

## **Perbandingan Karakteristik Gerak Mekanisme Empat Batang Secara Grafis, Analitis dan Numeris**

**Zulkarnain**

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya  
Kampus Unsri Inderalaya Jalan Raya Palembang-Prabumulih km.32  
Inderalaya, Ogan Ilir Telp. (0711-580272)  
E-mail : bond\_jol@yahoo.com

### **Abstrak**

Dalam analisis kinematika, perpindahan serta kecepatan dari sambungan (*joint*) mekanisme empat batang mempunyai peran sangat penting. Mekanisme empat batang memiliki dua batang yang dapat bergerak secara rotasi (pada batang 2 dan batang 4), dimana salah satu dari batang tersebut berfungsi sumber putaran (input rotation) sedangkan batang yang satunya sebagai hasil putaran (output rotation). Mekanisme empat batang biasa digunakan sebagai input, seperti mesin, motor, servo dll. Adapun analisis karakteristik gerak mekanisme empat batang dapat dilakukan secara grafis, analitis maupun numeris. Pada analisis secara grafis, untuk mengidentifikasi perpindahan maupun kecepatan sudut mekanisme yang berputar sejauh 360° membutuhkan waktu yang lama. Dalam penelitian ini, dibuat suatu program analisis secara numeris dengan bantuan program komputer yang ditulis dedengen program C. Setelah dilakukan perbandingan hasil analisis secara numeris dengan hasil analisis secara grafis dan analitis, terlihat bahwa hasil perhitungan secara grafis memiliki tingkat kesalahan hingga 7% dibandingkan hasil perhitungan secara analitis dan numeris. Adapun perbandingan antara hasil secara analitik dan numeris memperlihatkan bahwa tingkat kesalahan secara analitik hanya berkisar 0.5 – 1 %, akan tetapi membutuhkan waktu yang relatif lama untuk menganalisa pergerakan mekanisme empat batang secara menyeluruh (360°), sedangkan secara numeris analisis gerakan mekanisme empat batang dapat diselesaikan secara cepat dan akurat

*Kata kunci:* *Mekanisme empat batang, grafis, analitis, numeris*

### **Pendahuluan**

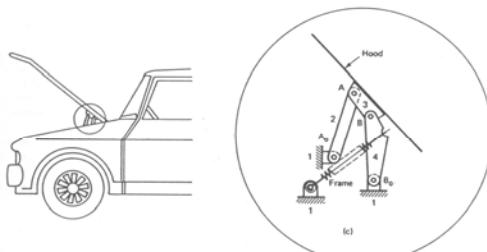
Kinematika mesin adalah suatu ilmu pengetahuan tentang gerak relatif dari bagian-bagian mesin yaitu posisi, kecepatan dan percepatan. Dalam mempelajari gerakan-gerakan dari bagian-bagian mesin, biasanya kita menggambarkan bagian-bagian tersebut dalam bentuk sketsa, sehingga hanya bagian-bagian yang akan memberi efek pada gerakan yang diperhatikan. Mekanisme empat batang (*four bar mechanism*) digunakan pada sebagian peralatan mekanik untuk mencapai proses atau gerakan tertentu. Mekanisme semacam ini terdiri dari batang-batang yang bergerak relatif satu terhadap yang lain. Dalam notasi yang umum, batang tersebut juga disebut sebagai *link*. Sambungan dua batang yang memungkinkan gerakan relatif antara dua batang yang disambung, disebut *joint*. Dengan demikian mekanisme empat batang yang dimaksud, terdiri dari empat batang (*link*) yang dihubung-kan oleh sambungan-sambungan (*joint*) sedemikian rupa sehingga memungkinkan terjadinya gerakan relatif diantara batang-batang yang ada.

Dalam analisis kinematika, perpindahan serta kecepatan dari sambungan (*joint*) mekanisme empat batang mempunyai peran sangat penting. Mekanisme empat batang memiliki dua batang yang dapat bergerak secara rotasi (pada batang 2 dan batang 4), dimana salah satu dari batang tersebut berfungsi sumber putaran (input rotation) sedangkan batang yang satunya sebagai hasil putaran (output rotation). Crank didefinisikan sebagai batang yang bisa berputar secara terus-menerus atau melakukan putaran 360° dan rocker didefinisikan sebagai batang yang hanya memungkinkan bergerak osilasi antara dua posisi batas dan tidak bisa bergerak berputar secara terus-menerus atau melakukan putaran 360°. Crank biasa digunakan sebagai input, seperti mesin, motor, servo dll. Klasifikasi mekanisme empat batang menurut J. T. Kimbrel dibedakan menjadi tiga, yaitu *crank rocker mechanism*, *double rocker mechanism* serta *drag link mechanism*. Mekanisme empat batang sangat banyak ditemukan dalam kehidupan sehari-hari. Adapun analisis karakteristik gerak mekanisme empat batang dapat

