aksi empat buah gaya dimana F_1 dan F_2 diketahui arahnya dan sebuah pada garis kerja (F_4)

Apabila F1 dan F2 di gabungkan menjadi satu gaya resultante tunggal maka termasuk suatu system tiga gaya.

6. Gaya-gaya Paralel

Pada gaya-gaya paralel sebuah Poligon gaya tidak dapat dipakai karena semua gaya parallel, maka perlu untuk memilih lagi satu persamaan momen untuk salah satu atau ke dua reaksi. Momen-momen terhadap suatu titik pada garis kerja F₁, titik 0 untuk contoh:

$$\sum M_0 = 0 = +(P) (a) - (F_2) (b)$$
$$\underline{P = \frac{b}{a} F_2}$$

Dari rumus diatas dapat dipecahkan dengan membuat segitiga sebangun dimana P ditempatkan F₂ kemudian arah F₂ ditentukan dengan persamaan momen.

F₁ dapat di tentukan dengan dua cara:

- Dengan cara Polygon
- Dengan penerapan persamaan momen terhadap satu titik pada garis kerja (F₂)

Jika gaya-gaya resultan nol dan momennya terhadap suatu titik juga nol akan menghilangkan adanya kopel, maka system berada pada dalamnya keseimbangan

- **Gaya-gaya sejajar. Methode alternative**

Metode-metode alternative yaitu metode Resolusi untuk menyelesaikan gaya-gaya sejajar darisuatu titik pada garis kerja gaya yang diketahui. Gambar garis m dan n yang memotong F1 dan F2 dan gaya P diketahui dan komponen yang satu dengan yang lainnya saling menghilangkan.

Catatan : Dua buah gaya yang sama besar,sejajar dan satu garis kerja ditambahkan vector ke system untuk menerima suatu system tak sejajar.

- **Resultante Dua Gaya Sejajar**

Untuk mendapatkan sebuah vector yaitu dengan menjumlahkan gaya yang sejajar, misalkan $P_1 + P_2$ dan gaya resultantenya terhadap suatu titik akan sama. Persamaannya a-e : $(P_1 + P_2)(x) = (P_2)(b)$

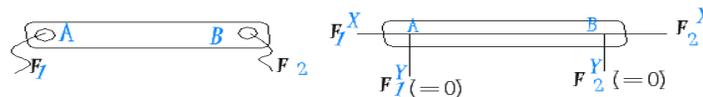
$$\frac{x}{b} = \frac{P_2}{P_1 + P_2}$$

- **Resultante Dua Gaya Sejajar. Metode Alternatif**

Ini merupakan analisa gaya dari kesetimbangan gaya. Diperlihatkan dari gambar dengan menggunakan penghubung 2 gaya: F_1, F_2 dan bekerja di A dan B

- **Anggota Dua Gaya**

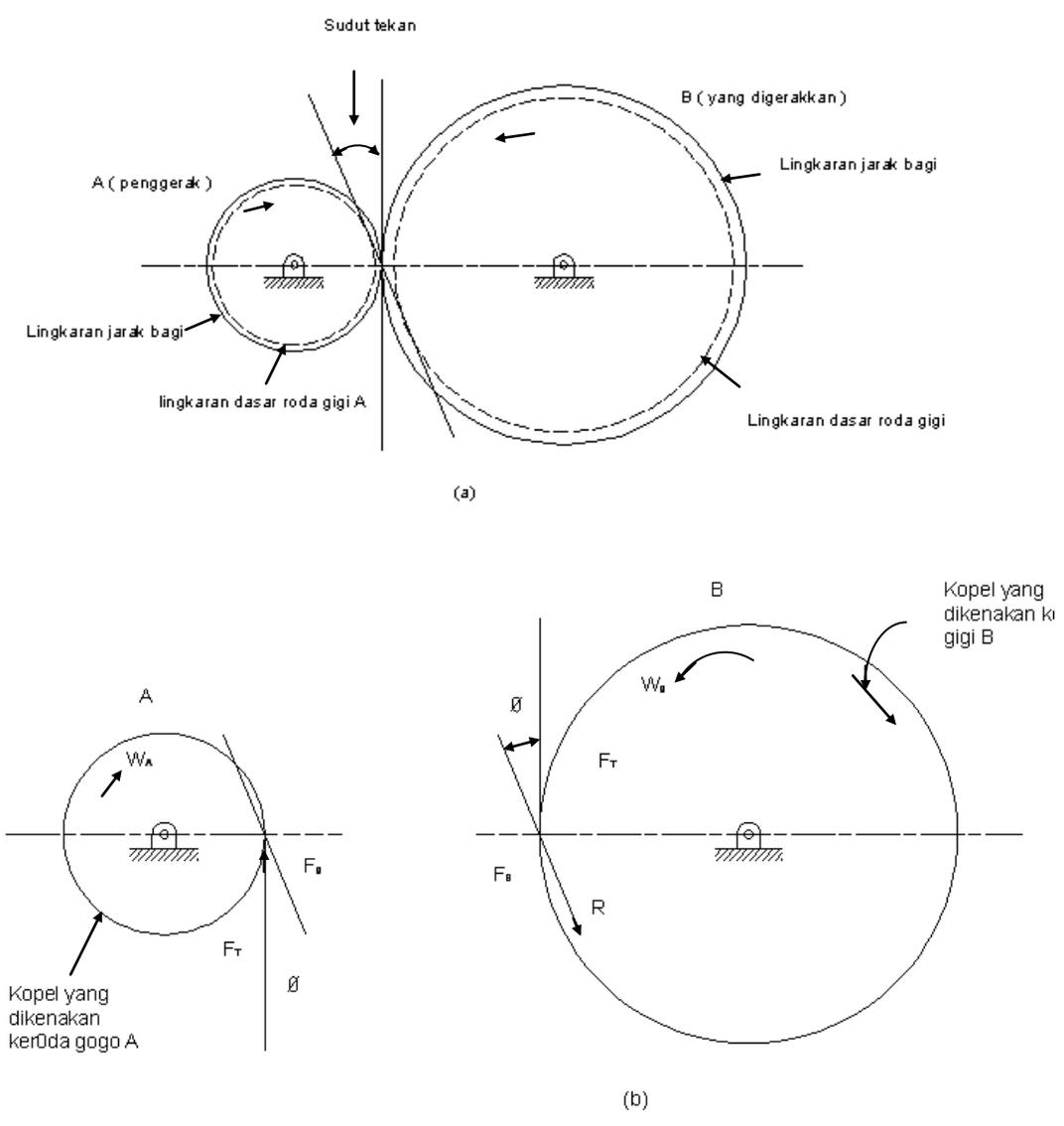
Anggota dua gaya adalah dimana sebuah batang penghubung dengan dua buah gaya yang saling berlawanan arah atau saling tarik menarik dan mengakibatkan adanya torsi, dan bisa juga karena adanya dua buah gaya maka batang penghubung mengalami kopel.



Gambar 11-9 sebuah sistem dua gaya memerlukan gaya - gaya yang sama besar, berlawanan arah, dan segaris kerja untuk memenuhi persamaan - persamaan kesetimbangan.

Kasus a: Roda Gigi.

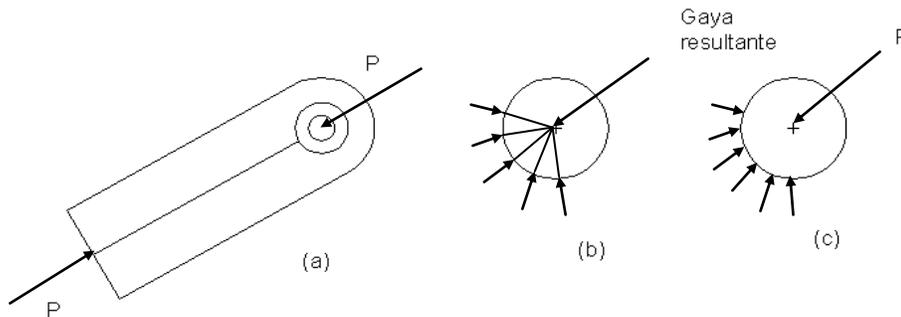
Pembahasan dalam Bab ini dibatasi hanya pada roda gigi lurus sederhana dimana gaya yang diteruskan antara dua roda gigi yang mempunyai arah disepanjang garis yang tegak lurus permukaan gigi dititik kontak, apabila gesekan diabaikan. Garis normal bersama semacam ini disebut garis tekan untuk gigi-gigi dengan profil involut. Biasanya digunakan sudut tekan standar sebesar $14\frac{1}{2}$ dan 20 derajat. Gambar 12-1a memperlihatkan dua buah roda gigi, A dan B. roda gigi A adalah penggerak, dan roda gigi B adalah roda gigi yang digerakkan. Gambar 12-1b memperlihatkan gaya resultan, R , yang bekerja melalui titik jarak bagi dan komponen-komponen radial dan tangensial, F_T dan F_R , dari gaya resultan.



Gambar 12-1. Gaya-gaya diberikan melalui roda-roda gigi

Kasus b: Pena

Jika gesekan dan berat pena diabaikan, maka gaya-gaya yang bekerja pada sebuah pena harus melalui pusat pena.. konsekuensinya, gaya resultan harus melalui pusat pena, seperti ditunjukkan dalam gambar diawah ini.



Jika gesekan diperhatikan, gaya resultan pada pena tidak lagi melalui pusat pena, tetapi terpisah dari pusat dalam suatu jarak yang memberikan suatu torsi yang sama dengan torsi gesekan, seperti ditunjukkan dalam gambar 12-2c.

Kasus C: Anggota Lucur

Gaya gaya reaksi tegak lurus permukaan yang berkontak, jika gesekan diabaikan, maka gaya resultan tidak lagi tegak lurus permukaan, tetapi dimiringkan dari garis vertical dengan suatu sudut Φ .. Sudut Φ didefinisikan sebagai

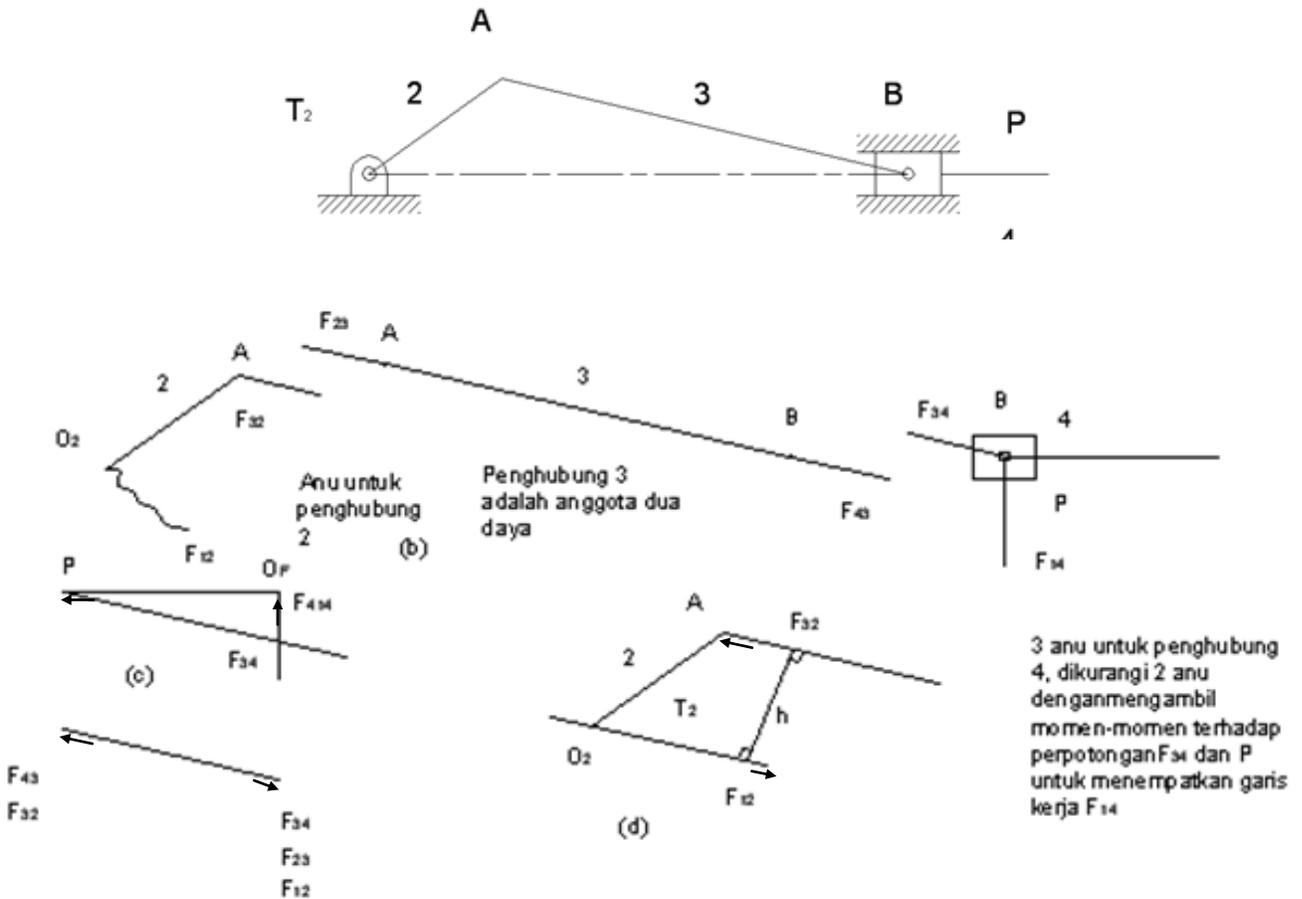
$$\tan \Phi = \frac{\mu N}{N} = \mu$$

dimana μ adalah koefisien gesek. Φ disebut sudut gesek.

- **Mekanisme Engkol Peluncur**

Gambar 12-4a memperlihatkan mekanisme engkol peluncur. Sebuah gaya P , yang dapat dimisalkan sebagai resultan dari tekanan gas. Sistem dijaga dalam keseimbangan sebagai hasil dari suatu kopel yang diberikan kepenghubung 2 melalui poros di O_2 .

