

APLIKASI KINEMATIKA PADA MEKANISME LENGAN PENANAM ALAT TANAM PADI SEMI MEKANIS

KINEMATICS APPLICATIONS IN THE MECHANISM OF SEMI MECHANICAL RICE PLANTING MECHANISMS

Dedi Wardianto¹, Irwan Anwar², Muchlisinalahuddin³

¹ Prodi Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Sumatera Barat

Email : wardiantodedi71@gmail.com

² Prodi Teknik Mesin Universitas Islam Riau

Email : iwan.anwar0027075901@gmail.com

³ Prodi Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Sumatera Barat

Email : muchlisinalahuddin.umsb@gmail.com

ABSTRAK : Perhitungan kinematika pada lengan penanam bertujuan untuk menganalisis pengaruh parameter kinematika terhadap kinerja mekanisme dan merancang pengaturan jarak tanam dengan bervariasi panjang batang dan kecepatan sudut batang input. Perhitungan kinematika dilakukan menggunakan dua metode yaitu metode analitik dan grafis. Dari hasil perhitungan kinematika diperoleh data bahwa lokus dari batang-batang pada mekanisme sudah membentuk pola yang sama dengan gerak batang sebenarnya. Namun nilai sudut transmisi berada di bawah interval aman yang membuat pergerakan batang kurang halus, ini sesuai dengan hasil uji kinerja alat. Rata-rata persentase selisih dari perhitungan parameter kinematika dengan dua metode masih berada pada kisaran normal (dibawah 30 %) yaitu 0.007 % sampai 3.380 %. Untuk pengaturan jarak tanam dengan bervariasi panjang batang input menjadi 2, 2.25, 2.5, 2.75, 3 dan 3.25 cm diperoleh jangkauan batang CA yaitu 24.5, 24, 23.8, 23 dan 22.5 cm sehingga disimpulkan bahwa semakin panjang batang input maka jangkauan lengan batang semakin pendek. Pengaturan jarak tanam dengan bervariasi kecepatan sudut batang input menjadi 3.142, 3.456, 3.770, 4.084, 4.398, 4.712, 5.027, 5.341, 5.655, dan 6.283 rad/s memperoleh hasil jarak tanam 37.5, 34, 31.25, 29, 27, 25, 23.4, 22, 21 dan 18.75 cm sehingga disimpulkan bahwa semakin besar kecepatan sudut batang input maka frekuensi penjatuhan bibit semakin besar dan ini berdampak dengan semakin pendeknya jarak tanam.

Kata kunci: kinematika, lengan penanam

ABSTRACT : The kinematics calculation on the planting arm aims to analyze the kinematic parameters that analyze the performance and spacing of the plant by varying the length of the stem and the angular velocity of the input rod. Kinematics calculations are carried out using two methods, namely analytical and graphic methods. From the results of kinematics calculations, data shows that the loci of the rods in the model have formed the same pattern as the actual rod motion. However, the value of the transmission angle is below the safe interval where the movement of the rod is less smooth, this is following the results of the tool performance test. The average proportion difference from the calculation of kinematic parameters using the two methods is still in the normal range (below 30%), namely 0.007% to 3.380%. To adjust the spacing by varying the length of the input rods to 2, 2.25, 2.5, 2.75, 3 and 3.25 cm, the CA stem reach is 24.5, 24, 23.8, 23 and 22.5 cm so it can be concluded that the longer the input rods, the shorter the stem arm reach. . Setting the spacing by varying the speed of the input angle rods to 3,142, 3,456, 3,770, 4,084, 4,398, 4,712, 5,027, 5,341, 5,655, and 6,283 rad / s results in spacing results of 37.5, 34, 31.25, 29, 27, 25, 23.4 , 22, 21 and 18.75 cm, thus ignoring that the greater the angular velocity of the input rods, the greater the frequency of dropping seedlings and an impact on the shorter the spacing.

Keywords: kinematics, planting arm

A. PENDAHULUAN

Kinematika adalah ilmu yang mempelajari gerakan relatif suatu komponen mesin yang meliputi posisi, kecepatan dan percepatan tanpa mempertimbangkan penyebab gerak. Lengan penanam pada

alat tanam padi semi mekanis berfungsi sebagai komponen pengambil dan penanam benih padi ke tanah. Lengan penanam dibuat dengan menggunakan mekanisme empat batang penghubung. Alat tanam padi semi mekanis yang diteliti pada tulisan ini sudah selesai dibuat oleh Yusrizal (2016) namun belum dilakukan perhitungan kinematika pada lengan penanam sehingga penulis tertarik untuk melakukan perhitungan kinematika, menganalisis pengaruh parameter kinematika terhadap kinerja mekanisme dan merancang pengaturan jarak tanam dengan bervariasi panjang batang dan kecepatan sudut pada batang input mekanisme lengan penanam. Informasi mengenai kecepatan dan percepatan berfungsi untuk mendapatkan gaya-gaya dinamik yang bekerja pada elemen-elemen mesin (Hutahean, 2006).

Mekanisme adalah bagian mekanik yang berfungsi memindahkan gerak dan gaya dari sumber gerak ke keluaran (*output*) (Rider, 2015). Mekanisme empat batang penghubung terdiri dari empat batang (*link*) yang dihubungkan oleh sambungan - sambungan (*joint*) sedemikian rupa sehingga memungkinkan terjadinya gerakan relative diantara batang-batang yang ada (Soegihardjo, 2002). Mekanisme jenis ini banyak diaplikasikan di berbagai bidang untuk memanipulasi gerak seperti pada peralatan pemrosesan, alat pemegang dan pemindah material, peralatan permainan dan lain sebagainya. (Huda et al., 2019).

Seiring perkembangan teknologi, sekarang komputer dikembangkan untuk membantu proses analisis kinematika mekanisme dengan lebih cepat dan akurat (Myszka, 2012). Perhitungan kinematika pada tulisan ini dilakukan dengan menggunakan dua metode yaitu metode analitik dan grafis yang dibantu dengan aplikasi di komputer. Microsoft Excel digunakan untuk membantu kegiatan perhitungan kinematika pada metode ini. Microsoft Excel merupakan program aplikasi lembar kerja (*spreadsheet*) populer yang dibuat dan didistribusikan oleh *Microsoft Cooperation* untuk sistem operasi Windows dan Mac OS. Microsoft Excel merupakan program aplikasi penyajian dan pengolahan data yang cepat dan akurat untuk keperluan informasi data kuantitatif baik dalam bentuk angka, tabel maupun grafik (Osman, 2009).

Pada perhitungan dengan metode grafis penulis menggunakan aplikasi Geogebra. GeoGebra merupakan salah satu aplikasi yang banyak digunakan dalam pelajaran matematika yang di dalamnya merupakan gabungan dari geometri, aljabar dan kalkulus. GeoGebra dikembangkan oleh Markus Hohenwarter dari Universitas Florida Atlantik Amerika tahun 2001 (Ekawati, 2016).