dilakukan secara grafis, analitis maupun numeris. Pada analisis secara grafis, untuk mengidentifikasi perpindahan maupun kecepatan sudut mekanisme yang berputar sejauh  $360^\circ$  membutuhkan waktu yang lama. Oegik Soegiharjo (analisis perpindahan (displacement) dan kecepatan sudut (angular velocity) mekanisme empat batang secara analitik dengan bantuan komputer, Jurnal Teknik Mesin Vol.4, tahun 2002) menyimpulkan bahwa analisis mekanisme empat batang secara analitik dengan bantuan komputer (FORTRAN77) dapat dilakukan secara cepat. Dalam penelitian ini, dibuat suatu program analisis secara numeris dengan bantuan program komputer yang ditulis dengan program C. Setelah dilakukan perbandingan hasil analisis secara numeris dengan hasil analisis secara grafis dan analitis, terlihat bahwa hasil analisis secara grafis memiliki tingkat kesalahan hingga 7% dibandingkan hasil analisis secara analitis dan numeris. Adapun perbandingan antara hasil analisis secara analitis dan numeris memperlihatkan bahwa tingkat kesalahan secara analitis hanya berkisar  $0.5 - 1\%$ . Akan tetapi analisis secara analitis membutuhkan waktu yang relatif lama untuk menganalisa pergerakan mekanisme empat batang secara menyeluruh ( $360^\circ$ ), sedangkan secara numeris analisis gerakan mekanisme empat batang dapat diselesaikan secara cepat dan akurat.

### Aplikasi Mekanisme Empat Batang

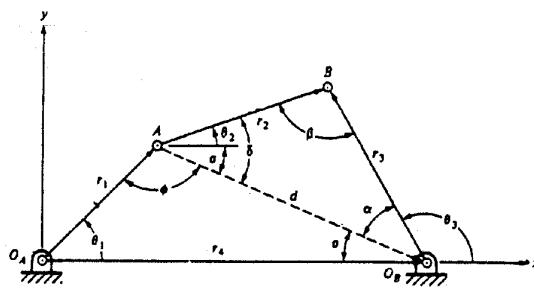
Mekanisme empat batang merupakan mekanisme dasar yang paling banyak diaplikasikan dalam ribuan bentuk. Gambar 1 menunjukkan sistem engsel tutup mesin mobil yang menggunakan mekanisme empat batang. Batang 1 merupakan batang tetap (*fixed*) yang terdapat pada badan mobil (*frame*). Batang 3 sebagai *floating link* menjadi tempat pemasangan tutup mesin. Pegas digunakan untuk mengunci posisi batang 4 supaya tetap berada pada posisinya. Dengan adanya mekanisme ini, tutup mesin tidak memerlukan penyangga khusus yang diperlukan untuk menjaga tutup tersebut tetap di atas.



Gambar 1 Aplikasi mekanisme empat batang pada mobil

### Analisa Mekanisme Empat Batang

Mekanisme empat batang yang akan di analisis pada tulisan ini adalah jenis *crank rocker mechanism*. Pada mekanisme jenis ini batang 1 (*input link*) bergerak melingkar dan batang 3 (*output link*) akan berosilasi. Secara umum, mekanisme empat batang jenis *crank rocker mechanism* beserta parameter-parameter yang akan dipakai untuk analisis dapat dilihat pada gambar 2.9



Gambar 2 Mekanisme empat batang dan parameternya

Batang 1 ( $O_A$  A atau  $r_1$ ) merupakan batang penggerak (input link atau *driver*). Batang 1 berputar  $360^\circ$  pada poros  $O_A$ . Batang 2 (AB atau  $r_2$ ) menghubungkan batang 1 dan batang 3. Batang 3 (BO<sub>B</sub> atau  $r_3$ ) merupakan output link bergerak osilasi.  $\theta_1$  adalah sudut engkol (*crank angle*),  $\beta$  adalah *transmission angle*,  $\theta_2$  adalah *coupler angle* dan  $\theta_3$  adalah *rocker angle*. Setiap

perubahan  $\theta_1$ , posisi titik A, titik B serta besarnya sudut  $\beta$ ,  $\theta_2$ , dan  $\theta_3$  selalu berubah. Sedangkan jarak  $O_A-O_B$  atau  $r_4$  disebut sebagai *fixed link*.

