

ANALISIS PERPINDAHAN SUDUT DAN KECEPATAN SUDUT PADA MEKANISME EMPAT BATANG (*DOUBLE CRANK*) DENGAN METODE KOORDINAT KARTESIAN

Nazaruddin^{1,*} and Muhammad Ilham¹

¹⁾ Teknik Mesin, Universitas Riau, Pekanbaru, Indonesia

ABSTRACT – Penelitian ini bertujuan untuk memvalidasi perhitungan sudut dan pergerakan mekanisme empat batang dengan menggunakan perangkat lunak AutoCAD. Mekanisme empat batang merupakan komponen penting dalam berbagai aplikasi rekayasa mekanik. Pendekatan penelitian ini mencakup langkah-langkah perhitungan teoritis/manual dan validasi visual menggunakan AutoCAD. Pada tahap perhitungan teoritis/manual, perpindahan sudut dan kecepatan sudut dihitung berdasarkan rumus dan metode yang ada. Langkah selanjutnya adalah melakukan validasi terhadap hasil perhitungan tersebut menggunakan AutoCAD. Dengan memanfaatkan AutoCAD, sudut-sudut yang dihasilkan dapat divisualisasikan secara jelas, termasuk koordinat titik A dan B dalam pergerakan mekanisme. Validasi dilakukan dengan membandingkan hasil perhitungan teoritis dengan hasil visualisasi pada AutoCAD. Proses ini memungkinkan peneliti untuk mengamati dengan akurat sudut dan posisi titik A dan B dalam pergerakan mekanisme. Dengan menggunakan AutoCAD sebagai alat validasi, kebenaran dan validitas perhitungan teoritis dapat diuji dan dikonfirmasi. Hasil validasi yang diperoleh melalui AutoCAD memastikan bahwa perhitungan sudut dan pergerakan mekanisme empat batang dapat dipercaya dan memiliki tingkat akurasi yang tinggi. Validitas ini sangat penting dalam memastikan keandalan dan keabsahan model mekanisme yang dikembangkan.

ARTICLE HISTORY

Received: 2 March 2024

Revised: 1 June 2024

Accepted: 31 July 2024

Published: 31 July 2024

KEYWORDS: mekanisme, empat batang, perpindahan sudut, kecepatan sudut, software CAD

1. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi telah mempercepat banyak aspek kehidupan kita, termasuk dalam proses perhitungan. Waktu adalah komoditas yang sangat berharga, dan menghitung secara tradisional sering kali membutuhkan waktu yang lama. Untungnya, komputasi modern telah memberikan solusi untuk tantangan ini. Dalam kasus perhitungan yang melibatkan data kompleks dan banyak variabel, program komputer menjadi alat yang sangat penting. Program-program yang terpercaya dan teruji dapat digunakan untuk memproses data dengan kecepatan dan efisiensi tinggi. Namun, penting untuk memastikan bahwa hasil perhitungan yang diperoleh adalah akurat dan dapat diandalkan. Untuk tujuan ini, validasi menjadi kunci. Validasi melibatkan membandingkan hasil perhitungan menggunakan program yang digunakan dengan program atau aplikasi lain yang juga terpercaya. Dengan melakukan validasi, kita dapat memastikan konsistensi dan keandalan hasil yang diperoleh. Pemanfaatan komputasi juga membawa manfaat lainnya, yaitu mengurangi waktu yang diperlukan untuk perhitungan. Dengan menggunakan program komputer yang efisien, para profesional dan peneliti dapat mengoptimalkan penggunaan waktu mereka. Ini memungkinkan mereka untuk lebih fokus pada analisis dan interpretasi hasil, yang pada gilirannya dapat menghasilkan wawasan yang lebih mendalam.