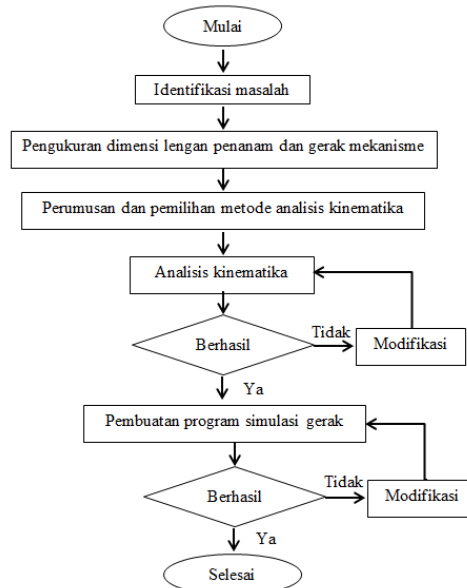
B. METODE PENELITIAN

Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Maret 2020 sampai dengan bulan Agustus 2020 yang berlokasi di Kampus III Universitas Muhammadiyah Sumatera Barat, Bukittinggi, Sumatera Barat.

Tahapan Penelitian

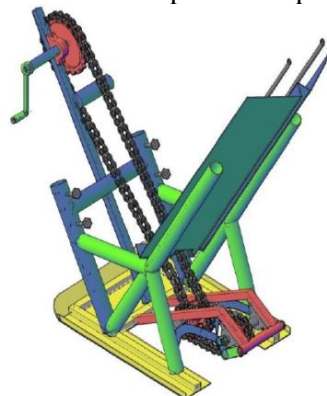
Metode penelitian pada skripsi ini yaitu metode komparasi. Tahapan penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram alir tahapan penelitian

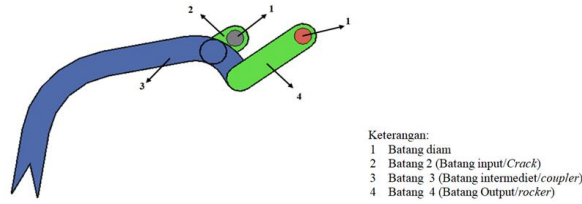
Mekanisme Lengan Penanam

Alat tanam padi semi mekanis yang dibuat oleh Yusrizal (2016) terdiri dari kerangka utama, hopper, besi penahan bibit padi, tangkai pemegang kemudi, kedudukan lengan penanam, lengan penanam, bantalan, poros, sistem transmisi dan tapak itik. Alat tanam padi semi mekanis mampu menanam dua baris dalam sekali berjalan. Dari hasil uji kinerja alat tanam padi semi mekanis (Yusrizal, 2016) dapat disimpulkan bahwa kinerja batang-batang pada mekanisme lengan penanam sudah sesuai dengan fungsinya dimana batang 2 berputar 360° dan batang 3 dan 4 berayun dengan batasan tertentu. Alat tanam padi semi mekanis dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Alat tanam padi semi mekanis (Yusrizal, 2016)

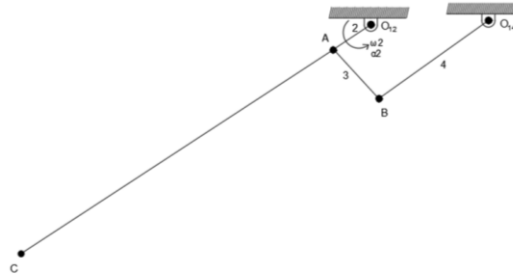
Sistem gerak lengan penanam pada alat tanam padi semi mekanis menggunakan mekanisme empat batang penghubung jenis *crank rocker*. Batang input (*crank*) berputar 360° sedangkan batang 3 dan 4 hanya berisolasi atau berayun dengan batasan tertentu. Perpaduan gerak batang 2 dan 4 membuat perpanjangan batang 3 bergerak naik (mengambil benih padi dari hopper) dan turun (menanam benih padi ke tanah). Bagian-bagian batang pada mekanisme lengan penanam alat tanam padi semi mekanis dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Lengan penanam pada alat tanam semi mekanis (Yusrizal, 2016)

Pengaplikasian Kinematika Pada Lengan Penanam

Diagram kinematika dari mekanisme lengan penanam dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Mekanisme lengan penanam

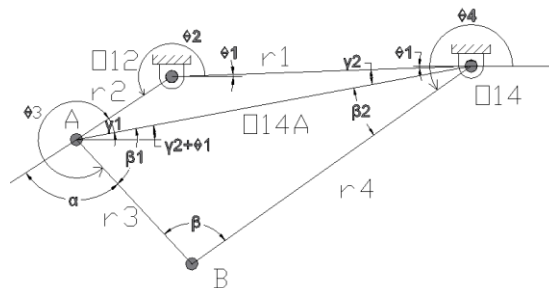
Pada Gambar 4 dapat diketahui beberapa besaran yaitu:

- Panjang $O_{12} - O_{14}$ (r_1)
- Panjang $O_2 - A$ (r_2)
- Panjang $A - B$ (r_3)
- Panjang $O_4 - B$ (r_4)
- Panjang $A-C$ (AC)
- Arah batang (θ_1)
- Arah batang (θ_2)
- Arah batang (θ_3)
- Arah batang (θ_4)
- Arah batang $C-A-B$ (α)

Metode analitik

Persamaan posisi

Gambar mekanisme dan parameter sudut dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Mekanisme dan parameter sudut

Analisis perpindahan secara analitik dapat dilakukan sebagai berikut:

$$O_{14A} = r_1^2 + r_2^2 - 2r_1r_2 \cos(360 - \theta_2) \quad \dots(1)$$

dan

$$O_{14A} = r_3^2 + r_4^2 - 2r_3r_4 \cos \beta \quad \dots(2)$$

Dari dua persamaan diatas, didapat persamaan-persamaan untuk mencari analisis perpindahan sudut yaitu:

Pada segitiga O_{14}, A dan B :

$$\cos \beta = (r_3^2 + r_4^2 - O_{14A}^2)/(2r_3r_4) \dots(3)$$

$$\cos \beta_1 = (O_{14A}^2 + r_3^2 - r_4^2)/(2O_{14A}r_3) \dots(4)$$

$$\beta_2 = 180 - \beta - \beta_1$$

atau

$$\cos \beta_2 = (O_{14A}^2 + r_4^2 - r_3^2)/(2O_{14A}r_4) \dots(5)$$

Pada segitiga O_{12} , A dan O_{14} :

$$\cos \gamma_2 = (r_1^2 + O_{14A}^2 - r_2^2)/(2r_1O_{14A}) \dots(6)$$

$$\gamma_1 = 180 - (360 - \theta_2) - \gamma_2$$

Atau

$$\cos \gamma_1 = (r_2^2 + O_{14A}^2 - r_1^2)/(2r_2O_{14A}) \dots(7)$$

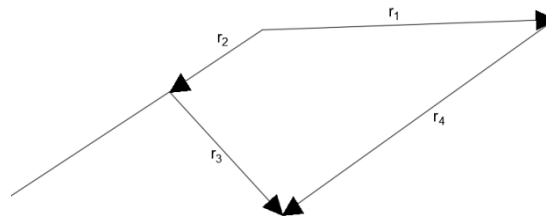
Sehingga diperoleh besar sudut batang 3 dan 4 yaitu:

$$\theta_3 = (\gamma_2 + \theta_1) + (360 - (\beta_1 + \gamma_1 + \alpha)) \dots(8)$$

$$\theta_4 = 180 + \theta_1 + \gamma_2 + \beta_2 \dots(9)$$

Persamaan kecepatan

Vektor posisi dari mekanisme dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Vektor posisi mekanisme