### Perpindahan Secara Analitik

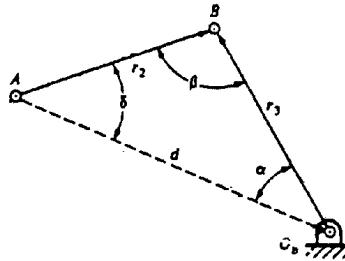
K. LIU AND W. P. BOYLE menyatakan penyelesaian mekanisme secara analitis lebih teliti dibandingkan dengan penyelesaian secara grafis yang tidak akurat ketika yang diinginkan dalam bentuk multi-posisi, tetapi penyelesaian mekanisme secara analitis membutuhkan waktu yang lebih lama, dan kesalahan akan lebih mudah dibuat dan lebih sulit mencarinya, karena beberapa rumus matematika yang dipakai rumit, tetapi penyelesaian mekanisme secara analitis sangat memungkinkan untuk pengaplikasianya didalam program computer.

Penyelesaian mekanisme secara analitis dapat menghemat waktu, jika mekanisme yang akan diselesaikan merupakan suatu tipe mekanisme yang sering dianalisa dan jika berbagai harga dari parameter-parameter seperti panjang, posisi, kecepatan dan percepatan dari suatu batang penghubunglah yang digunakan. Dalam suatu program komputer dapat ditulis dan beberapa parameter masukan dapat dimasukkan didalamnya. Keuntungan lain dari analisa secara matematis adalah bahwa pernyataan untuk posisi, kecepatan dan percepatan dalam suatu mekanisme menggambarkan bagaimana suatu posisi sudut tertentu dari batang penghubung memberi efek pada gerakannya. Hal ini sangat berharga dalam merencanakan suatu mekanisme untuk menghasilkan gerakan yang diinginkan. Metode penyelesaian secara matematis adalah suatu alat yang penting dalam perpaduan kinematis dan metode matematis lebih mudah dan cepat untuk dimengerti.

Dengan mengacu pada gambar 2.9, analisis perpindahan secara analitik dapat dilakukan sebagai berikut

$$d^2 = r_4^2 + r_1^2 - 2r_1r_4\cos\theta_1 \quad \dots\dots\dots(1)$$

Dengan memperhatikan segitiga  $ABO_B$ , maka didapatkan:



Gambar 3 Segitiga  $ABO_B$

maka didapatkan:

$$d^2 = r_2^2 + r_3^2 - 2r_2r_3 \cos\beta \quad \dots\dots\dots(2)$$

Berbagai sudut yang diperlukan dalam analisis perpindahan (displacement), dapat dihitung berdasarkan persamaan-persamaan berikut:

$$\cos\beta = \frac{r_2^2 + r_3^2 - d^2}{2r_2r_3} \quad \cos\delta = \frac{d^2 + r_2^2 - r_3^2}{2dr_2} \quad \cos\alpha = \frac{d^2 + r_3^2 - r_2^2}{2dr_3} \quad \phi = 180 - \sigma - \theta_1$$

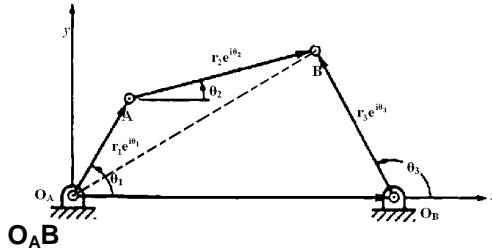
$$\theta_2 = \delta - \sigma \quad \theta_3 = 180 - \sigma - \alpha$$

Posisi sambungan (joint) A dan B bisa ditentukan dengan persamaan berikut:

$$X_A = r_1 \cos\theta_1 \quad Y_A = r_1 \sin\theta_1 \quad X_B = r_4 - r_3 \cos(\alpha + \sigma) \quad Y_B = r_3 \sin(\alpha + \sigma)$$

### Kecepatan Sudut Secara Analitis

Dalam bentuk vector, berdasarkan gambar 2.11, didapatkan vektor-vektor posisi  $\vec{a}$ ,  $\vec{b}$ ,  $\vec{c}$ , dan  $\vec{d}$ , batang dari suatu mekanisme dinyatakan sebagai  $r e^{i\theta}$ .



Gambar 4 Mekanisme empat batang dinyatakan dalam bentuk vector

analisa kecepatan sudut secara analitik dapat dilakukan sebagai berikut.