Prosedur penyelesaian untuk semua soal dalam analisa gaya adalah sama, yaitu : *pisahkan masing-masing anggota dengan membuat diagram benda bebas dari gaya-gaya yang bekerja pada anggota. Jika yang tidak diketahui lebih dari tiga untuk suatu badan tunggal, maka harus diperoleh informasi tambahan ditempat lain dengan melihat keanggota lain.* Pemisahan anggota-anggota, atau pembuatan diagram benda bebas, dilakukan selayaknya saja, jangan terlalu diutamakan.



Gambar 12-4. Diagram benda bebas sebuah mekanisme engkol peluncur

Gambar 12-4b memperlihatkan masing-masing anggota yang terisolasi, dengan besaran-besaran dari berbagai gaya yang diketahui. Penghubung 3 adalah sebuah anggota dua gaya, karena gaya-gayanya bekerja diujung-ujung batang dan tidak ada gaya lain yang bekerja pada penghubung. Penghubung 4 mempunyai tiga gaya yang bekerja padanya, yaitu :

1. Gaya P yang diketahui.
2. Gaya F_{34} yang ditimbulkan oleh penghubung 3 pada penghubung 4, yang diketahui arahnya karena aksi dari penghubung 4 pada penghubung 3 harus disepanjang garis $A-B$ karena penghubung 3 adalah sebuah anggota dan gaya. Aksi reaksi antara penghubung-penghubung 3 dan 4 harus sama besar dan berlawanan arah.
3. Gaya F_{14} tegak lurus kepermukaan pandu, yang diketahui arahnya, tetapi besarnya tidak diketahui dan titik pada garis kerja F_{14} tidak diketahui.

Penghubung 2 mempunyai empat gaya yang tidak diketahui, yaitu:

1. Gaya F_{32} yang ditimbulkan oleh penghubung 3 pada penghubung 2, diketahui arahnya, tapi tidak diketahui besarnya.
2. Gaya yang ditimbulkan oleh penghubung 1 pada penghubung 2, tidak diketahui harga maupun arahnya.
3. Kopel yang belum diketahui, dikenakan ke penghubung 2, T_2 .

Catat tata nama yang dipakai untuk pernyataan gaya : F_{14} berarti gaya yang diberikan oleh penghubung 1 pada penghubung 4, F_{41} berarti gaya yang ditimbulkan oleh penghubung 4 pada penghubung 1. Site ini akan dipakai selama analisa gaya.

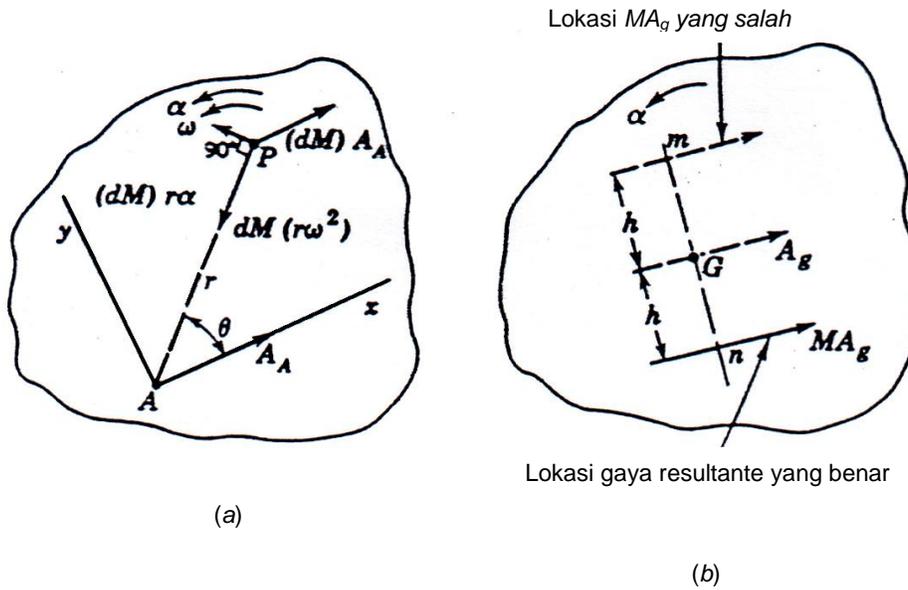
F_{14} harus melalui perpotongan P dan F_{34} untuk memenuhi persamaan momen. Dua yang belum diketahui yaitu besarnya F_{34} dan F_{14} , diperoleh dengan polygon gaya, seperti ditunjukkan dalam gambar 12-4c. F_{43} sama besar dan berlawanan arah dengan F_{23} , yang untuk kasusu ini menempatkan penghubung 3 dalam kompresi.

F_{12} harus sama besar dan berlawanan arah dengan F_{32} , untuk menyeimbangkan gaya-gaya pada penghubung 2. Tapi 2 buah gaya yang sama besar, berlawanan arah dan sejajar akan memberikan suatu kopel yang hanya dapat diseimbangkan oleh kopel lainnya. Kopel pengimbang T_2 , sama dengan $(F_{32})(h)$, dan searah putaran jam. Gambar 12-4d memperlihatkan sistem akhir untuk penghubung 2.

F. GAYA-GAYA INERSIA

1. Gaya dalam Gerak Bidang

Perhatikan badan yang ditunjukkan gambar 13-1a yang bergerak pada kecepatan sudut sesaat sebesar ω rad/detik ke arah melawan putaran jam dan percepatan sudut sebesar α rad/detik² ke arah melawan putaran jam. Badan tidak berputar terhadap suatu titik tetap, tetapi mempunyai gerak bidang. Diinginkan untuk menentukan gaya resultante dan kopel yang harus diberikan untuk menimbulkan gerak sesaat tersebut. Sumbu x dan y melalui suatu titik acuan, A , yang gerakannya diketahui. Untuk kemudahan, sumbu x dipilih, yaitu sesuai dengan arah percepatan di titik A . titik G adalah lokasi titik berat badan.



Gambar 13-1. Komponen-komponen gaya-gaya yang dikenakan ke sebuah partikel P , untuk menimbulkan suatu gerak yang dikehendaki, ditunjukkan di (a); gaya resultante yang dikenakan ke badan ditunjukkan di (b).

Percepatan suatu titik, P , yang dinyatakan dengan persamaan percepatan relative, adalah jumlah vector dari tiga besaran:

$$A_P = A_A + r\omega^2 + r\alpha$$

Partikel di P mempunyai massa diferensial sebesar dM ; konsekuensinya, gaya diferensial yang diberikan ke partikel untuk memberikan percepatan ialah:

$$(dM) (A_P) = (dM) (A_A) + (dM) (r\omega^2) + (dM) (r\alpha)$$

$$F_x = M A_A - \omega^2 \int dM x - \alpha \int dM y$$

$$F_y = -\omega^2 \int dM y + \alpha \int dM x$$

Momen dari resultante terhadap titik A ditentukan dengan mengambil momen dari setiap komponen diferensial, dalam persamaan diatas, terhadap titik A . catat bahwa momen akibat komponen normal, $dM r\omega^2$, terhadap titik A adalah nol untuk setiap titik pada badan.

$$T_a = - \int (dM A_a)y + \int (dM r\alpha)r$$

$$T_A = - A_A \int dM y + \alpha \int dM r^2 +$$

Penyederhanaan yang besar dapat dilakukan salah satu titik istimewa sebagai titik acuan, yaitu titik berat. *Jika titik berat dijadikan sebagai titik acuan*, maka $\int dM x = 0$ dan $\int dM y = 0$ menurut definisi titik berat. Sehingga, persamaan-persamaan di atas ditulis kembali sebagai berikut:

$$F_x = M A_g$$

$$F_y = 0$$

$$T = I\alpha$$

dimana $\int dM r^2$ didefinisikan sebagai I , yaitu inersia massa badan terhadap titik berat badan, dan T adalah momen terhadap titik berat.

Gambar 13-1b memperlihatkan sebuah badan dengan percepatan titik beratnya yang diketahui. Gaya resultante terletak di suatu jarak h dari titik berat. Dalam sekejap saja, kita dapat mengatakan bahwa terdapat dua kemungkinan posisi untuk gaya resultante, yaitu di m dan n dalam gambar. Jika percepatan sudut arahnya melawan putaran jam, maka gaya resultante harus melalui n agar memberikan suatu momen gaya resultante terhadap titik berat dalam arah melawan putaran jam yang sesuai dengan arah percepatan sudut. Jarak h ditentukan dari kenyataan bahwa momen gaya resultante terhadap titik berat adalah $(M A_g)(h)$, tetapi momennya dapat dinyatakan dengan $I\alpha$. Sehingga, dengan menyamakan kedua persamaan, kita punya persamaan-persamaan sebagai berikut:

$$M A_g h = I\alpha$$

atau

$$h = \frac{I\alpha}{M A_g} = \frac{M k^2 \alpha}{M A_g} = \frac{k^2 \alpha}{A_g}$$

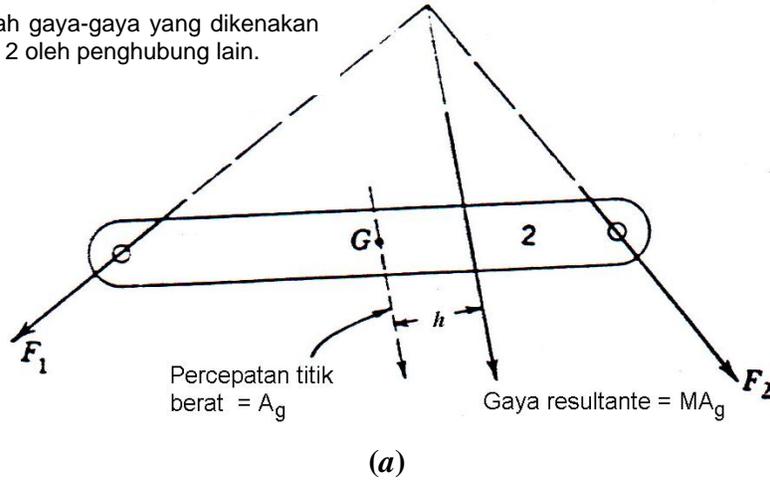
dimana k adalah jari-jari girasi dari badan terhadap titik berat.

2. Gaya Inersia

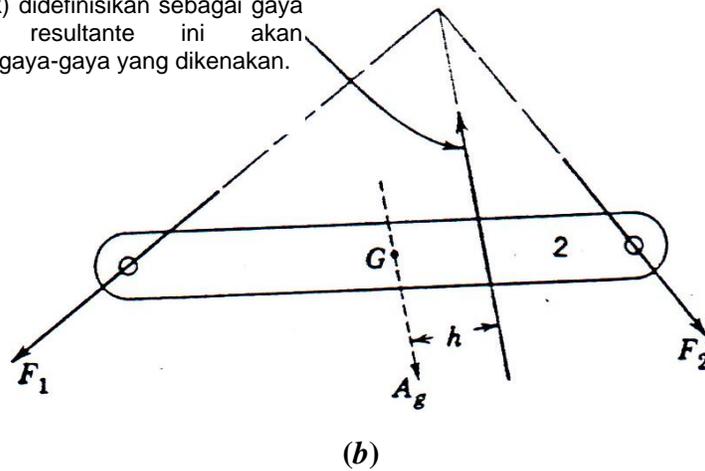
Gaya resultante pada sebuah penghubung diperlihatkan dalam Gambar 13-2a. gaya resultante di sini adalah resultante dari gaya-gaya yang dikenakan ke penghubung melalui pena-pena, yaitu F_1 , dan F_2 . Atau F_1 , dan F_2 dapat dipandang sebagai komponen-komponen gaya resultante. Atau, jika gaya resultante dibalik arahnya, seperti ditunjukkan

dalam Gambar 13-2*b*, penghubung dapat dipandang ada dalam keseimbangan. Kebalikan gaya resultante ini yang disebut gaya inersia, membentuk sebuah sistem yang kepadanya dapat diterapkan persamaan-persamaan keseimbangan (dikenal sebagai prinsip d'Alembert).

F_1 dan F_2 adalah gaya-gaya yang dikenakan ke penghubung 2 oleh penghubung lain.



MA_g (yang di balik) didefinisikan sebagai gaya inersia. Gaya resultante ini akan menyeimbangkan gaya-gaya yang dikenakan.

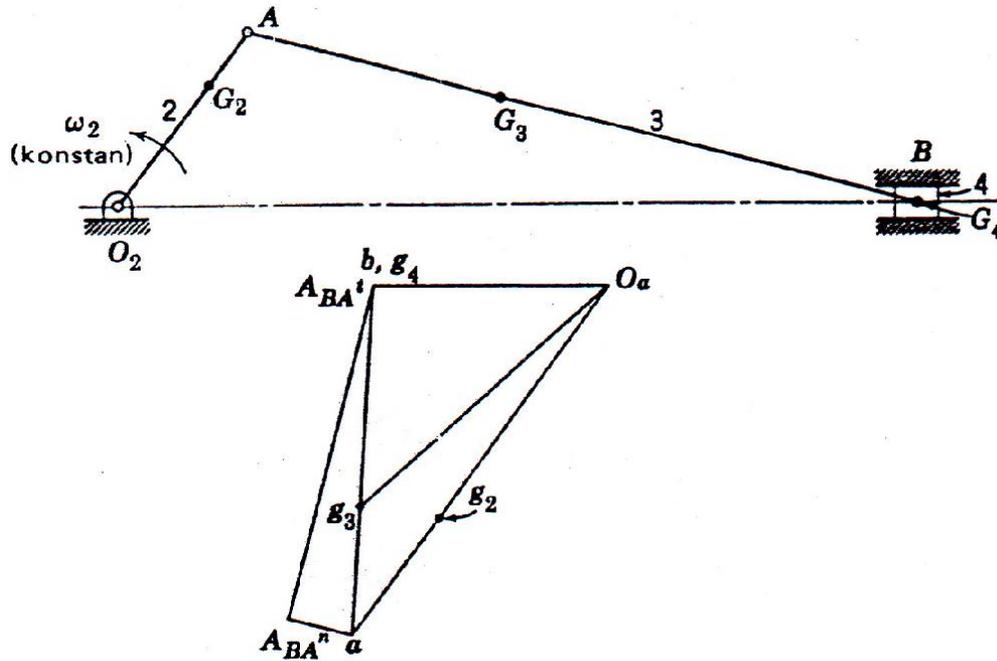


Gambar 13-2. Gaya resultante, MA_g , ditunjukkan di (a); gaya resultante lawannya, yang didefinisikan sebagai gaya inersia, ditunjukkan di (b).

