

# **CAMS**

## **(BUBUNGAN)**

### **20.1 Introduction**

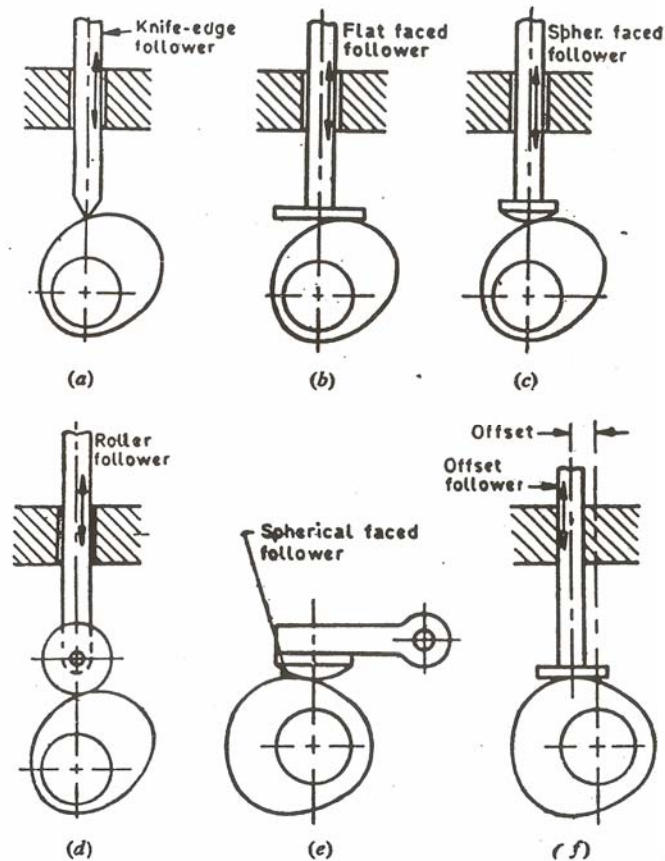
Cam atau bubungan adalah elemen mesin putar yang memberi gerakan pada elemen lainnya yang disebut elemen pendukung. Bubungan dan pendukungnya memiliki tali penghubung dan dihubungkan dengan kuat. Bubungan biasanya berputar dengan kecepatan yang sama dari palang yang menghubungkannya, namun pergerakan dari pendukung ditentukan oleh bentuk dari bubungan. Bubungan dan pendukungnya merupakan sistem yang paling sederhana yang sangat penting di jaman permesinan modern sekarang ini. Bubungan digunakan untuk mengoperasikan klep pemasukan dan pembuangan dari mesin pembakaran internal, mesin pengikat otomatis, mesin pemotong kertas, mesin pemintal dan penenun, mesin bubut, dan sebagainya.

### **20.2 Klasifikasi dari Pendukung**

Pendukung dapat diklasifikasikan sebagai berikut :

- a. Berdasarkan pada permukaan yang bersentuhan

Permukaan yang bersentuhan dengan bubungan dapat berupa mata pisau, permukaan rata, permukaan berbentuk bola, atau silinder seperti yang terlihat pada gambar 20.1 (a), (b), (c), dan (d). Pendukung mata pisau tidak banyak digunakan karena keausan yang sangat besar dari permukaan sentuh.



Gambar 2.1

Permukaan rata dan permukaan yang berbentuk bola digunakan bila ruangnya terbatas, contohnya pada mesin-mesin otomotif. Pendukung permukaan silinder biasa digunakan pada mesin pesawat.

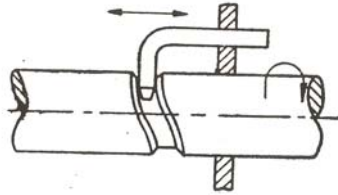
- b. Berdasarkan pada pergerakan dari pendukung  
Pergerakan dari pendukung dapat berupa translasi atau osilasi (bergoyang). Pada gambar 20.1 (a) sampai (d), semua pendukung tersebut adalah pendukung translasi. Pada pendukung osilasi, pergerakan dari bubungan telah diubah ke pergerakan osilasi, seperti pada gambar 20.1 (e).
- c. Berdasarkan pada jalan pergerakan  
Pasangan pergerakan dari pendukung dapat berupa radial (melewati permukaan tengah dari bubungan) seperti terlihat pada gambar 20.1 (a) sampai (e) atau dapat juga berupa perimbangan dari pusat bubungan, gambar 20.1 (f).

### 20.3 Klasifikasi Cam (bubungan)

Cam dapat diklasifikasikan sebagai berikut :

- (1) Radial cams
- (2) Cylindrical cams

Pada radial cams, pendukung bergerak tegak lurus dari sumbu x bubungan. Bubungan pada gambar 20.1 adalah radial cams. Pada cylindrical cams,



Gambar 20.2

pendukung bergerak paralel dari sumbu x bubungan. Pendukung didudukan pada lekukan permukaan silindrisnya. Gambar 20.2.

### 20.4 Definisi

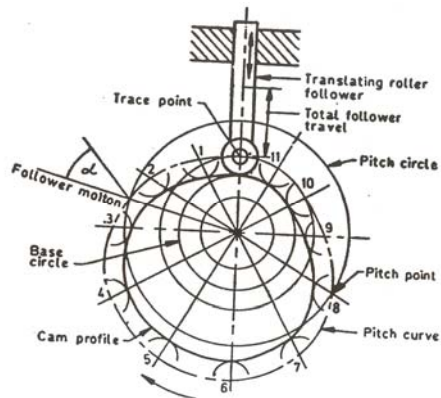
Definisi-definisi berikut sangat penting untuk menggambarkan bentuk dari bubungan.

- (1) Lingkaran dasar (base circle)

Merupakan lingkaran terkecil yang dapat digambarkan pada bentuk bubungan

- (2) Trace point

Merupakan titik penghubung pada pendukung, digunakan untuk menghasilkan pitch curve. Pada kasus pendukung mata pisau, mata pisau



Gambar 20.3

menggambarkan trace point dan pitch curve pada bentuk bubungan. Pada bubungan permukaan silinder, pusat dari silinder menggambarkan trace point.

(3) Pressure angle (sudut tekan)

Merupakan sudut antara pergerakan pendukung dan garis normal pada pitch curve. Sudut ini sangat penting dalam merancang bentuk bubungan. Jika sudut tekan terlalu besar maka pendukung akan mendesak bearing.

(4) Pitch point

Merupakan titik pada pitch curve, memiliki sudut tekan maksimum.

(5) Pitch circle

Merupakan lingkaran dari pusat bubungan sampai pada pitch point.

(6) Prime circle

Merupakan lingkaran terkecil dari pusat bubungan sampai pada pitch curve.

(7) Lift of stroke

Pergerakan maksimum pendukung dari posisi terendah sampai pada posisi tertinggi.

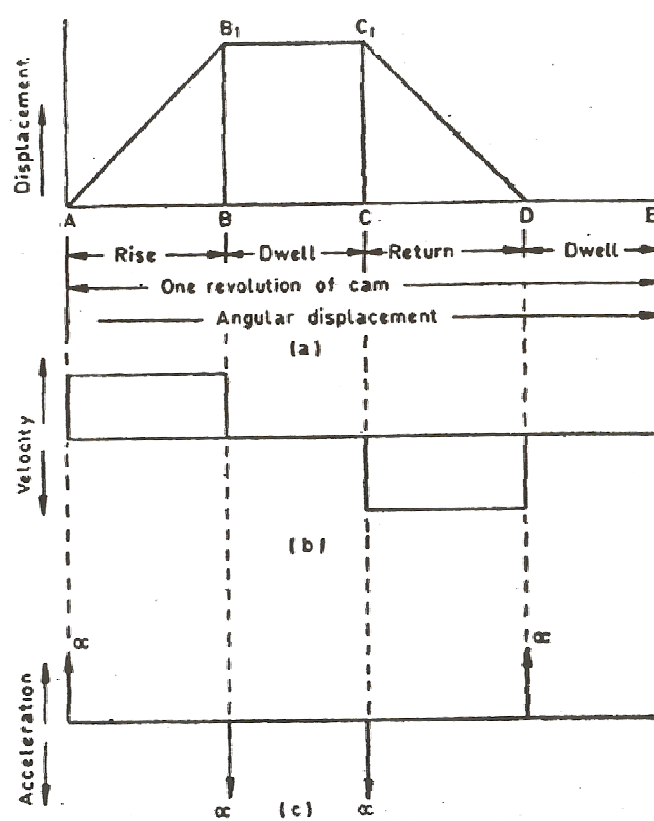
### **20.5 Pergerakan dari pendukung**

Pendukung, berdasarkan pada pergerakannya, terdapat pada salah satu pergerakan berikut ini:

- (1) Uniform velocity
- (2) Simple Harmonic motion
- (3) Uniform acceleration and retardation
- (4) Cycloidal motion

Kali ini kita mendiskusikan mengenai diagram perpindahan, kecepatan dan percepatan pada bubungan saat pendukung bergerak dengan pergerakan yang disebutkan.

## 20.6 Diagram perpindahan, kecepatan, dan percepatan saat pendukung bergerak pada kecepatan yang sama

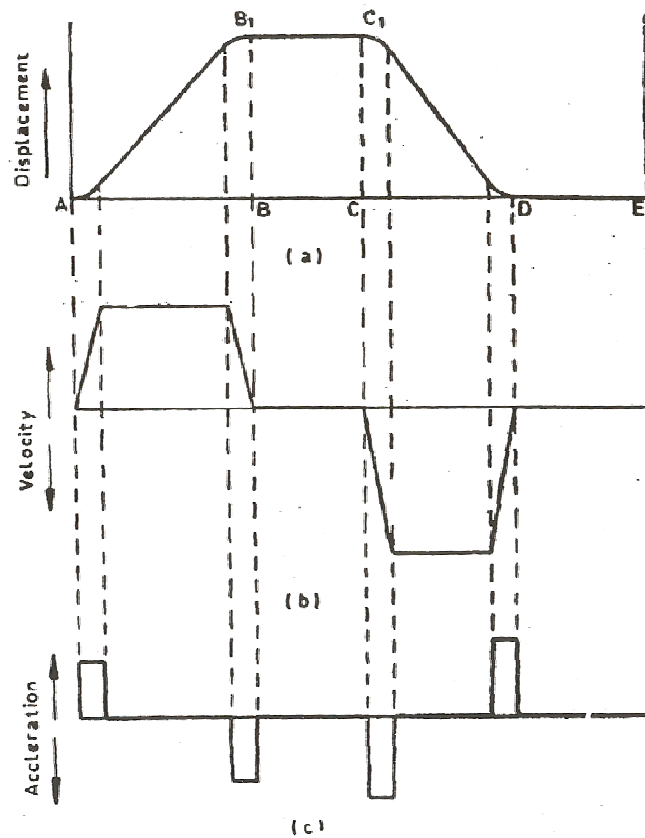


Gambar 20.4

Diagram perpindahan, kecepatan dan percepatan saat pendukung mata pisau bergerak dengan kecepatan yang sama ditunjukkan pada gambar 20.4 (a), (b), dan (c).