Jika persamaan (2.4) dibagi dengan  $i$ , kemudian  $e^{i\theta}$  dinyatakan dalam bentuk ekivalennya (sin dan cos), serta memisahkan komponen riil dengan komponen imajinernya, akan dihasilkan :

$$r_2\omega_{r2}\cos\theta_2 - r_3\omega_{r3}\cos\theta_3 = -r_1\omega_{r1}\cos\theta_1 \quad \dots \quad (4)$$

$$r_2 \omega_{r2} \sin \theta_2 - r_3 \omega_{r3} \sin \theta_3 = -r_1 \omega_{r1} \sin \theta_1$$

Kedua parameter tersebut dapat dihitung melalui persamaan:

$$\omega_{r2} = \omega_{r1} \left( \frac{r_1}{r_2} \right) \left( \frac{\sin(\theta_1 - \theta_3)}{\sin(\theta_3 - \theta_2)} \right) \dots \quad (5)$$

$$\omega_{r_3} = \omega_{r_1} \left( \frac{r_1}{r_3} \right) \left( \frac{\sin(\theta_1 - \theta_2)}{\sin(\theta_3 - \theta_2)} \right)$$

Dengan persamaan-persamaan diatas, semua parameter yang diperlukan untuk analisis perpindahan serta kecepatan sudut mekanisme empat batang dapat dihitung.

## Hasil dan Pembahasan

Hasil simulasi, untuk harga crank 2, 3, 4 dan 5, dengan harga batang penghubung (coupler), output (croker), dan jarak OA-OB (fixed link) tetap yaitu 15, 9 dan 12 satuan, serta kecepatan sudut (angular velocity) 5 rad/detik. XA dan YA pada hasil simulasi menunjukkan koordinat titik A (sambungan antara poros engkol ( $r_1$ ) dan batang penghubung( $r_2$ ), selama poros engkol berputar dalam satu putaran). Sedangkan XB dan YB merupakan koordinat titik B (sambungan antara batang penghubung ( $r_2$ ) dan batang output ( $r_3$ ) selama poros engkol berputar satu putaran.

Parameter  $i$  menyatakan besarnya sudut engkol terhadap sumbu X (positif untuk putaran poros engkol berlawanan dengan arah jarum jam (ccw)).  $Epsl(\theta_2)$  adalah sudut yang dibentuk antara batang penghubung (coupler) terhadap sumbu x.  $\Phi(\theta_3)$  adalah sudut yang dibentuk antara batang output (rocker) terhadap sumbu x.  $\Beta(\beta)$  adalah sudut yang dibentuk antara batang penghubung (coupler) dan batang output (rocker). Sedangkan parameter  $omr$  adalah kecepatan sudut (angular velocity) dari batang penghubung (coupler), dan parameter  $oms$  adalah kecepatan sudut dari batang output (rocker). Untuk parameter  $\beta$  adalah harga transmission angle yang merupakan salah satu indicator untuk mengevaluasi baik tidaknya mekanisme yang simulasiikan.

Data keluaran yang akan dihasilkan dari proses perhitungan analisis mekanisme empat batang ini berupa harga-harga,  $\theta_2$  (coupler angle),  $\theta_3$  (rocker angel),  $\beta$  (transmission angle), posisi titik A ( $X_A$ ,  $Y_A$ ), dan posisi titik B ( $X_B$ ,  $Y_B$ ), kecepatan sudut batang 2 ( $\omega_{r2}$ , coupler angular velocity), kecepatan sudut batang 3 ( $\omega_{r3}$ , rocker angular velocity). Data keluaran akan ditabulasikan pada lampiran.

Dari keempat hasil simulasi, dapat dilihat bahwa berdasarkan koordinat titik B (yang ditunjukkan pada parameter Xb dan Yb) maka gerakan batang output (rocker) merupakan gerakan bolak-balik (osilasi). Semakin panjang dimensi poros engkol semakin besar osilasi batang output. Untuk panjang poros engkol 2 satuan panjang, koordinat simpangan maksimal titik B adalah (14,7, 8,6) dan (10,1, 8,8). Untuk panjang poros engkol 5 satuan panjang, Koordinat simpangan maksimal titik B adalah (19,3, 5,3) dan (7,7, 7,9). Parameter beta, yang menunjukkan harga transmision angle dapat memberikan indikasi tentang smooth atau tidaknya suatu mekanisme empat batang, harga beta direkomendasikan lebih besar dari 40° dan lebih kecil dari 120°. Dari hasil simulasi, mekanisme yang paling baik (berdasarkan smooth atau tidaknya mekanisme saat beroperasi) adalah mekanisme dengan panjang poros engkol 2 satuan panjang. Kondisi ini memenuhi batasan nilai transmission angle ( $40^\circ < \beta < 120^\circ$ ). Dimensi poros engkol lainnya (3, 4, dan 5 satuan panjang), tidak memenuhi batasan nilai yang disyaratkan karena harga batas bawah transmission angle yang disyaratkan tidak dipenuhi. Besarnya batas bawah transmission angle yang dicapai dalam simulasi adalah 36°, 26° dan 17° untuk panjang poros engkol 3, 4 dan 5 satuan panjang.