Karena semua besar sudut dari batang sudah diketahui, selanjutnya dilakukan analisis kecepatan. Dari melihat Gambar 6 diperoleh persamaan posisi yaitu:

$$r_1 e^{i\theta_1} + r_4 e^{i\theta_4} = r_2 e^{i\theta_2} + r_3 e^{i\theta_3} \dots(10)$$

Karena batang 1 tidak mengalami kecepatan sudut karena merupakan batang kaku (*fixed link*), sehingga kecepatan sudut pada batang R1 (ω_1) adalah 0. Dari penurunan persamaan 10 terhadap waktu (t), diperoleh:

$$i\dot{\theta}_4 r_4 e^{i\theta_4} = i\dot{\theta}_2 r_2 e^{i\theta_2} + i\dot{\theta}_3 r_3 e^{i\theta_3} \dots(11)$$

$\dot{\theta} = \omega$ sehingga diperoleh:

$$i\omega_4 r_4 e^{i\theta_4} = i\omega_2 r_2 e^{i\theta_2} + i\omega_3 r_3 e^{i\theta_3} \dots(12)$$

Persamaan 12 diuraikan menjadi kemudian dipisahkan komponen riil dan imajiner. Setelah itu dikalikan $\cos \theta_4$ dan dikalikan $\sin \theta_4$ sedemikian rupa sehingga menghasilkan:

$$\omega_3 = \omega_2 \frac{r_2 \sin(\theta_2 - \theta_4)}{-r_3 \sin(\theta_3 - \theta_4)} \dots(13)$$

$$\omega_4 = \frac{\omega_2 r_2 \sin(\theta_2 - \theta_3)}{r_4 \sin(\theta_4 - \theta_3)} \dots(14)$$

Besar kecepatan linier pada batang 2 (VA), batang 3 (VBA), batang 4 (VB) dan batang CA (VCA) adalah :

$$V_A = i\omega_2 r_2 \cos \theta_2 - \omega_2 r_2 \sin \theta_2 \dots(15)$$

$$V_{BA} = i\omega_3 r_3 \cos \theta_3 - \omega_3 r_3 \sin \theta_3 \dots(16)$$

$$V_B = i\omega_4 r_4 \cos \theta_4 - \omega_4 r_4 \sin \theta_4 \dots(17)$$

$$V_{CA} = i\omega_3 CA \cos \theta_3 - \omega_3 CA \sin \theta_3 \dots(18)$$

Persamaan percepatan

Persamaan percepatan diperoleh dengan menurunkan persamaan kecepatan (persamaan 10) terhadap waktu sehingga didapat hasil:

$$(i\ddot{\theta}_4 - i\dot{\theta}_4^2) r_4 e^{i\theta_4} = (i\ddot{\theta}_2 - i\dot{\theta}_2^2) r_2 e^{i\theta_2} + (i\ddot{\theta}_3 - i\dot{\theta}_3^2) r_3 e^{i\theta_3} \dots(19)$$

$\ddot{\theta}$ adalah percepatan sudut (α). Persamaan 19 diuraikan dan dipisahkan antara komponen riil dan komponen imajiner kemudian dikalikan dengan $\cos \theta_4$ dan $\sin \theta_4$, kemudian dikurangkan sehingga diperoleh percepatan sudut batang 3 (α_3)(20) dan batang 4 (α_4)(21):

$$\alpha_3 = \frac{\alpha_2 r_2 \sin(\theta_2 - \theta_4) + \omega_2^2 r_2 \cos(\theta_2 - \theta_4) + \omega_3^2 r_3 \cos(\theta_3 - \theta_4) - \omega_4^2 r_4}{-r_3 \sin(\theta_3 - \theta_4)}$$

$$\alpha_4 = \frac{\alpha_2 r_2 \sin(\theta_2 - \theta_3) + \omega_2^2 r_2 \cos(\theta_2 - \theta_3) - \omega_4^2 r_4 \cos(\theta_4 - \theta_3) + \omega_3^2 r_3}{r_4 \sin(\theta_4 - \theta_3)}$$

Untuk percepatan linier batang 2, 3, 4 dan AC diperoleh dengan rumus:

$$A_A = i(\alpha_2 r_2 \cos \theta_2 - \omega_2^2 r_2 \sin \theta_2) - \alpha_2 r_2 \sin \theta_2 - \omega_2^2 r_2 \cos \theta_2) \dots(22)$$

$$A_{BA} = i(\alpha_3 r_3 \cos \theta_3 - \omega_3^2 r_3 \sin \theta_3) - \alpha_3 r_3 \sin \theta_3 - \omega_3^2 r_3 \cos \theta_3) \dots(23)$$

$$A_B = i(\alpha_4 r_4 \cos \theta_4 - \omega_4^2 r_4 \sin \theta_4) - \alpha_4 r_4 \sin \theta_4 - \omega_4^2 r_4 \cos \theta_4) \dots(24)$$

$$A_{CA} = i(\alpha_3 AC \cos \theta_3 - \omega_3^2 AC \sin \theta_3) - \alpha_3 AC \sin \theta_3 - \omega_3^2 r_3 \cos \theta_3) \dots(25)$$

Berdasarkan rumus-rumus dan persamaan penyelesaian secara analitik di atas, selanjutnya dilakukan perhitungan dengan menggunakan Microsoft Excel. Tahapan yang dilakukan yaitu:

a. Data masukan

Masukkan data-data dari parameter yang sudah diketahui yaitu data konstan seperti sudut batang 1 (θ_1), sudut batang C-A-B (α), kecepatan sudut batang 1 (ω_1), percepatan sudut batang 1 (α_1), kecepatan sudut batang 2 (ω_2), percepatan sudut batang 2 (α_2), dan dimensi-dimensi batang (r_1, r_2, r_3, r_4 dan AC) serta data dinamis berupa sudut batang 2 yang berotasi dengan revolusi penuh (360°).

b. Proses perhitungan

Selanjutnya dilakukan perhitungan untuk parameter-parameter yang akan dicari dengan memasukkan formula pada masing-masing sel sesuai dengan rumus-rumus dan persamaan-persamaan analitik yang didapat sebelumnya. Perhitungan dilakukan untuk satu putaran penuh batang 2 dengan kenaikan setiap 20° .

c. Data keluaran

Data keluaran yang didapat dari hasil perhitungan yaitu sudut batang 3 (θ_3), sudut batang 4 (θ_4), kecepatan sudut batang 3 (ω_3), kecepatan sudut batang 4 (ω_4), percepatan sudut batang 3 (α_3), percepatan sudut batang 4 (α_4), kecepatan linier pada batang 2, 3, 4 dan AC (V_A, V_{BA}, V_B dan V_{CA}) serta percepatan linier pada batang 2, 3, 4 dan AC (A_A, A_{BA}, A_B dan A_{CA}).