3. Mekanisme Engkol Peluncur

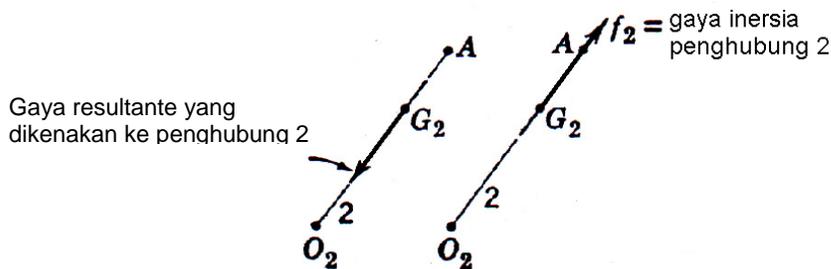
Gambar 13-3*a* memperlihatkan sebuah mekanisme engkol peluncur dan diagram percepatannya untuk posisi yang diperlihatkan. Lokasi titik berat dari masing-masing penghubung ditandai dengan G_2, G_3 dan G_4 . Penghubung 2 dimisalkan berputar dengan suatu kecepatan sudut konstan.

Dalam diagram percepatan, harga dan arah percepatan dari titik berat penghubung-penghubung ditunjukkan dengan g_2 , g_3 dan g_4 .



(a)

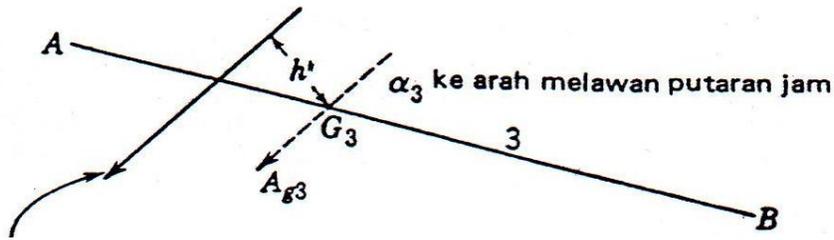
Gambar 13-3a. Poligon percepatan untuk sebuah mekanisme engkol peluncur.



(b)

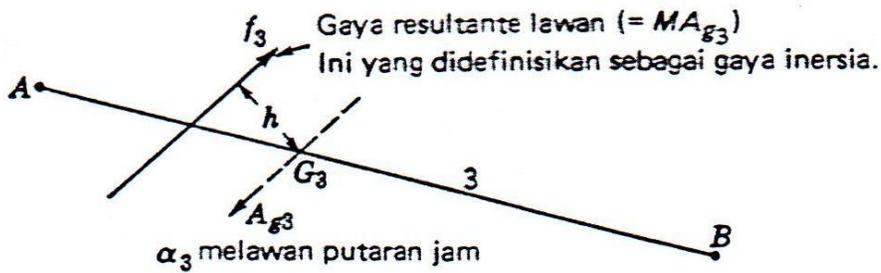
Gambar 13-3b. Gaya-gaya resultante dan inersia dari engkol.

Perhatikan penghubung 2 yang terisolir, dalam Gambar 13-3b. untuk kasus ini, karena penghubung 2 berputar dengan suatu kecepatan konstan, maka percepatan dari G_2 berarah dari G_2 ke O_2 . Karena α_2 nol, maka gaya resultante harus melalui G_2 dengan $I_2\alpha = 0$. gaya resultante yang bekerja pada penghubung 2 adalah $M_2A_{g_2}$, dan arahnya dari G_2 ke O_2 , seperti dapat disaksikan dari diagram percepatan. Gaya inersia berlawanan arah dengan gaya resultante, yaitu berarah dari O_2 ke G_2 , seperti ditunjukkan. Gaya inersia, yang dinyatakan dengan f_2 , sama dengan $M_2A_{g_2}$.

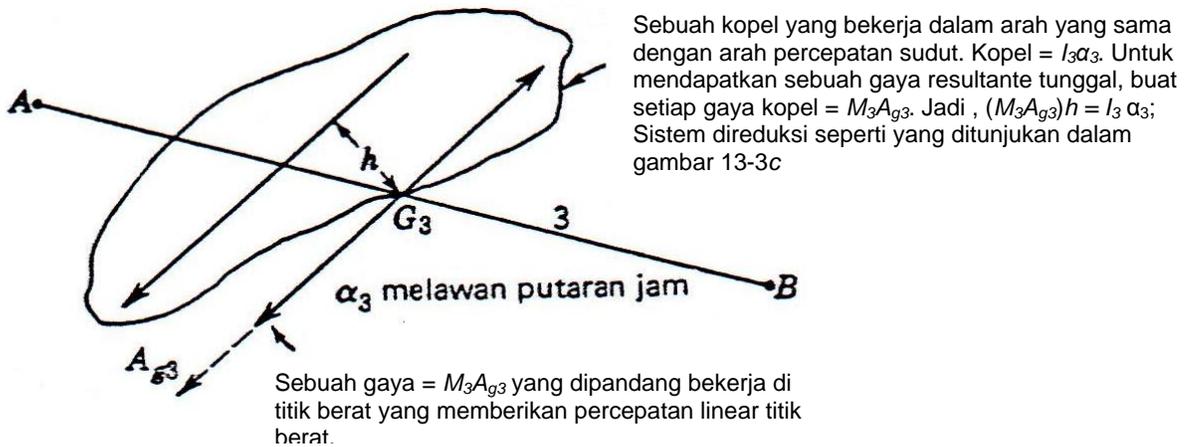


Gaya resultante yang dikenakan ke penghubung 3 (gaya sama dengan $M_3 A_{g3} h = I_3 / (M_3 A_{g3})$). Catat bahwa momen terhadap titik berat ada dalam arah yang sama dengan arah percepatan sudut (melawan putaran jam).

(c)



(d)

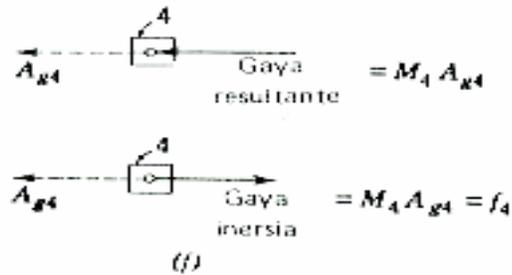


(e)

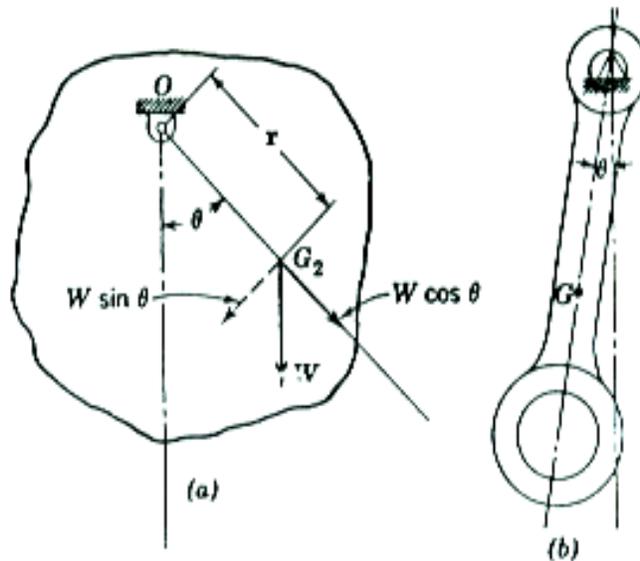
gambar 13-3c,d,e. Gaya-gaya resultante dan inersia batang penghubung.

Selanjutnya perhatikan penghubung 3. arah gaya resultante sesuai dengan arah percepatan G_3 . karena percepatan penghubung 3 melawan arah putaran jam, maka momen dari gaya resultante terhadap G_3 juga melawan arah putaran jam. Untuk memenuhi hubungan-hubungan yang diperlukan untuk arah percepatan dan arah momen,

maka gaya resultante ditempatkan seperti ditunjukkan dalam Gambar 13-3c. jarak gaya resultante dari titik berat, yakni h_3 , sama dengan $I_3 a_3 / M_3 A_{g3}$. gaya inersia, yang merupakan kebalikan dari gaya resultante, diletakan seperti ditunjukkan dalam gambar 13-3d.



Gambar 13-3f. Gaya-gaya resultante dari inersia torak.



Gambar 13-8. Momen inersia massa yang ditentukan secara eksperimen dengan osilasi.

Hubungan momen terhadap titik O dengan percepatan sudut adalah

$$T_o = I_o \alpha$$

atau, untuk kasus ini

$$-(W \sin \theta)r = I_o \frac{d^2 \theta}{dt^2}$$

di mana $W \sin \theta$ adalah komponen gaya berat yang menyebabkan torsi, r adalah jarak dari titik berat ke titik tumpu, dan I_o adalah momen inersia terhadap sumbu yang melalui pusat tumpuan. Tanda minus dipakai karena sudut θ berkurang sebagai suatu fungsi dari waktu, atau karena torsi dalam arah yang berlawanan dengan arah sudut positif θ .

Jika sudut θ kecil, maka persamaan di atas dapat dituliskan kembali, tanpa kesalahan yang berarti, menjadi

$$-W \theta r = I_o \frac{d^2 \theta}{dt^2}$$

atau

$$\frac{d^2 \theta}{dt^2} = -\frac{Wr}{I_o} \theta$$

Pemecahan persamaan di atas adalah

$$\theta = A \left(\sin \sqrt{\frac{Wr}{I_o}} t \right) + B \left(\cos \sqrt{\frac{Wr}{I_o}} t \right)$$

Kondisi-kondisi batas yang tersedia adalah bahwa pada $t = 0$, $\theta = \theta_{\text{maks.}}$, dan $d\theta/dt = 0$ (atau, kecepatan sudut nol). Dengan memecahkan untuk konstanta-konstanta integrasi, kita dapatkan bahwa $A = 0$, dan $B = \theta_{\text{maks.}}$. Sehingga,

$$\theta = \theta_{\text{maks.}} \left(\cos \sqrt{\frac{Wr}{I_o}} t \right)$$

Fungsinya adalah gelombang cosinus yang menempuh satu daur lengkap pada saat $\sqrt{\frac{Wr}{I_o}} T = 2\pi$.

Atau waktu T untuk satu daur lengkap adalah

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{I_o}{Wr}}$$

Pemecahan untuk I_o :

$$I_o = Wr \left(\frac{T}{2\pi} \right)^2$$

Momen inersia terhadap titik berat kemudian dapat diperoleh dan teorema pemindahan :

$$I_o = I + Mr^2$$

Atau

$$I = W_r \left(\frac{T}{2\pi} \right)^2 - \left(\frac{W r^2}{g} \right)$$

Berat dapat ditentukan dengan menimbang suku cadang; T dapat ditentukan dengan menyeimbangkan secara horisontal pada suatu mata pisau: T dapat diukur dengan menumpu suku cadang secara vertikal, dan mengukur waktu osilasi. Gambar 13-8 memperlihatkan satu batang hubung yang ditumpu pada sebuah mata pisau yang memungkinkan untuk penentuan waktu osilasi.

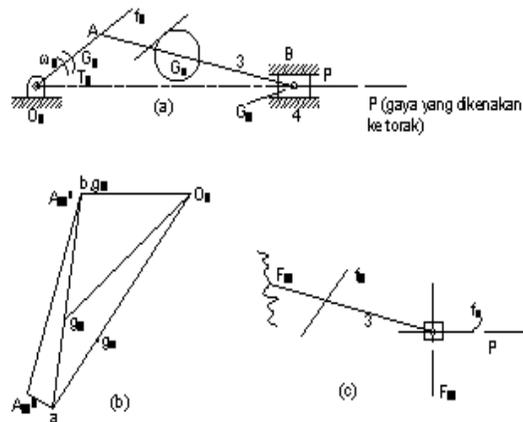
G. ANALISA DINAMIS

Analisa dinamik didefinisikan sebagai studi mengenai gaya-gaya di pena-pena, gaya-gaya yang menyebabkan tegangan dalam suku cadang mesin, gaya-gaya sebagai akibat gaya-gaya luar yang dikenakan ke mesin, dan gaya-gaya inersia akibat gerak setiap suku cadang di dalam mesin. Gaya-gaya inersia dalam mesin-mesin berkecepatan tinggi dapat menjadi sangat besar, dan tidak dapat diabaikan seperti yang boleh dilakukan dalam mesin-mesin kecepatan rendah yang mempunyai suku cadang-suku cadang ringan. Untuk kebutuhan dalam memahami besarnya gaya-gaya inersia, kita harus mengerti bahwa gaya-gaya inersia mempengaruhi gaya-gaya yang diterima rangka mesin. Dengan berubah-ubahnya gaya-gaya rangka dalam harga maupun arahnya, sehingga dikatakan terbentuk gaya-gaya kocok, maka akan terjadi getaran dan ketidakseimbangan.

Jika setiap penghubung, dengan gaya inersianya dan gaya-gaya yang dikenakan ke penghubung, dapat dipandang ada dalam keseimbangan, maka mesin secara keseluruhan dapat dipandang dalam keseimbangan.

1. Mekanisme Engkol Peluncur dengan Gaya-gaya yang Diberikan dan Gaya-gaya Inersia.

Gambar 14-1a memperlihatkan sebuah mekanisme engkol peluncur dengan satu gaya P yang diberikan ke torak. Engkol dimisalkan berputar pada suatu kecepatan sudut konstan dalam arah melawan putaran jam. Gambar 14-1b memperlihatkan diagram percepatannya, yang digunakan dalam penempatan arah gaya-gaya inersia dalam gambar 14-1a. Dikehendaki besarnya kopel T_2 yang harus diberikan ke engkol.