Untuk semua simulasi, kecepatan sudut dari poros engkol adalah sama, yaitu sebesar 5 rad/detik. Dari hasil simulasi menunjukkan bahwa semakin besar dimensi panjang poros engkol, semakin besar kecepatan sudut maksimum dari batang penghubung (coupler, dengan parameter kecepatan sudut berlawanan omr) maupun batang output (rocker, dengan parameter kecepatan sudut oms). Tanda + pada parameter omr dan oms menunjukkan bahwa arah kecepatan sudut berlawanan dengan arah jarum jam (counter clock wise), sedangkan tanda – menunjukkan arah sebaliknya (clock wise). Untuk panjang poros engkol 5 satuan panjang, kecepatan sudut maksimum untuk batang penghubung adalah -3,6488 rad/detik (untuk sudut poros engkol 340°), dan kecepatan sudut maksimum untuk batang output adalah -4,1323 rad/detik (untuk sudut poros engkol 330°).

Besar kecilnya kecepatan sudut dari batang-batang pada mekanisme empat batang ini akan berpengaruh terhadap besar kecilnya gaya yang timbul pada batang-batang tersebut. Pada simulasi ini memang tidak dilakukan perhitungan mengenai besarnya gaya yang timbul pada masing-masing batang, namun demikian besarnya kecepatan sudut yang terjadi pada masing-masing batang, mengindikasikan bahwa gaya-gaya yang lebih besar akan muncul pada batang-batang yang mempunyai kecepatan sudut lebih besar. Informasi ini juga menjadi indikator tentang smooth atau tidaknya mekanisme empat batang yang disimulasikan.

#### Perhitungan Mekanisme Empat Batang Secara Teoritis

Untuk :  $\theta_1 = 40^\circ$        $\omega_{r1} = 5 \text{ rad/detik}$   
 $r_1 = 2$        $r_2 = 15$   
 $r_3 = 9$        $r_4 = 12$

$$d^2 = r_4^2 + r_1^2 - 2r_4r_1 \cos\theta$$

$$d^2 = (12)^2 + (2)^2 - 2(12)(2)\cos 40^\circ$$

$$d = \sqrt{111,23} = 10,55$$

$$\tan \sigma = \frac{r_1 \sin \theta}{r_4 - r_1 \cos \theta} = \frac{2 \sin 40^\circ}{12 - 2 \cos 40^\circ}$$

