

ISSN 2087-3336 (Print) | 2721-4729 (Online)

**TEKNOSAINS: Jurnal Sains, Teknologi dan Informatika**

Volume 9, Nomor 1, Januari 2022, hlm 9-19

<http://jurnal.sttcileungsi.ac.id/index.php/tekno>

DOI: 10.37373

## **Perancangan dan Analisis Kinematik Dengan Metode Grafis dan Bilangan Kompleks dari Alat Peraga Engkol Peluncur**

### ***Kinematic Design and Analysis with Graphical Methods and Complex Numbers from the Crank Launcher Trainer***

**Yogi Saputra<sup>1</sup>, Muchlisinalahuddin<sup>2\*</sup>, Riza Muharni<sup>3</sup>**

<sup>1,2\*,3</sup> Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Barat

<sup>1,2\*,3</sup> Jl. By Pass Aur Kuning No. 1 Bukittinggi, Sumatera Barat, Indonesia 26181

\*Koresponden Email: [muchlisinalahuddin.umsb@gmail.com](mailto:muchlisinalahuddin.umsb@gmail.com)

Artikel dikirim: 10/11/2021

Artikel direvisi: 23/11/2021

Artikel diterima: 9/12/2021

#### **ABSTRAK**

Kinematika teknik adalah ilmu yang mempelajari pergerakan suatu mesin dan komponen yang sangat dibutuhkan dalam suatu perancangan mesin. Perancangan alat peraga kinematika engkol peluncur bertujuan untuk mendapatkan parameter kinematika yang bekerja pada engkol peluncur dengan variasi panjang batang dan kecepatan sudut batang input dimana alat peraga yang menampilkan gerak suatu mekanisme tertentu dianggap memadai dan cukup dalam pembelajaran kinematika dan dinamika teknik mesin, dimana pada masing-masing batang dapat ditentukan variasi dimensi batang dan data yang dihasilkan dari perhitungan akan mendapat besaran kecepatan dan percepatan sudut batang yang terjadi pada mekanisme engkol peluncur. Mekanisme engkol peluncur merupakan mekanisme yang umum dan paling sederhana yang terdiri dari 4 batang hubung. Suatu studi komparatif mengenai. Perhitungan kinematika menggunakan dua metode grafis dan bilangan kompleks dimana pada metode grafis menggunakan penggambaran poligon dan pada metode bilangan kompleks dilakukan perhitungan menggunakan rumus pergerakan trigonometri pada masing-masing sudut dan batang. Rata-rata persentase selisih dari perhitungan parameter kinematika dengan dua metode masih berada pada kisaran normal (dibawah 30%) 0,009 sampai 1,256%. Dari hasil analisis dapat disimpulkan bahwa kecepatan sudut batang 2 sangat mempengaruhi kecepatan dari batang 4 dan juga panjang batang 2 sangat mempengaruhi jarak maksimal pergerakan batang 4 (slider).hal ini dapat dilihat pada pergerakan alat peraga engkol peluncur.

Kata Kunci: Alat, Engkol Peluncur, Kinematika

#### **ABSTRACT**

*Engineering kinematics is a science that studies the movement of a machine and the components that are needed in a machine design. The design of the crank launcher kinematic teaching aid aims to obtain the kinematic parameters that work on the launcher crank with variations in the length of the rod and the angular velocity of the input rod where the props that display the motion of a certain mechanism are considered adequate and sufficient in kinematic learning and mechanical engineering dynamics, where in each For each rod, it is possible to determine the variation of the dimensions of the rod and the data generated from the calculation will get the magnitude of the speed and angular acceleration of the rod that occurs in the crank launcher mechanism. The launch crank mechanism is the most common and simplest mechanism consisting of 4 connecting rods. A comparative study of kinematic calculations using two graphical methods and complex numbers in which the graphical method uses polygon depiction and the complex number method is calculated using the trigonometric motion formula for each angle and bar. The average percentage difference from the calculation of the kinematic parameters with the two methods is still in the normal range (below 30%) of 0.009 to 1.256%. From the results of the analysis it can be concluded that the angular velocity of rod 2 greatly affects the speed of rod 4 and also*



TEKNOSAINS: Jurnal Sains, Teknologi & Informatika is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License.