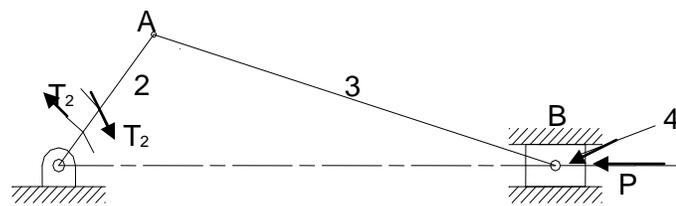
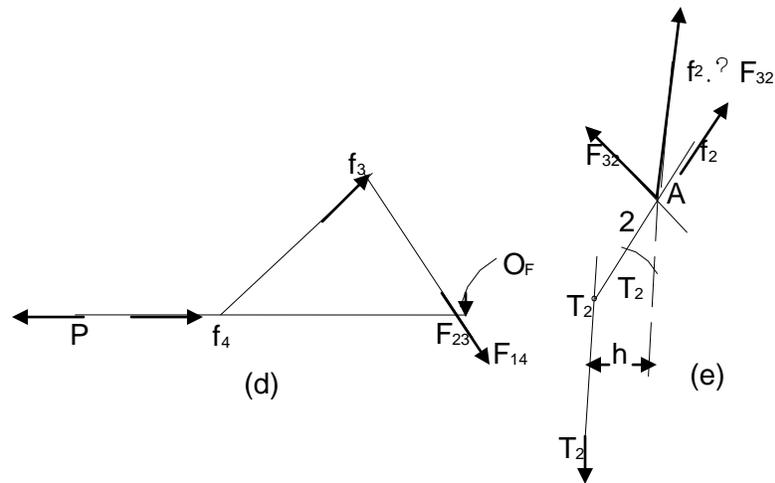


Gambar 14-1 Gaya-gaya sebuah mekanisme engkol peluncur dengan satu gaya P yang diberikan ke torak

Gambar 14-1c memperlihatkan penghubung-penghubung 3 dan 4 yang diisolasi bersama. Terdapat tiga anu: harga dan arah F_{23} , F_{32} untuk menyatakan gaya total yang diberikan oleh penghubung 2 ke penghubung 3; F_{23} untuk menyatakan gaya yang diberikan oleh penghubung 2 ke penghubung 3 sebagai hasil dari analisa gaya inersia; F_{23} untuk menyatakan gaya yang diberikan oleh penghubung 2 pada penghubung 3 sebagai hasil dari analisa gaya statik, dan harga F_{14} . Lokasi F_{14} ditentukan dari pengamatan ke penghubung 4 itu sendiri. Polygon gaya ditunjukkan dalam gambar 14-1d. penghubung 2 ditunjukkan terisolir di gambar 14-1e. kopel T_2 yang dikenakan ke penghubung 2 untuk keseimbangan adalah dalam arah putaran jam, dengan kopel yang diberikan untuk menggerakkan poros di O_2 dalam arah melawan putaran jam, arah yang sama seperti putaran penghubung. Jadi terdapat sejumlah daya keluar dari mesin. jika gaya P yang diberikan dibuat lebih kecil, maka akan mungkin untuk dijumpai suatu kondisi di mana T_2 yang dikenakan ke penghubung 2 dalam arah melawan putaran jam, atau kopel yang diberikan untuk menggerakkan poros di O_2 akan dalam arah putaran jam, yaitu dalam arah berlawanan dengan putaran engkol. Dalam kasus seperti ini, tidak terdapat suatu keluaran daya dari mesin, melainkan terdapat masukan daya ke mesin. Daya tersebut dapat dipandang datang dari roda gila yang dipasangkan ke engkol. Memikirkan mekanisme aslinya dengan hanya gaya P yang diberikan dan kopel T_2 yang dikenakan ke

engkol, sebagai gaya-gaya yang bekerja pada system, seperti ditunjukkan dalam gambar 14-1f.

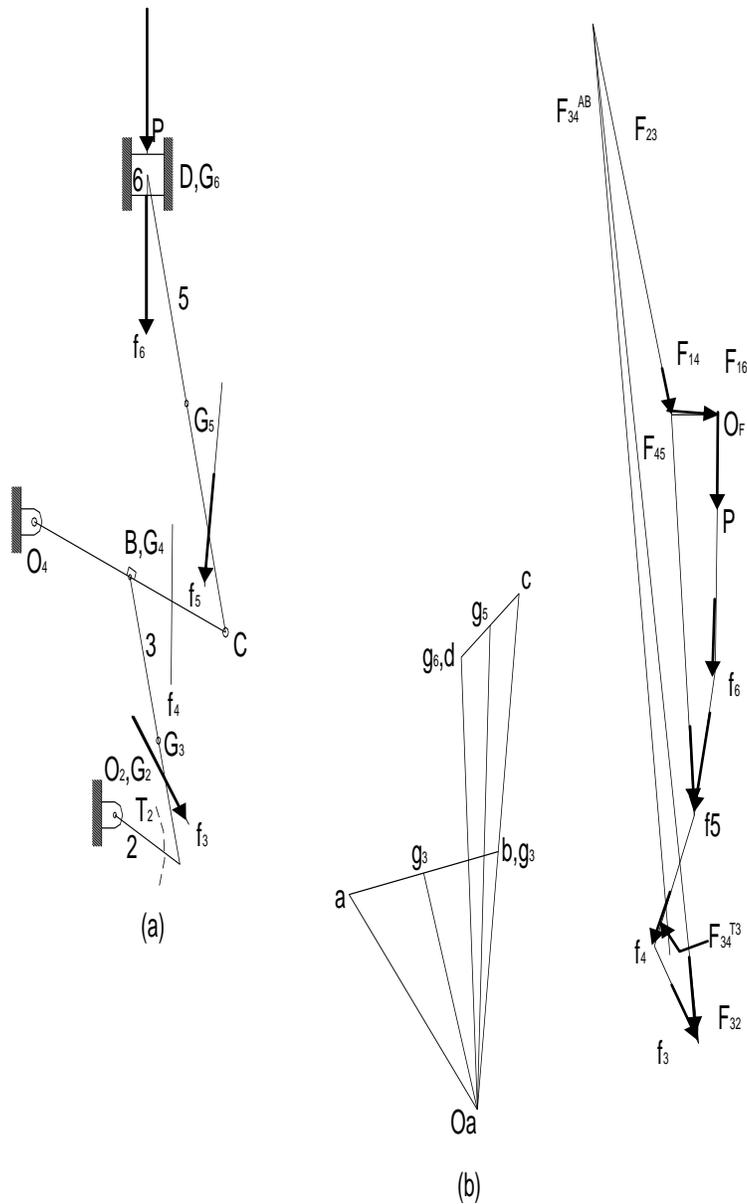
Jelas bahwa system tidak akan dalam keseimbangan. Gaya P dapat dipandang terdiri atas dua bagian: satu bagian melawan T_2 dan sebagian yang lain berjalan terus untuk mempercepat suku cadang-suku cadang dengan gerak yang disebutkan. Bagaimanapun, pemakaian gaya-gaya inersia dalam analisa telah menyederhanakan persolaan ke suatu analisa system static yang seimbang.



(a)

2. Mesin Powell

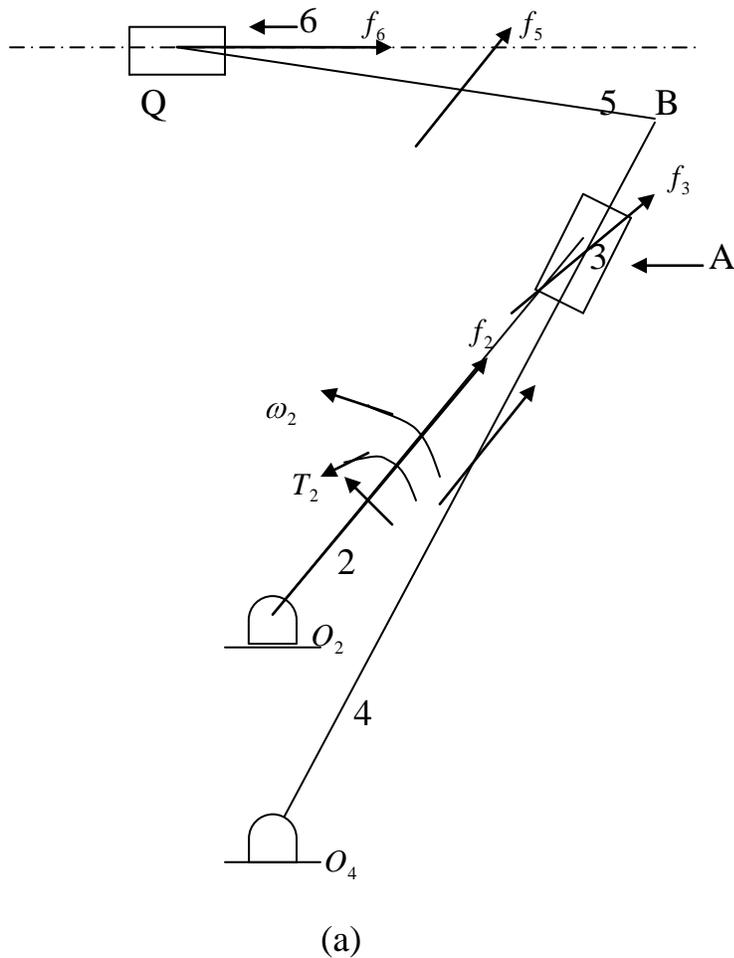
Mesin Powell adalah sistem yang diperlihatkan dalam gambar 14-2a, yaitu. Sebuah gaya P yang diketahui, dikenakan ke torak. Kecepatan engkol disebutkan, dan dari poligon percepatan yang ditunjukkan dalam gambar 14-2b, ditentukan percepatan-percepatan yang akan dipakai dalam perhitungan gaya-gaya inersia. Digunakan analisa gaya statik untuk menentukan polygon gaya yang diperlihatkan dalam gambar 14-2c.



Gambar 14-2. Mesin Powell

3. Mekanisme Penyerut

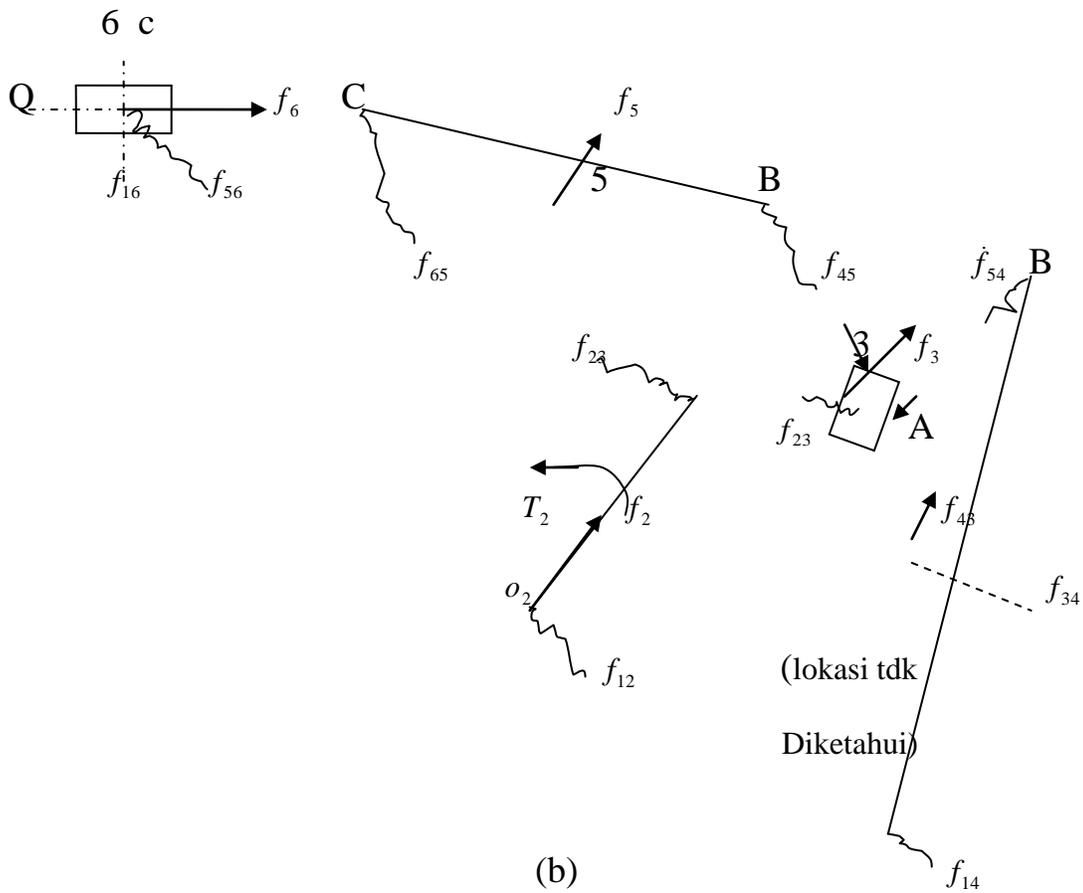
Mekanisme penyerut gambar 14-3a mempunyai satu kopel yang diketahui yang diberikan ke engkol, penghubung 2, yang berputar pada suatu kecepatan sudut konstan yang diberikan, dalam arah melawan putaran jam. Gaya-gaya inersia ditunjukkan terskala pada posisinya dikehendaki gaya Q yang diberikan pada penghubung 6. Analisa dilakukan seperti suatu kasus static dari system dalam keseimbangan yang telah dianalisa. Gambar 14-3b memperlihatkan masing-masing penghubung yang terisolasi.