$$\tan \sigma = 0,1228$$

$$\sigma = \tan^{-1}(0,1228) = 7,001^\circ$$

$$\cos \delta = \frac{d^2 + r_2^2 - r_3^2}{2dr_2}$$

$$\cos \delta = \frac{(10,55)^2 + (15)^2 - (9)^2}{2(10,55)(15)}$$

$$\cos \delta = 0,8066$$

$$\delta = \cos^{-1} 0,8066 = 36,23^\circ$$

$$\cos \beta = \frac{r_2^2 + r_3^2 - d^2}{2r_2r_3}$$

$$\cos \beta = \frac{(15)^2 + (9)^2 - (10,55)^2}{2(15)(9)}$$

$$\cos \beta = 0,7213$$

$$\beta = \cos^{-1}(0,7213) = 43,83^\circ$$

$$\theta_2 = \delta - \sigma$$

$$\theta_2 = 36,23 - 7,001 = 29,219^\circ$$

$$\cos \alpha = \frac{d^2 + r_3^2 - r_2^2}{2dr_3}$$

$$\cos \alpha = \frac{(10,55)^2 + (9)^2 - (15)^2}{2(10,55)(9)}$$

$$\cos \alpha = -0,1726$$

$$\alpha = \cos^{-1}(-0,1726) = 99,94^\circ$$

$$X_a = r_1 \cos \theta$$

$$= 2 \cos(40^\circ)$$

$$= 1,532$$

$$Y_a = r_1 \sin \theta$$

$$= 2 \sin(40^\circ)$$

$$= 1,2855$$

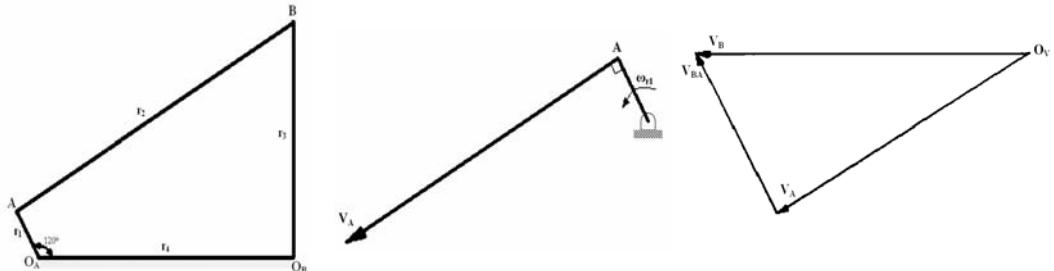
$$\begin{aligned} X_b &= r_3 \cos \theta_3 + 12 \\ &= 9 \cos(73,0587) + 12 \\ &= 14,6225 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Y_b &= r_3 \sin \theta_3 \\ &= 9 \sin(73,0587) \\ &= 8,6094 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \omega_{r2} &= \omega_{r1} \left( \frac{r_1}{r_2} \right) \left( \frac{\sin(\theta_1 - \theta_3)}{\sin(\theta_3 - \theta_2)} \right) \\ &= 5 \left( \frac{12}{15} \right) \left( \frac{\sin(40 - 73,0587)}{\sin(73,0587 - 29,226)} \right) \\ &= \frac{2}{3} \left( \frac{\sin(-33,0587)}{\sin(43,8377)} \right) \\ &= -0,5251 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \omega_{r3} &= \omega_{r1} \left( \frac{r_1}{r_3} \right) \left( \frac{\sin(\theta_1 - \theta_2)}{\sin(\theta_3 - \theta_2)} \right) \\ &= 5 \left( \frac{2}{9} \right) \left( \frac{\sin(40 - 29,226)}{\sin(73,0587 - 29,226)} \right) \\ &= \left( \frac{10}{9} \right) \left( \frac{\sin(10,774)}{\sin(43,8327)} \right) \\ &= 0,2999 \end{aligned}$$

### Perhitungan Mekanisme Empat Batang Secara Grafis



Gambar 5 Penyelesaian Mekanisme Empat Batang Secara Grafis untuk crank 2 satuan dan  $\theta_i=120^\circ$

$$\begin{aligned} V_A &= O_A A \cdot \omega_{r1} \\ &= 2.5 \\ &= 10 \text{ satuan / det ik} \end{aligned}$$

skala gambar : 10 satuan/detik = 100 mm

dari gambar didapatkan dari hasil pengukuran, sebagai berikut :

$$O_v V_A = 100 \text{ mm} \quad V_A V_{BA} = 57 \text{ mm} \quad O_v V_B = 114 \text{ mm}$$

Untuk mencari kecepatan pada masing-masing batang maka dipakai rumus perbandingan.

$$\begin{aligned} \frac{V_{BA}}{V_A} &= \frac{V_A V_{BA}}{O_v V_A} & \frac{V_B}{V_A} &= \frac{O_v V_B}{O_v V_A} \\ V_{BA} &= \frac{V_A V_{BA}}{O_v V_A} \cdot V_A & V_B &= \frac{O_v V_B}{O_v V_A} \cdot V_A \\ &= \frac{57}{100} \cdot 10 \text{ satuan / det ik} & &= \frac{114}{100} \cdot 10 \text{ satuan / det ik} \\ &= 5,7 \text{ satuan / det ik} & &= 11,4 \text{ satuan / det ik} \end{aligned}$$

