

Analisis Kinematika pada *Quick Return Mechanism* dengan Menggunakan Metode Bilangan Kompleks

Nazaruddin^{1*}, Warman Fatra¹

¹⁾ Teknik Mesin, Universitas Riau, Pekanbaru, Indonesia

ABSTRACT – Kinematics analysis includes analysis of position, velocity and acceleration of the rods of a mechanism. The complex number method is a kinematic analytical way to express position, velocity and acceleration vectors in the form of complex numbers. The first step that needs to be done is to determine the position vector of the point to be analyzed, then determine the velocity and acceleration vectors by differentiating with time. After that is done, then the algorithm can be made. The mechanism used for this study is the quick return mechanism. The assumed data for this analysis is the angular velocity of rod 2 is 19.0986 rpm and the acceleration of rod 2 is 0 rad/s². The results of the position analysis show that if rod 2 rotates one full rotation (360°), then rod 4 rotates about 1/6 circle (232.72° - 294.12°) and the slider moves along the X axis (406.939 - 504.111). The maximum speed behind the slider is 121.45 mm/s while the maximum speed forward for the slider is 101.09 mm/s. A large change in velocity (acceleration) is needed when bar 4 and the slider change direction (from CW to CCW or vice versa), this is indicated by a decrease and increase at the beginning and end of the graphic with significant acceleration

Riwayat Artikel:

Diterima: 28 Januari

2023

Direvisi: 15 Juni

2023

Disetujui: 30 Juni

2023

KEYWORDS: complex numbers, spins, sliders, angular velocity, angular acceleration

model lutut manusia telah dimodelkan dengan *four bar linkage*[8].

1. PENDAHULUAN

Suatu mesin biasanya terdiri dari berbagai mekanisme yang kompleks untuk mendukung tujuan tertentu. Oleh sebab itu dalam perancangannya terdapat berbagai aspek yang harus dipertimbangkan, seperti statika, kinematika dan dinamika serta mekanika kekuatan bahan. Statika akan mengkaji kesetimbangan gaya-gaya yang berlaku pada sistem dalam keadaan diam (statik), sedangkan mekanika kekuatan bahan akan meninjau bagaimana perilaku bahan jika ada gaya luar yang bekerja padanya. Aspek kinematika dan dinamika akan meninjau suatu sistem dalam keadaan bergerak. Mesin terdiri dari berbagai mekanisme yang bergerak satu dengan yang lainnya [1]. Oleh sebab itu penentuan ruang (*space*) gerak, kecepatan dan percepatan antar batang (*link*) pada suatu mekanisme harus dilakukan agar berbagai mekanisme dapat bekerja dengan baik. Metoda paling sederhana untuk analisis ruang gerak kecepatan dan percepatan tersebut adalah dengan metoda grafik. Penelitian seperti ini telah dilakukan pada mekanisme sederhana engkol peluncur[2] dan dengan membuat mekanisme secara langsung[3] serta pada lengan mesin penanam padi [4]. Penggunaan software yang sudah ada seperti AutoCAD juga bisa digunakan untuk menganalisis gerakan kebutuhan ruang (*workspace*) yang dibutuhkan suatu mekanisme lengan backhoe excavator [5][6]. Pengukuran dan pemodelan kinematika juga merupakan hal penting dalam menentukan parameter kinematika suatu mekanisme[7]. Salah satu parameter kinematika untuk memperoleh dimensi yang tepat pada model *above knee prosthesis* (AKP) untuk

Metoda lain dalam analisis kinematika dinamika adalah dengan menggunakan metoda elemen hingga. Metoda ini digunakan jika gaya yang bekerja pada struktur sangat besar dan deformasi pada setiap batang tidak bisa diabaikan[9]. Dimensi alat bantu pengelasan dengan analisis kinematika memperoleh kekuatan struktur dan material yang digunakan [10]. Dengan menggunakan simulasi Matlab/Simulink untuk analisis kecepatan mekanisme engkol peluncur juga telah dilakukan dengan menambahkan fitur GUI (Graphic User Interface) sehingga gerakan mekanisme lebih mudah dipahami [11].

