

ANALISIS POSISI DAN KECEPATAN MEKANISME ENKOL PELUNCUR DENGAN PROGRAM KOMPUTER

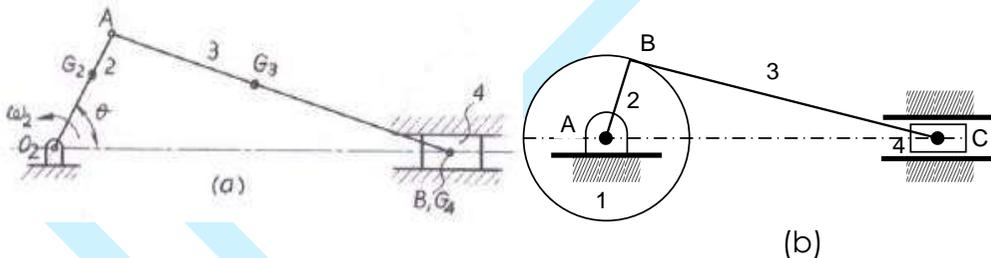
Mustafa¹⁾

Abstrak: Penelitian ini bertujuan untuk menganalisa posisi dan kecepatan seluruh kondisi batang sesuai dengan perubahan posisi batang 2 secara cepat pada suatu mekanisme engkol peluncur. Metode yang digunakan adalah metode bilangan kompleks dengan bantuan program komputer (Program Fortran 77). Hasil analisis yang diperoleh memperlihatkan bahwa metode ini dapat menghitung dan mengevaluasi seluruh kondisi batang seiring dengan perubahan posisi sudut batang 2 secara tepat dan cepat.

Kata kunci: Analisa matematis, mekanisme engkol peluncur, batang, posisi, kecepatan.

I. PENDAHULUAN

Mekanisme engkol peluncur merupakan suatu hal yang khusus dari suatu sistem rangkaian batang penghubung empat batang seperti yang ditunjukkan pada gambar 1.a, sedangkan gambar 1.b. menunjukkan suatu hasil modifikasi dari sistem rangkaian batang penghubung engkol peluncur pada sebuah motor bakar torak.



Gambar 1. Mekanisme Engkol Peluncur

Mekanisme engkol peluncur sangat luas dipakai. Contoh yang umum dari penggunaannya dapat ditemukan dalam mesin bensin dan mesin diesel dimana gaya dorong gas bekerja pada torak (batang 4). Gerakan dipindahkan melalui batang penghubung 3 ke engkol 2. Ada 2 posisi titik mati selama siklus masing-masing, satu untuk tiap posisi ujung dari peluncur. Sebuah roda terbang yang dipasang pada kruk as yang diperlukan untuk membawa engkol di luar posisi ini. Mekanisme ini juga digunakan dalam kompresor udara, dimana sebuah motor listrik atau mesin bensin menggunakan engkol dan dalam putarannya torak menekan udara.

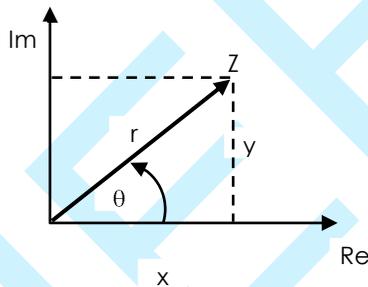
¹ Staf Pengajar Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Tadulako, Palu

A. Mekanisme Engkol Peluncur.

Mekanisme engkol peluncur merupakan elemen pokok pada sistem kerja motor bahan bakar bensin atau solar. Mekanisme ini adalah suatu sistem yang berfungsi untuk menghisap dan menekan bahan bakar bensin ke dalam silinder guna mendapatkan temperatur tinggi pada gas bahan bakar kemudian meledak di atas permukaan piston (torak), dimana ledakan inilah yang mendorong piston (torak) sekaligus merubah gerak vertikal menjadi gerak berputar pada batang poros engkol menjadi tenaga pembangkit untuk memenuhi kebutuhan.