Bagian dasar menggambarkan waktu (waktu yang dibutuhkan oleh bubungan untuk bergerak satu putaran) atau menggambarkan derajat sudut putar dari bubungan. Ordinat menggambarkan perpindahan, atau kecepatan atau percepatan pada pendukung.

Saat pendukung bergerak dengan kecepatan yang sama, kemiringan dari kurva perpindahan konstan. Dengan kata lain, AB<sub>1</sub> dan C<sub>1</sub>D adalah garis lurus. Waktu saat pendukung diam dikenal dengan nama dwell periods, diperlihatkan pada garis B<sub>1</sub>, C<sub>1</sub>, dan DE pada gambar 20.4 (a). Dari gambar 20.4 (c), dapat kita



Gambar 20.5

lihat bahwa percepatan dari pendukung dari awal sampai akhir adalah tidak terhingga. Ini bergantung pada fakta bahwa follower diperlukan untuk memulai dari istirahat dan harus memperoleh suatu percepatan meskipun tidak ada waktu. Hal ini memungkinkan terjadinya percepatan atau perlambatan pada permulaan dan pada akhir didalam penembakannya secara bersamaan yang tidak terbatas. Walaupun kondisi ini tidak memungkinkan ditemui dalam kehidupan sehari-hari.

Pada keadaan sehari-hari percepatan dan perlambatan adalah hal yang terbatas, hal ini penting untuk mengatur kondisi yang mana mengatur pergerakan elemen yang mengikutinya. Hal ini dapat dilihat dari gambar 20.5(a), dalam gambar tersebut menjelaskan alur dari percepatan dan perlambatan untuk setiap penembakannya. Dengan begitu kecepatan dari pada elemen pengikutnya akan meningkat sedikit demi sedikit menuju ke nilai maksimum pada permulaan tekanan dan akan menurun secara berangsur-

angsur menuju ke nilai nol pada akhir dari penekanan, dapat dilihat pada gambar 20.5(b). Dalam perpindahan ini, diagram dari kecepatan dan percepatan ditunjukkan pada gambar 20.5. Bentuk alur pada diagram ini adalah selalu berbentuk parabola, hal ini menunjukkan alur dari parabola menggambarkan lambatnya percepatan yang dialami dari elemen pengikut karena diberikan tembakan dan kecepatan cam.

### 20-7 Diagram perubahan pergerakan, kecepatan, dan percepatan pada saat elemen yang terpengaruh ikut pindah dengan harmonis/ sejalan.

Ditunjukkan pada gambar 20.6(a), (b), dan (c).

Berikut tahapan untuk menggambar diagram pergerakan :

- (1) Gambarlah setengah lingkaran dengan diagram di sumbu y sebagai diameternya.
- (2) Bagilah setengah lingkaran tersebut ke dalam beberapa nomor, kira-kira sampai 8.
- (3) Pisahkan dari beberapa sudut pada daerah cams selama daerah tersebut masih termasuk nomor yang sama ke dalam beberapa bagian.
- (4) Pada diagram yang didapat ini menjelaskan hasil yang terjadi, dapat dilihat pada gambar 20.6(a).

Diagram kecepatan dan percepatan ditunjukkan pada gambar 20.6(b) dan (c). Selama garis pada sumbu y berubah/berpindah secara harmoni maka kekonsistenan diagram kecepatan akan membentuk kurva sinus dan untuk percepatan akan membentuk kurva cosinus. Dapat dilihat pada gambar 20.6 (b) bahwa kecepatan pada sumbu y pada saat mulai adalah nol, kemudian meningkat ke nilai maksimum pada tengah grafik, dan pada grafik lainnya dapat dilihat bahwa pada kecepatan sumbu y adalah nilai maksimum pada saat akhir dan nol pada saat ditengah grafik.

$S$  = jarak titik puncak

$\theta_o$  dan  $\theta_R$  = jarak sudut dari cam selama dari titik puncak kembali ke bawah

$\omega$  = sudut kecepatan dari cam

Jadi waktu yang dibutuhkan untuk sampai ke puncak adalah :  $t_\theta = \frac{\theta_o}{\omega}$

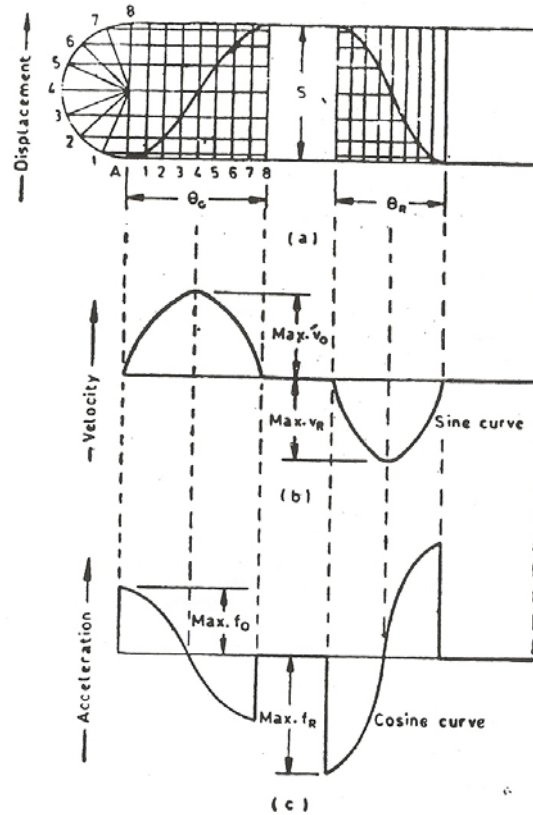


Fig. 20.6

Berdasarkan a poin P berpindah pada kecepatan yang seragam dari putaran  $\omega_p$  per detik untuk setiap putaran, dan dengan jarak  $S$ , sebagai diameter, ditunjukkan pada gambar 20.7. Titik P' dimana sebagai proyeksi dari titik P, yang diameter dari P'nya mengikuti secara harmonis pergerakan dari titik P. Maka gerakannya hampir sama dengan titik P.

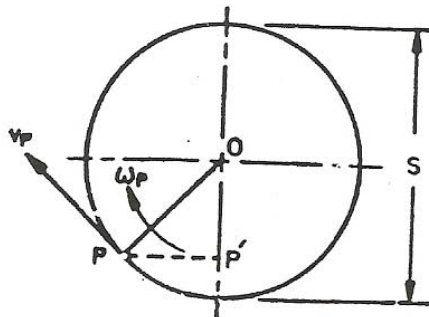


Fig. 20.7



Kecepatan di titik P :

$$v_p = \frac{\pi S}{2} \times \frac{1}{t_o} = \frac{\pi S}{2} \times \frac{\omega}{\theta_o}$$

Maksimum kecepatan daripada gerakan bayangannya/yang mengikutinya :

$$v_o = v_p = \frac{\pi S}{2} \cdot \frac{\omega}{\theta_o} = \frac{\pi \omega S}{2\theta_o}$$

Juga, kecepatan sentripetal pada titik P,

$$f_p = \frac{v_p^2}{OP} = \left( \frac{\pi \omega S}{2\theta_o} \right)^2 \times \frac{2}{S} = \frac{\pi^2 \omega^2 S}{2\theta_o^2}$$

Jadi maksimum kecepatan daripada elemen yang mengikuti diluarnya adalah :

$$f_o = f_p = \frac{v_p}{OP} = \frac{\pi^2 \omega^2 S}{2\theta_o^2}$$

Persamaan dari maksimum kecepatan elemen yang mengikuti adalah sebagai berikut :

$$v_R = \frac{\pi \omega S}{2\theta_R}$$

Maksimum dari percepatan pada saat kembali :

$$f_R = \frac{\pi^2 \omega^2 S}{2\theta_R^2}$$

**20-7 Diagram perubahan pergerakan, kecepatan, dan percepatan pada saat elemen yang terpengaruh ikut pindah dengan seragam tingkat percepatan dan perlambatannya.**

Perpindahan yang seragam ini ditunjukkan pada gambar 20.8 (a), (b), dan (c). Dapat dilihat dari kekonsistenan yang membentuk diagram parabola, dan struktur pembuatannya adalah sebagai berikut :

- (1) Bagi sudut yang berubah dari cam selama peningkatan i.e.  $\theta_o$  kedalam beberapa nomor yang berjumlah 8 angka. Dan gambar garis vertikal yang melalui titik-titik, dapat dilihat pada gambar 20.8(a).
- (2) Bagi titik puncak pada S kedalam nomor yang sama dengan ayat 1.
- (3) Gabungkan Aa ke pembagian ke dalam garis vertikal yang melalui titik 1 di B. Dan lakukan juga perlakuan yang sama pada titik lainnya yakni C,D,

dan sebagainya. Hal ini ditunjukkan pada gambar 20.8(a). Lalu gabungkan beberapa titik tersebut ke dalam hingga membentuk kurva yang parabolis untuk menuju titik puncaknya.

- (4) Dengan cara yang sama seperti diatas, pergerakkan diagram sampai terjadi pengembalian

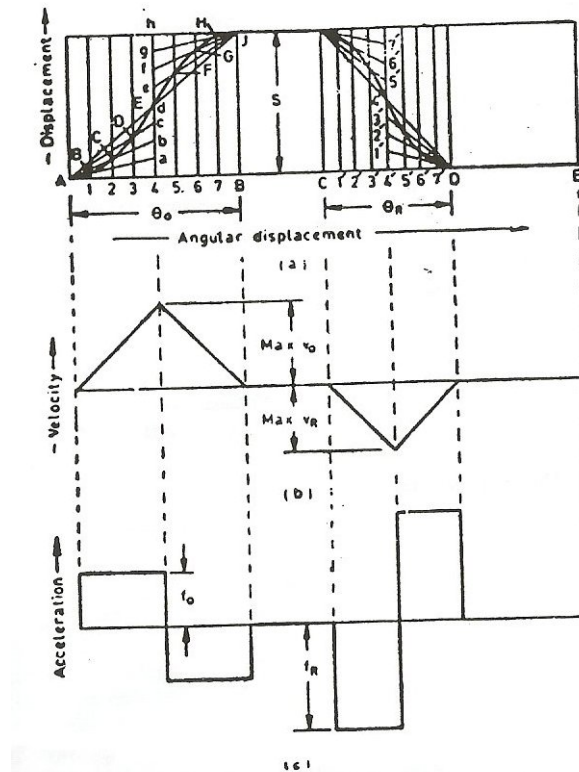


Fig. 20-8

Selama percepatan dan perlambatan yang seragam, terdapat variasi dari kecepatan yang terjadi pada saat yang sama. Kecepatan diagram dapat dilihat pada gambar 20.8(b).

Dimana:

S = stroke dari pengikut

$\theta_0$  dan  $\theta_r$  = sudut perpindahan dari knots selama keluar dari stoke dan kembali masing-masing stroke.