*the length of rod 2 greatly affects the maximum distance of movement of rod 4 (slider). This can be seen in the movement of the propeller crank launcher.*

*Keyword: Tool, Crank Launcher, Kinematics*

## 1. PENDAHULUAN

Dinamika teknik adalah ilmu yang mempelajari pergerakan-pergerakan suatu mesin dan komponen yang sangat dibutuhkan dalam suatu perancangan mesin. Suatu perancangan mesin, perlu dilakukan analisis terlebih dahulu terhadap mekanisme pergerakan kecepatan dan percepatan tiap-tiap komponen dari suatu mesin[1]. Komponen mesin terdiri dari rangkaian benda bergerak dan tidak bergerak yang rangkai diantara sumber-sumber tenaga dan kerja yang harus dilakukan untuk tujuan penyesuaian fungsi dan gerak mesin tersebut[1]. Penganalisisan gerakan relatif suatu elemen mesin meliputi lintasan, kecepatan, dan percepatan digunakan ilmu analisis kinematika[2]. Mekanisme engkol peluncur adalah mekanisme gerak relatif yang merupakan rangkaian batang penghubung empat batang yang memiliki gerakan kombinasi translasi dan rotasi[1][3].

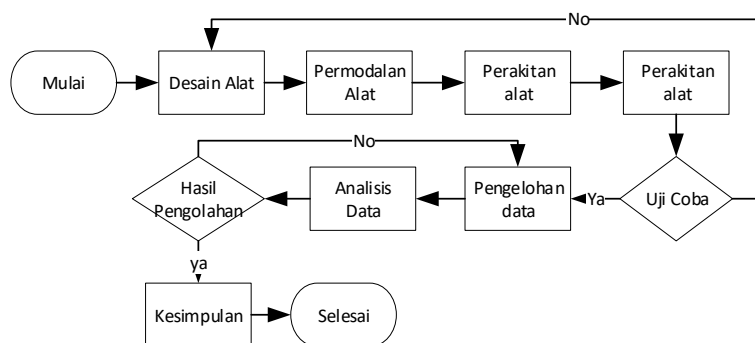
Penentuan kecepatan dan percepatan dengan analisis secara grafis dapat dilakukan penganalisisan menggunakan penggambaran poligon[4]. Sedangkan penentuan kecepatan dan percepatan dengan analisis secara analitik digunakan penghitungan dengan metode bilangan kompleks[5]. Analisis ini akan mendapatkan hasil pada setiap kondisi sudut kecepatan. Penggunaan grafis sangat terbatas pada penggambaran secara visual dan tidak dapat digunakan untuk menentukan kecepatan dan percepatan dengan cepat pada berbagai kedudukan[6].

Keuntungan dari metode analitik tersebut dapat menggunakan bantuan komputer untuk menentukan kecepatan dan percepatan mekanisme berbagai kedudukan dengan cepat. Penelitian tentang perubahan posisi dan kecepatan engkol peluncur[7]. Analisis mekanisme kinematika menggunakan metode analitik bilangan kompleks pada lengan penanam padi semi otomatis dengan analisis grafis dan analitik[2][8]. Penelitian rancangan ini dilakukan untuk melihat fenomena kinematika yang terjadi pada mekanisme engkol peluncur yang menggunakan analisis dengan metode poligon untuk menghitung kecepatan dan percepatan batang[9][10]. Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan parameter kinematika yang bekerja pada engkol peluncur dengan variasi panjang batang dan kecepatan sudut batang input yang dapat ditampilkan pada alat guna dalam pembelajaran kinematika dan dinamika teknik mesin.

## 2. METODE

### 2.1 Pembuatan alat

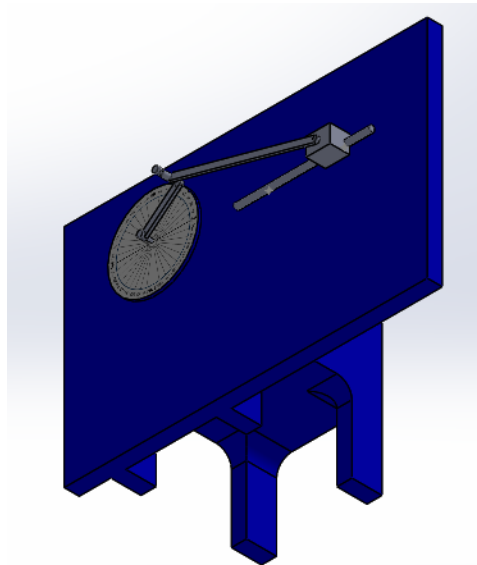
Pada pada tahap ini akan dilakukan perancangan alat peraga kinematika engkol peluncur pembuatan desain alat menggunakan solidwork dan juga melakukan simulasi gerak benda agar saat perakitan alat tidak mengalami kegagalan[11].



Gambar 1. Diagram alir penelitian

## 2.2 Tahap desain

Pada tahap ini akan dilakukan desain menggunakan *Solidwork* agar mendapatkan gambaran sebelum pembuatan alat.