B. Persamaan Dasar Metode Bilangan Kompleks

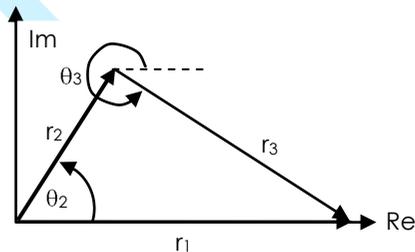
Suatu vektor dapat dituliskan dalam bentuk bilangan kompleks yaitu: $z = x + iy$ dimana x dan y adalah bilangan riil, i adalah unit imajinasi dengan $i^2 = -1$ atau $z = r.e^{i\theta} = r(\cos\theta + i\sin\theta)$ seperti yang ditunjukkan pada gambar 2 berikut:



Gambar 2. Bentuk Bilangan Kompleks

C. Penurunan Rumus Posisi dan Kecepatan Mekanisme Engkol Peluncur.

Berdasarkan mekanisme engkol peluncur pada gambar 1 di atas, maka dibuat mekanisme vektornya seperti gambar 3 berikut ini:



Gambar 3. Bentuk vektor mekanisme engkol peluncur

Secara matematis persamaan vektor posisi mekanisme engkol peluncur adalah:

$$\begin{aligned} R_B &= R_1 \\ R_B &= R_2 \mapsto R_3 \\ R_1 &= R_2 \mapsto R_3 \end{aligned}$$

Atau dalam bilangan kompleks ditulis:

$$r_1 e^{i\theta_1} = r_2 e^{i\theta_2} + r_3 e^{i\theta_3}$$

Dengan harga r_2 dan r_3 konstan dan r_1 bervariasi sesuai dengan posisi dari torak. Oleh karena θ_1 harganya tidak berubah ($\dot{\theta}_1 = 0$), maka $e^{i\theta_1} = 1$, sehingga persamaan posisi dititik B (posisi torak) sebagai berikut:

$$r_1 = r_2 e^{i\theta_2} + r_3 e^{i\theta_3} \dots\dots\dots (1)$$

Jika persamaan (1) dideferensialkan akan menghasilkan persamaan kecepatan dititik B (kecepatan torak) sebagai berikut:

$$V_B = \dot{r}_1 = r_2 \omega_2 (e^{i\theta_2}) + r_3 \omega_3 e^{i\theta_3} \dots\dots (2)$$

Parameter r_2 , r_3 , θ_2 , ω_2 adalah besaran-besaran yang diketahui, sedangkan empat besaran berikut yaitu r_1 , \dot{r}_1 , θ_3 dan ω_3 harus ditentukan.

Dua parameter posisi r_1 dan θ_3 ditentukan dari persamaan (1) dengan cara menyamakan bagian riil dan imajinerinya sebagai berikut:

$$r_1 = r_2 \cos\theta_2 + r_3 \cos\theta_3 \dots\dots\dots (3)$$

$$0 = r_2 \sin\theta_2 + r_3 \sin\theta_3 \dots\dots\dots (4)$$

Dari persamaan (4) diperoleh sudut pada batang 3 (θ_3) yaitu:

$$\theta_3 = \sin^{-1} \left(\frac{-r_2 \sin\theta_2}{r_3} \right) \dots\dots\dots (5)$$

Kemudian persamaan (3) dapat digunakan untuk menentukan r_1 .

Dengan cara yang sama, dari persamaan (2) digunakan untuk menentukan \dot{r}_1 dan ω_3 sebagai berikut:

$$\dot{r}_1 = -r_2 \omega_2 \sin\theta_2 - r_3 \omega_3 \sin\theta_3 \dots\dots (6)$$

$$0 = r_2 \omega_2 \cos\theta_2 + r_3 \omega_3 \cos\theta_3 \dots\dots (7)$$

Dari persamaan (7) diperoleh kecepatan sudut pada batang 3 (ω_3) yaitu:

$$\omega_3 = -\omega_2 \left(\frac{r_2 \cos\theta_2}{r_3 \cos\theta_3} \right) \dots\dots\dots (8)$$

Setelah itu harga \dot{r}_1 dapat ditentukan dari persamaan (6).

II. METODOLOGI

A. Metode Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimen yaitu dengan cara mencoba membuat program untuk menganalisa posisi dan kecepatan batang pada mekanisme engkol peluncur. Program yang digunakan adalah Program Fortran 77 dan dilakukan di Laboratorium Teknik Mesin Universitas Tadulako.