Metode grafis

Persamaan posisi

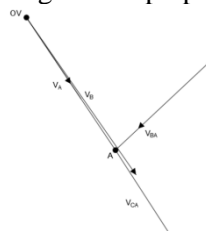
Dari gambar teknik, dapat diketahui parameter sudut dan kecepatan sudut pada satu sudut batang input. Kemudian parameter yang diketahui ini digunakan untuk menggambar mekanisme lengan penanam menggunakan aplikasi GeoGebra. Aplikasi GeoGebra bisa melakukan simulasi terhadap mekanisme lengan penanam pada satu putaran penuh. Sudut pada batang 1, 2, 3 dan 4 dapat diketahui dari hasil simulasi sehingga tidak diperlukan lagi analisis perpindahan posisi.

Analisis kecepatan

Analisis kecepatan pada metode manual dilakukan dengan membuat poligon kecepatan pada aplikasi GeoGebra menggunakan kaidah yang berlaku pada metode grafis. Dari data yang diketahui, dapat dicari kecepatan linier pada batang 2 (V_A) yang selanjutnya digambar ke poligon kecepatan. Rumus untuk menghitung kecepatan linier dari batang 2 yaitu:

$$V_A = \omega_2 \times O_1 A \dots(26)$$

Selanjutnya gambar V_A menjadi poligon seperti yang terlihat pada Gambar 7. Kemudian buat vektor kecepatan dari batang 3 dan 4 hingga didapat titik temu. Vektor kecepatan tegak lurus pada setiap batang dengan arah vektor sesuai dengan arah perpindahan batang.



Gambar 7. Proses menggambar poligon kecepatan

Dari poligon kecepatan kita bisa mendapatkan kecepatan linier pada batang 3 (V_{BA}), batang 4 (V_B) dan batang AC (V_{AC}) dengan mengukur panjang vektor pada poligon. Besar kecepatan sudut pada V_{BA} dan V_{CA} adalah sama karena batang AC merupakan perpanjangan batang 3. Untuk kecepatan sudut pada batang 3 dan 4 dapat dicari dengan rumus:

$$\omega_3 = \frac{V_{BA}}{BA} \quad \text{dan} \quad \omega_4 = \frac{V_B}{O_{14}B} \quad \dots(27)$$

Analisis percepatan

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, 3 dan 4. Data yang dapat dicari untuk membuat poligon percepatan yaitu A_A , A_{BA}^n , A_B^n dan A_{CA}^n .

Pada batang 2 dapat diuraikan percepatan absolutnya yaitu:

$$A_A = A_A^n \mapsto A_A^t = // O_{12}A \perp O_{12}A \quad \dots(28)$$

Komponen percepatan normal yaitu:

$$A_A^n = \frac{V_A^2}{O_{12}A} = \omega_2^2 \times O_{12}A \quad \dots(29)$$

Dan komponen percepatan tangensial:

$$A_A^t = \alpha_2 \times O_{12}A \quad \dots(30)$$

Pada batang 2 percepatan tangensial adalah 0 rad/s^2 karena batang bergerak melingkar beraturan sehingga tidak ada perubahan kecepatan sudut.

Pada batang 3, 4 dan AC hanya percepatan normal yang dapat diketahui karena percepatan sudutnya belum diketahui.

Uraian percepatan absolut batang 3 yaitu:

$$A_{BA} = A_{BA}^n \mapsto A_{BA}^t = // AB \perp AB \quad \dots(31)$$

$$A_{BA}^n = \frac{V_{BA}^2}{AB} = \omega_3^2 \times AB \quad \dots(32)$$

Uraian percepatan absolut batang 4 yaitu:

$$A_B = A_B^n \mapsto A_B^t = // O_{14}B \perp O_{14}B \quad \dots(33)$$

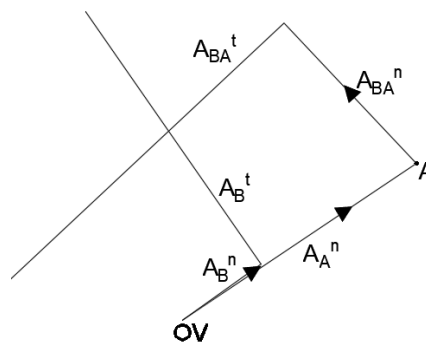
$$A_B^n = \frac{V_B^2}{O_{14}B} = \omega_4^2 \times O_{14}B \quad \dots(34)$$

Uraian percepatan absolut batang AC yaitu:

$$A_{CA} = A_{CA}^n \mapsto A_{CA}^t = // CA \perp CA \quad \dots(35)$$

$$A_{CA}^n = \frac{V_{CA}^2}{AC} = \omega_3^2 \times AC \quad \dots(36)$$

Selanjutnya gambar percepatan normal batang 2, 3, 4 dan AC ke poligon percepatan sesuai arah percepatan. Percepatan tangensial didapat dari penggambaran poligon percepatan (pertemuan garis tegak lurus batang-batang). Proser penggambaran poligon percepatan dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Proses penggambaran poligon percepatan

Besar percepatan tangensial batang 3, 4 dan AC diperoleh dengan mengukur vektor percepatan tangensial batang 3, 4 dan AC pada poligon.

Untuk rumus percepatan sudut pada batang 3 (α_3):

$$\alpha_3 = \frac{A_{BA}^t}{AB} \quad \dots(37)$$

Rumus percepatan sudut pada batang 4 (α_4):

$$\alpha_4 = \frac{A_B^t}{O_{14}B} \quad \dots(38)$$

Setelah rumus-rumus untuk perhitungan kinematika secara manual di dapat, selanjutnya dilakukan perhitungan dan simulasi dengan menggunakan aplikasi GeoGebra. Tahapan yang dilakukan antara lain:

a. Data masukan

Data-data yang dimasukkan pada aplikasi GeoGebra yaitu : data konstan seperti sudut batang 1, 2, 3, 4, CAB dan sudut transmisi ($\theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4, \alpha, \beta$), kecepatan sudut batang 1 (ω_1), percepatan sudut batang 1 (α_1), kecepatan sudut batang 2 (ω_2), percepatan sudut batang 2 (α_2), dan dimensi-dimensi batang (r_1, r_2, r_3, r_4 dan AC) serta data dinamis berupa sudut batang 2 yang berotasi dengan revolusi penuh (360°). Hasil data masukan akan berupa gambar mekanisme lengan penanam. Untuk data poligon kecepatan dan percepatan, persamaan-persamaan yang didapat pada perhitungan kinematika secara manual akan dimasukkan ke dalam aplikasi dengan bentuk seperti rumus biasa tanpa ada formula khusus.

b. Proses penggambaran poligon

Penggambaran pada aplikasi ini sama dengan metode grafis. Kelebihan analisis kinematika menggunakan GeoGebra yaitu mekanisme, poligon kecepatan dan percepatan dapat disimulasikan dan data hasil perhitungan akan diperbaharui secara otomatis sesuai gerak simulasi.

c. Data keluaran

Dari penggambaran poligon diperoleh data kecepatan sudut batang 3 dan 4, kecepatan linier batang 1, 2, 3, 4 dan AC, percepatan sudut batang 3 dan 4, serta percepatan absolut batang 1, 2, 3, 4 dan AC.