Gambar 2. Desain alat tunjuk kinematika engkol peluncur

## 2.3 Penghitungan kinematika dengan metode grafis dan bilangan kompleks.

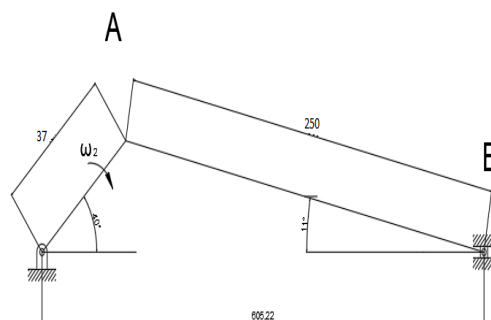
### A. Metode grafis

Data parameter yang didapat pada mekanisme engkol peluncur, digunakan sebagai titik acuan untuk melakukan analisis kinematika engkol peluncur dengan metode penggambaran poligon[12] (metode grafis):

R2 = Batang O2A	= 150 mm
R3 = Batang AB	= 500 mm
$\theta_2$ = perpindahan sudut	= 40°, 130°, 220°, 320°
$\omega_2$ = Rpm motor	= 150 Rpm / 15,708 Rps

### B. Analisis engkol peluncur metode grafis (penggambaran poligon).

Analisis menggunakan metode penggambaran poligon digunakan untuk menentukan kecepatan sudut[13] dan batang dan percepatannya pada analisis ini menggunakan 4 variasi posisi sudut 40°, 130°, 230° dan 320° dengan kecepatan tetap 150 rpm. Analisis kecepatan engkol peluncur dengan sudut 40°.



Gambar 3. Bentuk batang engkol peluncur sudut 40°

### C. Poligon kecepatan

$$\omega_2 = 150 \text{ Rpm}$$

$$= 150 \times \frac{2\pi}{60}$$

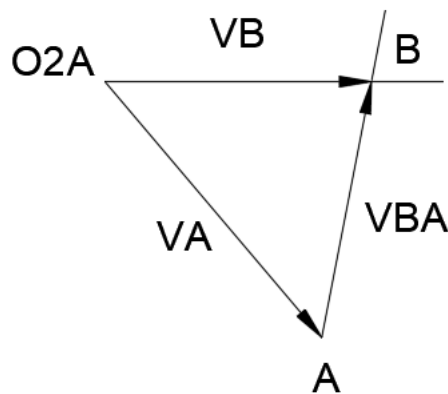
$$= 15.708 \text{ R/dtk}$$

$$VA = O_2A \cdot \omega_2 \quad (1)$$

$$= 37 \text{ mm} \cdot 15.708 \text{ R/dtk}$$

$$= 581.196 \text{ mm} \cdot \text{Rps}$$

$$= 58.12 \text{ mm} \cdot \text{Rps (skala 1: 10 untuk penggambaran poligon kecepatan)}$$



Gambar 4. Poligon kecepatan engkol peluncur dengan sudut  $40^\circ$

$$\omega_3 = \frac{VBA}{BA} \quad (2)$$

$$= \frac{442.5}{250}$$

$$= 1.77 \text{ R/dtk}$$

Pada poligon kecepatan kita bisa mendapatkan linier pada batang 2 (VA), batang 3 (VBA) dan juga batang 4 (VBA) dengan mengukur vektor pada poligon. Maka kecepatan sudut dari VBA terjadi sebesar 0.98 Rps

#### 2.4 Analisis percepatan poros engkol peluncur dengan sudut $40^\circ$

Cara yang digunakan untuk menggambar poligon percepatan sama dengan poligon kecepatan. Perbedaannya adalah pada poligon percepatan, percepatan absolut pada batang terdiri dari dua komponen yaitu komponen normal dan komponen tangensial. Arah dari percepatan normal selalu mengarah ke pusat lintasan sedangkan arah percepatan tangensial tegak lurus batang dan sesuai dengan arah percepatan sudut batang. Data-data yang didapat dari analisis kecepatan digunakan untuk memperoleh percepatan normal di batang 2 dan 3. Data yang dapat dicari untuk membuat poligon percepatan yaitu  $A_A$ ,  $A_{BA}^n$  dan  $A_B^n$