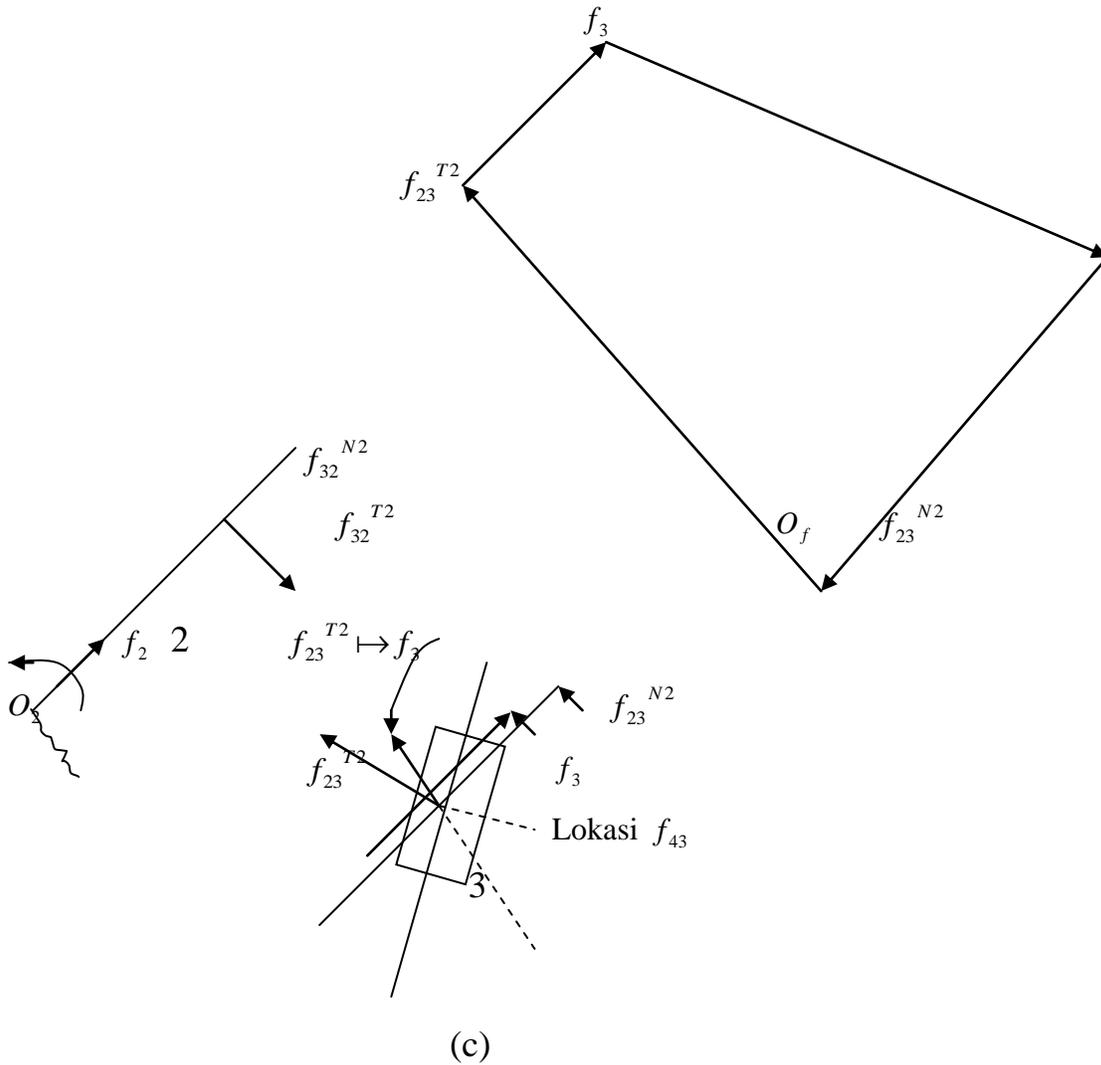
Gambar 14-3a. Gaya-gaya dalam sebuah mekanisme penyerut

Anu untuk setiap penghubung lebih besar dari tiga, sehingga penyelesaiannya tidak dapat dibuat secara langsung. Penghubung-penghubung 2 dan 3, yang diamati secara terpisah, mempunyai anu total sebanyak 6, yaitu: harga dan arah F_{12} , harga dan arah F_{23} , dan harga dan lokasi F_{43} . Tetapi, terdapat enam persamaan yang dapat diterapkan, tiga untuk masing-masing penghubung. Gaya F_{32} diuraikan ke dalam dua komponen: F_{32}^{r2} dan F_{32}^{N2} yaitu komponen yang masing-masing tegak lurus dan sejajar ke $O_2 - A$, seperti ditunjukkan dalam gambar 14-3c. F_{32}^{r2} diperoleh dari satu persamaan momen. Gambar 14-3c juga memperlihatkan F_{23}^{r2} dan F_{23}^{N2} , yang dikenakan ke penghubung 3 oleh aksi dan reaksi. Penghubung 3 dapat direduksi menjadi sebuah sistem tiga gaya dengan menggabungkan F_{23} dan f_3 . Perpotongan resultante yang diperoleh dan

F_{23}^{N2} memberikan satu titik yang harus dilalui F_{43} untuk memenuhi persamaan momen.
 Poligon gaya untuk mendapatkan F_{43} ditunjukkan dalam gambar 14-3c.



gambar 14-3b. diagram-diagram benda bebas untuk masing-masing penghubung yang terisolasi



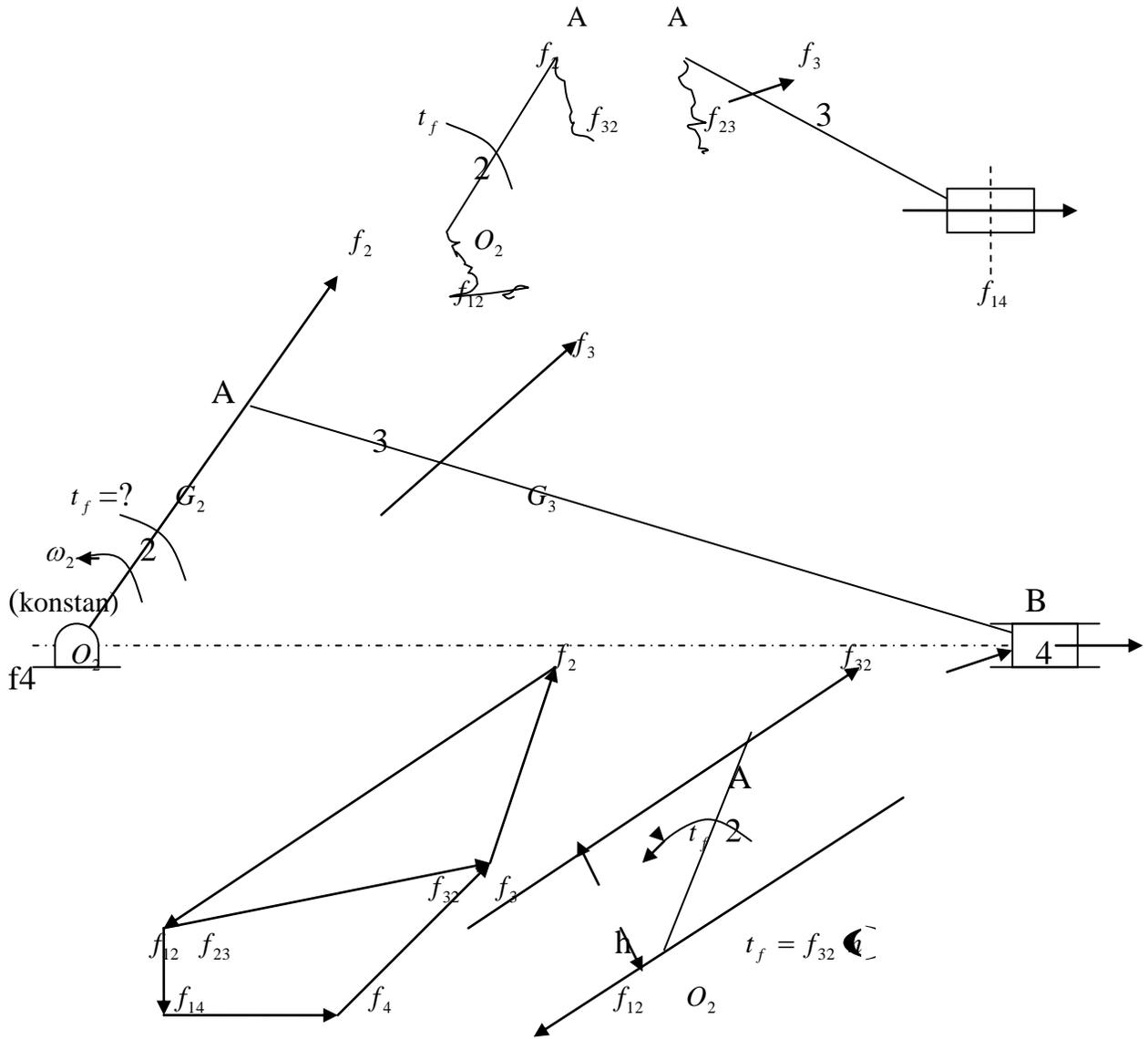
Gambar 14-3c. Analisis gaya untuk penghubung-penghubung 2 dan 3, dengan enam anu dan enam persamaan keseimbangan.

Selanjutnya penghubung-penghubung 4 dan 5 dapat ditangani, dengan enam anu dan enam persamaan. Penyelesaian selebihnya diserahkan pada mahasiswa.

4. Analisa Sebuah Sistem Untuk Suatu Gerak yang Dijelaskan

Sub bab ini mengemukakan suatu pembahasan mengenai usaha yang diperlukan untuk suatu gerak yang dijelaskan pada sebuah mekanisme. Engkol peluncur, yang

penghubung-penghubung 3 dan 4 yang dipandang bersama memberikan suatu sistem empat gaya, dengan resultante dari P dan f_{14} melalui perpotongan resultante dari f_3 dan f_4 dengan f_{23} . Penghubung 2 diperlihatkan secara terpisah dalam gambar 14-4c.



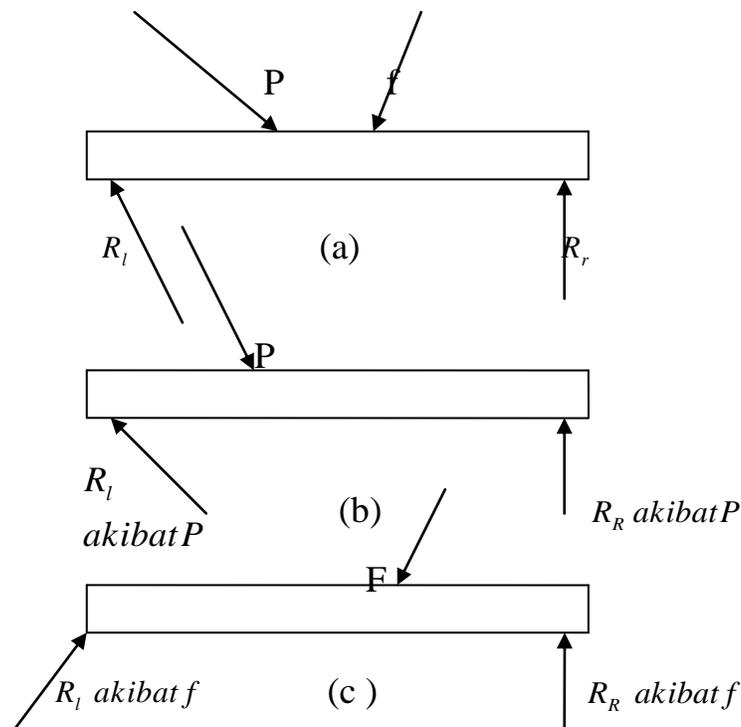
Gambar 14-5a memperlihatkan mekanisme yang sama seperti gambar 14-4a, kecuali bahwa usaha diberikan oleh suatu kopel t_f yang diberikan ke engkol. Tidak ada daya yang dikeluarkan mesin, kopel diteruskan untuk memberikan gerak yang dijelaskan. Diagram-diagram benda bebas ditunjukkan, dengan polygon gaya pada gambar 14-4b. engkol ditunjukkan dalam gambar 14-5c.

Penting untuk dicatat bahwa efek yang sama, yaitu gerak yang dijelaskan, dicapai dalam dua cara yang berbeda, dengan dua poligon gaya yang berbeda, dan dengan gaya-

gaya pena yang berbeda. Kita tidak dapat menganalisa system semacam ini untuk tegangan-tegangannya tanpa mengetahui secara khusus bagaimana mesin digerakkan.

5. Analisa Gaya Statik dan Gaya Inersia yang Terpisah

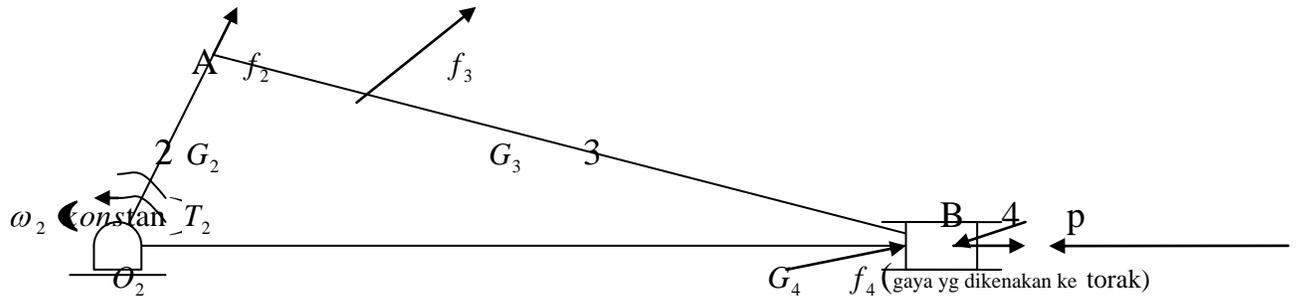
Satu tipuan yang agak sering digunakan dalam mencoba memisahkan efek-efek inersia dan statik adalah dengan memakai poligon-poligon gaya yang terpisah masing-masing untuk gaya inersia dan statik. Ide dasar yang melandasi prosedur adalah prinsip super posisi gaya-gaya, yang dapat diterapkan jika gesekan diabaikan. Gambar 14-6 mengilustrasikan prinsip tersebut. Dalam gambar (a) ditunjukkan satu badan yang kepadanya dikenakan dua gaya, P dan f . (P menyatakan suatu gaya statik; f menyatakan suatu gaya inersia). Gaya-gaya yang meletakkan system dalam keseimbangan adalah R_L dan R_R . Di (b), gaya P dipandang bekerja sendirian, dan ditentukan reaksi-reaksi akibat P . Di (c), gaya f dipandang bekerja sendirian, dan ditentukan reaksi-reaksi akibat f .