C. HASIL DAN PEMBAHASAN

Data parameter yang diketahui pada mekanisme lengan penanam padi semi mekanis yang bersumber dari gambar teknik pada satu sudut batang 2 adalah:

$$\begin{array}{lll} r_1 = 7.9 \text{ cm} & \theta_1 = 2^\circ & \omega_1 = 0 \text{ rad/s} \\ r_2 = 3 \text{ cm} & \theta_2 = 214^\circ & \omega_2 = 4.71 \text{ rad/s} \\ r_3 = 4.5 \text{ cm} & \theta_3 = 313^\circ & \alpha_1 = 0 \text{ rad/s}^2 \\ r_4 = 9 \text{ cm} & \theta_4 = 216^\circ & \alpha_2 = 0 \text{ rad/s}^2 \\ \alpha = 100^\circ & \beta = 97^\circ & \end{array}$$

Perhitungan Kinematika Menggunakan Metode Analitik

Batang 2 pada mekanisme bergerak melingkar beraturan, batang 1 tidak bergerak atau berada di posisi tetap dan batang 3 dan 4 berayun dengan batasan sudut tertentu. Sudut minimum batang 3 yaitu 214° pada saat posisi batang 2 berada di sudut 200° dan sudut maksimal batang 3 yaitu 313° pada posisi batang 2 berada di sudut 40° . Dapat disimpulkan bahwa batang 3 berayun pada sudut 214° sampai 313° dengan pola berulang. Sedangkan sudut minimum batang 4 yaitu 189° pada saat posisi batang 2 berada di sudut 200° dan sudut maksimal batang 3 yaitu 234° pada posisi batang 2 berada di sudut 100° . Dapat disimpulkan bahwa batang 4 berayun pada sudut 189° sampai 234° dengan pola berulang.

Kecepatan sudut pada batang 1 adalah 0 karena batang 1 berada pada posisi tetap dan kecepatan sudut batang 2 diasumsikan bernilai konstan dengan arah berlawanan arah jarum jam. Diketahui dari batang 3, kecepatan sudut minimum yaitu 0.093 rad/detik searah jarum jam pada saat batang 2 berada di sudut 40° dan kecepatan sudut maksimum yaitu 6.380 rad/detik searah jarum jam pada saat batang 2 berada di sudut 160° . Sedangkan pada batang 4, kecepatan sudut minimum yaitu

0.080 rad/detik searah jarum jam pada saat batang 2 berada di sudut 240° dan kecepatan sudut maksimum yaitu 3.863 rad/detik searah jarum jam pada saat batang 2 berada di sudut 160° .

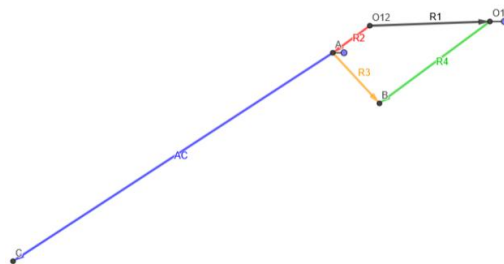
Kecepatan linier (VBA) minimum dan maksimum berturut-turut yaitu 0.417 cm/detik pada posisi batang 2 40° dan 28.709 cm/detik pada posisi batang 2 160° . Pada batang 4 kecepatan linier (VB) minimum dan maksimum berturut-turut yaitu 0.724 cm/detik pada posisi batang 2 240° dan 34.768 cm/detik pada posisi batang 2 160° . Pada batang CA kecepatan linier (VCA) minimum dan maksimum berturut-turut yaitu 2.318 cm/detik pada posisi batang 2 40° dan 159.495 cm/detik pada posisi batang 2 160° .

Percepatan sudut batang 1 dan 2 adalah 0 karena batang 1 tidak memiliki kecepatan sudut dan batang 2 bergerak dengan melingkar beraturan. Percepatan minimum dan maksimum sudut batang 3 berturut-turut yaitu $0.029 \text{ rad/detik}^2$ pada posisi batang 2 260° dan 74.802 cm/detik pada posisi batang 2 180° . Pada batang 4 percepatan sudut minimum dan maksimum berturut-turut yaitu 0.172 cm/detik pada posisi batang 2 40° dan 31.798 cm/detik pada posisi batang 2 180° .

Diketahui pada batang 3, percepatan linier (ABA) minimum dan maksimum berturut-turut yaitu $42.627 \text{ cm/detik}^2$ pada posisi batang 2 320° dan $339.881 \text{ cm/detik}^2$ pada posisi batang 2 180° . Pada batang 4 percepatan linier (AB) minimum dan maksimum berturut-turut yaitu $17.473 \text{ cm/detik}^2$ pada posisi batang 2 270° dan $297.940 \text{ cm/detik}^2$ pada posisi batang 2 180° . Pada batang CA percepatan linier (VCA) minimum dan maksimum berturut-turut yaitu $236.814 \text{ cm/detik}^2$ pada posisi batang 2 320° dan $1888.229 \text{ cm/detik}^2$ pada posisi batang 2 180° .

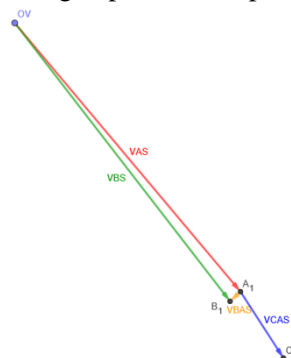
Perhitungan Kinematika Menggunakan Metode Grafis

Data-data yang diketahui dari gambar teknik lengan penanam kemudian dibuat simulasi mekanisme dengan menggunakan aplikasi GeoGebra menggunakan metode menggambar grafis. Selanjutnya dibuat poligon kecepatan dan percepatan berdasarkan persamaan grafis pada bab sebelumnya. Mekanisme lengan penanam padi ini dapat dilihat pada Gambar 9.



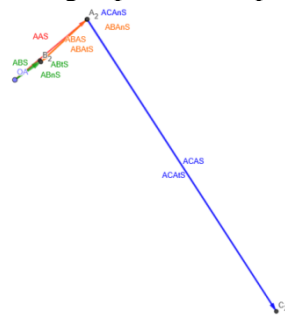
Gambar 9. Mekanisme lengan penanam padi

Poligon kecepatan dari mekanisme lengan penanam dapat dilihat pada Gambar 10.



Gambar 10. Poligon kecepatan

Poligon percepatan dari mekanisme lengan penanam dapat dilihat pada Gambar 11.