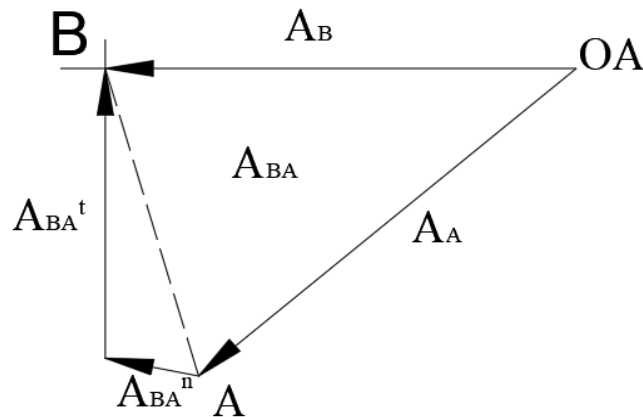
$$A_A = O_2A \cdot \omega_2^2 \quad (3)$$

$$= 37 \text{ mm} \cdot 15.708^2 \text{ Rps}$$

$$= 9129.427 \text{ mm} \cdot \text{Rps}$$

$$= 91.29427 \text{ mm} \cdot \text{Rps (skala 1: 100 untuk penggambaran poligon kecepatan)}$$

$$\begin{aligned}
 A_{BA}^n &= \frac{v_{BA}^2}{BA} & (4) \\
 &= \frac{442.5^2}{250} \\
 &= 783.225 \text{ mm.Rps} \\
 &= 7.83 \text{ mm.Rps (skala 1: 100 untuk penggambaran poligon kecepatan)}
 \end{aligned}$$

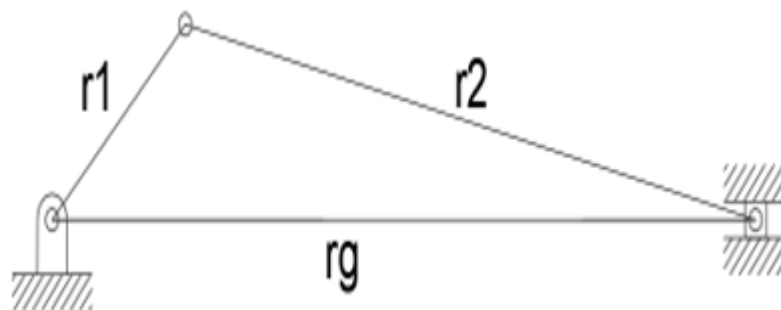


Gambar 5. Poligon percepatan engkol peluncur dengan sudut 40°

### 2.5 Metode analitik

Analisis kinematika metode bilangan kompleks merupakan salah satu cara analisis untuk menyatakan vektor posisi, kecepatan dan percepatan[14]. Langkah pertama yang perlu dilakukan adalah menentukan vektor posisi dan titik yang akan dianalisis, kemudian menentukan vektor kecepatan dan percepatan dengan cara diferensiasi terhadap waktu.

$\omega_2$  pada bilangan kompleks untuk menganalisis kecepatan dan percepatan dari mekanisme torak. Gambar 6 memperlihatkan mekanisme torak dengan kecepatan  $\omega_2$  konstan. Kecepatan  $V_B$  dan percepatannya  $A_B$  akan dicari. Dengan mengacu pada gambar.6 dapat ditentukannya hubungan vektor berikut.



Gambar 6. Analisis mekanisme torak[15]

$$R_B = R_1 \tag{5}$$

$$R_B = R_2 \rightarrow R_3 \tag{6}$$

Dari kedua persamaan tersebut dapat ditulis persamaan dalam  $R_1$  sebagai berikut:

$$R_B = R_2 \rightarrow R_3 \tag{7}$$

Atau bilangan kompleks

$$r_1 e^{i\theta_2} = r_2 e^{i\theta_2} + r_3 e^{i\theta_3} \quad (8)$$

Dengan harga  $r_2$  dan  $r_3$  konstan, dan harga  $r_1$  bervariasi sesuai dengan posisi dari torak. Karena  $\theta_1$  harganya tidak berubah ( $\theta_1 = 0$ ) maka  $e^{i\theta_1} = 1$  sehingga:

$$r_1 = r_2 e^{i\theta_2} + r_3 e^{i\theta_3} \quad (9)$$

Deferensial dari persamaan di atas akan menghasilkan persamaan untuk kecepatan  $v_B$  dan  $A_B$  sebagai berikut:

$$v_B = \dot{r}_1 = r_2 \omega_2 (i e^{i\theta_2}) + r_3 \omega_3 (i e^{i\theta_3}) \quad (10)$$

$$A_B = \ddot{r}_1 = r_2 (i a_2 - \omega_2^2) + r_3 (i a_3 - \omega_3^2) e^{i\theta_3} \quad (11)$$

Persamaan 2, 3, dan 4 mencerminkan posisi, kecepatan dan percepatan titik B. Tetapi pada kenyataannya persamaan-persamaan tersebut juga mengandung parameter dari batang 2 dan batang 3. Parameter  $r_2, r_3, \theta_2, \omega_2$  dan  $a_2$  adalah besaran-besaran yang diketahui, sedangkan enam besaran berikut  $\dot{r}_1, \ddot{r}_1, \theta_3, \omega_3$  dan  $a_3$ , harus ditentukan.