Gambar 14-6. Ilustrasi prinsip superposisi gaya

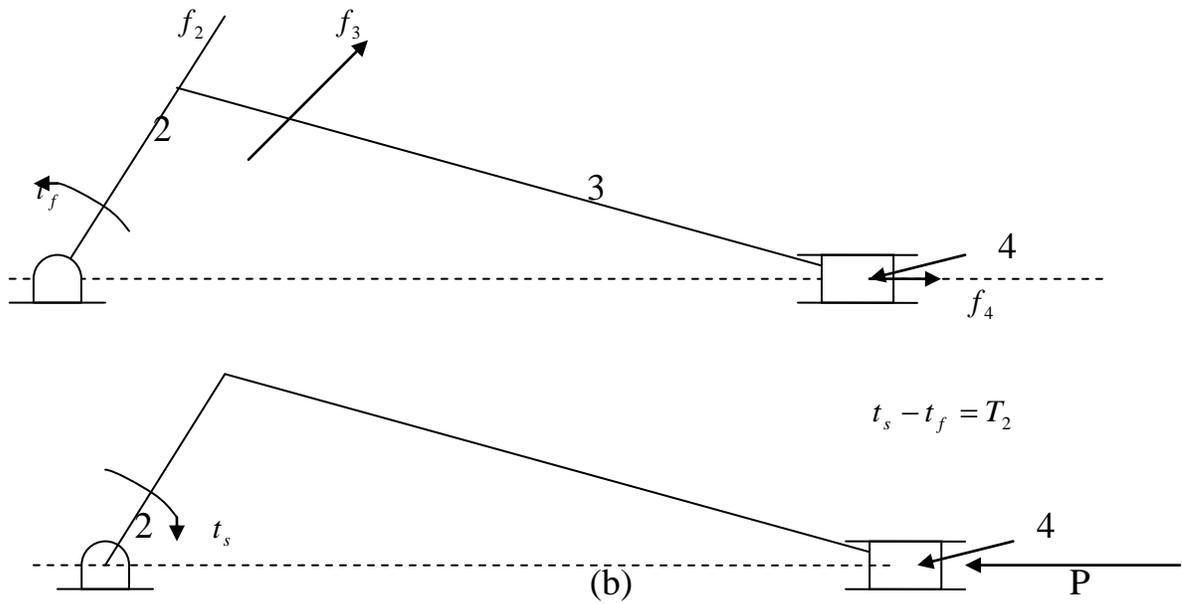
Apabila (b) dan (c) disuper posisikan, dengan reaksi-reaksi pada sisi-sisi kiri dan kanan badan diperoleh dengan penjumlahan vector, maka dihasilkan kasus semula, yaitu (a). Mari kita uji arti pendekatan semacam ini seperti yang diterapkan kesebuah mekanisme engkol peluncur untuk maksud-maksud ilustratif.

Gambar 14-7a memperlihatkan sebuah mekanisme dengan satu gaya total P yang diberikan ketorak. Engkol dimisalkan berputar pada suatu kecepatan sudut konstan. (Mekanisme telah dianalisa dalam gambar 14-1). Dikehendaki kopel total T_2 yang dikenakan ke engkol.

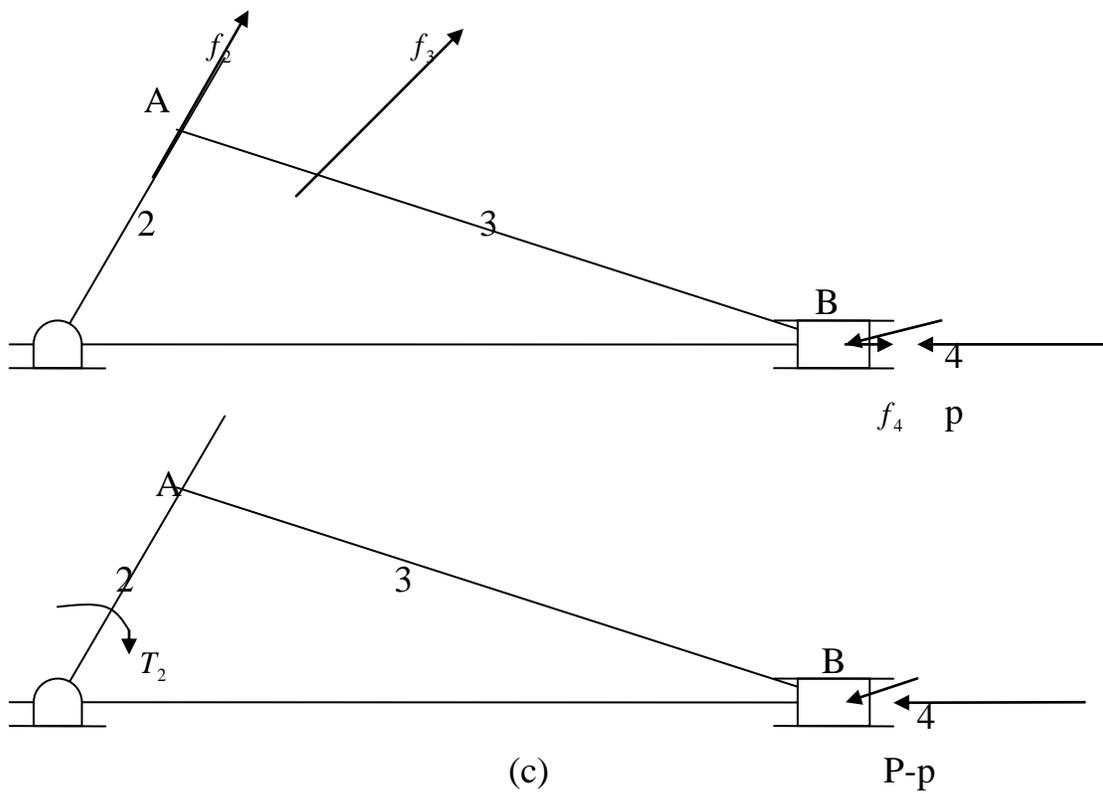


Gambar 14-7a. Sistem gaya-gaya yang diberikan dan inersia yang dapat dianalisis dengan susunan gaya statik dan inersia yang terpisah

Dalam analisa gaya terpisah, dapat dipilih berbagai kombinasi gaya. Gambar 14-7b memperlihatkan satu kombinasi dimana gaya P dipandang sebagai satu gaya statik, yang memungkinkan diperolehnya t_s yang dipandang sebagai sebuah kopel yang diakibatkan oleh efek-efek statik. Analisa sistem hanya dengan efek-efek inersia memungkinkannya diperoleh kopel t_f yang dikenakan ke engkol. Penjumlahan t_s dan t_f memberikan T_2 , yaitu kopel total yang dikenakan ke engkol. bahwa super posisi dari dua system dalam gambar 14-7b memberikan besaran-besaran total yang sama seperti yang diberikan dalam gambar 14-7a. Suatu kemungkinan yang kedua dalam analisa adalah dengan memperhatikan system yang ditunjukkan dalam gambar 14-7c.



Gambar 14-7b. Sistem-sistem yang terpisah untuk gaya statik dan inersia yang apabila digabungkan memberikan sistem asli di (a). gaya total p yang diberikan ke torak dipandang sebagai sebuah gaya statik.



Gambar 14-7c. Sistem-sistem gaya statik dan inersia yang terpisah, yang Apabila digabungkan memberikan sistem aslinya di (a). gaya total p yang diberikan ke torak dikurangi gaya p yang diberikan ke torak untuk menyebabkan gerak yang dijelaskan, dipandang sebagai satu gaya statik. Jika gaya p diarahkan kekanan, maka gaya statik akan menjadi p plus p .

Di sini sebuah gaya p digambarkan dikenakan ke torak, dengan tanpa kopel pada engkol, untuk mengimbangi gaya-gaya inersia. Sebuah gaya $(P - p)$ dipandang dikenakan ke torak untuk penentuan T_2 . Gaya total, satu gaya p yang diperlukan untuk menimbulkan gerak yang dijelaskan, interpretasinya di sini adalah hanya sebagian dari gaya total yang diteruskan untuk menyebabkan kopel T_2 pada engkol. Sekali lagi, dua system dalam gambar 14-7c bila digabungkan akan memberikan system aslinya dalam gambar 14-7a.

Sekarang muncul pertanyaan, sistem mana yang akan dipakai dalam suatu analisa. Jika kita tertarik dengan efek-efek total, maka jawabnya adalah tidak ada bedanya system mana yang diambil. Jika kita tertarik dengan efek gaya-gaya inersia, untuk contoh, maka kita harus sangat berhati-hati. Untuk satu daur lengkap dalam sebuah motor bakar, system berganti-ganti karena untuk sebagian daurnya usaha datang dari tekanan gas pada torak sedangkan untuk daur selebihnya usaha datang dari kopel yang diberikan ke engkol melalui roda gila. Bandingkan gaya-gaya f_{14} dan f_{23} dalam gambar 14-4b dan 14-5b. Gaya-gaya ini berbeda sebagai akibat pemisalan yang berbeda mengenai mesin digerakkan. Tegangan-tegangan diberbagai anggota kedua system juga berbeda karena gaya-gaya penanya berbeda.

6. Gaya Kocok

Sebuah gaya kocok di definisikan sebagai jumlah vector dari gaya-gaya yang terdapat pada rangka suatu mesin, dengan gaya yang berubah-ubah dalam arahnya atau harganya atau keduanya. Gaya-gaya yang diteruskan ke rangka sebuah mesin dapat dipandang terjadi dari dua komponen: (1) gaya akibat gaya-gaya statik; dan (2) gaya akibat gaya-gaya inersia. Suatu analisa gaya gabungan akan memberikan gaya-gaya yang berubah-ubah yang terdapat pada struktur yang harus diperhatikan dalam rancangan akhir sebuah mesin. Tetapi, dapat pula dikehendaki untuk memisahkan efek kocokan gaya-gaya inersia dari efek kocokan gaya-gaya statik karena dalam beberapa kasus efek

gaya-gaya inersia dapat diseimbangkan sebagian, atau sepenuhnya, seperti yang akan dibahas dalam bab-bab selanjutnya mengenai penyeimbangan mesin-mesin.

Mekanisme engkol peluncur dipilih lagi untuk mengilustrasikan prinsip-prinsip. Gambar 14-4a dan 14-4b mengemukakan bahwa dengan usaha yang datang dari suatu gaya gas p pada torak untuk gerak yang dikehendaki maka gaya yang terdapat pada rangka stasioner adalah jumlah vektor dari gaya p yang dikenakan ke kepala silinder (sebuah gaya ke kanan, sama besar dan berlawanan arah dengan gaya yang dikenakan ke torak), gaya f_{41} dan gaya f_{21} , dimana gaya f_{41} adalah gaya yang ditimbulkan oleh torak pada rangka, dan f_{21} adalah gaya yang ditimbulkan oleh engkol pada rangka. Apabila polygon gaya yang ditunjukkan dalam gambar 14-4b dianalisa bersama-sama dengan gaya-gaya dalam gambar 14-4c, maka akan diperoleh bahwa p , atau gaya kocok akibat gaya-gaya inersia adalah jumlah vector dari gaya-gaya inersia.

Jika mesin digerakkan oleh sebuah kopel yang diberikan ke engkol, seperti ditunjukkan dalam gambar 14-5a, maka gaya kocok f_{14} , dapat terlihat dengan gaya analisa gambar 14-5b. Jadi jumlah vector dari gaya-gaya inersia dapat ditentukan untuk memberikan secara langsung gaya kocok akibat gaya-gaya inersia, tanpa suatu analisa gaya. Tetapi, perlu dicatat bahwa garis kerja gaya kocok untuk gambar 14-4a tidak sama seperti garis kerja untuk gambar 14-5a. Garis kerja gaya kocok harus ditentukan dengan suatu analisa gaya secara lengkap.

Penyeimbangan gaya kocok akibat gaya-gaya inersia tidak berarti pengoperasian yang mulus dari mesin. Harga kopel yang dikenakan ke engkol akan berubah-ubah meskipun apabila gaya total yang dikenakan ke torak konstan. Jika digunakan sebuah mesin silinder tunggal, maka sebuah kopel yang berubah-ubah yang diberikan ke engkol akan menyebabkan gaya yang berubah-ubah yang dikenakan ke rangka mesin. Dalam praktek sebenarnya, dipakai sebuah roda gila sehingga sebuah kopel yang terjadi oleh aksi roda gila akan melawan kopel yang berubah-ubah. (Efek dari sebuah roda gila dibahas dalam Bab 16). Pemecahan lain adalah memakai beberapa mesin dengan engkol-engkol yang ditempatkan sedemikian sehingga dapat diperoleh satu kopel yang lebih beraturan.

H. ANALISA RODA GILA

Sebuah roda gila yaitu suatu massa berputar yang digunakan sebagai reserver energi dalam sebuah mesin.

Energi kinetik (EK) suatu badan yang berputar dinyatakan sebagai :

$$= \frac{1}{2} I_0 \omega^2$$

Dimana I_0 = momen inersia massa dari badan

ω = kecepatan sudut perputaran

Catatan : apabila kecepatan berkurang energi akan dilepas oleh roda gila dan sebaliknya jika kecepatan bertambah energi akan disimpan didalam roda gila.

16-1 Koefisien Fluktuasi Kecepatan

Variasi kecepatan yang di ijinakan disebut dengan koefisien fluktuasi kecepatan yang di defenisikan.

Variasi kecepatan biasa dirumuskan dengan :

$$\Delta = \frac{\omega_1 - \omega_2}{\omega}$$

Dimana : ω_1 = kecepatan sudut maksimum dari roda gila

ω_2 = kecepatan sudut minimum dari roda gila

ω = kecepatan sudut rata-rata dari roda gila

δ = variasi kecepatan

atau bisa dengan :

$$\delta = \frac{V_1 - V_2}{V}$$

dimana : v_1 = kecepatan maksimum suatu titik tertentu di roda gila

v_2 = kecepatan minimum titik yang sama di roda gila

v = kecepatan rata-rata titik yang sama di roda gila.

• Berat Roda Gila untuk suatu Koefisien Fluktuasi Kecepatan yang tertentu.