Gambar 11. Poligon percepatan

Pada batang 3 perpindahan sudut minimum dan maksimum berturut-turut yaitu 213.070 pada saat sudut batang 2 200° dan 312.860 pada saat sudut batang 2 40° . Dari data ini dapat disimpulkan bahwa pada satu putaran batang 2, batang 3 berayun pada interval sudut $213 - 313^{\circ}$ dengan pola berulang. Sedangkan pada batang 4 perpindahan sudut minimum dan maksimum berturut-turut yaitu 188.970 pada saat sudut batang 2 200° dan 233.650 pada saat sudut batang 2 40° . Dari data ini dapat disimpulkan bahwa pada satu putaran batang 2, batang 4 berayun pada interval sudut $188 - 234^{\circ}$ dengan pola berulang.

Diketahui dari batang 3, kecepatan sudut minimum yaitu 0.127 rad/detik pada saat batang 2 berada di sudut 40° dan kecepatan sudut maksimum yaitu 6.285 rad/detik pada saat batang 2 berada di sudut 160° . Pada batang 4 dilihat kecepatan sudut minimum yaitu 0.137 rad/detik pada saat batang 2 berada di sudut 220° dan kecepatan sudut minimum yaitu 3.767 rad/detik pada saat batang 2 berada di sudut 160° .

Pada batang 3, percepatan sudut minimum dan maksimum berturut-turut yaitu 0.474 rad/detik² pada posisi batang 2 260° dan 39.232 rad/detik pada posisi batang 2 200° . Pada batang 4, percepatan sudut minimum dan maksimum berturut-turut yaitu 0.138 rad/detik² pada posisi batang 2 40° dan 18.268 rad/detik pada posisi batang 2 120° .

Kecepatan linier minimum dan maksimum pada batang 3 berturut-turut yaitu 0.7573 cm/detik pada posisi batang 2 40° dan 28.2832 cm/detik pada posisi batang 2 160° . Pada batang 4, kecepatan linier minimum dan maksimum berturut-turut yaitu 1.232 cm/detik pada posisi batang 2 220° dan 33.9 rad/detik pada posisi batang 2 160° . Kecepatan linier minimum dan maksimum batang AC yaitu 3.182 cm/detik pada posisi sudut 2 40° dan 157.127 cm/detik pada posisi batang 2 160° .

Pada batang 3, percepatan linier minimum dan maksimum berturut-turut yaitu 42.687 cm/detik² pada posisi batang 2 320° dan 339.309 cm/detik² pada posisi batang 2 180° . Pada batang 4, percepatan linier minimum dan maksimum berturut-turut yaitu 16.285 cm/detik² pada posisi batang 2 270° dan 296.389 cm/detik² pada posisi batang 2 180° . Pada batang CA, percepatan linier minimum dan maksimum berturut-turut yaitu 237.149 cm/detik² pada posisi batang 2 320° dan 1885.051 cm/detik² pada posisi batang 2 180° .

Perbandingan Hasil Perhitungan Analitik dan Grafis

Rata-rata persentase selisih dari perhitungan parameter kinematika dengan dua metode masih berada pada kisaran normal (dibawah 30 %) yaitu 0.007 % sampai 3.380 %. Secara lebih rinci, persentase selisih perhitungan perpindahan sudut, kecepatan linier dan percepatan linier tergolong aman. Sedangkan persentase selisih dari kecepatan sudut dan percepatan sudut kedua metode pada beberapa posisi sudut melebihi batas aman.

Menurut analisis penulis, hal ini dikarenakan saat penggambaran mekanisme lengan penanam padi di aplikasi GeoGebra, terdapat perbedaan sudut yang terbentuk pada batang mekanisme dengan posisi sudut batang input yang sama dengan data sudut di gambar teknik Autocad. Walaupun begitu, nilai dari perhitungan kinematika dengan metode grafis tetap bisa digunakan sebagai patokan hasil perhitungan metode analitik. Selanjutnya, data dari kedua mekanisme digunakan untuk analisis parameter dan variasi panjang lengan pada kinerja mekanisme lengan penanam padi.

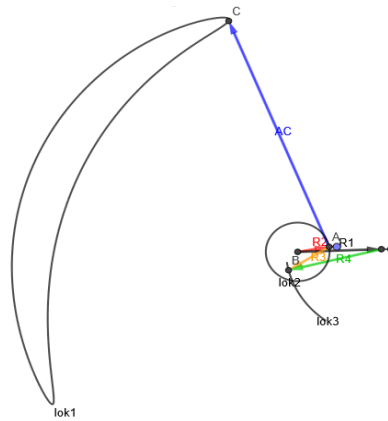
Analisis Parameter Kinematika Terhadap Kinerja Lengan Penanam

Dari praktek yang dilakukan kepada alat tanam padi semi mekanis (Yusrizal, 2016) disimpulkan bahwa secara keseluruhan lengan penanam sudah bekerja dengan baik. Hal ini juga dibuktikan dengan hasil perhitungan kinematika yang sudah dilakukan. Keberhasilan kinerja dari mekanisme lengan penanam dapat dilihat dari beberapa faktor yaitu:

Batang bergerak sesuai rancangan fungsional

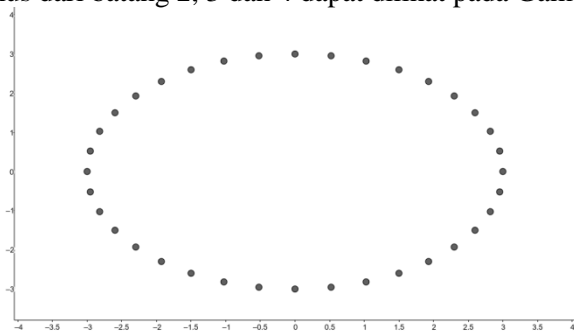
Mekanisme lengan penanam padi menggunakan kriteria *crank rocker* dimana batang 1 pada mekanisme ini akan tetap, batang 2 bergerak 360 derajat dan batang 3 dan 4 bergerak osilasi/berayun dengan tujuan untuk memastikan batang AC bisa menjalankan tugas untuk mengambil dan menanam benih serta naik lagi ke atas untuk mengambil benih. Lengan penanam padi alat tanam padi semi mekanis ini menggunakan kriteria *crank rocker* dimana jumlah dari panjang batang terpendek dan panjang batang pengikat lebih kecil dari jumlah dari panjang batang diam dan batang penghubung. Dari desain mekanisme sudah memenuhi kriteria ini dimana jumlah batang gerak dan batang pengikat adalah 12 cm sedangkan jumlah batang diam dan batang penghubung 12.39 cm.

Untuk mengetahui pola gerak batang, dapat dilihat dengan memodelkan pola gerak dari batang (lokus) dari mekanisme. Pada Gambar 12 dapat dilihat lokus dari lengan penanam padi dari aplikasi GeoGebra.