Dua parameter posisi  $r_1$  dan  $\theta_3$  ditentukan dari persamaan 2 dengan menyamakan bagian riil dan imajinernya sebagai berikut:

$$r_1 = r_2 \omega_2 \sin \theta_2 + r_3 \omega_3 \sin \theta_3 \quad (12)$$

$$0 = r_2 \omega_2 \cos \theta_2 + r_3 \omega_3 \cos \theta_3 \quad (13)$$

Sehingga dapat diperoleh:

$$\theta_3 = \sin^{-1} \left( \frac{-r_1}{r_3} \sin \theta_2 \right) \quad (14)$$

Kemudian persamaan 5 dapat digunakan untuk menentukan  $r_1$ . Dengan cara yang sama persamaan kecepatan  $V_B$  dapat digunakan untuk menentukan  $\dot{r}_1$  dan  $\omega_3$ .

$$\dot{r}_1 = r_2 \omega_2 \sin \theta_2 + r_3 \omega_3 \sin \theta_3 \quad (15)$$

$$0 = r_2 \omega_2 \cos \theta_2 + r_3 \omega_3 \cos \theta_3 \quad (16)$$

Persamaan 9 dapat dipakai untuk menentukan  $\omega_3$  sebagai berikut:

$$\omega_3 = -\omega_2 \left( \frac{r_2 \cos \theta_2}{r_3 \cos \theta_3} \right) \quad (17)$$

Setelah itu, harga  $\dot{r}_1$  dapat ditentukan dari persamaan 8.

Untuk mencari besaran yang tidak diketahui  $\ddot{r}_1$  dan  $a_3$ , bagian riil dan imajiner dari persamaan 3.4 disamakan sebagai berikut:

$$\ddot{r}_1 - r_2 (\omega_2^2 \cos \theta_2 + a_2 \sin \theta_2) - r_3 (\omega_3^2 \cos \theta_3 + a_3 \sin \theta_3) \quad (18)$$

$$0 = r_2 (a_2 \cos \theta_2 - \omega_2^2 \sin \theta_2) + r_3 (a_3 \cos \theta_3 - \omega_3^2 \sin \theta_3) \quad (19)$$

Dari persamaan di atas dapat ditentukan  $a_3$  sebagai berikut:

$$a_3 = r_2 \left( \frac{\omega_2^2 \sin \theta_2 - a_2 \cos \theta_2}{r_3 \cos \theta_3} \right) + \frac{\omega_3^2 \sin \theta_3}{\cos \theta_3} \quad (20)$$

Dari persamaan 11 dapat dihitung  $A_B = \ddot{r}_1$ . Untuk harga  $\omega_2$  yang konstan  $a_2 = 0$ , bentuk persamaan untuk mencari  $a_3$  dan  $A_B$  menjadi lebih sederhana.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

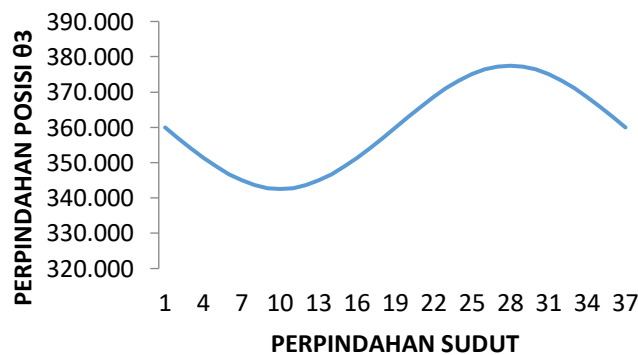
#### 3.1 Metode grafis

Table 1. Hasil analisis kinematika engkol peluncur metode poligon dengan empat sudut posisi

No	Perpindahan posisi	Perpindahan posisi			
		40°	130°	230°	320°
Kecepatan Sudut	$\omega_1$	0	0	0	0
	$\omega_2$	15,708	15,708	15,708	15,708
	$\omega_3$	1.77	-1.402	-1.402	1.77
Percepatan Sudut	$\alpha_1$	0	0	0	0
	$\alpha_2$	0	0	0	0
	$\alpha_3$	49,362	57,468	-61,77	-49,362
Kecepatan Linier	VA	2356	2356	2356	2356
	VBA	442.5	458.83	458.83	442.5
	VB	0	0	0	0
Percepatan Linier	AA	9129.42	9129.42	9129.42	9129.42
	ABA	783,225	726.364	726.364	783,225
	AB	386.657	458.743	458.743	386.657