$\omega$  = kecepatan sudut dari knots

kita mengetahui bahwa waktu diperlukan untuk pengikut selama keluar stroke,

$$t_0 = \frac{\theta_0}{\omega}$$

dan waktu diperlukan oleh pengikut selama kembali stroke,

$$t_r = \frac{\theta_r}{\omega}$$

kecepatan rata-rata dari pengikut selama keluar stroke

$$= \frac{S}{t_o}$$

Dan kecepatan rata-rata dari pengikut selama stroke kembali

$$= \frac{S}{t_r}$$

Sejak kecepatan maksimum dari pengikut adalah sama dengan dua kali dari rata-rata, maka

Kecepatan maksimum dari pengikut selama keluar stroke adalah

$$v_o = \frac{2S}{t_o} = \frac{2\omega S}{\theta_o}$$

Persamaan kecelatan maksimum dari pengikut selama kembali stroke,

$$v_o = \frac{2\omega S}{\theta_R}$$

Kita lihat dari diagram percepatan yang ditunjukkan oleh gambar 20-8(c) yang selama separuh pertama dari keluar stroke ada kecepatan yang tidak seragam dan selama paruh kedua dari keluar stroke dari pengikut tercapai setelah waktu  $\frac{t_o}{2}$  (selama keluar stroke) dan  $\frac{t_R}{2}$  (selama stroke kembali)

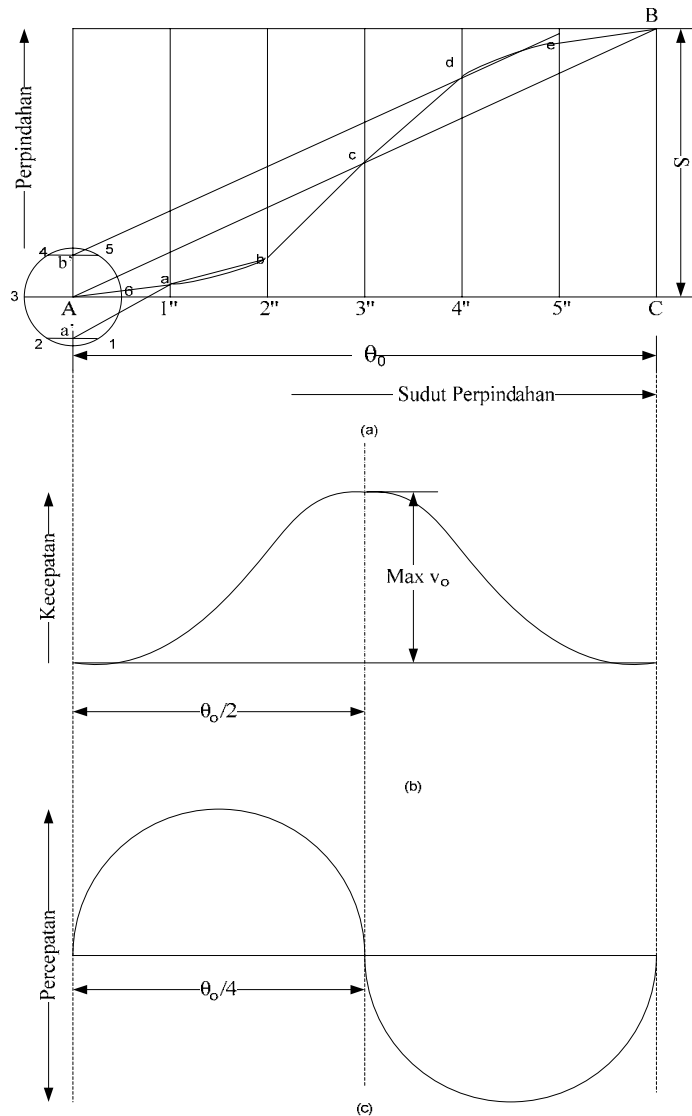
∴ kecepatan maksimum dari pengikut selama stroke keluar,

$$f_o = \frac{v_o}{t_o/2} = \frac{2 \cdot 2\omega S}{t_o \cdot \theta_o} = \frac{4\omega^2 S}{\theta_o^2}$$

Persamaan kecepatan maksimum dari pengikut selama stroke kembali,

$$f_o = \frac{4\omega^2 S}{\theta_R^2}$$

**20-9 Diagram perpindahan, kecepatan dan percepatan ketika pengikut bergerak dengan gerakan cyloidal.**



Gambar 20-9

Diagram perpindahan, kecepatan dan percepatan ketika pengikut bergerak dengan gerakan berputar ditunjukkan oleh gambar 20-9 (a), (b) dan (c). Kita mengetahui bahwa cycloid adalah kurva yang ditunjukkan oleh sebuah lingkaran tanpa slip ke garis lurus.

Dalam kasus knots, garis lurus ini adalah stroke dari pengikut yang diterjemahkan dan dikelilingi oleh lingkaran yang berputar adalah sama dengan

stroke S dari pengikut. Oleh karena itu, jari-jari dari lingkaran yang berputar adalah  $\frac{S}{2\pi}$ . Diagram perpindahan dijelaskan dibawah ini:

- (1) Gambarkan lingkaran dengan jari-jari  $\frac{S}{2\pi}$  dengan A sebagai pusat
- (2) Bagi lingkaran menjadi jumlah yang sama (enam bagian). Projek poin ini secara horizontal pada garis vertical pusat dari lingkaran itu. Poin ini ditunjukkan oleh a' dan b' pada gambar 20-9(a)
- (3) Bagi perpindahan angular knots selama keluar stroke ke jumlah yang sama dengan lingkaran yang dibagi. Gambar garis vertical melalui poin ini.
- (4) Gabungkan AB. Dari a' gambar sebuah garis parallel ke perpotongan AB pada garis vertical melalui 1', 2' pada a dan b.
- (5) Sama dengan yang atas. Dari b' gambar sebuah garis parallel ke perpotongan AB pada garis vertical melalui 4', 5' pada d dan e.
- (6) Gabung poin-poin A a b c d e B dengan menggunakan kurva yang mulus. Ini adalah kurva cycloidal yang dibutuhkan oleh pengikut selama outstroke.

Dimana

x = Perpindahan dari pengikut selama t detik

$\theta$  = Sudut yang telah dilalui oleh knots selama t detik

$\omega$  = Kecepatan angular dari knots =

$$\therefore x = S \left( \frac{\theta}{\theta_0} - \frac{1}{2\pi} \sin \frac{2\theta\pi}{\theta_0} \right) \dots\dots\dots (i)$$

Dan kecepatan dari pengikut selama t detik

$$\begin{aligned} \frac{dx}{dt} &= S \left( \frac{1}{\theta_0} \cdot \frac{d\theta}{dt} - \frac{2\pi}{2\pi\theta_0} \cos \frac{2\pi\theta}{\theta_0} \cdot \frac{d\theta}{dt} \right) \\ &= \frac{S}{\theta_0} \cdot \frac{d\theta}{dt} \left( 1 - \cos \frac{2\pi\theta}{\theta_0} \right) \\ &= \frac{\omega S}{\theta_0} \left( 1 - \cos \frac{2\pi\theta}{\theta_0} \right) \dots\dots\dots (ii) \end{aligned}$$

Kecepatan maksimum ketika

$$\cos \frac{2\pi\theta}{\theta_0} = -1$$

$$\text{Yaitu } \frac{2\pi\theta}{\theta_o} = \pi \quad \text{Atau} \quad \theta = \frac{\theta_o}{2}$$

Disubstitusikan  $\theta = \frac{\theta_o}{2}$  pada persamaan (ii), maka

Kecepatan maksimum dari pengikut selama outstroke adalah

$$v_o = \frac{\omega S}{\theta_o} (1 + 1) = \frac{2\omega S}{\theta}$$

Kecepatan maksimum pengikut selama kembali stroke

$$v_R = \frac{2\omega S}{\theta_R}$$

Percepatan pengikut setelah t detik

$$\begin{aligned} \frac{d^2x}{dt^2} &= \frac{\omega S}{\theta_o} \left( \frac{2\pi}{\theta_o} \sin \frac{2\pi\theta}{\theta_o} \cdot \frac{d\theta}{dt} \right) \\ &= \frac{2\pi\omega^2 S}{\theta_o^2} \sin \frac{2\pi\theta}{\theta_o} \quad (\because \frac{d\theta}{dt} = \omega) \end{aligned}$$

Percepatan maksimum ketika

$$\sin \frac{2\pi\theta}{\theta_o} = 1$$

$$\text{Yaitu } \frac{2\pi\theta}{\theta_o} = \frac{\pi}{2} \quad \text{Atau} \quad \theta = \frac{\theta_o}{4}$$

∴ Percepatan maksimum dari pengikut selama keluar stroke

$$f_o = \frac{2\pi\omega^2 S}{\theta_o^2}$$

∴ Percepatan maksimum dari pengikut selama stroke kembali

$$f_R = \frac{2\pi\omega^2 S}{\theta_R^2}$$

Diagram kecepatan dan percepatan ditunjukkan oleh gambar 20-9 (b) dan (c).

## 20-10 Konstruksi dari Profile Knots

Untuk menggambar profil dari knots, diagram perpindahan digambar diawal dari keseluruhan. Poin yang penting bahwa pengikut harus berputar berlawanan arah dari putaran knots. Kemudian dengan konstruksi knots untuk setiap posisi angular, permukaan kerja profil digambarkan. Konstruksi dari knots untuk tipe yang berbeda dari knots dengan tipe yang berbeda dari gerakan didiskusikan seperti contoh dibawah ini.

**Contoh 20.1** *gambarkan profil dari knots untuk pergerakan dari sudut pisau berikut ini:*

- a. *Outstroke selama  $60^\circ$  dari perputaran knots.*
- b. *Dwell untuk  $30^\circ$  selanjutnya dari perputaran knots.*
- c. *Stroke kembali selama  $60^\circ$  selanjutnya dari perputaran knots*
- d. *Dwell untuk menetapkan  $210^\circ$  dari perputaran knots*

*Stroke dari pengikut adalah 2 cm dan jari-jari minimum dari knots itu adalah 5 cm. poros pengikut ditentukan oleh 2 cm dari poros dari sudut knots. Pengikut bergerak dengan kecepatan seragam selama outstroke dan stroke kembali.*

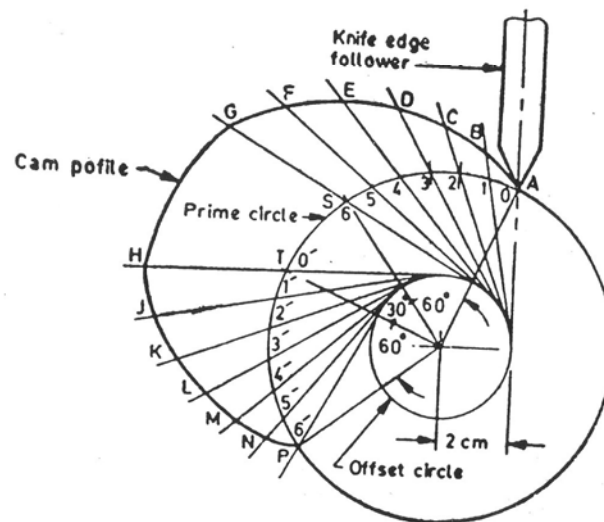
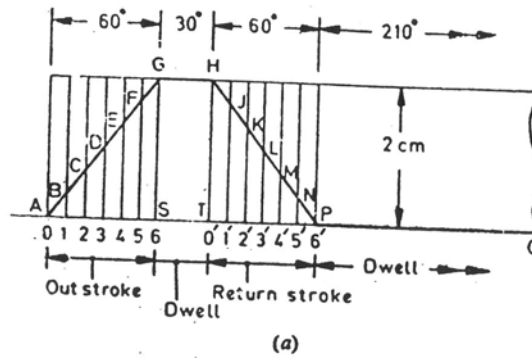
*(Calcuta University, 1975)*

### Konstruksi

Pertama-tama diagram perpindahan ditunjukkan oleh gambar 20-10 (a) digambarkan dengan langkah-langkah berikut ini:

- (1) Gambarkan garis horizontal  $APQ = 360^\circ$  dengan skala yang cocok. Tandai  $AS = 60^\circ$  untuk mewakili outstoke dari pengikut,  $ST = 30^\circ$  untuk mewakili dwell,  $TP = 60^\circ$  untuk mewakili stroke kembali dan  $PQ = 210^\circ$  untuk mewakili dwell.
- (2) Gambarkan garis vertikal sama dengan stroke dari pengikut.
- (3) Bagi perpindahan angular selama stroke keluar dan stroke kembali ke bagian yang sama (enam bagian).