B. Prosedur Penelitian

Membuat Algoritma Pemrograman

Berdasarkan persamaan (1) sampai persamaan (8) di atas, untuk menghitung posisi, dan kecepatan dari mekanisme engkol peluncur, maka algoritma pemrograman untuk analisis matematis mekanisme tersebut dapat dibagi menjadi:

1. Data Input (Masukan)

Data masukan untuk pemrograman ini berupa parameter panjang batang 2 (r_2), panjang batang 3 (r_3), sudut engkol pada batang 2 (θ_2) yang akan bergerak mulai 0° sampai 360° , dan kecepatan sudut batang 2 (ω_2) yang berputar dengan kecepatan konstan. Perubahan sudut engkol (θ_2) selama bergerak dari 0° sampai 360° , dapat dilihat pada hasil simulasi pada tabel 1, 2, 3, dan 4 di lampiran 2. *Source Program* yang dibuat dengan Fortran 77 untuk analisis penentuan posisi dan kecepatan mekanisme engkol peluncur ditunjukkan pada lampiran 1.

2. Proses perhitungan

Proses perhitungan pada program komputer didasarkan pada persamaan (1) sampai persamaan (8).

Semua parameter yang dihitung akan selalu berubah sesuai dengan perubahan posisi sudut engkol (θ_2).

3. Data Output (Keluaran)

Data keluaran yang dihasilkan dari analisa matematis mekanisme engkol peluncur ini berupa harga-harga posisi sudut batang 3 ($\theta_3 = \text{THETA3}$), posisi torak ($r_1 = R_B$), kecepatan sudut batang 3 (ω_3), kecepatan torak ($\dot{r}_1 = v_B$). Data keluaran ini dapat dilihat pada tabel 1, 2, 3, 4 (lampiran 2).

III. HASIL SIMULASI DAN ANALISA

A. Data Simulasi

Simulasi dilakukan untuk mekanisme engkol peluncur yang batang engkolnya berputar dari 0° sampai 360° . Data lain yang dipakai dalam simulasi ini adalah sebagai berikut:

- Panjang batang engkol (r_2) yang bervariasi mulai dari 0,05 m, 0,10 m, 0,15 m dan 0,20 m.

- Panjang batang penghubung (r_3) = 0,3 m.
- Kecepatan sudut batang 2 (ω_2) = 1800 rpm = 188.4 rad/s

Data di atas merupakan data masukan untuk simulasi posisi dan kecepatan mekanisme engkol peluncur.

Simulasi dilakukan untuk satu putaran poros engkol mulai dari 0° sampai 360° , dengan kenaikan 15° . Simulasi dilakukan dengan merubah panjang poros engkol mulai 0,05 m, 0,10 m, 0,15 m, 0,20 m, sedangkan data masukan lain dibuat tetap. Tujuan melakukan hal ini adalah untuk melihat bagaimana perubahan dimensi poros engkol akan mempengaruhi variabel-variabel dalam mekanisme engkol peluncur. Sebenarnya dengan simulasi semacam ini, ada berbagai variabel yang bisa diubah-ubah untuk melihat bagaimana pengaruh variabel yang diubah tersebut akan berpengaruh terhadap variabel lainnya yang bisa dipakai sebagai indikator untuk melihat karakteristik mekanisme engkol peluncur.

B. Hasil Simulasi

Hasil simulasi dapat dilihat pada tabel 1, 2, 3 dan 4 (lampiran 2) yang merupakan hasil simulasi dengan panjang poros engkol 0,05 m dan 0,10 m, 0,15 m dan 0,20 m. $R_B = r_1$ pada hasil simulasi menunjukkan posisi torak selama poros engkol berputar satu putaran. Parameter THETA2 menyatakan besarnya sudut engkol terhadap sumbu X (positif untuk putaran poros engkol berlawanan dengan arah jarum jam (*ccw*)). Parameter THETA3 menyatakan besarnya sudut batang penghubung terhadap sumbu X (positif untuk putaran poros engkol berlawanan dengan arah jarum jam (*ccw*)). Parameter W2 adalah kecepatan sudut (*angular velocity*) dari poros engkol, W3 adalah kecepatan sudut dari batang penghubung 3, dan $(\dot{r}_1) = v_B$ merupakan kecepatan torak (piston) yang berada pada titik B.