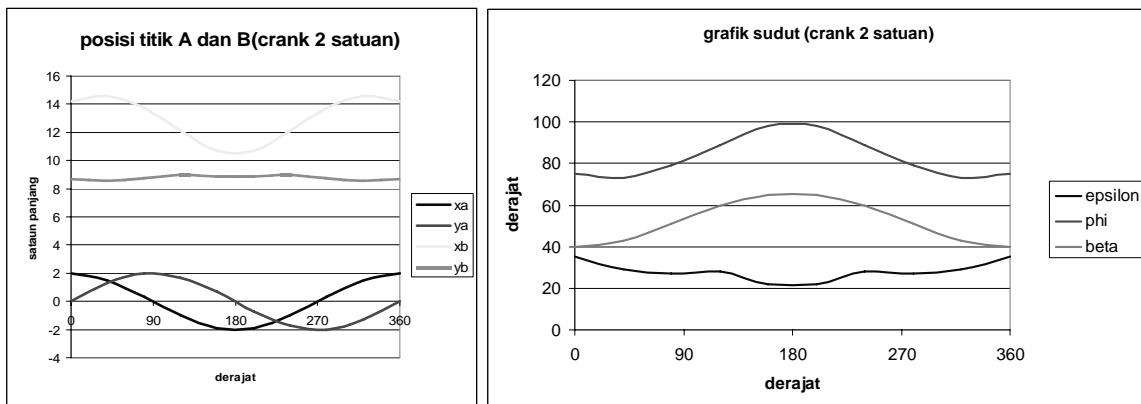
Setelah mendapatkan kecepatan pada masing-masing batang maka kecepatan sudut pada setiap batang juga bisa didapatkan :

$$\begin{aligned} \omega_{r2} &= \frac{V_{BA}}{r_2} & \omega_{r3} &= \frac{V_B}{r_3} \\ &= \frac{5,7}{15} & &= \frac{11,4}{9} \\ &= 0,38 \text{ rad / det ik} & &= 1,2667 \text{ rad / det ik} \end{aligned}$$

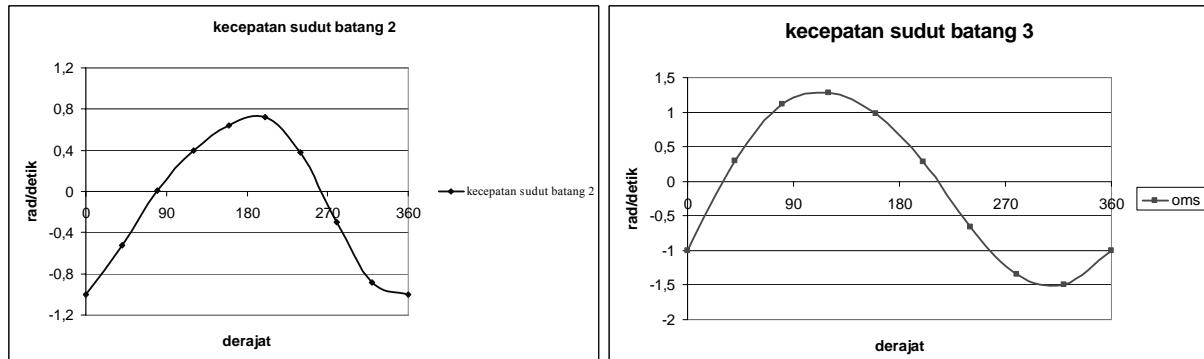
Harga kecepatan sudut  $\omega_{r2}$  dan  $\omega_{r3}$  bernilai positif, diasumsikan bahwa batang 2 dan batang 3 bergerak ccw

Tabel I Hasil perhitungan mekanisme empat batang

Besar sudut batang1 ( $\theta_1$ )	Hasil keluaran program		Hasil perhitungan teoritis		Hasil perhitungan secara grafis	
	$\omega_{r2}$	$\omega_{r3}$	$\omega_{r2}$	$\omega_{r3}$	$\omega_{r2}$	$\omega_{r3}$
40°	-0,5251	0,2999	-0,5251	0,2999	-0,5333	0,2778
120°	0,3929	1,2797	0,393	1,2796	0,38	1,2667



Gambar 6 Perubahan posisi titik A dan B terhadap  $\theta_1$  dan Perubahan sudut  $\epsilon(\theta_2)$ ,  $\phi(\theta_3)$ ,  $\beta(\beta)$  terhadap  $\theta_1$



Gambar 7 Perubahan kecepatan sudut batang 2 (omr) terhadap sudut  $\theta_1$  dan Perubahan kecepatan sudut batang 3 (oms) terhadap sudut  $\theta_1$