- (4) Karena pengikut bergerak dengan pergerakan yang seragam selama outstroke dan kembali stroke maka diagram perpindahan terdiri dari garis lurus. Gabungkan AG dan HP.



Gambar 20.10

- (5) Diagram perpindahan yang lengkap ditunjukkan oleh AGHPQ pada gambar 20-10(a).

Sekarang profil dari knots dapat ditunjukkan oleh gambar 20-10 (b) digambarkan dengan langkah-langkah berikut ini:

- (1) Gambarkan lingkaran utama dengan jari-jari sama dengan jari-jari minimum dari knots ( yaitu 5 cm) dengan O sebagai pusat
- (2) Gambarkan dari sudut dari pengikut pada jarak 2 cm dari sudut dari knots.
- (3) Gabungkan AO dan gambarkan sebuah lingkaran dengan jari-jari 2 cm dengan pusat O.



- (4) Dari OA, tandai sudut AOS =  $60^\circ$  untuk mewakili outstroke, sudut SOT =  $30^\circ$  untuk mewakili dwell dan sudut TOP =  $60^\circ$  untuk mewakili stroke kembali.
- (5) Bagi perpindahan angular selama outstroke dan stroke kembali (yaitu sudut AOS dan TOP) ke jumlah bagian yang sama dari diagram perpindahan.
- (6) Sekarang dari poin 1, 2, 3 dst. dan  $0'$ ,  $1'$ ,  $2'$ ,  $3'$  dst. gambar tangen ke bagian luar lingkaran dan menghasilkan tangen ini berada di luar lingkaran utama seperti pada gambar 20-10 (b).
- (7) Sekarang hasilkan 1B, 2C, 3D...dst. dan  $0'H$ ,  $1'J$ ...dst. dari diagram jarak.
- (8) Gabungkan poin A, B, C...M, N, P dengan kurva rata. Kurva AGHPA merupakan profil lengkap dari cam.

**Contoh 20.2.** Gambar profil cam mengikuti gerakan harmonis yang sederhana seperti di bawah ini :

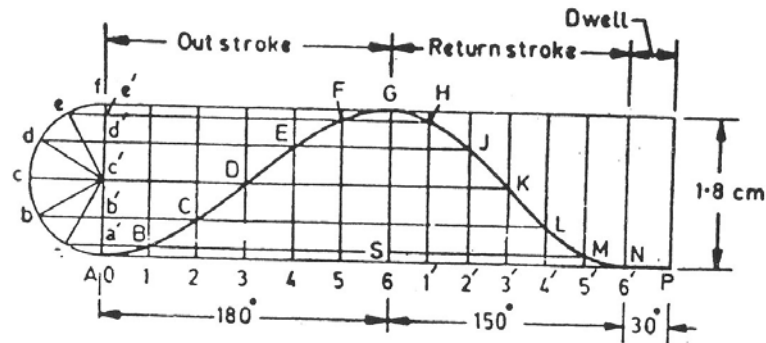
- (a) Dengan jarak maksimum dari 1-8 cm selama  $180^\circ$  putaran cam.
- (b) Stroke kembali untuk putaran cam  $150^\circ$  selanjutnya, dan
- (c) Renungan selama putaran cam sisa  $30^\circ$ .

Poros dari follower melewati sampai poros camshaft. Radius minimum dari cam yaitu 1-5 cm.

(Universitas Kerala, 1976)

**Konstruksi**

Pertama dari semuanya, diagram jarak seperti di gambar 20-11 digambar dengan langkah berikut :

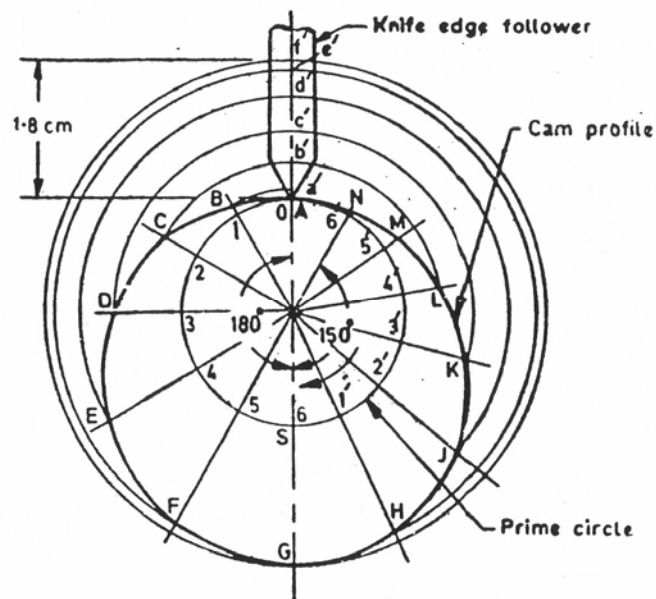


Gambar 20.11

- (1) Gambar garis horizontal  $ASP = 360^{\circ}$  dengan skala yang pantas. Di garis ini, tandai  $AS = 180^{\circ}$  menghadirkan outstroke,  $SN = 150^{\circ}$  untuk menghadirkan stroke kembali dan  $NP = 30^{\circ}$  untuk menghadirkan dwell.
- (2) Gambar garis vertical  $Af = 1.8$  cm untuk menghadirkan stroke dari follower dan melingkapi lingkaran seperti di gambar 20-11.
- (3) Bagi jarak bersudut selama outstroke dan stroke kembali ke beberapa bagian yang sama (ada 6 bagian).
- (4) Selama follower berpindah dengan gerakan harmonis yang sederhana, oleh karena itu gambar semi lingkaran dengan  $Af$  sebagai diameter dan bagi ke 6 bagian yang sama.
- (5) Dari poin a, b, c...dst. gambar garis horizontal melintasi garis vertikal sampai 1, 2, 3...dst. dan  $0', 1', 2'...$ dst. di B, C, D,...M, N.
- (6) Gabungkan poin A, B, C...dst. dengan kurva rata yang ditampilkan pada gambar 20-11. Ini keperluan diagram jarak.

Sekarang profil dari cam ditampilkan pada gambar 20-12 yang digambar berdasarkan langkah berikut :

- (1) Gambar lingkaran utama dengan radius yang sama untuk radius minimum dari cam (1-5 cm) dengan O sebagai pusat.



Gambar 20.12

- (2) Bagi lingkaran utama dengan sudut AOS =  $180^0$ , sudut SON =  $150^0$  dan sudut NOA =  $30^0$ .
- (3) Bagi sudut AOS dan SON ke jumlah yang sama dari bagian (6 bagian) seperti di diagram jarak.
- (4) Gabungkan poin 1, 2, 3...5', 6' dengan O sebagai pusat dan hasilnya seperti pada gambar 20-12
- (5) Dari poin 1, 2, 3...dst., tandai jarak tersebut sebagai ukuran dari diagram jarak.
- (6) Sekarang gabungkan poin A, B, C...M, N, A dengan kurva rata. Ini profil keperluan dari cam.

*Catatan :*

*Poin A, B, C...dst. pada gambar 20-12 dapat diperoleh dari langkah berikut :*

- (a) *Gambar Af = 1,8 cm dan tandai jarak A'a, a'b', b'c'...dst. sama dengan jarak ke Aa', a'b', b'c'...dst. di diagram jarak.*
- (b) *Sekarang dari tengah cam O, gambar busur lingkaran dengan Oa', Ob'...dst. Busur lingkaran ini memotong garis O1, O2,...dst. Di B, C, D...L, M, N.*

*Contoh 20-3. Sebuah cam, dengan radius minimum 2,5 cm, berputar searah jarum jam dengan kecepatan yang seragam dirancang untuk memberi gulungan pada follower, di ujung dari tangkai klep gerakan tersebut dijelaskan seperti di bawah ini :*

- (a) *Untuk meningkatkan klep sampai 5 cm selama putaran  $120^0$  dari cam;*
- (b) *Untuk menjaga klep tetap meningkat sampai  $30^0$  selanjutnya;*
- (c) *Untuk menurunkan klep selama  $60^0$  selanjutnya;*
- (d) *Untuk menjaga klep menutup selama revolusi istirahat i.e.  $150^0$ .*

*Diameter dari roller yaitu 2 cm dan camshaft yaitu 2,5 cm.*

*Gambar profil cam ketika*

- (i) *Garis dari stroke tangkai klep lewat sampai poros dari camshaft, dan*
- (ii) *Garis dari stroke yaitu 1,5 cm dari poros camshaft.*

*Jarak dari klep, ketika meningkat dan menurun sama dengan gerakan harmonis sederhana. Tentukan maksimum akselerasi dari tangkai klep ketika camshaft berputar pada 100 r.p.m.*

Gambar diagram jarak, percepatan dan akselerasi untuk melengkapi satu revolusi cam.

(A.M.I.E., Winter 1974)

Solusi :

Radius minimum dari cam = 2,5 cm

Stroke dari klep, S = 5 cm

Jarak bersudut dari cam untuk meningkatkan klep (selama outstroke),

$$\theta_R = 120^\circ = 120 \times \frac{\pi}{180} = 2.1 \text{ rad}$$

Jarak bersudut dari cam untuk menjaga klep tetap terbuka (selama dwell setelah outstroke) =  $30^\circ$

Jarak bersudut dari cam untuk menurunkan klep selama stroke kembali,

$$\theta_R = 60^\circ = 60 \times \frac{\pi}{180} = 1.047 \text{ rad}$$

Jarak bersudut dari cam untuk menjaga klep tetap menutup (selama dwell setelah stroke kembali) =  $150^\circ$

Diameter roller = 2 cm

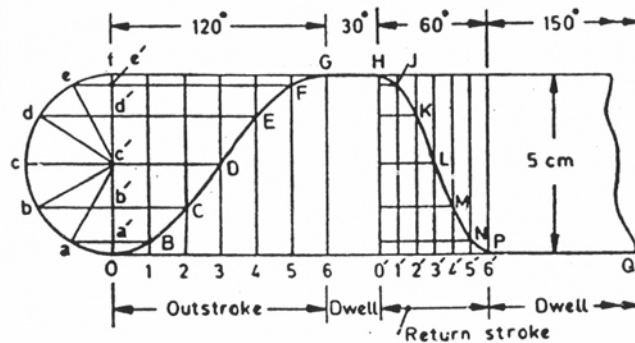
Diameter camshaft = 2,5 cm

Kecepatan cam, N = 100 r.p.m.