C. Analisa Hasil Simulasi

Berdasarkan tabel 1, 2, 3, dan 4 (lampiran 2) data hasil simulasi, maka dapat dilihat:

- Pada posisi sudut batang 2 dan panjang batang 3 yang konstan, terlihat bahwa semakin besar panjang poros engkol, maka:

- Posisi sudut batang 3 cenderung menurun. Hal ini disebabkan oleh karena sudut yang dibentuk antara batang 2 dan batang 3 semakin berkurang seiring meningkatnya panjang poros engkol.

Pada posisi sudut batang 2 yang sama yaitu $\Theta = 90^\circ$:

$$R_2 = 0,05 \text{ m} \rightarrow \Theta = 351.7$$

$$R_2 = 0,10 \text{ m} \rightarrow \Theta = 343.2$$

$$R_2 = 0,15 \text{ m} \rightarrow \Theta = 334.3$$

$$R_2 = 0,20 \text{ m} \rightarrow \Theta = 324.7$$

- Posisi torak cenderung bervariasi kondisinya meningkat dan menurun, sesuai dengan lokasi kuadran poros engkol berada.

- Kecepatan sudut batang 3 semakin besar. Tanda + pada parameter W_3 menunjukkan bahwa arah kecepatan sudut berlawanan dengan arah dengan jarum jam (*counter clock wise*), sedangkan tanda - menunjukkan arah sebaliknya (*clock wise*). Untuk panjang poros engkol 0,05 m, kecepatan sudut maksimum untuk batang penghubung 3 adalah -31,4 rad/s atau 31,4 rad/s (untuk sudut poros engkol 0° , 180° , 360°).

Untuk panjang poros engkol 0,10 m, kecepatan sudut maksimum untuk batang penghubung 3 adalah -62,8 rad/s atau 62,4 rad/s (untuk sudut poros engkol 0° , 180° , 360°).

Untuk panjang poros engkol 0,15 m, kecepatan sudut maksimum untuk batang penghubung 3 adalah -94,2 rad/s atau 94,2 rad/s (untuk sudut poros engkol 0° , 180° , 360°).

Untuk panjang poros engkol 0,20 m, kecepatan sudut maksimum untuk batang penghubung 3 adalah -125,6 rad/s atau 125,6 rad/s (untuk sudut poros engkol 0° , 180° , 360°). Besar kecilnya kecepatan sudut dari batang penghubung 3 pada mekanisme engkol peluncur ini akan berpengaruh terhadap besar kecilnya gaya yang timbul pada batang-batang tersebut. Walaupun pada simulasi ini belum dilakukan perhitungan tentang seberapa besar gaya yang timbul pada setiap batang, akan tetapi besarnya kecepatan sudut yang terjadi pada batang penghubung 3 mengindikasikan bahwa gaya-gaya yang lebih besar akan muncul pada batang yang memiliki kecepatan sudut lebih besar.

- Kecepatan torak pada titik B cenderung meningkat. Kondisi ini terjadi oleh karena peningkatan panjang poros engkol menyebabkan semakin besarnya kecepatan pada pena A yang tentunya akan mempengaruhi pergerakan dari torak pada titik B. Kecepatan maksimum torak pada simulasi ini terjadi disekitar posisi sudut poros engkol 60° dan 75° , yaitu:

$$R_2 = 0,05 \text{ m} \rightarrow V_B = -9.5040 \text{ (pada } \Theta = 75^\circ)$$

$$R_2 = 0,10 \text{ m} \rightarrow V_B = -19.8743 \text{ (pada } \Theta = 75^\circ)$$

$$R_2 = 0,15 \text{ m} \rightarrow V_B = -31.3660 \text{ (pada } \Theta = 75^\circ)$$

$$R_2 = 0,05 \text{ m} \rightarrow V_B = -46.0401 \text{ (pada } \Theta = 60^\circ)$$

- Pada setiap panjang poros engkol batang 2 dan panjang batang penghubung 3 yang konstan, kelihatan bahwa semakin besar posisi sudut poros engkol (Θ), maka:

Posisi sudut batang 3 bervariasi kondisinya. Pada simulasi ini posisi sudut batang 3 menurun pada daerah $0^\circ \leq \Theta \leq 90^\circ$, meningkat pada daerah $90^\circ < \Theta \leq 180^\circ$, Kemudian terjadi pembalikan posisi sudut yang dibentuk oleh batang 2 dan 3 sebesar 360 sehingga pada kondisi $180 < \Theta \leq 270^\circ$ meningkat mulai dari 0° , kemudian menurun pada daerah $270 < \Theta \leq 360^\circ$. Penyebab kejadian ini adalah perubahan posisi sudut yang dibentuk antara batang 2 dan batang 3.