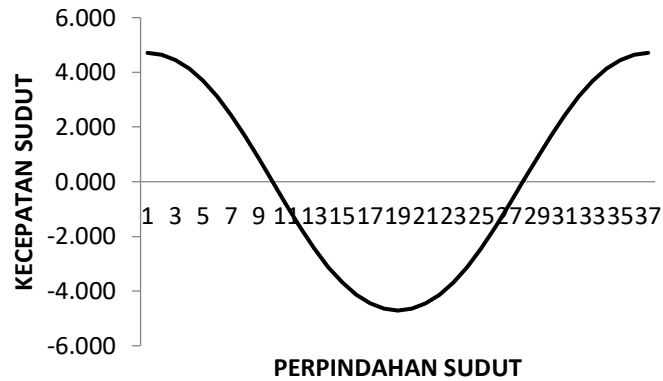
Data pada tabel 1 didapat dari analisis kinematika engkol peluncur dengan metode penggambaran poligon. Data tersebut didapat dengan mengambil empat sudut sebagai pembanding tingkat keberhasilan analisis menggunakan metode lainnya.

#### 3.2 Metode bilangan kompleks



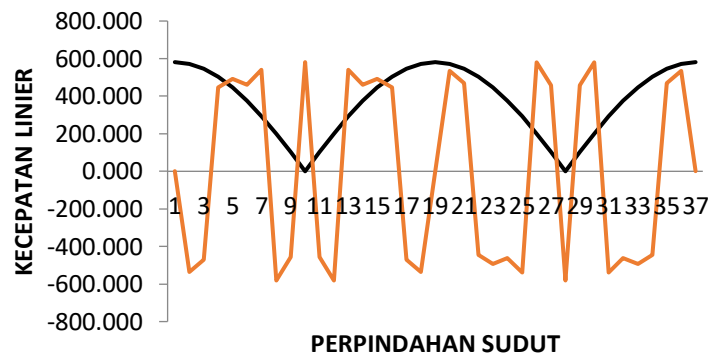
Gambar 7. Hubungan perpindahan posisi terhadap posisi batang 2

Dari gambar 7 grafik dapat dilihat bahwa sudut minimum batang 3 yaitu  $351^\circ$ , pada saat posisi batang 2 berada di sudut  $90^\circ$ . Sudut maksimal batang 3 yaitu  $368^\circ$  pada posisi batang 2 berada di sudut  $270^\circ$ . Dapat disimpulkan bahwa batang 3 berayun pada sudut  $351^\circ$  sampai  $368^\circ$  dengan pola berulang.

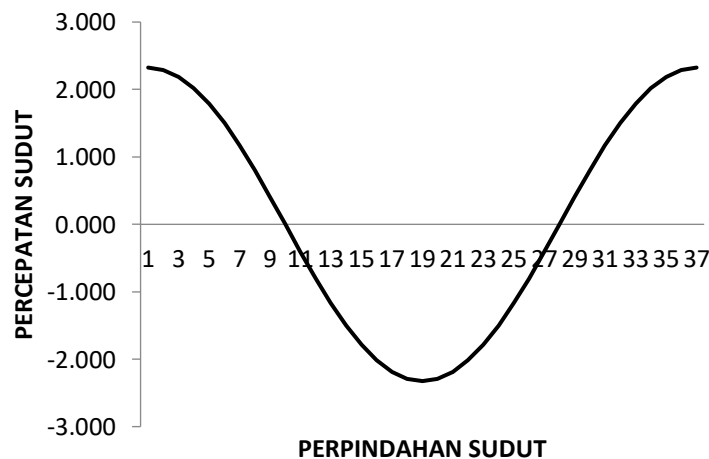


Gambar 8. Hubungan kecepatan sudut batang 3 terhadap posisi batang 2

Dari gambar 8 grafik diketahui dari batang 3, kecepatan sudut minimum yaitu  $-2.325$  rad/detik searah jarum jam pada saat batang 2 berada di sudut  $180^\circ$ . Kecepatan sudut maximum yaitu  $2.325$  rad/detik searah jarum jam pada saat batang 2 berada di sudut  $0^\circ$  atau  $360^\circ$ .