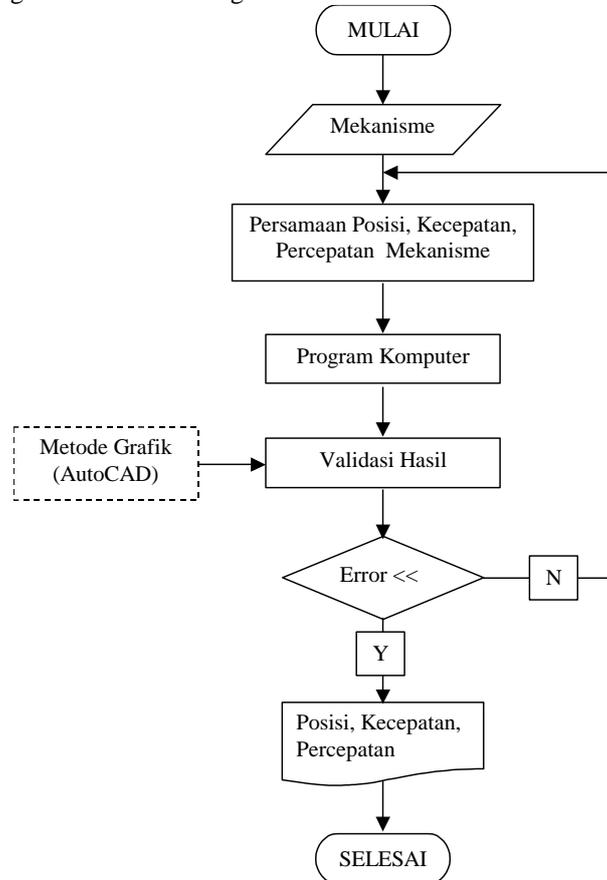
Disamping metoda grafik dan metoda elemen hingga tersebut dalam menganalisis besaran kinematika dan dinamika pada suatu mekanisme, ada metode bilangan kompleks sebagai metode numerik yang juga bisa digunakan. Metoda ini akan menggunakan persamaan-persamaan matematika dalam bentuk bilangan kompleks dalam melihat hubungan besaran-besaran kinematika (posisi, kecepatan dan percepatan). Keunggulan metoda ini adalah sangat mudah dibuatkan algoritma komputer dan di-*coding* dengan berbagai macam bahasa pemrograman. Pada makalah ini metoda bilangan kompleks ini akan digunakan pada mekanisme balik cepat (*quick return mechanism*). Sebagai pembanding hasil metoda ini digunakan metoda grafik berbantuan software CAD.

*Corresponding author: nazaruddin@eng.unri.ac.id

2. METODOLOGI

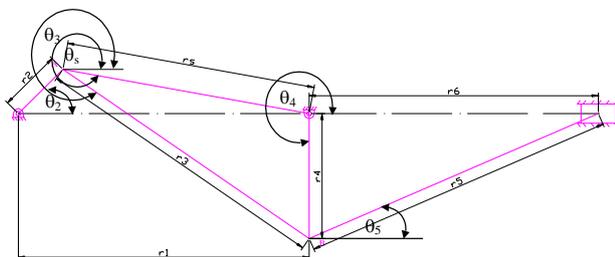
Secara garis besar metodologi penelitian yang dilakukan untuk menganalisis kinematik dengan metode bilangan

kompleks dapat dilihat pada diagram alir (*flow chart*) seperti pada gambar 2.



Gambar 1 Diagram Alir Penelitian

Mekanisme yang akan dianalisis adalah mekanisme balik cepat (*quick return mechanism*). Parameter-parameter yang akan digunakan untuk analisis ini dapat dilihat pada gambar 2.