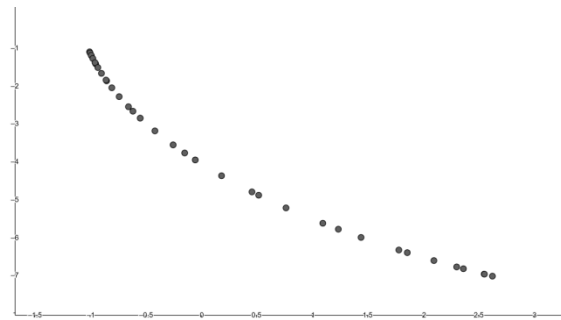


Gambar 12. Lokus lengan penanam padi

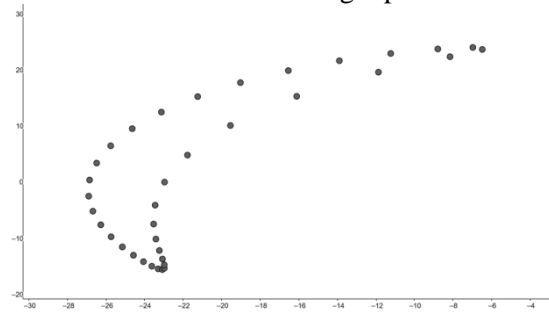
Secara lebih rinci, lokus dari batang 2, 3 dan 4 dapat dilihat pada Gambar 13 sampai 14.



Gambar 13. Lokus batang 2 pada titik A



Gambar 14. Locus batang 3 pada titik B



Gambar 15. Locus batang 3 pada titik C

Dari Gambar diatas dapat dilihat bahwa batang-batang pada mekanisme ini sudah bekerja dengan baik sesuai dengan rancangan fungsionalnya. Hal ini sesuai dengan uji kinerja alat penanam padi semi mekanis di lapangan. Batang 2 bergerak melingkar beraturan, batang 3 dan batang 4 bergerak berayun serta batang CA bergerak baik turun dengan pola khusus seperti yang terlihat pada Gambar 15.

Jangkauan lengan penanam atau dapat definisikan sebagai jarak tanam alat tanam padi yaitu 23 cm. Sedangkan pada uji kinerja jarak tanam alat tanam padi di lapangan yaitu 25 cm. Perbedaan ini disebabkan pada kegiatan perhitungan kinematika, kecepatan sudut dianggap konstan namun dalam uji kinerja alat di lapangan kecepatan sudut tidaklah konstan karena penggerakan alat tanam padi dilakukan oleh manusia.

Kesesuaian dan kestabilan gerak

Dari hasil perhitungan, batang 3 dan 4 dapat bergerak dengan stabil dan terus menerus dimana pola kecepatan dan percepatan yang terbentuk selama dua kali putaran pada batang sama dan bersambung. Mampu membuat lengan penanam (Titik C) bergerak dengan kondisi stabil dan terus menerus secara linier atau angular dalam waktu tertentu (Marzuki & Sumardi, 2018). Kecepatan dan percepatan linier titik C adalah stabil dan terus menerus. Hal ini menjadi indikasi bahwa pergerakan pada titik C sebagai pengambil dan penanam benih baik dan tidak terkendala.

Sudut transmisi

Sudut transmisi merupakan sudut yang terbentuk dari batang 3 (penghubung) dan batang 4 (berayun). Sudut ini dapat menjadi acuan dari mulus atau tidaknya gerak mekanisme (Soegihardjo, 2002). Pada hasil perhitungan besar sudut transmisi yang terbentuk pada mekanisme selama batang 2 berputar 360^0 berkisar antara $17^0 - 103^0$. Dapat disimpulkan bahwa mekanisme lengan penanam tidak bergerak mulus karena beberapa sudut transmisi berada dibawah interval aman. Hal ini terbukti dari pengujian alat di lapangan dimana terdapat pergerakan yang tidak halus walaupun secara keseluruhan batang sudah bekerja dengan baik.

Pengaturan Jarak Tanam Menurut Analisis Kinematika

Dimensi panjang batang pada mekanisme lengan penanam padi yang sudah dibuat adalah:

Batang 1 (diam/s)	= 7.89 cm
Batang 2 (input/p)	= 3 cm
Batang 3 (penghubung/q)	= 4.5 cm

Batang 4 (berayun/l) = 9 cm
 Batang AC (perpanjangan batang 3) = 25 cm

Lengan penanam bekerja menggunakan mekanisme lengan empat penghubung tipe *crank rocker* dimana syarat dari tipe ini menurut standar Grashof yaitu batang input harus merupakan batang terpendek pada mekanisme dan jumlah dari panjang batang input (terpendek) dan batang terpanjang kecil dari jumlah batang penghubung dan batang diam. ($s + l < p + q$).

r = 2 cm		
XC	YC	Fasekerja
17 - 17.5	16.3 - 17.2	Posisipengambilanbenih
24 - 25	9.5 - 10	Posisipenanambenih
r = 2.25 cm		
XC	YC	Fasekerja
15.5 - 17	18.1 - 18.5	Posisipengambilanbenih
24 - 25	10.8 - 11.2	Posisipenanambenih
r = 2.5 cm		

Pada analisis pengaruh variasi panjang batang akan dibuat enam variasi panjang batang input yaitu 2 cm, 2.25 cm, 2.5 cm, 2.75 cm, 3 cm, 3.25 cm dan dilihat pengaruhnya terhadap parameter dan kinerja mekanisme. Semakin panjang batang 2 (input) maka besar sudut batang 3 (penghubung) dan batang 4 (pengayun) semakin besar. Kecepatan sudut, kecepatan linier, percepatan sudut dan percepatan linier berbanding lurus dengan panjang dimensi batang. Semakin panjang batang maka semakin besar kecepatan sudut, kecepatan linier, percepatan linier dan percepatan sudut. Menurut Soegihardjo (2002), kecepatan sudut bisa menjadi indikasi besarnya gaya yang bekerja pada batang dan indikasi kemulusan kerja mekanisme.

Faktor lain yang menjadi indikator kemulusan kerja mekanisme yaitu sudut transmisi. Sudut transmisi mekanisme dari enam variasi panjang batang input tidak memenuhi interval aman (40° - 120°) pada saat sudut batang 2 berada pada interval 140° - 220° . Namun pada interval itu dapat dilihat bahwa pada dengan bertambah panjang batang input, besar sudut transmisi juga naik menuju batas minimum. Namun pada alat ini jika panjang batang input dibawah 2 cm maka akan sulit untuk memasang batang ke poros gerak sehingga sebaiknya dilakukan pengaturan dimensi seluruh batang berdasarkan standar Grashof agar besar sudut transmisi pada satu putaran berada pada interval aman.