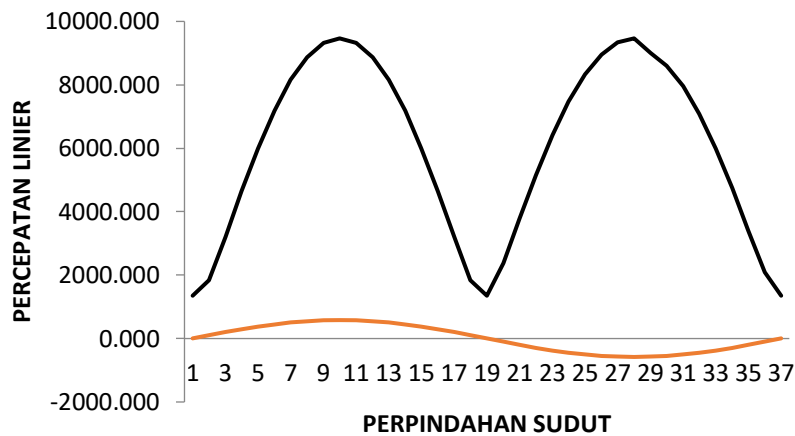
Gambar 9. Hubungan kecepatan linier batang 3 terhadap posisi batang 2



Gambar 10. Percepatan sudut batang 3 terhadap posisi batang 2.

Dari gambar 10 diketahui percepatan minimum sudut batang 3 yaitu  $0$  rad/detik<sup>2</sup> saat batang 2 pada posisi  $270^\circ$ . Sedangkan percepatan maximum sudut batang 3 yaitu  $2.325$  cm/detik<sup>2</sup> ketika batang 2 pada posisi  $80^\circ$





Gambar 11. Grafik percepatan linier batang 3 terhadap posisi batang 2

3.3 Perbandingan hasil pencarian kinematika engkol peluncur metode grafis (poligon) dan metode analitik (bilangan kompleks).

Dari data hasil analisis kinematika dengan menggunakan metode poligon kita akan membandingkan dengan metode bilangan kompleks guna mendapatkan tingkat akurasi metode. Metode poligon digunakan sebagai skala baku dan metode bilangan kompleks digunakan sebagai pembanding. Data hasil perbandingan dari kedua metode dapat dilihat sebagai berikut:

- A. Hasil perbandingan perhitungan kecepatan sudut dengan metode grafis dan metode analitik dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 1. Hasil perbandingan kecepatan sudut metode grafis dan analitik

Posisi Batang2 ( $\theta_2$ )	Kecepatan Sudut					
	Metode Grafis			Metode Analitik		
	$\omega_1$	$\omega_2$	$\omega_3$	$\omega_1$	$\omega_2$	$\omega_3$
40	0	15,708	1.77	0	15,708	1,789
130	0	15,708	-1.402	0	15,708	-1,504
230	0	15,708	-1.402	0	15,708	-1,504
310	0	15,708	1.77	0	15,708	1,504

- B. Hasil perbandingan perhitungan percepatan sudut dengan metode grafis dan metode analitik dapat dilihat pada Tabel 2.

Table 2. Hasil perbandingan perhitungan percepatan sudut metode grafis dengan metode analitik

Posisi Batang2 ( $\theta_2$ )	Percepatan Sudut					
	Metode Grafis			Metode Analitik		
	$\alpha_1$	$\alpha_2$	$\alpha_3$	$\alpha_1$	$\alpha_2$	$\alpha_3$
40	0	0	22.89	0	0	23,580
130	0	0	27.486	0	0	28,156
230	0	0	-27.486	0	0	-28,156
320	0	0	-22.89	0	0	-23,580

- C. Hasil perbandingan perhitungan kecepatan linier dengan metode grafis dan metode analitik dapat dilihat pada tabel 3

Table 3. Hasil perbandingan perhitungan kecepatan linier dengan metode grafis dengan metode analitik.

Posisi Batang2 ( $\theta_2$ )	Kecepatan linier					
	Metode Grafis			Metode Analitik		
	VA	VBA	VB	VA	VBA	VB
40	2356	442.5	-	581,196	447,250	491,941454
130	2356	458.83	-	581,196	376,010	461,2019567
230	2356	458.83	-	581,196	376,010	-461,2019567
320	2356	442.5	-	581,196	447,250	-491,941454

D. Hasil perbandingan perhitungan percepatan linier dengan metode grafis dan metode analitik dapat dilihat pada tabel 4.

Table 4. Hasil perbandingan perhitungan percepatan metode grafis dengan metode analitik.