Gambar 2 Parameter-parameter mekanisme balik cepat

2.1 Membentuk Persamaan Posisi, Kecepatan Dan Percepatan Mekanisme

2.1.1 Analisis Posisi

Langkah pertama adalah menentukan bentuk hubungan vector-vector r_1 , r_2 dan r_s . Berdasarkan gambar 3 vektor-vektor tersebut dapat ditulis sebagai berikut :

$$r_1 e^{i\theta_1} = r_2 e^{i\theta_2} + r_s e^{i\theta_s} \quad (1)$$

karena $\theta_1 = 0$ (konstan), dengan memisahkan suku real dan imajinernya, diperoleh besarnya θ_s adalah :

$$\theta_s = \sin^{-1} \left(-\frac{r_2}{r_s} \sin \theta_2 \right) \quad (2)$$

Langkah kedua adalah menyelesaikan vektor-vektor yang dibentuk oleh batang 3, batang 4 dan batang semu s, bentuk hubungannya adalah :

$$r_3 e^{i\theta_3} = r_s e^{i\theta_s} + r_4 e^{i\theta_4} \quad (3)$$

Dengan cara yang sama diperoleh besarnya θ_3 dan θ_4 adalah

$$\theta_3 = \cos^{-1} \left(\frac{r_4^2 - r_s^2 - r_3^2}{-2r_s r_3} \right) + \theta_s \quad (4)$$

$$\theta_4 = \cos^{-1} \left(\frac{r_3^2 - r_s^2 - r_4^2}{2r_s r_4} \right) + \theta_s \quad (5)$$

*Corresponding author: nazaruddin@eng.unri.ac.id

Langkah ketiga merupakan bagian akhir dari analisis posisi, dimana melihat hubungan vector-vector yang dibentuk oleh batang 4, batang 5 dan slider. Vektor posisi r_6 merupakan gerakan relatif antara titik O_4 dan titik C pada slider. Gerakan ini hanya merupakan gerakan satu arah saja, yakni gerakan sepanjang sumbu X. Bentuk hubungan vektor-vektor tersebut dapat dilihat pada persamaan berikut:

$$r_6 e^{i\theta_6} = r_4 e^{i\theta_4} + r_5 e^{i\theta_5} \quad (6)$$

karena $\theta_6 = 0$ (konstan) maka diperoleh besarnya θ_5 adalah :

$$\theta_5 = \sin^{-1} \left(-\frac{r_4}{r_5} \sin \theta_4 \right) \quad (7)$$

2.1.2 Analisis Kecepatan

Kecepatan dapat diperoleh dengan mendiferensialkan terhadap waktu vektor posisi sebagaimana yang telah dibahas pada subbab 2.1.1 Langkah pertama adalah menentukan vektor kecepatan untuk titik B. Kecepatan titik B dapat dibentuk dari dua vektor posisi (lihat gambar 3) dalam bentuk persamaan sebagai berikut :

$$v_B = \dot{r}_B = r_2 i \omega_2 e^{i\theta_2} + r_3 i \omega_3 e^{i\theta_3} = r_1 i \omega_1 e^{i\theta_1} + r_4 i \omega_4 e^{i\theta_4} \quad (8)$$

Dengan asumsi kecepatan sudut batang 2, $\omega_2 = 0$ maka dari persamaan (13) dapat besarnya kecepatan sudut batang 3 dan kecepatan sudut batang 4 menjadi :

$$\omega_3 = -\frac{r_2 \omega_2 \sin(\theta_4 - \theta_2)}{r_3 \sin(\theta_4 - \theta_3)} \quad (9)$$

$$\omega_4 = \frac{r_2 \omega_2 \sin(\theta_3 - \theta_2)}{r_4 \sin(\theta_3 - \theta_4)} \quad (10)$$

Setelah ditentukan kecepatan sudut batang 3 dan batang 4, maka kecepatan linier titik B dapat ditentukan dari persamaan (13) yaitu :

$$v_B = r_2 \omega_2 \frac{\sin(\theta_3 - \theta_2)}{\sin(\theta_3 - \theta_4)} i e^{i(\theta_2 + \frac{\pi}{2})} \quad (11)$$

dimana besar $\frac{\pi}{2}$ menunjukkan arah kecepatan v_B sebesar 90° terhadap posisi B.