- Posisi torak bervariasi kondisinya yaitu menurun pada $0 \leq \Theta \leq 180^\circ$, dan

meningkat pada $180 < \theta \leq 360^\circ$, sebagai akibat perputaran poros engkol yang menyebabkan torak bergerak bolak balik dari titik mati atas ke titik mati bawah.

- Kecepatan sudut batang 3 juga bervariasi kondisinya, sama seperti yang dialami oleh posisi sudut batang 3.
- Kecepatan torak pada titik B juga bervariasi kondisinya. Pada simulasi ini kecepatan torak mengalami peningkatan pada daerah $0^\circ \leq \theta \leq 90^\circ$, menurun pada daerah $90^\circ < \theta \leq 180^\circ$, Kemudian terjadi peningkatan lagi pada daerah $180 < \theta \leq 270^\circ$, menurun pada daerah $270 < \theta \leq 360^\circ$.

IV. KESIMPULAN

Dari hasil simulasi dan analisa posisi dan kecepatan mekanisme engkol peluncur secara analitik dengan bantuan komputer, dapat disimpulkan bahwa:

1. Semakin besar panjang poros engkol untuk posisi sudut batang 2 dan panjang batang 3 yang konstan, maka:
 - Posisi sudut batang 3 cenderung menurun.
 - Posisi torak cenderung bervariasi kondisinya yaitu meningkat dan menurun.
 - Kecepatan sudut batang 3 semakin besar.
 - Kecepatan torak pada titik B cenderung meningkat.
2. Semakin besar posisi sudut poros engkol untuk setiap panjang poros engkol batang 2 dan panjang batang penghubung 3 yang konstan maka:
 - Posisi sudut batang 3 bervariasi kondisinya yaitu menurun dan meningkat.
 - Posisi torak bervariasi kondisinya yaitu menurun dan meningkat.
 - Kecepatan sudut batang 3 juga bervariasi kondisinya.
 - Kecepatan torak pada titik B juga bervariasi kondisinya.
3. Metode ini dapat mengevaluasi seluruh kondisi batang seiring dengan perubahan posisi sudut batang 2 secara cepat.

V. DAFTAR PUSTAKA

Holowenko, A.R, 1980. *Dynamics of Machinery*. John Willey & Sons Inc.

Hutahaean, Ramses Y, 2005. *Mekanisme dan Dinamika Mesin*, ANDI Yogyakarta.

Martin, George H, 1982. *Kinematika dan Dinamika Teknik*, Erlangga, Jakarta.

Nasution, Amrinsyah, 1986. *FORTRAN 77, Pengenal Program dan Terapannya*, Erlangga, Jakarta.

Lampiran 1. Source Program (Fortran 77) untuk Analisa Matematis Penentuan Posisi dan Kecepatan Mekanisme Engkol Peluncur

C Tahapan Informasi dan Eksekusi Program:

C 1. Membuat Judul Program:

```
WRITE(*,*) 'PROGRAM ANALISA POSISI DAN KECEPATAN MEKANISME ENGKOL
" PELUNCUR'
WRITE(*,*)'=====
" ====='
```

2. Membaca Data Input (Masukan):

```
WRITE(*,*) 'Input data yang diketahui:'
READ(*,*)
WRITE(*,*) 'Panjang Batang-2 ..... R2 (m) = ?'
READ(*,*) R2
WRITE(*,*) 'Panjang Batang-3 ..... R3 (m) = ?'
READ(*,*) R3
WRITE(*,*) 'Kecepatan Sudut Batang-2 ..... W2 (rad/s) = ?'
READ(*,*) W2
WRITE(*,*) 'Percepatan Sudut Batang-2 ..... ALPHA2 (rad/s2) = ?'
READ(*,*) ALPHA2
WRITE(*,*)
WRITE(*,*) 'Berdasarkan input data tersebut di atas, maka diperoleh
" hasil, sbb:'
```