∴ Kecepatan sudut dari cam,

$$\omega = \frac{2\pi N}{60} = \frac{2\pi \times 100}{60} = 10.47 \text{ rad/detik}$$

Pertama, diagram jarak yang ditampilkan pada gambar 20-13 digambar berdasarkan langkah yang sama dengan contoh sebelumnya.

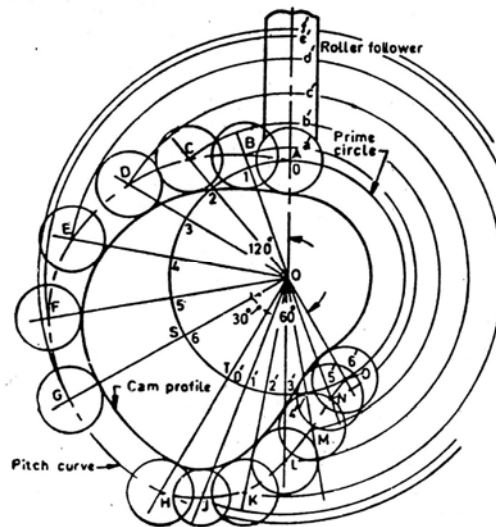


Gambar 20.13

- (i) *Profil cam ketika garis dari stroke di tangkai klep melewati sampai poros dari camshaft*

Profil dari cam digambar dengan langkah berikut :

- (1) Gambar lingkaran utama dengan pusat O dan radius  
 $OA = \text{min.radius dari cam} + \frac{1}{2} \text{ diameter roller}$   
 $= 2,5 + \frac{1}{2} \times 2 = 3.5 \text{ cm}$
- (2) Gambar sudut  $AOS = 120^{\circ}$  untuk menampilkan outstroke dari klep, sudut  $SOT = 30^{\circ}$  untuk menampilkan dwell dan sudut  $TOP = 60^{\circ}$  untuk menampilkan stroke kembali dari klep.
- (3) Bagi jarak sudut selama outstroke dan stroke kembali (sudut AOS dan TPO) ke bagian yang sama dari setiap bagian di giagram jarak.
- (4) Gabungkan poin 1, 2, 3 dst. dengan pusat O dan menghasilkan garis di luar lingkaran utama seperti pada gambar 20-14.
- (5) Buat 1B, 2C, 3D dst. sama dengan jarak dari diagram jarak.
- (6) Gabungkan poin A, B, C...N, P, A. kurva yang digambar sampai poin ini dikenal sebagai kurva lemparan (*pitch curve*).
- (7) Dari poin A, B, C, ..., N, P, gambarkan lingkaran sebesar jari-jari dari *roller* (alat penggulung).
- (8) Sekarang gambarkan tampak dari *cam* dengan kurva yang halus seperti ditunjukkan pada Gambar 20.14.

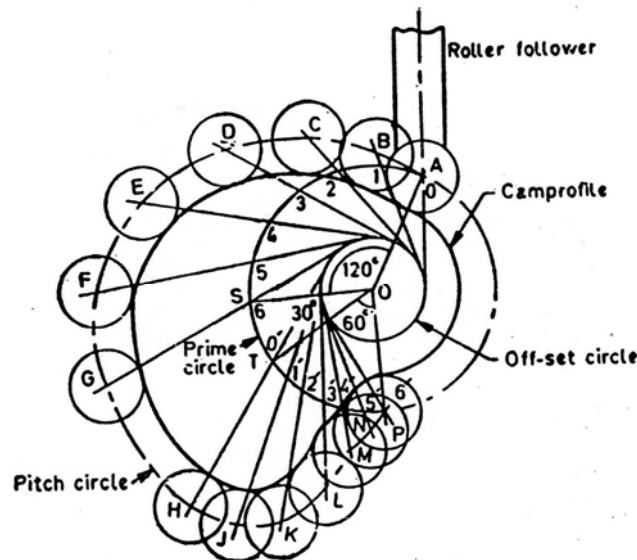


Gambar 20.14

- (ii) *Tampak dari cam (bubungan) ketika gerak garis (line of stroke) mengimbangi (offset) 1.5 cm dari sumbu poros cam*

Tampang dari *cam* ketika gerak garis *mengimbangi (offset)* sumbu poros *cam*, dapat digambarkan seperti ditulis pada langkah-langkah berikut.

- (1) Gambarkan lingkaran utama dengan pusat  $O$  dan jari-jari  $OA = 3.5$  cm.
- (2) Gambarkan lingkaran keluar dengan pusat  $O$  dan jari-jari sama dengan 1.5 cm.
- (3) Gabungkan  $OA$ . Dari  $OA$  gambar pemindahan bersudut (*angular displacements*) dari *cam*, contohnya gambar sudut  $AOS = 120^\circ$ , sudut  $SOT = 30^\circ$ , dan sudut  $TOP = 60^\circ$ .
- (4) Bagi pemindahan bersudut dari *cam* selama gerak *mengimbangi (offset)* dan gerak kembali ke dalam jumlah yang sama dari bagian-bagian yang genap (contoh : 6 bagian) seperti pada diagram pemindahan.



Gambar 20.15

- (5) Dari poin 1, 2, 3, ..., dst dan  $1', 2', 3', \dots$ , dst gambarkan garis singgung dari lingkaran luar (*offset*).
- (6) Pasangkan  $1B, 2C, 3D, \dots$ , dst sama dengan pemindahan seperti yang terukur dalam diagram pemindahan.
- (7) Dengan menggabungkan poin  $A, B, C, \dots, M, N, P$  dengan kurva yang halus, kita mendapatkan kurva puncak.

- (8) Sekarang dari poin  $A, B, C, \dots$ , dst gambarkan lingkaran dengan jari-jari sama dengan jari-jari alat pengguling (*roller*).
- (9) Gabungkan bagian bawah dari lingkaran-lingkaran ini dengan kurva yang halus seperti ditunjukkan pada Gambar 20.15. ini merupakan tampak *cam* yang diperlukan.

Kita mengetahui bahwa kecepatan maksimum dari tangkai katup (*valve rod*) untuk menaikkan katup,

$$v_o = \frac{\pi\omega S}{2\theta_o} = \frac{\pi \times 10.47 \times 5}{2 \times 2.1} = 39.15 \text{ cm/detik}$$

dan kecepatan maksimum dari tangkai katup untuk menurunkan katup,

$$v_R = \frac{\pi\omega S}{2\theta_R} = \frac{\pi \times 10.47 \times 5}{2 \times 1.047} = 78.52 \text{ cm/detik}$$

Diagram kecepatan untuk satu putaran penuh dari *cam* dapat digambarkan seperti ditunjukkan pada Gambar 20.6 (b).

*Percepatan maksimum dari tangkai katup*

Dimana  $f_o$  dan  $f_R$  = percepatan maksimum dari tangkai katup untuk menaikkan dan menurunkan katup secara berturut-turut.

Menggunakan hubungan

$$\begin{aligned} f_o &= \frac{\pi^2\omega^2 S}{2\theta_o^2} \text{ dengan notasi / angka biasa} \\ &= \frac{\pi^2 \times 10.47^2 \times 5}{2 \times 2.1^2} = 613.4 \text{ cm/detik}^2 \quad (\text{Jawab}) \end{aligned}$$

Juga menggunakan hubungan

$$\begin{aligned} f_o &= \frac{\pi^2\omega^2 S}{2\theta_R^2} \text{ dengan notasi / angka biasa} \\ &= \frac{\pi^2 \times 10.47^2 \times 5}{2 \times 1.047^2} = 2.467 \text{ cm/detik}^2 \quad (\text{Jawab}) \end{aligned}$$

Diagram percepatan untuk satu putaran penuh dari *cam* dapat digambarkan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 20.6 (c).

**Contoh 20.4.** Sebuah cam, dengan jari-jari minimum 5 cm, berputar searah jarum jam pada kecepatan seragam, dibutuhkan untuk memberikan pada tepi pisau pengikut (*follower*) gerakan seperti di bawah ini :

- (a) Untuk bergerak keluar sejauh 4 cm selama cam berotasi  $100^\circ$ ;
- (b) Diam untuk  $80^\circ$  berikutnya;
- (c) Kembali ke posisi awal selama  $90^\circ$  berikutnya; dan
- (d) Diam selama sisa periode putaran, cth  $90^\circ$ .

Gambarkan tampak cam

- (i) Ketika gerak garis dari pengikut melewati pusat poros cam (*camshaft*), dan
- (ii) Ketika gerak garis dari pengikut mengimbangi (*offset*) 1.5 cm.

Pemindahan dari pengikut terjadi dengan percepatan seragam dan perlambatan seragam. Tentukan kecepatan maksimum dan percepatan dari pengikut ketika poros cam berputar pada 900 rpm.

Gambar diagram pemindahan, kecepatan, dan percepatan untuk satu putaran penuh dari cam.