Kecepatan titik C dapat ditentukan dengan diferensial persamaan (4.21) yaitu

$$v_c = r_6 i \omega_6 e^{i\theta_6} + \dot{r}_6 e^{i\theta_6} = r_4 i \omega_4 e^{i\theta_4} + r_5 i \omega_5 e^{i\theta_5} \quad (12)$$

Titik C terletak pada slider yang gerakannya translasi saja, yang berarti $\theta_6 = 0$ dan $\omega_6 = 0$ maka kecepatan titik C dapat dibuat lebih sederhana dengan persamaan sebagai berikut :

Dari persamaan (12) diperoleh kecepatan sudut batang 5 (ω_5) adalah

$$\omega_5 = -\frac{r_4 \omega_4 \cos \theta_4}{r_5 \cos \theta_5} \quad (13)$$

Dengan mensubstitusikan persamaan (13) ke dalam persamaan (12), maka kecepatan titik C adalah :

$$v_c = r_4 \omega_4 (\cos \theta_4 \tan \theta_5 - \sin \theta_4) \quad (14)$$

2.1.3 Analisis Percepatan

Percepatan secara umum dapat diperoleh dengan mendiferensialkan vektor kecepatan terhadap waktu. Percepatan titik B diperoleh dengan mendiferensialkan persamaan (11) terhadap waktu dengan hasil sebagai berikut :

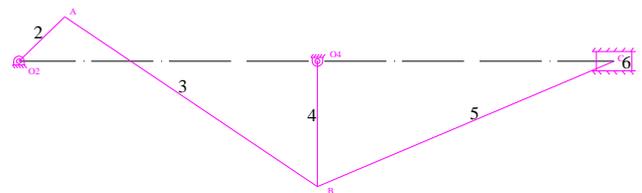
$$A_B = r_1 (i\alpha_1 - \omega_1^2) e^{i\theta_1} + r_4 (i\alpha_4 - \omega_4^2) e^{i\theta_4} \quad (15)$$

Percepatan titik C (slider) dapat dengan mendiferensialkan persamaan (12) terhadap waktu sehingga dihasilkan persamaan :

$$A_c = r_4 (i\alpha_4 - \omega_4^2) e^{i\theta_4} + r_5 (i\alpha_5 - \omega_5^2) e^{i\theta_5} \quad (16)$$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Mekanisme yang digunakan sebagai objek penelitian ini adalah mekanisme balik cepat (*quick return mechanism*). Model kinematik dari mekanisme ini dapat dilihat pada gambar 3 dengan data-data dimensi pada tabel 1.



Gambar 3. Mekanisme Balik Cepat

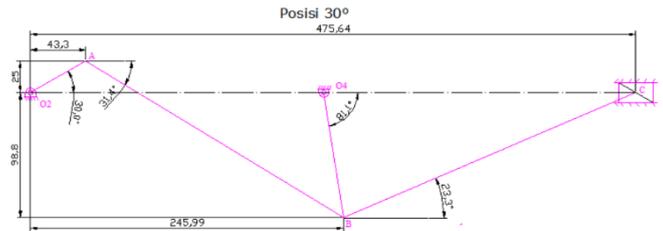
Tabel 1. Dimensi mekanisme balik cepat

No.	Batang / Lengan (link)	Simbol	Ukuran (mm)
1	Batang 1	ground	
2	Batang 2	O_2A	50
3	Batang 3	AB	237,5
4	Batang 4	O_4B	100
5	Batang 5	BC	250
6	Batang 6	slider	

Data lain yang diasumsikan untuk analisis ini adalah kecepatan sudut batang 2 adalah 19,0986 rpm dan percepatan batang 2 sebesar 0 rad/s^2 .