Rumus energi kinetik sebuah benda yang berputar terhadap satu pusat tetap.

$$K.E = \frac{1}{2} I_0 \omega^2$$

Dimana : I_0 = momen inersia massa dari badan

ω = kecepatan sudut perputaran

Perubahan Energi Kinetik = E

$$E = \frac{1}{2} I_0(\omega_1^2 - \omega_2^2)$$

ω_1 = kecepatan sudut maksimum

ω_2 = kecepatan sudut minimum

apabila persamaan diatas dikalikan jari-jari, rata-rata dari rim roda gila rumusnya

yaitu :

$$E = \frac{I_0}{2r^2} [(r\omega_1)^2 - (r\omega_2)^2]$$

$r\omega_1$ = kecepatan maksimum sebuah titik pada jari-jari rim roda gila

$r\omega_2$ = kecepatan minimum titik yang sama

I_0 = momen inersia

$2r^2$ = jari-jari rim

Jika $r\omega_1 = V_1$ maka rumusnya :

$$E = \frac{I_0}{2r^2} (V_1^2 - V_2^2) = \frac{I_0}{2r^2} (V_1 + V_2)(V_1 - V_2)$$

$(V_1 - V_2)/2 = V$ = kecepatan rata-rata untuk yang sama pada jari-jari rim roda gila

$(V_1 - V_2)/V = \delta$ = percepatan yang didefinisikan sebagai koefisien fluktuasi

Jadi rumus untuk perubahan energy :

$$E = \frac{I_0}{2r^2} (2V)(V\delta) = \frac{I_0 V^2 \delta}{r^2}$$

$I_0 =$ momen inersia massa $(w/g)k^2$ dimana k jari-jari girasi

Apabila jari-jari girasi disamakan dengan jari-jari rata-rata rim maka rumus yang didapat

$$E = \frac{\omega r^2 V \delta}{gr^2} = \frac{\omega V^2 \delta}{g}$$

$$\omega = \frac{Eg}{V^2 \delta}$$

Rumus dapat ditulis didalam suku-suku kecepatan minimum dan maksimum yaitu :

$$\omega = \frac{2Eg}{V_1^2 - V_2^2}$$

Catatan :

- Berat sebenarnya dari rim roda gila dapat diambil kurang lebih 10% lebih kecil dari berat yang dihitung memakai rumus diatas untuk memperhitungkan efek-efek lengan dan tab roda gila dan bagian yang berputar lainnya.
- Kecepatan rata-rata yang diijinkan untuk besi cor dibatas dari 1200-1800 mtr/menit maksimum.
- Kecepatan rata-rata yang diijinkan untuk baja bisa lebih tinggi tergantung kondisi roda gila.

Contoh : Penggunaan sebuah roda gila untuk mengurangi ukuran motor yang diperlukan untuk pelubangan. Satu lubang 22 mm, dibuat dengan res pelubang dengan ukuran plat 20mm dari baja SAE 1030 yang dilunakkan.

Dimisalkan 30 lubang dipres lubang dalam waktu 1 menit, selama dua detik dimisalkan waktu pelubang yang sebenarnya terjadi dalam waktu $(1/10)(2)=(1/5)$ dtk. Roda gila berputar 210 rpm dengan reduksi kecepatan yang diperlukan melalui suatu roda gigi untuk 30 operasi perlubang/menit. Maka gesekan akan diabaikan sepenuhnya,

Menentukan ukuran motor bergantung pada gaya yang diperlukan dalam operasi perlubangan.

Gaya maksimum merupakan suatu fungsi dari beberapa variable bahan perlakuan kelihatan bahan ruang bebas antara pelubang dan cetakan.

Rumus Gaya Maksimum

$$P = \pi d.t.s$$

Dimana : d = diameter lubang dalam (mm)

t = ketebalan plat dalam (mm)

s = tahanan geser (N/mm²)

jadi gaya maksimumnya;

$$\begin{aligned} P &= \pi(22)(20)(360) \\ &= 497.630 \text{ N} \end{aligned}$$

Apabila gaya maksimum terjadi disekitar 3/8 kedalam plat, biasanya luas dibawah kurva gaya perpindahan dapat didekati dengan rumus :

$$\omega' = \frac{1}{2} pt$$

Dimana : ω' = kerja yang dilakukan (Nm)

p = gaya maksimum
t = ketebalan plat (m)

jadi :

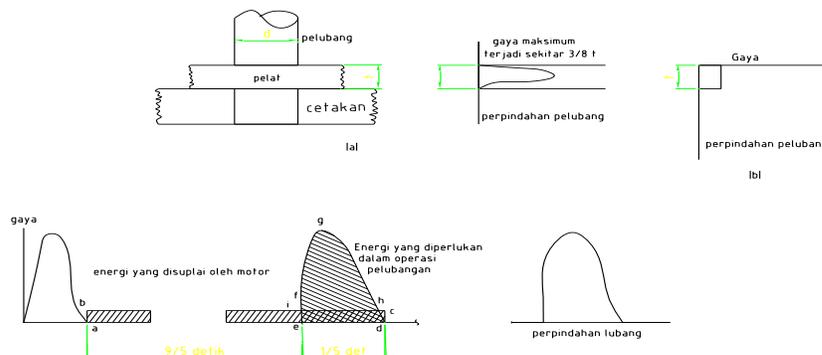
$$\omega' = \frac{1}{2} (497.630)(20)/1000$$

$$= 4.976 \text{ Nm}$$

Analisa A. – Tanpa Roda Gila. Daya rata-rata yang diperlukan, dengan memisalkan bahwa kurva gaya – defleksi berbentuk segi empat seperti ditunjukkan dalam gambar 16-1b, ditentukan oleh Nm per satuan waktu. Dalam kasus ini, gaya rata-rata adalah $4.976/(1/5) = 24.880 \text{ Nm/dtk}$. Ini setara dengan 25kilowatt. Sebenarnya, daya maksimum saat akan mendekati 50 kW.

Analisa B. – Memakai sebuah roda gila. Jika digunakan sebuah roda gila, maka ukuran motor dapat sangat diperkecil. Ukuran motor yang diperlukan dapat ditentukan dari kondisi bahwa energi yang diambil dari roda gila harus dikembalikan lagi oleh roda gila motor dalam satu daur. Energi yang diambil dari roda gila adalah 4.976 Nm dalam 1/5 dtik. Tetapi, energi 4.976 ini harus disuplai oleh motor dalam 2 dtk. Atau motor harus mensuplai energi pada laju sebesar $4.976/2 = 2.488 \text{ Nm/dtk}$. Ini setara dengan 2,5 kW yakni ukuran motor yang diperlukan.

Berat roda gila yang diperlukan dapat ditentukan dengan memakai kurva yang ditentukan dalam gambar 16-1c. Luas abcd menyatakan energi yang disuplai oleh motor dalam 1 daur. Luas Efg hde menyatakan energi yang diperlukan dalam operasi pelubangan. Luas eicd menyatakan energi yang disuplai oleh motor selama operasi pelubangan yang sesungguhnya. Jadi energi yang harus diambil dari roda gila adalah $4.976 - 498 = 4.478 \text{ Nm}$.



Gambar 16-1. Variasi gaya dalam suatu operasi pelubangan dan energi yang diperlukan selama satu daur.

(Energi yang disuplai oleh motor selama operasi pelubangan sesungguhnya adalah $(2.488)(1/5) = 498 \text{ Nm}$, atau 1/10 dari energi yang diperlukan dalam satu daur penuh).

Dengan memisalkan diameter rata-rata sebesar 0,75 m, maka kecepatan maksimum dari roda gila adalah :

$$\begin{aligned} V &= \frac{\pi DN}{60} \\ &= \frac{\pi(0,75)(210)}{60} \\ &= 82 \text{ m/det} \end{aligned}$$

Jika drop kecepatan yang diijinkan disebut sebesar 10%, maka kecepatan minimum adalah 7,4m/dtk

Berat roda gila yang diperlukan diperoleh dari :

$$\begin{aligned} W &= \frac{2gE}{V_1^2 - V_2^2} \\ &= \frac{2(9,8)(4478)}{(8,2)^2 - (7,4)^2} \\ &= 7.033 \text{ N.} \end{aligned}$$

Sebenarnya, hanya sekitar 90% berat atau sekitar 6.330 N yang diperlukan dalam rim roda gila, sedang efek berat selebihnya datang dari ruji-ruji dan hub dengan kata lain, hanya sekitar 90% dari efek roda gila datang dari rim. Berat total rim roda gila sekitar 125% berat rim.

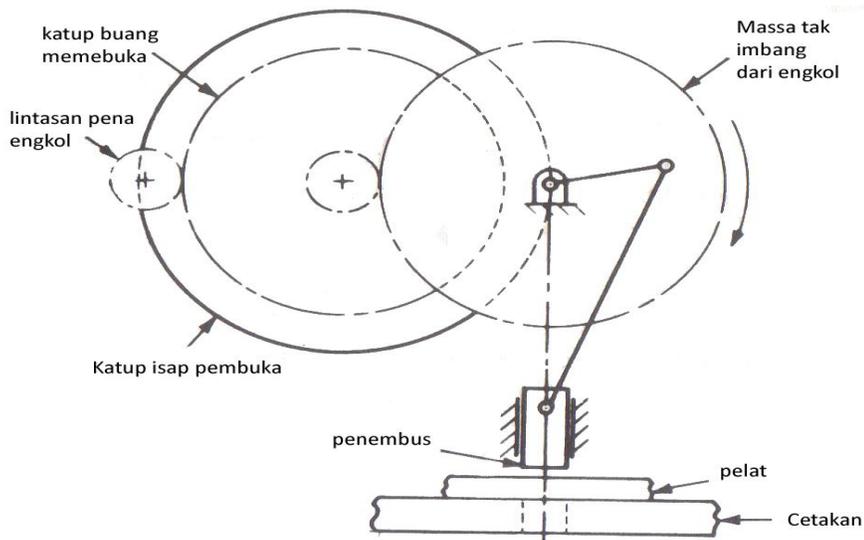
Ukuran rim dapat ditentukan dari kenyataan bahwa berat rim adalah $(b)(h)(\pi D)(0,176)$, dimana b adalah lebar rim dalam cm, h adalah tebal rim (cm), D adalah diameter rata-rata rim (cm), dan 0,176 adalah berat jenis besi cor dalam N per cm kubik

Jadi, $(b)(h)(\pi D)(0,176) = 6.330$

$$(b)(h)(\pi 75)(0,176) = 6.330$$

Atau, $(b)(h) = 165 \text{ cm}^{2c}$

Apabila h dibuat sekitar $1^{1/4}b$, maka dimensi rim kurang lebih adalah 11 cm kali 6,6 cm. Catat bahwa kecepatan rim roda gila tidak pada harga maksimum yang bisa sekitar 1200/menit. Dengan demikian sebuah roda gila dengan diameter yang lebih besar akan memungkinkan berat di rim yang lebih kecil dengan penampang yang lebih kecil.



Gambar 16-2 Diagram Indikator

I. PENYEIMBANG

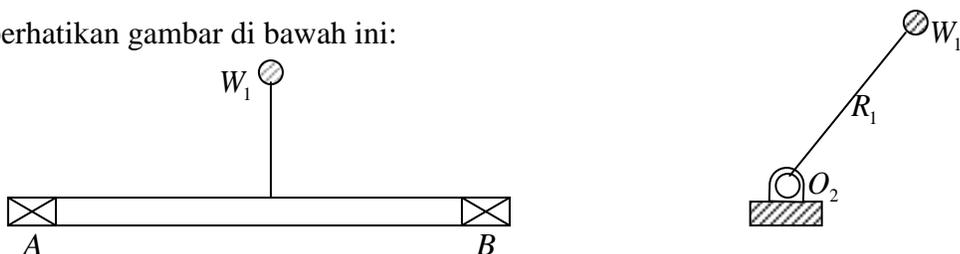
Alasan kita mambah gaya-gaya inersia dapat mem

Jawabannya adalah ura keseluruhan atau sebagian gaya-gaya inersia dalam sebuah system dengan mengetengahkan gaya-gaya inersia tambahan yang akan membantu melawan efek gaya-gaya inersia semula. System penyeimbangan ini akan di terapkan pada dua persoalan yang berbeda :

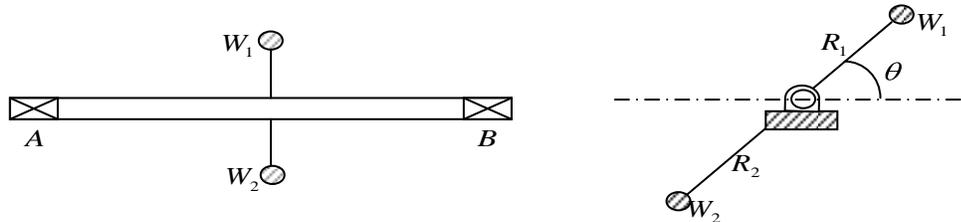
1. Penyeimbangan masa yang berputar seperti yang di ilustrasikan oleh sebuah engkol mesin mobil,
2. Penyeimbangan masa bolak-balik seperti yang di ilustrasikan oleh sebuah mekanisme engkol peluncur.