(A.M.I.E., Summer 1974)

**Solusi :**

Diketahui Jari-jari minimum dari cam = 5 cm

Gerak pengikut,

$$S = 4 \text{ cm}$$

Pemindahan bersudut dari cam selama pergerakan,

$$\theta_o = 100^\circ = 100 \times \frac{\pi}{180} = 1.745 \text{ rad}$$

Pemindahan bersudut dari cam selama keadaan diam setelah pergerakan keluar  
=  $80^\circ$

Pemindahan bersudut dari cam selama pergerakan kembali,

$$\theta_R = 90^\circ = 90 \times \frac{\pi}{180} = 1.571 \text{ rad}$$

Pemindahan bersudut dari cam selama keadaan diam setelah pergerakan kembali  
=  $90^\circ$

Kecepatan cam , N = 900 rpm

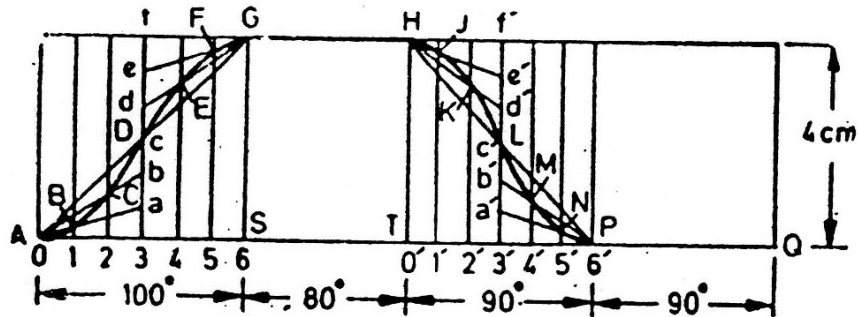


∴ Kecepatan bersudut,

$$\omega = \frac{2\pi N}{60} = \frac{2\pi \times 900}{60}$$

$$= 94.26 \text{ rad/detik}$$

Pertama dari seluruh diagram pemindahan seperti ditunjukkan pada Gambar 20.16 digambarkan seperti dijelaskan pada langkah-langkah berikut ini :



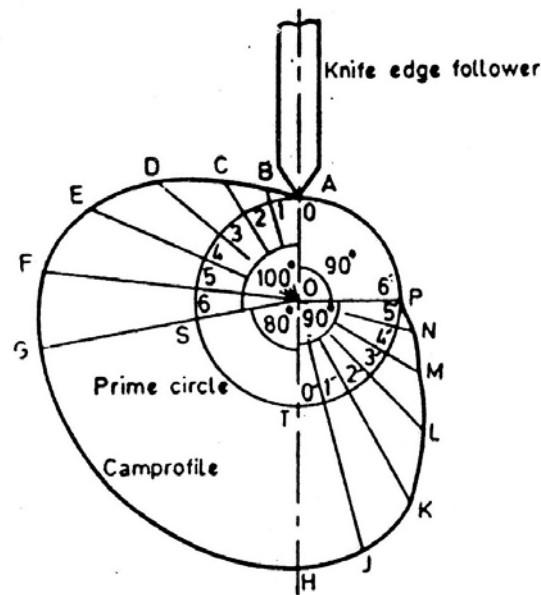
Gambar 20.16

- (1) Gambarkan sebuah garis horizontal  $ASTPQ$  seperti  $AS$  menggambarkan pemindahan bersudut dari *cam* selama pergerakan keluar (cth  $100^\circ$ ) pada suatu skala yang sesuai. Garis  $ST$  menggambarkan periode diam dari  $80^\circ$  setelah gerakan keluar. Garis  $TP$  menggambarkan pemindahan bersudut dari *cam* selama gerakan kembali (cth  $90^\circ$ ) dan garis  $PQ$  menggambarkan periode diam dari  $90^\circ$  setelah gerakan kembali.
- (2) Bagilah  $AS$  dan  $TP$  ke dalam jumlah bagian genap yang sama (seperti 6)
- (3) Gambarkan garis vertikal melalui 0, 1, 2, 3, dst dan sebanding dengan pengangkatan katup, cth 4 cm.
- (4) Bagilah garis vertikal 3- $f$  dan 3'- $f'$  ke dalam enam bagian yang sama seperti ditunjukkan pada poin  $a, b, c, \dots$  dan  $a', b', c', \dots$  dalam Gambar 20.16.
- (5) Karena pengikut bergerak dengan percepatan seragam dan perlambatan seragam yang sama, maka pada diagram pemindahan untuk gerakan keluar dan gerakan kembali terdiri dari parabola ganda.
- (6) Lengkapi diagram pemindahan seperti ditunjukkan pada Gambar 20.16.

- (i) *Tampak dari cam ketika garis gerak dari pengikut melewati pusat poros cam*

Tampak dari *cam* ketika garis gerak dari pengikut melewati pusat poros *cam*, dapat digambarkan seperti dijelaskan pada beberapa langkah berikut :

- (1) Gambarkan lingkaran utama dengan pusat  $O$  dan jari-jari 5 cm (sebesar jari-jari minimum dari *cam*).
- (2) Bagilah lingkaran utama seperti dengan sudut  $AOS = 100^\circ$ ; sudut  $SOT = 80^\circ$ ; sudut  $TOP = 90^\circ$ .

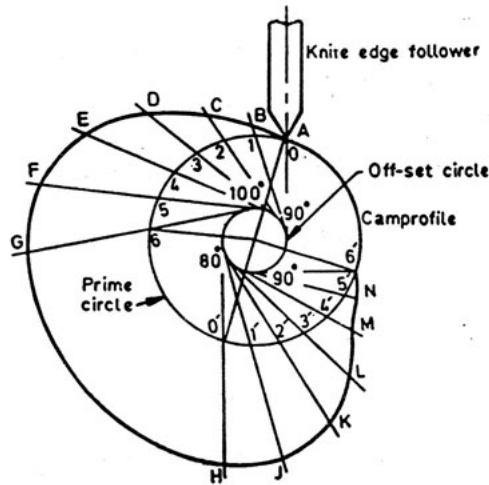


Gambar 20.17

- (3) Bagilah sudut  $AOS$  dan  $TOP$  ke dalam jumlah bagian genap yang sama pada diagram pemindahan (cth 6 bagian).
- (4) Hubungkan poin 1, 2, 3, ... dan 1', 2', 3', ... dengan pusat  $O$  dan buat garis-garis ini melewati lingkaran utama.
- (5) Dari poin 1, 2, 3, ... dan 1', 2', 3', ... tandai pemindahan seperti yang terukur pada diagram pemindahan.
- (6) Hubungkan poin  $A, B, C, \dots, M, N, P$  dengan kurva yang halus seperti ditunjukkan pada Gambar 20.17. Kurva ini menunjukkan tampak *cam* yang diinginkan.

(ii) Tampak dari cam ketika garis gerak dari pengikut mengimbangi (*offset*) 1.5 cm

Tampak dari *cam* ketika garis gerak dari pengikut mengimbangi (*offset*) dapat digambarkan seperti dijelaskan pada Contoh 20.3. Tampak *cam* ditunjukkan pada Gambar 20.18.



Gambar 20.18

Kecepatan maksimum dari pengikut selama pergerakan

Dimana  $v_o$  = kecepatan maksimum dari pengikut selama pergerakan

Gunakan hubungan

$$v_o = \frac{\pi \omega S}{\theta_o} \text{ dengan notasi biasa}$$

$$= \frac{2 \times 94.26 \times 4}{1.745} = 433 \text{ cm/detik} \quad (\text{Jawab})$$

Kecepatan maksimum dari pengikut selama gerakan kembali

Dimana 'R = Kecepatan maksimum pengikut selama pergerakan

Dengan menggunakan hubungan :

$$V_R = \frac{2\omega S}{\theta_R}$$

$$= \frac{2 \times 94.26 \times 4}{1.571} = 480 \text{ cm/detikAns}$$

Diagram kecepataannya dapat digambarkan seperti yang terlihat pada gambar 20.8 (b).

Percepatan maksimum pada saat outstroke ( $f_o$ )

$$\begin{aligned} f_o &= \frac{4\omega^2 S}{\theta_0^2} \\ &= \frac{42 \times 94.26^2 \times 4}{1.745^2} = 33.950 \text{ cm/sec}^2 \text{ Ans} \end{aligned}$$

Percepatan maksimum pada saat stroke kembali ( $f_R$ )

$$\begin{aligned} f_R &= \frac{4\omega^2 S}{\theta_R} \\ &= \frac{42 \times 94.26^2 \times 4}{1.571} = 35.900 \text{ cm/sec} \text{ Ans} \end{aligned}$$

Diagram kecepatannya dapat digambarkan seperti yang terlihat pada gambar 20.8 (c).

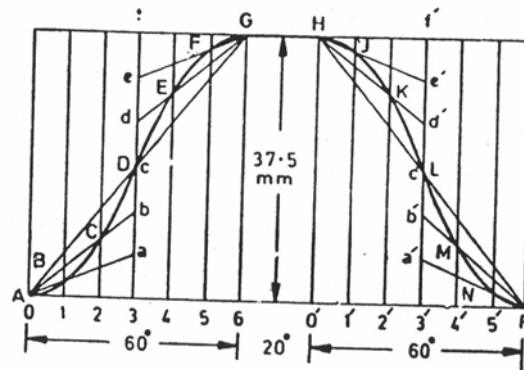
**Contoh 20.5** Desain sebuah knot untuk mengoperasikan katup pembuangan dari minyak mesin. Hal itu diperlukan untuk memberikan percepatan yang sama dan seragam dan retardasi selama membuka dan menutup katup tiap perputaran  $60^\circ$  pada knot tersebut. Katup pada posisi terbuka dengan penuh untuk  $20^\circ$  perputaran knot tersebut. Tinggi dari katup sebesar 37.5 mm dan radius terkecil dari knot tersebut adalah 50 mm. Terdapat roller dengan diameter 50 mm dan stroke melalui sumbu dari knot.

### Penjelasan

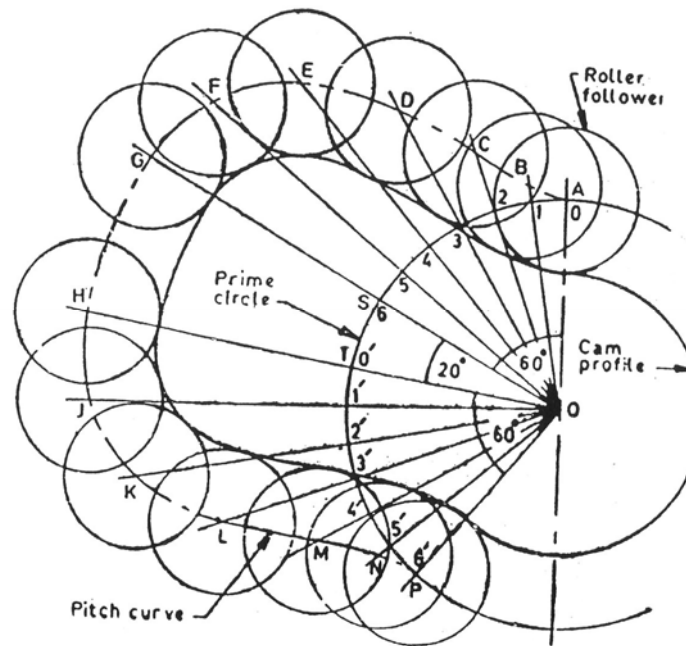
Pertama-tama, diagram yang terdapat pada gambar 20.19 merupakan hasil penggambaran dari langkah-langkah di bawah ini :

1. Gambar garis horisontal ASTP yang menunjukkan sudut perpindahan dari knot selama katup terbuka` (yaitu outstroke), sama dengan  $60^\circ$ , dengan skala yang sesuai. Garis ST menunjukkan waktu pendek sebesar  $20^\circ$ . Periode selama katup terbuka dan TP menunjukkan perpindahan sudut selama katup tertutup (yaitu stroke kembali) yang sama dengan  $60^\circ$ .
2. Bagi AS dan TP ke dalam beberapa nomor bagian yang sama (misalnya 6).
3. Gambar garis vertikal yang melalui titik 0, 1, 2, 3, dst, dan sama dengan tinggi katup yaitu 37.5 mm.

4. Bagi garis vertikal 3f dan 3'f' ke dalam 6 bagian yang sama seperti yang ditunjukkan dengan titik a, b, c, ... dan a', b', c', .... pada gambar 20.19.