Analisis posisi dilakukan untuk mengetahui posisi titik A, titik B dan titik C fungsi dari putaran sudut batang 2. Batang 2 bergerak berlawanan arah jarum jam (CCW) dari 0° sampai

360° dengan interval 30°. Posisi 0° terletak pada garis sumbu X positif. Hasil analisis posisi, kecepatan dan percepatan untuk tiga titik pada mekanisme balik cepat ini dapat dilihat pada tabel 2. Hasil numerik diperoleh dengan membuat *computer coding* dari persamaan-persamaan bilangan kompleks pada sub bab sebelumnya. Sedangkan untuk hasil grafis dibuatkan gambarnya melalui software CAD. Salah contoh hasil analisis posisi pada sudut batang 2 sebesar 30°

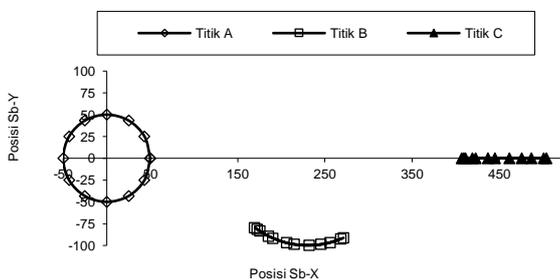


Gambar 4. Hasil analisis posisi pada sudut 30°

Tabel 2. Hasil Analisis Posisi Titik A, B dan C pada Mekanisme Balik Cepat

Teta2	Posisi Titik A		Posisi Titik B Sb-X		Posisi Titik B Sb-Y		Posisi Titik C Sb-X	
	Sb-X	Sb-Y	Grafis	Numerik	Grafis	Numerik	Grafis	Numerik
0	50	0	268,797	268,797	-92,380	-92,380	501,103	501,103
30	43,301	25	245,986	245,986	-98,795	-98,795	475,637	475,637
60	25	43,301	215,274	215,274	-98,833	-98,833	444,909	444,909
90	0	50	190,603	190,603	-91,692	-91,692	423,181	423,181
120	-25	43,301	175,72	175,720	-83,655	-83,654	411,308	411,309
150	-43,301	25	169,939	169,939	-79,569	-79,569	406,939	406,939
180	-50	0	172,973	172,973	-81,789	-81,789	409,215	409,215
210	-43,301	-25	185,351	185,351	-89,223	-89,222	418,887	418,887
240	-25	43,301	206,341	206,342	-97,036	-97,036	436,741	436,741
270	0	-50	232,18	232,180	-99,986	-99,986	461,315	461,315
300	25	-43,301	256,447	256,447	-96,578	-96,578	487,04	487,040
330	43,301	-25	271,368	271,368	-91,272	-91,273	504,111	504,111

Hasil seluruh gerakan titik A, titik B dan titik C pada mekanisme balik cepat dapat dilihat pada gambar 5.

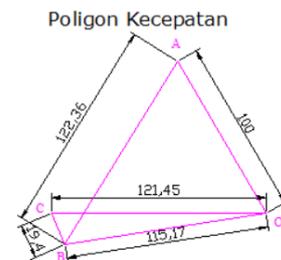


Gambar 5. Posisi Titik A, B dan C (Numerik)

Dari gambar 5, hasil analisis menunjukkan gerakan titik A merupakan gerakan satu lingkaran (0° - 360°) sebagaimana yang ada pada gambar 4. Posisi titik B berpindah sekitar 1/6 lingkaran (232,72° - 294,12°). Posisi C (*slider*) berpindah hanya sepanjang sumbu X (406,939 - 504,111).