Panjang batang input pada mekanisme lengan penanam ini berdampak kepada lebar dan tinggi posisi lengan penanam (batang CA). Semakin panjang batang input, pada posisi pengambilan benih lebar gerak batang semakin berkurang tapi jangkauan lengan semakin tinggi dan pada posisi penanaman benih, lebar jangkauan lengan semakin berkurang namun jangkauan semakin dalam. Dapat juga diartikan bahwa semakin pendek batang input maka jarak tanam akan semakin panjang. Selain jarak tanam, jangkauan lengan penanam juga menentukan konstruksi alat yang akan dibuat seperti pusat posisi batang diam dan hopper sehingga fungsi lengan untuk mengambil benih dan menanamnya tidak terganggu. Posisi titik C atau batang CA pada enam variasi panjang batang input dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Posisi titik C pada enam variasi panjang batang input

XC	YC	Fasekerja
13 - 13.6	20 - 20.7	Posisipengambilanbenih
24 - 24.3	12.5 - 13	Posisipenanambenih
r = 2.75 cm		
XC	YC	Fasekerja
10 - 11.4	21.7 - 11.4	Posisipengambilanbenih
23.5 - 23.9	14 - 14.3	Posisipenanambenih
r = 3 cm		
XC	YC	Fasekerja
6.4 - 9	23.5 - 24	Posisipengambilanbenih
22.9 - 23.3	15.3 - 15.7	Posisipenanambenih
r = 3.25 cm		
XC	YC	Fasekerja
1 - 6	25 - 25.4	Posisipengambilanbenih
22.3 - 22.7	16.7 - 17	Posisipenanambenih

Selain panjang batang, untuk pengaturan jarak tanam juga dapat dilakukan dengan bervariasi kecepatan sudut batang input. Kecepatan batang input dapat divariasikan dengan mengatur kecepatan pemutaran pedal penggerak poros yang terhubung ke lengan penanam. Dari Tabel 2 dapat dilihat bahwa semakin besar kecepatan sudut maka jumlah penjatuhan bibit oleh lengan penanam semakin tinggi sehingga jarak tanam menjadi lebih pendek. Jarak tanam penanaman padi yang biasa digunakan oleh petani berkisar pada jarak 20 cm, 25 cm atau 30 cm dengan sistem tanam yang beragam.

Tabel 2. Pengaruh variasi kecepatan sudut batang 2 terhadap jarak tanam

Waktu Total detik	JarakTempuh cm	JumlahJatuhan kali	KecepatanSudut Rad/detik	JarakTanamDalamSatuBaris cm
40	750	20	3.142	37.500
40	750	22	3.456	34.091
40	750	24	3.770	31.250
40	750	26	4.084	28.846
40	750	28	4.398	26.786
40	750	30	4.712	25.000
40	750	32	5.027	23.438
40	750	34	5.341	22.059
40	750	36	5.655	20.833
40	750	40	6.283	18.750

D. PENUTUP

Kesimpulan

Kesimpulan dari perhitungan aplikasi kinematika pada mekanisme lengan penanam alat tanam padi semi mekanis ini yaitu perhitungan kinematika dengan metode analitik menggunakan Microsoft Excel dan metode grafis dengan aplikasi GeoGebra sangat membantu dan memudahkan dalam kegiatan perhitungan, analisis dan pembuatan simulasi kerja mekanisme.

Dari hasil analisis kinematika pada mekanisme lengan penanam diperoleh data bahwa lokus dari batang-batang pada mekanisme sudah membentuk pola yang sama dengan gerak batang aslinya. Namun nilai sudut transmisi berada di bawah interval aman yang membuat pergerakan batang kurang halus. Sehingga disimpulkan bahwa hasil analisis kinematika sesuai dengan kinerja lengan penanam dimana mekanisme ini menggunakan tipe *crank rocker*, semua batang dapat bekerja sesuai dengan posisi dan fungsinya namun pergerakan dari batang kurang halus. Rata-rata persentase selisih dari perhitungan parameter kinematika dengan dua metode masih berada pada kisaran normal (dibawah 30 %) yaitu 0.007 % sampai 3.380 %. Namun secara lebih rinci, persentase selisih dari kecepatan sudut dan percepatan sudut pada beberapa posisi sudut melebihi

batas aman. Menurut analisis penulis, hal ini dikarenakan saat penggambaran mekanisme lengan penanam padi di aplikasi GeoGebra, terdapat perbedaan sudut yang terbentuk pada batang mekanisme dengan posisi sudut batang input yang sama dengan data sudut di gambar teknik Autocad. Walaupun begitu, nilai dari perhitungan kinematika dengan metode grafis tetap bisa digunakan sebagai patokan hasil perhitungan metode analitik.

Untuk pengaturan jarak tanam dengan bervariasi panjang batang input dapat disimpulkan bahwa semakin panjang batang input maka jarak penanaman semakin pendek. Pengaturan jarak tanam juga dapat dilakukan dengan bervariasi kecepatan sudut batang input. Kecepatan batang input dapat bervariasi dengan mengatur kecepatan pemutaran pedal penggerak poros yang terhubung ke lengan penanam dan dapat disimpulkan bahwa semakin besar kecepatan sudut maka frekuensi penjatuhan lengan penanam semakin besar dan ini berdampak pada jarak tanam yang semakin pendek.

Saran

Saran untuk kebaikan tulisan ini kedepannya adalah pelajari lebih lanjut mengenai aplikasi GeoGebra untuk digunakan pada analisis kinematika sehingga tingkat ketelitian hasil analisis semakin tinggi.

Pengaturan jarak tanam dengan melakukan variasi pada panjang batang dan kecepatan sudut batang input perlu dilakukan pengujian lebih lanjut guna hasil analisis yang lebih akurat dan dapat digunakan dalam praktek nyata dalam perancangan alat.

E. DAFTAR PUSTAKA

- Ekawati, A. (2016). Penggunaan Software GeoGebra dan Microsoft Mathematic Dalam Pembelajaran Matematika. *Math Didactic: Jurnal Pendidikan Matematika*, 2 (3): 148-153.
- Huda, S., Islami, M. J., & Bur, M. (2019). Desain kinematik alat pengumpan material berbasis mekanisme empat batang. *Jurnal Sistem Mekanik dan Termal*, 3(1), 17-28.
- Hutahean, R.Y. (2010). Mekanisme dan Dinamika Mesin Edisi Revisi. Yogyakarta: Penerbit Andi.
- Marzuki & Sumardi. (2018). Desain dan Simulasi Lokus Penanam Padi Pada Mekanisme Empat Penghubung Dengan Menggunakan Software Solidworks. *Dalam Proceeding Seminar Nasional Politeknik Negeri Lhokseumawe*. 2 (2). September 2018.
- Myszka, D. H. (2012). *Machines & Mechanisms: applied kinematic analysis (Fourth edition)*. New Jersey (USA): Pearson Education Inc Publishing.
- Osman, O. (2009). *Buku Pintar Microsoft Excel*. Jakarta: Puspa Swara. (Perpustakaan Nasional RI: Katalog Dalam Terbitan (KDT))
- Rider, M. J. (2015). *Design and Analysis of Mechanisms: A planar approach*. UK : Wiley.
- Soegihardjo, O. (2002). Analisis perpindahan (displacement) dan kecepatan sudut (angular velocity) mekanisme empat batang secara analitik dengan bantuan komputer. *Jurnal Teknik Mesin*, 4(2), 114-122.
- Yusrizal. (2016). *Rancang Bangun Alat Tanam Bibit Padi Semi Mekanis*. [Laporan Proyek Usaha Mandiri]. Payakumbuh: Politeknik Pertanian Negeri Payakumbuh.