Gambar 20.19



Gambar 20.20

5. Katup berpindah dengan percepatan dan retardasi yang sama. Oleh karena itu, diagram untuk katup terbuka dan tertutup terdiri atas parabola ganda.
6. Gabungkan perpotongan Aa, Ab, dan Ac garis vertikal melalui 1, 2, dan 3 pada B, C, dan D secara berturut-turut.
7. Gabungkan titik B, C, dan D dengan sebuah kurva. Ini merupakan keperluan parabola untuk separuh outstroke dari katup. Sama dengan kurva yang lainnya digambarkan pada gambar 20.19.

8. Kurva ABC...M, N, P, merupakan pemindahan dari diagram.

Keterangan mengenai knot digambarkan melalui langkah-langkah penjelasan pada contoh di atas. Knot dapat dilihat pada gambar 20.20.

**Contoh 20.6** Sebuah knot berputar searah jarum jam pada sebuah kecepatan yang sama yaitu 1000 rpm, yang diperlukan untuk membuat penyokong/pengikut roller bergerak dengan gambaran sebagai berikut :

- Penyokong bergerak keluar sepanjang 2.5 cm dengan sudut  $120^0$  dari perputaran knot.
- Penyokong yang tinggal untuk selanjutnya berputar  $60^0$  dari perputaran knot.
- Penyokong yang kembali memiliki posisi awal untuk selanjutnya sebesar  $90^0$  dari perputaran knot.
- Penyokong yang tinggal untuk perputaran knot yang berhenti/beristirahat.

Radius minimum dari knot adalah 5 cm dan diameter roller sebesar 10 mm. Garis dari *stroke* penyokong/pengikut dipasang 2 cm dari sumbu knot. Jika perpindahan dari penyokongnya memiliki tempat yang seragam dan sama kecepatannya dan retardasinya saat stroke keluar dan kembali, gambar profil dari knot dan hitung kecepatan maksimum dan percepatannya selama outstroke dan stroke kembali.

### Solusi

Diketahui :

$$N = 1000 \text{ rpm}$$

$$\begin{aligned} \rightarrow \text{Sehingga, Kecepatan angular : } \omega &= \frac{2\pi N}{60} = \frac{2\pi \times 1000}{60} \\ &= 104.7 \text{ rad/detik} \end{aligned}$$

Penyokong dari stroke :  $S = 2.5 \text{ cm}$

Perpindahan angular dari knot selama terjadi outstroke :

$$\theta_A = 120^0 = 120 \times \frac{\pi}{180} = 2.1 \text{ rad}$$

Perpindahan angular dari knot selama diam =  $60^0$

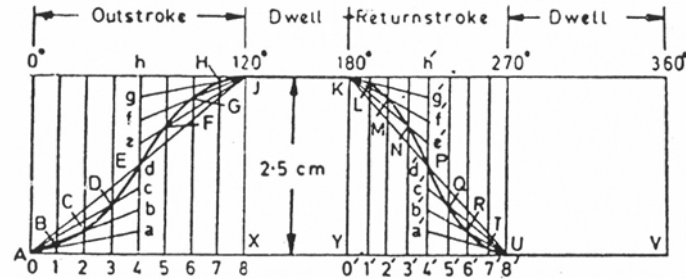
Perpindahan angular dari knot selama stroke kembali :

$$\theta_R = 90^0 = 90 \times \frac{\pi}{180} = 1.57 \text{ rad}$$

Radius minimum dari knot = 5 cm

Diameter roller = 10 mm = 1 cm

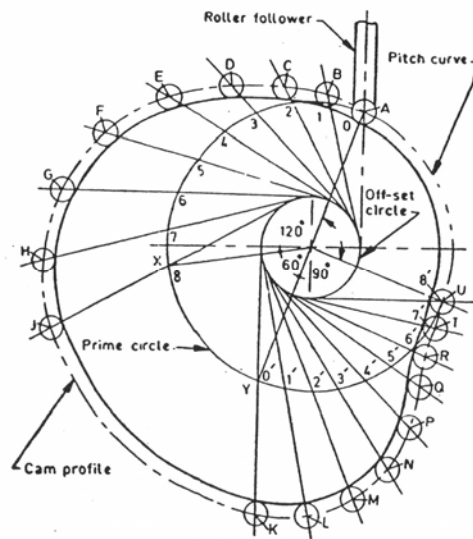
Jarak = 2 cm



Gambar 20.21

Pertama, gambar diagram seperti yang tergambar pada gambar 20.21. Langkah penyelesaiannya sama seperti yang telah dibahas pada contoh sebelumnya, tetapi dalam kasus ini perpindahan angular dan penyokong dari stroke dibagi ke dalam 8 bagian yang sama. Profil knot dapat dilihat pada gambar 20.22 yang telah sesuai dengan metode seperti langkah berikut :

1. Gambar lingkaran utama dengan pusat O dan radius  
 $OA = \text{radius minimum knot} + \text{radius roller}$   
 $= 5 + 0.5 = 5.5 \text{ cm}$
2. Gambar lingkaran lain dengan pusat O dan radius sama = 2 cm.
3. Bagi pergeseran angular dari knot selama outstroke dan saat stroke kembali menjadi beberapa bagian yang sama seperti yang terlihat pada titik 0, 1, 2,... dan 0', 1', 2',.....dst pada gambar 20.22
4. Dari titik tersebut gambarkan garis singgung pada lingkaran lain.
5. Tempatkan 1B, 2C, 3D...dst sama ukurannya dengan pergeseran dari pergeseran diagram.
6. Dalam menggabungkan titik A, B, C, ....., T, U, A dengan kurva, maka akan diperoleh puncak kurvanya.
7. Berdasarkan titik A, B, C,...T, U maka gambarkan lingkaran dengan radius yang sama dengan radius dari roller.
8. Gabungkan bagian bawah dari lingkaran tersebut dengan sebuah kurva untuk mendapatkan profil knot seperti yang tergambar pada gambar 20.22.



Gambar 20.22

Kecepatan maksimum dari penyokong / pengikut yang terjadi selama outstroke ( $V_o$ ) :

$$V_o = \frac{2\omega S}{\theta_o}$$

$$= \frac{2 \times 104.7 \times 2.5}{2.1}$$

$$= 249.3 \text{ cm/detik Ans.}$$

Kecepatan maksimum dari penyokong / pengikut yang terjadi selama stroke kembali ( $V_R$ ) :

$$V_R = \frac{2\omega S}{\theta_R}$$

$$= \frac{2 \times 104.7 \times 2.5}{1.57}$$

$$= 333.4 \text{ cm/detik Ans.}$$

Percepatan maksimum dari penyokong / pengikut yang terjadi selama outstroke ( $f_o$ ) :

$$f_o = \frac{4\omega^2 S}{\theta_o^2}$$

$$= \frac{4 \times 104.7^2 \times 2.5}{2.1^2}$$

$$= 24.86 \text{ cm/detik}^2 \text{ Ans.}$$



Percepatan maksimum dari penyokong / pengikut yang terjadi selama stroke kembali ( $f_R$ ) :

$$\begin{aligned} f_R &= \frac{4\omega^2 S}{\theta_R^2} \\ &= \frac{4 \times 104.7^2 \times 2.5}{1.57^2} \\ &= 44.46 \text{ cm/detik Ans.} \end{aligned}$$

**Contoh 20.7** Gambar profil dari knot saat beroperasi dengan roller yang diakhiri penyokongnya, dari data berikut :

Radius terkecil dari knot = 70 mm

Sudut kenaikan =  $60^\circ$

Sudut antara kenaikan dan penurunan =  $45^\circ$

Sudut penurunan =  $75^\circ$

Tinggi penyokong = 40 mm

Diameter roller = 30 mm

Jarak antara garis stroke dari penyokong dan sumbu dari knot = 20 mm.

Penyokong / pengikutnya berpindah dengan gerakan yang selaras selama mengalami kenaikan dan dengan percepatan yang sama dan gerakan perlambatan selama penurunan.

Jika knot berputar 60 rpm. Hitung kecepatan maksimum dan percepatan dari penyokong/pengikutnya selama terjadi kenaikan dan penurunan.

**Solusi :**

Radius roda sisir paling sedikit = 70 mm

Sudut kenaikan,  $\theta_0 = 60^\circ = 60 \times \frac{\pi}{180} = 1.047 \text{ rad}$

Sudut antara kenaikan dan penurunannya =  $45^\circ$

Sudut penurunan,  $\theta_R = 75^\circ = 75 \times \frac{\pi}{180} = 2.18 \text{ rad}$

Penggerak penyokongnya,  $S = 40 \text{ mm} = 4 \text{ cm}$

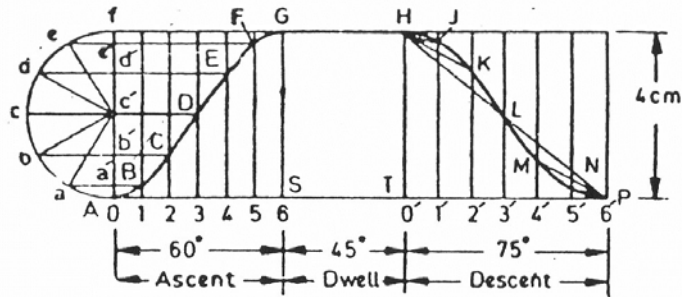
Diameter kawat gulung = 30 mm

Jarak antara garis dari gaya penyokongnya dengan poros dari batang roda sisirnya = 20 mm

Kecepatan dari batang roda sisir ,  $N = 60$  r.p.m

Siku dari kecepatan dari batang roda sisir,

$$\therefore \omega = \frac{2\pi N}{60} = \frac{2\pi \times 60}{60} = 6.284 \text{ rad/sec}$$



Gambar 20.23

Pertama-tama, pemindahan gambar seperti yang ditunjukkan dalam diagram 20.3 adalah sebagai berikut :

1. Sejak penyokongnya bergerak dengan irama yang sederhana selama kenaikan (untuk  $60^\circ$  dari rotasi roda sisir), untuk itu digambarkan perpindahan garis ADG dengan cara yang mendekati seperti yang telah didiskusikan pada contoh 20.3
2. Sejak penyokongnya bergerak dengan seksama dipercepat dan diperlambat selama penurunan (untuk  $75^\circ$  dari rotasi roda sisir ), untuk itu digambarkan perpindahan garis HLP yang terdiri dari parabola ganda seperti yang telah didiskusikan seperti pada contoh 20.5

Profil dari roda sisir :

Profil dari roda sisir seperti yang ditunjukkan di gambar 20.24 seperti yang digambarkan pada contoh 20-3.