3.2 Hasil Analisis Kecepatan

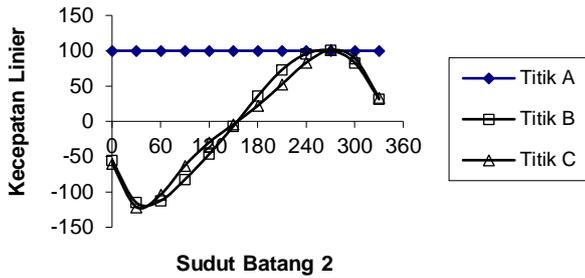
Kecepatan linier titik B dan titik C adalah akibat adanya gerakan dari batang 2, dalam hal ini gerakan titik A diasumsikan 100 mm/s (konstan). Untuk satu posisi batang 2 pada posisi 30° hasil analisis kecepatan secara grafik untuk ketiga titik tersebut dapat dilihat pada gambar 6. Kecepatan pada titik B sebesar 115,17 mm/s dan kecepatan C sebesar 121,45 mm/s. Arah kecepatan setiap titik dapat dilihat arah dari titik awal (O_v) ke titik masing-masing.



Gambar 6. Hasil analisis kecepatan ketiga titik pada posisi batang 2 sebesar 30°

Secara keseluruhan hubungan kecepatan ketiga titik pada mekanisme ini dapat dilihat pada Gambar 6. Dengan kecepatan titik A sebesar 100 mm/s maka kecepatan titik B dan titik C maksimum 100 mm/s dan minimum sekitar -125 mm/s.

*Corresponding author: nazaruddin@eng.unri.ac.id

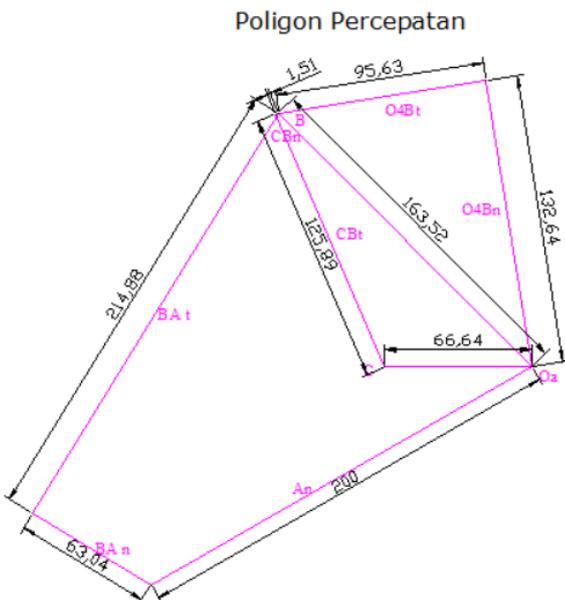


Gambar 7. Kecepatan Linier Titik A, Titik B dan Titik C

Mekanisme yang dianalisis adalah mekanisme balik cepat (*quick return mechanism*). Dari gambar 7 dapat dilihat untuk langkah balik (grafik bagian bawah sumbu X), besar kecepatan titik C lebih dalam lembahnya (121,45 mm/s) dari gunung (101,09 mm/s). Hal ini menunjukkan bahwa langkah balik lebih cepat dari langkah majunya.

3.3 Hasil Analisis Percepatan

Hasil secara grafik untuk besaran percepatan untuk ketiga titik pada mekanisme dapat dilihat pada gambar 8. Besaran percepatan ini lebih kompleks juga secara grafik karena setiap besaran percepatan umumnya mengandung unsur percepatan normal dan percepatan tangensial. Nilai percepatan ini sangat berguna nantinya untuk menentukan gaya-gaya dinamik yang terjadi pada setiap batang. Besar gaya-gaya ini secara umum adalah perkalian antara massa masing-masing batang dengan besaran percepatan ini. Dengan menentukan arah gaya dinamik ini sedemikian rupa, maka akan diperoleh gaya yang bekerja pada masing-masing sambungan batang.