### Struktur Program Analitis secara numeris dengan program C

```
#include "f2c.h"
/* Common Block Declarations */
struct { real sigma, beta, gamma, epsilon, w; } sdt_;
#define sdt_1 sdt_
struct { real q, r__, s; } btq_;
#define btq_1 btq_
/* Table of constant values */
static integer c__9 = 9; static integer c__1 = 1; static integer c__4 = 4; static integer c__3 = 3;
integer s_wsle(), do_li0(), e_wsle(), s_rsle(), e_rsle(), f_open(), s_wsfe(), do_fio(), e_wsfe();
double cos(), sqrt(), sin(), atan();
static real alfa, iphi; static char baru[79]; static integer incr; static real sigx, sigy, iepsilon, d__;
static real p, ibeta, xa, ya, xb, yb, gam, bet, phi, omq, omr, oms;
s_wsle(&io__1);
do_li0(&c__9, &c__1, "Nama File", 9L); e_wsle(); s_rsle(&io__2);
do_li0(&c__9, &c__1, baru, 79L); e_rsle();
o__1.oerr = 0; o__1.ounit = 1; o__1.ofmrlen = 79; o__1.ofnm = baru; o__1.orl = 0; o__1.osta = "NEW";
o__1.oacc = 0; o__1.ofm = 0; o__1.oblnk = 0; f_open(&o__1); s_wsle(&io__4);
do_li0(&c__9, &c__1, "tentukan harga p", 16L);
e_wsle(); s_rsle(&io__5);
:
for (i__ = 0; i__ < 0 ? i__ >= 360 : i__ <= 360; i__ += i__1) {
    sdt_1.w = i__ * (float)0.0174532;
    r__1 = p; r__2 = btq_1.q;
```

```
d__ = sqrt(r__1 * r__1 + r__2 * r__2 - p * 2 * btq_1.q * cos(sdt_1.w));
sigy = -btq_1.q * sin(sdt_1.w);
sigx = p - btq_1.q * cos(sdt_1.w);
sdt_1.sigma = (r__1 = atan(sigy / sigx), dabs(r__1));
if (sigy < (float)0. && sigx < (float)0.) {
    sdt_1.sigma += (float)3.1415927;
} else if (sigy > (float)0. && sigx < (float)0.) {
    sdt_1.sigma = (r__1 = sdt_1.sigma + (float)1.5707963, dabs(r__1));
} else {
    sdt_1.sigma = (float)6.2831853 - sdt_1.sigma;
}

do_fio(&c__1, (char *)&i__, (ftnlen)sizeof(integer));
do_fio(&c__1, (char *)&iepsilon, (ftnlen)sizeof(real));
do_fio(&c__1, (char *)&iphi, (ftnlen)sizeof(real));
do_fio(&c__1, (char *)&ibeta, (ftnlen)sizeof(real));
do_fio(&c__1, (char *)&xa, (ftnlen)sizeof(real));
do_fio(&c__1, (char *)&ya, (ftnlen)sizeof(real));
do_fio(&c__1, (char *)&xb, (ftnlen)sizeof(real));
do_fio(&c__1, (char *)&yb, (ftnlen)sizeof(real));
do_fio(&c__1, (char *)&omr, (ftnlen)sizeof(real));
do_fio(&c__1, (char *)&oms, (ftnlen)sizeof(real));
e_wsf();
}
```

## Kesimpulan

Berdasarkan penelitian dan analisa yang telah dilakukan, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Analisis mekanisme empat batang secara matematis dengan bantuan komputer dapat mengevaluasi seluruh kondisi batang (*link*) sesuai dengan perubahan posisi batang 1 secara cepat.
2. Data output hasil program akan menampilkan parameter-parameter yang berguna dalam menganalisa mekanisme empat dan memberikan informasi tentang karakteristik mekanisme empat batang seperti posisi untuk batang 3 agar dapat melihat osilasi batang 3, kecepatan sudut masing-masing batang dan transmission angle ( $\beta$ ).
3. Analisis ulang data masukan dapat dilakukan dengan cepat, apabila hasil keluaran menunjukkan indikasi bahwa mekanisme yang disimulasikan tidak sesuai dengan persyaratan

## Daftar Pustaka

1. Boyle, K. Liu and W. P, *Dimensional Optimization for the Crank-Rocker Mechanism Using TK Solver*, Int. J. Engng Ed. Vol. 13, No. 6, p. 417±425, 1997.
2. Holowenko, A.R, *DYNAMICS OF MACHINERY*, Jhon Wiley & Sons, Inc., New York, 1985.
3. KINEMATIC MODEL FOR DESIGN DIGITAL LIBRARY, <http://kmodd.library.cornell.edu/index.php>
4. Martin, George H, *KINEMATIKA DAN DINAMIKA TEKNIK*, Erlangga, Jakarta, edisi kedua 1985.
5. Soegihardjo, Oegik, *Analisis Perpindahan (displacement) dan Kecepatan Sudut (angular velocity) Mekanisme Empat Batang Secara Analitik Dengan Bantuan Komputer*, JURNAL TEKNIK MESIN Vol. 4, No. 2, Oktober 2002.