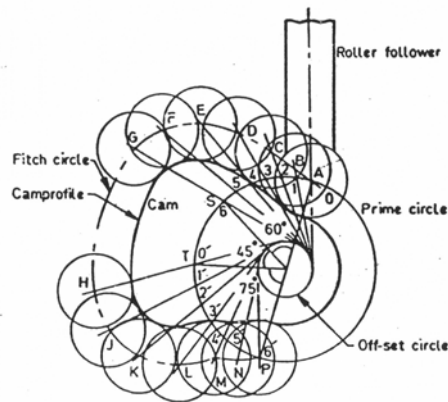
Kecepatan maximum dari pengikut selama kenaikan :

$$v_0 = \text{kecepatan maximum dari penyokong selama kenaikan}$$

Sejak pergerakan penyokong selama kenaikan berlangsung adalah gerakan yang sederhana, karena itu digunakan relasi :

$$v_0 = \frac{\pi \omega S}{2\theta_0} \quad \text{dengan notasi yang umum dipakai}$$

$$= \frac{\pi \times 6.284 \times 4}{2 \times 1.047} = 37.7 \text{ cm/sec}$$



Gambar 20.24

Kecepatan maximum dari penyokong selama penurunan :

$v_R$  = kecepatan maximum dari penyokong selama penurunan

Karena pergerakan penyokong selama penurunan berlangsung adalah gerakan yang sederhana, karena itu digunakan relasi :

$$v_R = \frac{2\omega S}{\theta R}$$

$$= \frac{2 \times 6.284 \times 4}{2.13} = 23 \text{ cm/sec}$$

Percepatan maximum dari penyokong selama kenaikan :

$f_0$  = percepatan maximum dari penyokong selama kenaikan

Karena pergerakan penyokong selama kenaikan merupakan irama yang sederhana, karena itu menggunakan relasi :

$$f_0 = \frac{\pi^2 \omega^2 S}{2\theta^2}$$

$$= \frac{\pi^2 \times 6.284^2 \times 4}{2 \times 1.047} = 710 \text{ cm/sec}$$

Percepatan maximum dari pengikut selama penurunan :

$f_R$  = percepatan maximum dari pengikut selama penurunan

Karena pergerakan penyokong selama penurunan merupakan irama yang sederhana, karena itu menggunakan relasi :

$$f_R = \frac{4\omega^2 S}{\theta R^2}$$

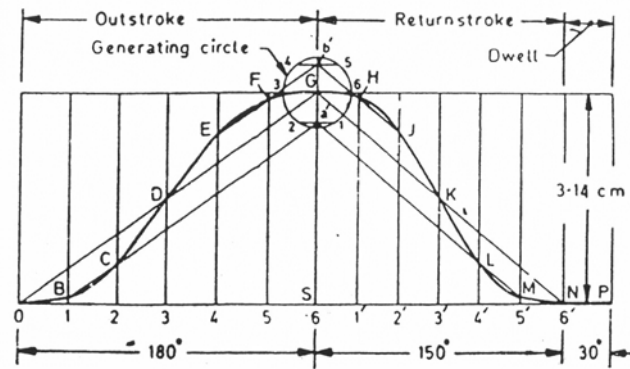
$$= \frac{4 \times 6.284^2 \times 4}{2.18^2} = 133 \text{ cm/sec}$$

**Contoh 20.8** Gambarkan profil roda sisir ketika kawat gulung pengikat bergerak secara *cycloidal* selama gaya di luar dan gaya yang kembali, seperti diketahui di bawah ini :

- Gaya luar dengan perpindahan maksimum sebesar 3.14 cm selama 180° dari rotasi roda sisir
- Gaya kembali untuk 150° selanjutnya dari rotasi roda sisir
- Sisa yang tertinggal 30° dari rotasi roda sisir

Radius minimum dari roda sisir adalah 1.5 cm dan diameter kawat gulung dari pengikat adalah 1 cm. Poros dari kawat gulung di atur 1 cm menghadap kanan dari poros batang roda sisir.

**Konstruksi**



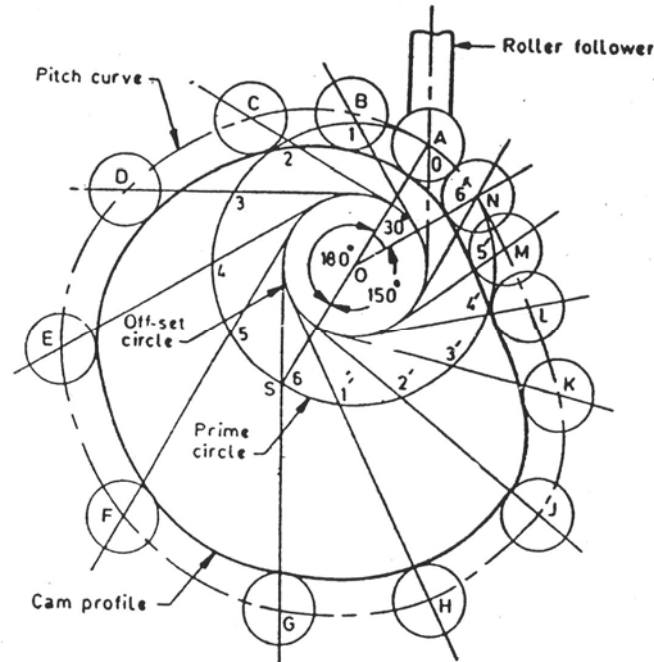
Gambar 20.25

Pertama-tama, pemindahan gambar seperti yang ditunjukkan dalam diagram 20.25 seperti yang telah didiskusikan dalam langkah-langkah berikut :

- Gambar secara horizontal garis OSP seperti OS yang merepresentasikan gaya luarnya, SN merepresentasikan gaya kembali dan NP adalah periode kembalinya.
- Bagi OS dan SN ke dalam nomor dari jumlah bagiannya yang sama (misalnya 6)
- Dari nomor 1, 2, 3, dan seterusnya, gambar garis vertikal dan pasang dengan sejajar terhadap gaya dari penyokongnya.
- Dari titik G, gambar lingkaran dari radiusnya :

$$r = \frac{\text{Stroke}}{2\pi} = \frac{3.14}{2\pi} = \frac{1}{2} \text{ cm}$$

5. Kemudian bagi lingkaran sentral listrik ke dalam 6 bagian yang sama dan dari bagian-bagian ini, gambarlah secara horizontal garis yang mengenai diameter vertikal pada a', G, dan b'.



Gambar 20.26

6. Gabungkan OG dan GN. Dari titik a' gambar garis paralel ke OG dan GN dengan memotong garis vertikal melewati 1, 2, 4, dan 5 pada B, C, M, dan L. Gambar garis serupa paralel dari titik b' melewati garis yang melalui 4, 5, 1', 2' pada E, F, H, dan J.
7. Gabungkan titik O, B, C.....L, M, N dengan garis lengkung tipis.
8. Garis lengkung O, B, C.....L, M, N adalah garis yang diperlukan dalam diagram perpindahan.

Sekarang profil dari roda sisir yang ditunjukkan dalam gambar 20.26 dapat tergambar berdasarkan metode yang telah didiskusikan dalam contoh yang dibuat.

### Latihan

1. Gambarkan profil dari potongan bubungan / roda sisir yang memberikan suatu gerakan yang seragam ke penyokong tepi pisau selama putaran 50 mm, pada setengah putaran pertama bubungan tersebut. Kemudian penyokong akan

kembali ke posisi semula dengan gerakan yang seragam selama setengah putaran berikutnya. Radius minimum bubungan adalah sebesar 50 mm dan diameter lubang bubungan 35 mm. Posisi poros penyokong melintang terhadap poros dari lubang bubungan.

( Poona University )

2. Potongan bubungan berotasi searah jarum jam, biasanya digunakan untuk menggerakkan gulungan dengan gerakan harmonis sederhana secara melingkar, keterangannya adalah sebagai berikut :
  - (i) Berada di luar gerakan / putaran dengan pemindahan maksimum 25 cm dengan rotasi bubungan sebesar  $120^\circ$
  - (ii) Tetap bergerak pada rotasi sebesar  $60^\circ$
  - (iii) Gerakan terbalik dengan penempatan maksimum sebesar 25 cm rotasi bubungan sebesar  $90^\circ$
  - (iv) Tetap bergerak selama sisa  $90^\circ$  rotasi bubungan

Garis penyokong yang berlawanan melintang terhadap sumbu / poros lubang bubungan. Jari-jari maksimum 2 cm. Jika bubungan berotasi pada kecepatan yang seragam sebesar 300 rpm, carilah kecepatan maksimum dan percepatan maksimum selama di luar gerakan dan gerakan terbalik. Diameter penggulung = 8 mm.

( Agra University )

3. Gambarkan profil bubungan pada no.2 dimana garis dari penyokong yang berlawanan diseimbangi dengan 2 cm ke kanan dari sumbu / poros lubang bubungan.
4. Suatu bubungan berotasi searah jarum jam dengan kecepatan 100 rpm, diperlukan untuk memberikan gerakan ke penyokong tepi pisau, keterangannya adalah sebagai berikut :
  - (a) Penyokong menggerakkan 2-5 cm di sebelah luar dengan rotasi bubungan  $120^\circ$
  - (b) Penyokong diam untuk rotasi  $60^\circ$  berikutnya
  - (c) Penyokong kembali pada posisi awal selama rotasi  $90^\circ$  berikutnya
  - (d) Penyokong diam sepanjang sisa dari rotasi bubungan

Jari-jari minimum bubungan 5 cm, dan garis gerakan dari penyokong melintang / melewati sumbu lubang bubungan. Jika pemindahan penyokong terjadi dengan seragam dan sama dengan percepatan dan perlambatan pada kedua sisi sebelah luar dan gerakan terbalik, temukan kecepatan maksimum dan percepatan maksimum selama di luar gerakan dan gerakan terbalik !

( Mysore University )

5. (SI units). Gambarkan bubungan yang memberikan daya angkat 37,5 mm ke penyokong pemutar. Diameter pemutar 25 mm dan garis putaran / gerakan diseimbangi oleh 20 mm sumbu bubungan. Sisi luar penyokong terjadi dengan gerakan harmonis sederhana selama rotasi bubungan  $72^\circ$ , diikuti dengan satu periode istirahat selama  $18^\circ$  rotasi bubungan. Penyokong kemudian berbalik dengan percepatan dan perlambatan yang sama selama  $54^\circ$  rotasi bubungan. Jari-jari minimum bubungan 50 mm.

Jika bubungan berotasi pada kecepatan 240 rpm, carilah percepatan maksimum selama di luar gerakan dan gerakan terbalik !

( Patna University )

Tahukah kamu ?

1. Apa yang kamu ketahui tentang bubungan dan penyokong ?
2. Jelaskan dengan gambar yang rapi macam-macam jenis bubungan dan penyokong!
3. Mengapa penyokong pemutar lebih baik daripada penyokong tepi pisau ?
4. Temukan arti dari istilah bubungan berikut ini dengan gambar rapi :
  - (a) base circle (lingkaran dasar)
  - (b) pitch circle (lingkaran bubungan)
  - (c) pressure angle ( sudut tekanan )
  - (d) stroke of the follower ( gerakan penyokong )
5. Apa saja tipe-tipe gerakan yang dapat digerakkan oleh penyokong ?
6. Gambarkan diagram pemindahan, kecepatan, dan percepatan untuk sebuah penyokong ketika bergerak dengan gerakan harmonis sederhana. Carilah lambang dari kecepatan dan percepatan selama di luar gerakan dan gerakan terbalik dari penyokong !