Gambar 8. Hasil analisis percepatan ketiga titik pada posisi batang 2 sebesar 30°

Tabel 3 menunjukkan kecepatan titik B dan titik C dengan hasil numerik dan grafik. Perbedaan hasil numerik dan grafik percepatan titik B dan titik C lebih kecil dari 0,0009 dapat dilihat pada tabel 4. Dengan perbedaan hasil yang cukup kecil ini dianggap hasilnya dapat diterima dengan baik.

Tabel 3. Percepatan liner titik B dan titik C

Sudut	Percepatan Titik B		Percepatan Titik C	
	Grafik	Numerik	Grafik	Numerik
0	336,508	336,507	-363,312	-363,310
30	163,517	163,516	-66,635	-66,635
60	152,885	152,884	150,804	150,801
90	147,607	147,606	145,824	145,823
120	144,827	144,827	107,086	107,086
150	159,423	159,423	94,764	94,764
180	160,232	160,232	107,738	107,739
210	129,961	129,961	122,170	122,170
240	106,07	106,070	103,335	103,334
270	102,673	102,674	22,346	22,345
300	139,949	139,949	-123,394	-123,394
330	279,249	279,247	-300,741	-300,739

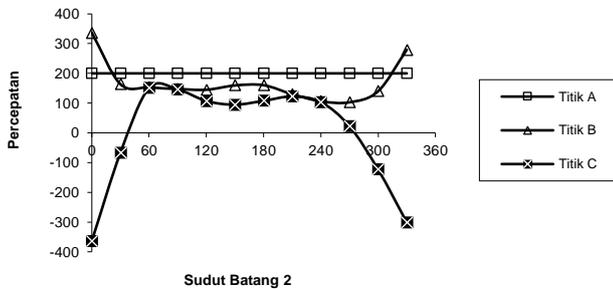
Perbedaan cukup kecil ini disebabkan pembuktian dengan secara grafik menggunakan software CAD. Ketelitian menggambar dengan software CAD sudah dianggap cukup tinggi sehingga dapat diterima hasilnya.

Tabel 4. Perbedaan hasil numerik dan grafik percepatan titik B dan titik C

Sudut	Titik B	Titik C
0	0,0012	0,0019
30	0,0012	0,0001
60	0,0015	0,0026
90	0,0011	0,0014
120	0,0001	0,0004
150	0,0004	0,0001
180	0,0003	0,0006
210	1E-04	0,0004
240	0,0004	0,0006
270	0,0005	0,0007
300	1E-04	0,0004
330	0,0023	0,0018
Rata-rata	0,0008	0,0009

*Corresponding author: nazaruddin@eng.unri.ac.id

Percepatan sudut batang-batang pada mekanisme ini akibat kecepatan sudut batang 2. Batang 2 tidak mengalami percepatan sudut atau dengan kata lain kecepatan sudut batang 2 konstan. Komponen percepatan sudut batang terdiri dari percepatan normal dan percepatan tangensial. Percepatan normal biasanya akibat kecepatan sudut, sedangkan percepatan tangensial akibat kecepatan percepatan sudut.



Gambar 9. Percepatan linier titik A, titik B dan titik C

Pada gambar 9 ditunjukkan hasil percepatan linier percepatan titik A, titik B dan titik C. Untuk titik B dan titik C terjadi penurunan dan penanjakan pada awal dan akhir grafik tersebut. Hal ini berarti dibutuhkan perubahan kecepatan yang besar pada saat titik B dan titik C tersebut berubah arah (dari CW ke CCW atau sebaliknya)

4. KESIMPULAN

Beberapa kesimpulan yang dapat diambil dengan selesainya penelitian ini antara lain:

- 1 Parameter kinematika dari mekanisme balik cepat (quick return mechanism) antara lain dimensi batang (link), putaran batang 2 dari 0° s/d 360° , kecepatan sudut dan percepatan sudut batang 2.
- 2 Hasil analisis posisi menunjukkan jika batang 2 berputar satu putaran penuh (360°), maka putaran batang 4 sekitar $1/6$ lingkaran ($232,72^\circ - 294,12^\circ$) dan gerakan slider berpindah sepanjang sumbu X ($406,939 - 504,111$).
- 3 Besar kecepatan balik maksimum slider $121,45$ mm/s sedangkan kecepatan maksimum maju slider $101,09$ mm/s
- 4 Dibutuhkan perubahan kecepatan (percepatan) yang besar pada saat batang 4 dan slider berubah arah (dari CW ke CCW atau sebaliknya), hal ini ditandai dengan terjadi penurunan dan penanjakan pada awal dan akhir grafik percepatan yang signifikan.
- 5 Validasi hasil antara numerik dan grafik, kesalahan analisis posisi, analisis kecepatan dan analisis percepatan kecil dari $0,0009$; sedangkan waktu yang diperlukan untuk program komputer (numerik) $0,151$ detik..

UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Proyek Pengkajian dan Penelitian Ilmu Pengetahuan Terapan dengan Surat Perjanjian Pelaksanaan nomor 091/P4T/DPPM/PDM/III/2004, Direktorat Pembinaan Penelitian dan Pengabdian Masyarakat Dirjen Pendidikan Tinggi Departemen Pendidikan Nasional yang telah mendanai penelitian ini sampai selesai.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. R. Holowenko and C. Prapto, "Dinamika Permesinan," 1984.
- [2] Y. Saputra and R. Muharni, "Perancangan dan Analisis Kinematik Dengan Metode Grafis dan Bilangan Kompleks Dari Alat Peraga Engkol Peluncur," *TEKNOSAINS J. Sains, Teknol. dan Inform.*, vol. 9, no. 1, pp. 9–19, 2022.
- [3] E. K. Harianto, "Analisa kinematika mekanisme engkol peluncur," *SKRIPSI-2017*, 2022.
- [4] D. Wardianto, I. Anwar, and M. Muchlisinalahuddin, "Aplikasi Kinematika Pada Mekanisme Lengan Penanam Alat Tanam Padi Semi Mekanis," *Menara Ilmu*, vol. 15, no. 2, 2021.
- [5] G. Mustofa, S. Tangkuman, and H. Luntungan, "Simulasi Kinematika Mekanisme Lengan Backhoe Excavator," *J. POROS Tek. MESIN UNSRAT*, vol. 7, no. 1, 2018.
- [6] D. Yulianto and S. T. Wijianto, "Analisis Kinematis Lengan Excavator Keihatsu 921 C." Universitas MUhammadiyah Surakarta, 2014.
- [7] A. Sugihartoa, A. I. Mahyuddina, I. Hermana, and M. N. H. Kusumab, "Pengukuran dan Pemodelan Sistem Kinematika 8 Batang sebagai Parameter Kinematika pada Atlet Rowing".
- [8] S. Sugiyanto, B. P. Biyan, B. P. Alhakim, D. Setyawan, and R. Ismail, "Analisis Kinematis untuk Menentukan Dimensi Transfemoral Prosthetic Tipe Four-Bar Linkage dalam Fase Awal Siklus Gait Cycle," *ROTASI*, vol. 19, no. 2, pp. 61–67.
- [9] I. I. I. P. G. M. S. CRANK and D. P. B. ELASTIK, "Analisis Kinematika Dan Dinamika Dengan Menggunakan Metoda Elemen Hingga".
- [10] A. Suwandi, A. R. Al Afghani, D. L. Zariatn, and R. Rosidi, "Perancangan Mesin Pembuka Kaleng Aerosol Untuk Kategori Limbah Bahan Berbahaya Dan Beracun (B3)," *J. Teknol.*, vol. 13, no. 2, pp. 115–128, 2021.
- [11] M. Rizki, D. Y. Sari, H. Nurdin, and A. Kurniawan, "Analisis Kecepatan Mekanisme Engkol Peluncur,"

J. Pendidik. Tambusai, vol. 5, no. 3, pp. 8482–8487,
2021.