1. Masa Putar Tunggal

Untuk sebuah mengilustrasikan dari prinsip yang terlibat pada masa putar tunggal perhatikan gambar di bawah ini:



Dimana sebuah berat terpusat w_1 Berputar terhadap satu sumbu tetap dengan satu kecepatan konstan. gaya inersianya adalah $(w_1/g)R_w^2$. Gaya inersia akan di menimbulkan reaksi-reaksi yang berubah-ubah pada bantalan- bantalan A dan B, jika bobot diperbolehkan berputar dengan tanpa diberi bobot yang lain. Jika suatu berat W_2 ditempatkan berlawanan langsung dengan W_1 seperti ditunjukkan dalam gambar di bawah ini:



Pada suatu jari- jari R_2 yang sedemikian sehingga gaya inersia dari w_2 seimbang dengan gaya inersia dari w_1 , maka akan dihasilkan sebuah system yang seimbang.

$$\frac{W_1}{g} R_1 \omega^2 = \frac{W_2}{g} R_2 \omega^2$$

$$W_1 R_1 = W_2 R_2$$

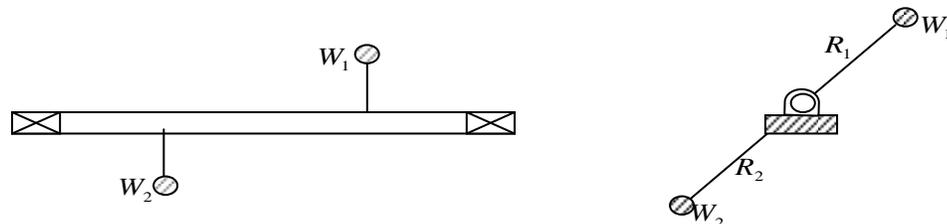
Untuk keseimbangan poros dalam putaran poros apapun, jumlah momen dari bobot- bobot terhadap O_2 harus nol, atau

$$W_1(R_1 \cos \theta) - W_2 (R_2 \cos \theta) = 0$$

$$W_1 R_1 = W_2 R_2$$

2. Dua Bobot Putar

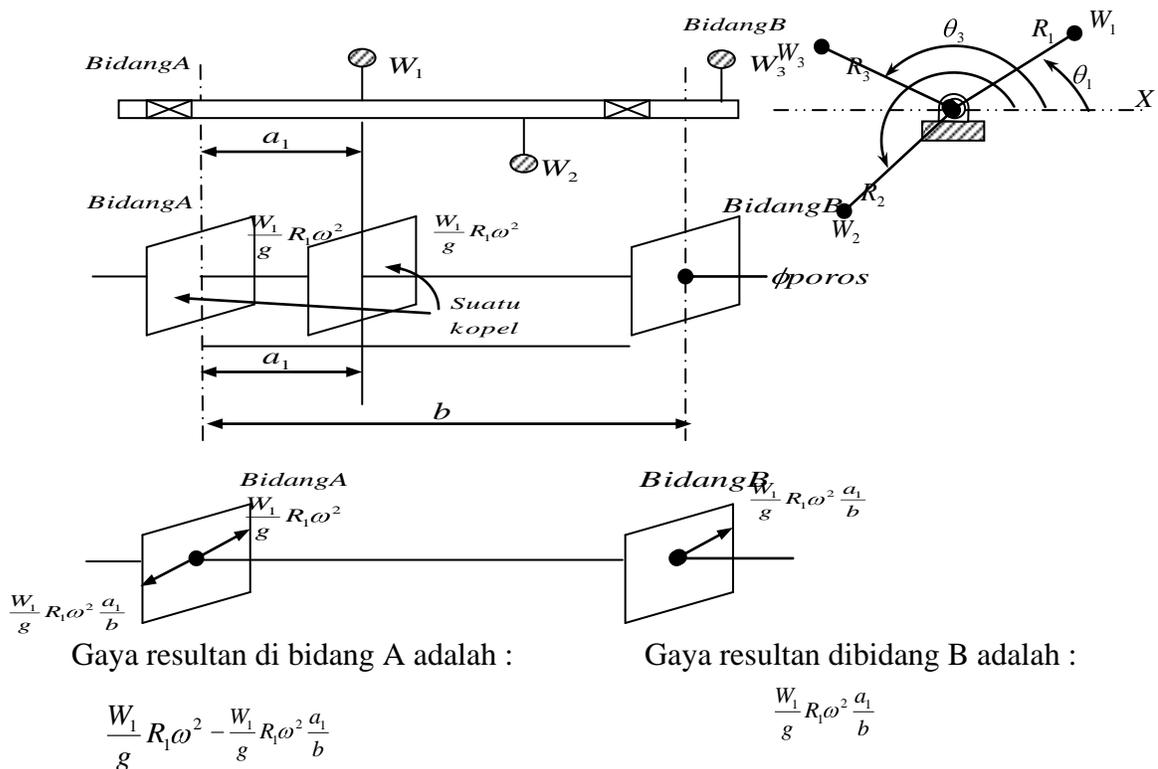
Perhatikan gambar dibawah ini. memperlihatkan 2 bobot pada sebuah poros. Intuk menyederhanakan, w_2 di tempatkan berlawanan secara diametric dengan w_1 , tetapi dengan digeserkan dalam arah panjang poros, dapat diperoleh dengan mempunyai $w_1 R_1 = w_2 R_2$ (yang juga merupakan kondisi agar mempunyaikeseimbangan gaya- gaya inersia untuk kasus khusus dua bobot yang berlawanan).



Kasus istimewa ini membantu dalam mengilustrasikan kenyataan bahwa dengan mempunyai keseimbangan statik belum menjamin keseimbangan dinamik. Perlu di tengahkan bobot- bobot tambahan dalam system guna memberikan keseimbangan static maupun dinamik. Untuk kasus istimewa ini perlu diberikan dua bobot untuk keseimbangannya karena tidak mungkin untuk menyeimbangkan sebuah kopel dengan satu gaya. Sebuah bobot dapat ditempatkan berlawanan dengan w_1 untuk mengimbangi w_1 , dan satu bobot lagi dapat ditempatkan berlawanan dengan w_2 untuk menyeimbangkan w_2 .

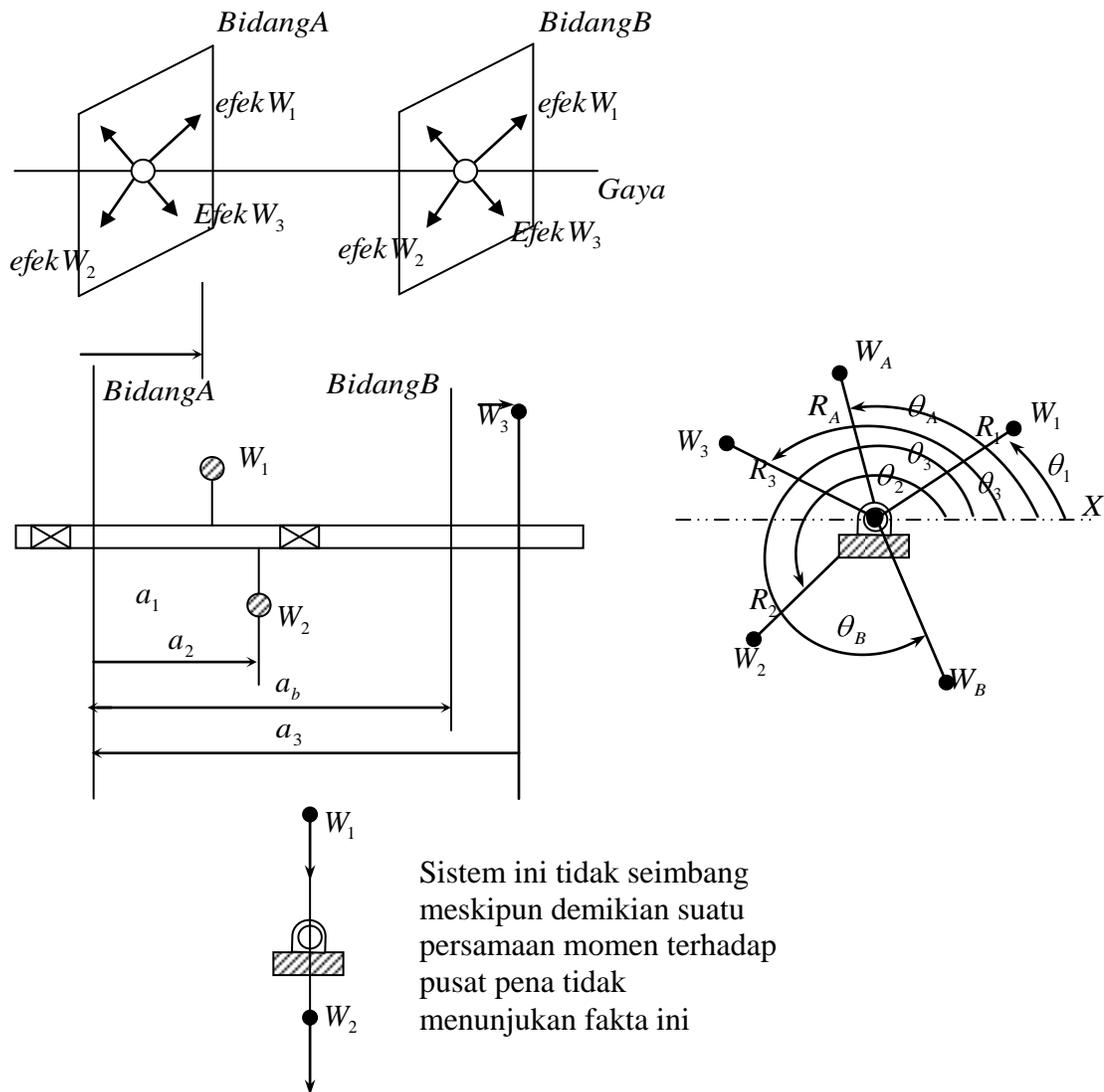
3. Sistem Bobot Jamak

Perhatikan gambar di bawah ini memperlihatkan sebuah system umum dari bobot- bobot yang terletak di sepanjang sebuah poros yang berputar pada suatu kecepatan sudut konstan. θ_1 , θ_2 , dan θ_3 adalah sudut-sudut yang masing-masing di buat oleh w_1 , w_2 dan w_3 dengan sumbu x. diinginkan untuk menunjukan bahwa system dapat di seimbangkan oleh dua bobot tambahan, di banding 4A dan satu lagi di banding B. juga di inginkan untuk mendapatkan hubungan-hubunganyang harus di penuhi.



Mula-mula perhatikan w_1 , seperti yang di tunjukan terisolasi dalam gambar . jika dua gaya khayal yang sama besar berlawanan arah $F, (W_1, R_2 \omega^2/g)$. di tambahkan di bidang A seperti di tunjukan dalam gambar 17-3b. maka tidak akan terjadi perubahan dalam sitem.gaya-gaya yang di tambahkan sejajar dengan gaya inersia dari w_1 . Resultan dari tiga gaya tersebut adalah :

- (1) satu gaya ($W_1, R_2 \omega^2/g$) di bidang A sejajar dan dalam arah yang sama dengan gaya asalnya dan
- (2) sebuah kopel yang sama dengan ($W_1, R_2 \omega^2/g$) (a_1), dimana a_1 adalah jarak dari bidang A ke W_1 .



4. Metode Analisis

(a) Untuk keseimbangan gaya-gaya horizontal

$$\frac{W_1}{g} R_1 \omega^2 \cos \theta_1 + \frac{W_2}{g} R_2 \omega^2 \cos \theta_2 + \dots + \frac{W_a}{g} R_a \omega^2 \cos \theta_A + \frac{W_B}{g} R_B \omega^2 \cos \theta_B = 0$$

Bagi seluruh dengan ω^2/g : $\sum WR \cos \theta = 0$

(b) Untuk keseimbangan gaya-gaya vertikal:

$$\frac{W_1}{g} R_1 \omega^2 \sin \theta_1 + \frac{W_2}{g} R_2 \omega^2 \sin \theta_2 + \dots + \frac{W_a}{g} R_a \omega^2 \sin \theta_A + \frac{W_B}{g} R_B \omega^2 \sin \theta_B = 0$$

Atau $\sum WR \sin \theta = 0$

(c) Untuk keseimbangan momen-momen terhadap bidang A dari gaya-gaya horizontal, dimana a menyatakan jarak dari setiap gaya ke bidang A :

$$\frac{W_1}{g} R_1 \omega^2 a_1 \sin \theta_1 + \frac{W_2}{g} R_2 \omega^2 a_2 \sin \theta_2 + \dots + \frac{W_B}{g} R_B \omega^2 a_B \sin \theta_B = 0$$

Atau $\sum WRa \cos \theta = 0$

(d) Untuk keseimbangan momen-momen dari gaya partikel terhadap bidang

$$\frac{W_1}{g} R_1 \omega^2 a_1 \sin \theta_1 + \frac{W_2}{g} R_2 \omega^2 a_2 \sin \theta_2 + \dots + \frac{W_B}{g} R_B \omega^2 a_B \sin \theta_B = 0$$

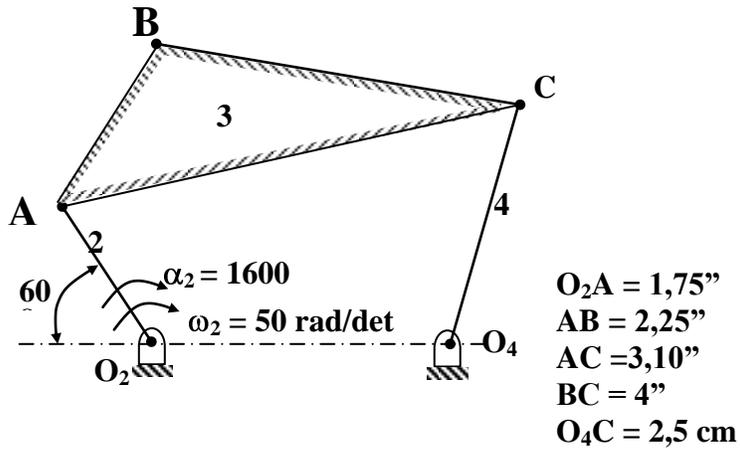
Atau $\sum WRa \sin \theta = 0$

Dalam hal ini kesimpulannya adalah bahwa untuk keseimbangan gaya-gaya inersia boleh dirinya sendiri, harus = 0

- (1) $\sum WR \cos \theta = 0$ (keseimbangan gaya-gaya horizontal)
- (2) $\sum WR \sin \theta = 0$ (keseimbangan gaya-gaya vertikal)
- (3) $\sum WRa \cos \theta = 0$ (keseimbangan momen-momen dalam bidang horizontal terhadap bidang A)
- (4) $\sum WRa \sin \theta = 0$ (keseimbangan momen-momen dalam bidang vertikal terhadap bidang)

LATIHAN SOAL

1. 1. Dari gambar mekanisme empat penghubung berikut, tentukan:



- a. Gambar segibanyak kecepatan dengan skala 1 inci = 25 inci/det
- b. Kecepatan sudut ω_3 rad/det berdasarkan V_{CB}
- c. Kecepatan sudut ω_4 rad/det

- a. Gambarkanlah segi banyak percepatan untuk gambar soal no. 1. Skala: 1
- b. Tentukan α_2 dan α_4 dalam radian/detik².

DAFTAR PUSTAKA

- Beer & Johnston. (1976). *Mechanics of Engineer-Dynamics*. McGraw-Hill
- Hinkle (1960), *Kinematics of Mechines*. Prentice Hall
- Holowenko dan Cepy Prpto (1992). *Dinamika permesinan*, Jakarta: Erlangga
- Martin, GH dan Setiyobakti (1984). *Kinematika dan Dinamika Tekni.*, Jakarta: Erlangga
- Meriam & Krainge (1998). *Engineering Mechanics*. New York: Wiley.