Posisi Batang2 ( $\theta_2$ )	Percepatan Linier					
	Metode Grafis			Metode Analitik		
	AA	ABA	AB	AA	ABA	AB
40	9.129.427	783.225	386,657	9129,427	5997,923	373,586
130	9.129.427	726.364	458.743	9129,427	7184,456	445,222
230	9.129.427	726.364	458.743	9129,427	7476,599	-445,222
320	9.129.427	783.225	-	9129,427	5997,526	-373,586

#### 4. SIMPULAN

Dari perancangan analisis kinematika dengan metode grafis dan bilangan kompleks dari alat peraga engkol peluncur didapatkan bahwa sudut batang 2 sangat mempengaruhi kecepatan dari batang 4. Panjang batang 2 sangat mempengaruhi jarak maksimal pergerakan batang 4 (slider). Hal ini dapat dilihat pada pergerakan alat peraga engkol peluncur. Kedua metode yang digunakan saat penelitian memiliki selisih hasil. Rata-rata persentase selisih dari perhitungan parameter kinematika dengan dua metode masih berada pada kisaran normal (dibawah 30%) 0,009 sampai 1,256%.

#### REFERENSI

- [1] Naharuddin, "Penentuan Kecepatan Dan Percepatan Mekanisme Engkol Peluncur Pada Komponen Mesin," *J. Mek.*, vol. 3, no. 2, pp. 268–278, 2012.
- [2] D. Wardianto and I. Anwar, "Aplikasi Kinematika Pada Mekanisme Lengan Penanam Alat Tanam Padi Semi Mekanis Kinematics Applications in the Mechanism of Semi Mechanical," vol. XV, no. 02, pp. 25–39, 2021.
- [3] Pusvyta Yeny, "Volume II Nomor 1, April 2016 (Yeny Pusvyta)," vol. II, no. April, pp. 43–54, 2016.
- [4] S. K. Verma, R. Kumar, R. G. Chittawadigi, and S. Kumar Saha, "Kinematic Analysis of Mechanisms using Velocity and Acceleration Diagrams (VAD) Module in MechAnalyzer Software," *Proc. Asian Conf. Multibody Dyn.*, vol. 2016.8, no. 0, 2016, doi: 10.1299/jsmeacmd.2016.8.01\_771082.
- [5] P. Analysis and F. Mechanism, *Position Kinematic Analysis . Trigonometric Method*. 2016.
- [6] R. Arman, Y. Mahyoedin, and Y. Mahyoedin, "Analisis Simulasi Kinematik Mesin Gergaji Dengan Metode Bilangan Kompleks," *J. Kaji. Tek. Mesin*, vol. 5, no. 2, pp. 134–139, 2020, doi: 10.52447/jktm.v5i2.4216.
- [7] I. Pendahuluan, "Analisis posisi dan kecepatan mekanisme engkol peluncur dengan program

- komputer,” pp. 55–63.
- [8] S. Huda, M. J. Islami, and M. Bur, “Desain Kinematik Alat Pengumpan Material Berbasis Mekanisme Empat Batang,” *Met. J. Sist. Mek. dan Termal*, vol. 3, no. 1, p. 17, 2019, doi: 10.25077/metal.3.1.17-28.2019.
- [9] P. Flores and H. M. Lankarani, *Solid Mechanics and Its Applications Contact Force Models for Multibody Dynamics*, no. January. 2016.
- [10] D. Pendidikan, T. Mesin, U. P. Indonesia, J. Setiabudhi, and N. Bandung, “DEVELOPMENT OF MULTIMEDIA ANIMATION BASED ON AUTODESK INVENTOR TO IMPROVE GENERIC SKILLS OF SCIENCE IN KINEMATIC ACCELERATION PENDAHULUAN Percepatan dalam kinematika merupakan salah satu materi dari mata kuliah Kinematika dan Dinamika ( Kindin ) yang meru,” vol. 7, no. 1, pp. 73–79, 2020.
- [11] E. Hertnacahyani, S. Jatmiko, and H. Suryanto, “Studi Numerik Gerakan Mainan Mekanik Monobike,” vol. 13, no. 2, pp. 26–31, 2019.
- [12] A. Cavezza, A. Cavezza, and W. Virginia, “Flexibility and Transient Dynamic Analysis of a Slider-Crank Deployment Mechanism Flexibility and Transient Dynamic Analysis of a Slider-Crank Deployment Mechanism Department of Mechanical Engineering,” 2012.
- [13] S. In *et al.*, “R r (0),” *Aquat. Sci.*, vol. 26, no. 0, pp. 1–5, 2012.
- [14] T. Bhimadi and A. Sudiby, “Mekanisme Torak Engkol dan Penggunaan Persamaan Relatif untuk Analisis Kincir Air Garam,” vol. 4, pp. 1–6, 2016.
- [15] O. Soegihardjo, “Analisis Perpindahan (displacement) dan Kecepatan Sudut (angular velocity) Mekanisme Empat Batang Secara Analitik Dengan Bantuan Komputer,” *J. Tek. Mesin*, vol. 4, no. 2, pp. 114–122, 2002, doi: 10.9744/jtm.4.2.pp.114-122.