C 3. Proses Perhitungan dan Hasil Output Data.

```
WRITE(*,*)
WRITE(*,*) ' TABEL-1.HASIL SIMULASI (PANJANG POROS ENGKOL R2)'
WRITE(*,*)'=====
WRITE(*,*)' THETA2 THETA3 RB W3 VB '
WRITE(*,*)' (der) (der) (m) (rad/s) (m/s) '
WRITE(*,*)'=====
```

```
DO 10 THETA2 = 0,360,15
    SIN2=SIN(THETA2*3.14/180)
    COS2=COS(THETA2*3.14/180)
    THET3a=-R2/R3*(SIN2)
    THETA3=ASIN(THET3a)*180/3.14
    IF((0.LE.THETA2).AND.(THETA2.LE.180)) THETA3=360+THETA3
    IF((180.LT.THETA2).AND.(THETA2.LE.360)) THETA3=THETA3
    SIN3=SIN(THETA3*3.14/180)
    COS3=COS(THETA3*3.14/180)
    R2C2=R2*COS2
    R3C3=R3*COS3
    RB=R2C2+R3C3
    W3=-W2*((R2C2)/(R3C3))
    R2W2S2=R2*W2*SIN2
    R3W3S3=R3*W3*SIN3
    VB=-R2W2S2-R3W3S3
    WRITE(*,07) THETA2,THETA3, RB, W3, VB
07  FORMAT(1X,F8.1,1X,F10.1,1X,F10.4,1X,F10.1,1X,F10.4)
10  CONTINUE
    WRITE(*,*)
    WRITE(*,*)'====='
```

```

WRITE(*,*)
C 4 . Akhir Program
STOP
END
    
```

Lampiran 2. Data Hasil Simulasi untuk Panjang Batang 2 (poros engkol) 0,05 m, 0,10 m, 0,15 m dan 0,20 m

PROGRAM ANALISA POSISI DAN KECEPATAN MEKANISME ENGKOL PELUNCUR

Input data yang diketahui:

Panjang Batang-2 R2 (m) = ?

0.05

Panjang Batang-3 R3 (m) = ?

0.30

Kecepatan Sudut Batang-2 W2 (rad/s) = ?

188.4

Percepatan Sudut Batang-2 ALPHA2 (rad/s²) = ?

0

Berdasarkan input data tersebut di atas, maka diperoleh hasil, sbb:

TABEL 1.HASIL SIMULASI (PANJANG POROS ENGKOL 0.05 m)

THETA2 (der)	THETA3 (der)	RB (m)	W3 (rad/s)	VB (m/s)
0.0	360.0	0.3500	-31.4	-0.0300
15.0	357.5	0.3480	-30.4	-2.8586
30.0	355.2	0.3422	-27.3	-5.4160
45.0	353.2	0.3332	-22.4	-7.4703
60.0	351.7	0.3217	-15.9	-8.8582
75.0	350.7	0.3089	-8.3	-9.5040
90.0	350.4	0.2957	0.0	-9.4213
105.0	350.7	0.2830	8.2	-8.6969
120.0	351.7	0.2718	15.8	-7.4615
135.0	353.2	0.2625	22.3	-5.8569
150.0	355.2	0.2556	27.3	-4.0114
165.0	357.5	0.2514	30.4	-2.0275
180.0	360.0	0.2500	31.4	0.0175
195.0	2.5	0.2514	30.4	2.0319
210.0	4.8	0.2556	27.3	4.0141
225.0	6.8	0.2625	22.4	5.8572
240.0	8.3	0.2718	15.9	7.4593
255.0	9.3	0.2830	8.3	8.6927
270.0	9.6	0.2957	0.1	9.4162
285.0	9.3	0.3089	-8.2	9.4994
300.0	8.3	0.3217	-15.8	8.8554
315.0	6.8	0.3332	-22.3	7.4700
330.0	4.8	0.3422	-27.2	5.4183
345.0	2.5	0.3480	-30.3	2.8629
360.0	0.0	0.3500	-31.4	0.0350