Mekanisme empat batang, yang dikenal juga sebagai four bar mechanism, memainkan peran yang sangat penting dalam berbagai peralatan mekanik. Untuk merancang atau memodifikasi mekanisme ini, penting untuk memperhitungkan perubahan sudut dan kecepatan sudut dengan teliti. Pemahaman mendalam tentang perubahan sudut dan kecepatan sudut menjadi kunci utama dalam meraih hasil yang optimal dalam perancangan mekanisme empat batang. Sudut-sudut antar batang dan kecepatan sudut masing-masing saling berinteraksi dan mempengaruhi kinerja keseluruhan mekanisme. Inilah sebabnya mengapa penelitian difokuskan pada perhitungan perubahan sudut dan kecepatan sudut pada mekanisme empat batang. Pendekatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah dengan menggunakan program Bahasa C, yang akan melakukan analisis terhadap mekanisme empat batang yang ada dan mengembangkan metode perhitungan yang tepat untuk memprediksi perubahan sudut dan kecepatan sudut. Hasil perhitungan yang dihasilkan oleh program Bahasa C akan divalidasi dengan menggunakan perhitungan manual/teoritis dan dengan mengamati hasilnya melalui bantuan AutoCAD. Tahap akhir dari penelitian ini adalah memastikan konsistensi perhitungan yang dihasilkan oleh program Bahasa C dengan bantuan Microsoft Excel. Diharapkan bahwa penelitian ini akan memberikan bantuan dalam merancang mekanisme empat batang yang lebih efisien serta memberikan panduan untuk perbaikan desain mekanisme yang sudah ada.

*Corresponding author : Name | ✉ nazaruddin@eng.unri.ac.id

Penerbit: Jurusan Teknik Mesin, Universitas Riau, <https://proksima.ejournal.unri.ac.id>

Mekanisme empat batang merupakan kumpulan batang yang dapat bergerak secara relatif satu sama lain. Dalam notasi umum, batang-batang ini juga dikenal sebagai "link". Joint atau sambungan antara dua batang memegang peran penting dalam mekanisme ini, karena memungkinkan terjadinya gerakan relatif. Dengan pengaturan yang tepat pada sambungan-sambungan ini, mekanisme empat batang mampu menciptakan gerakan relatif yang kompleks dan terkendali di antara batang-batang tersebut [1].

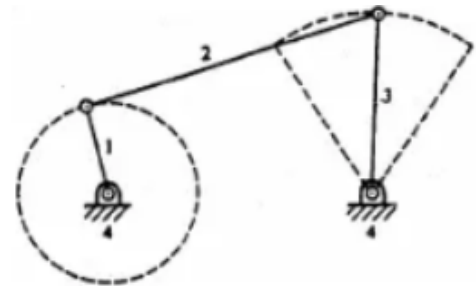
Dalam mekanisme empat batang, terdapat tiga jenis joint yang umum digunakan [2].

1. Joint putar (revolute joint) memungkinkan rotasi atau gerakan putar antara dua batang yang disambung. Sumbu rotasi pada joint putar berada pada satu titik, memungkinkan pergerakan rotasi relatif antara batang-batang terhubung.
2. Joint geser (slider joint) memungkinkan pergerakan linier atau geser antara dua batang yang terhubung. Gerakan ini terjadi sepanjang lintasan linear tertentu, yang ditentukan oleh konstruksi joint geser.
3. Joint pusat (pivotal joint) memungkinkan gerakan linier atau geser antara dua batang, namun dengan rotasi sebagai sumbu gerakannya. Pada joint pusat, gerakan batang terhubung terjadi sepanjang lintasan lengkung yang ditentukan oleh pusat rotasi.

Melalui penggunaan tiga jenis joint ini, mekanisme empat batang dapat menciptakan variasi gerakan yang kompleks dan mengoptimalkan fungsi mekaniknya. Pemilihan jenis joint yang tepat sesuai dengan kebutuhan aplikasi merupakan faktor penting dalam merancang mekanisme empat batang yang efisien dan dapat diandalkan.

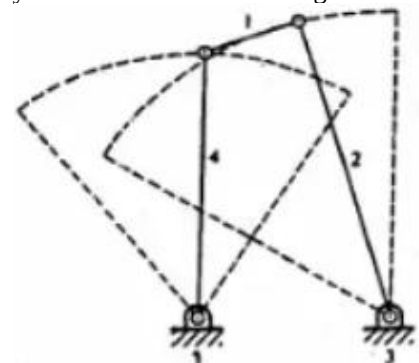
Ada tiga jenis klasifikasi mekanisme empat batang yang umum digunakan, yaitu crank rocker mechanism, double rocker mechanism, dan drag link mechanism [1,3,4,7].

1. Crank rocker mechanism memiliki salah satu batang yang berperan sebagai "crank" atau penggerak. Batang ini berputar secara eksentrik dan terhubung dengan dua batang lainnya. Salah satunya berfungsi sebagai "rocker" atau batang yang berayun, sementara yang lain berperan sebagai "connecting rod" atau batang penghubung. Mekanisme crank rocker biasanya digunakan dalam aplikasi seperti mesin pembakaran dalam dan mesin piston, di mana gerakan putar dan gerakan linier diperlukan untuk menghasilkan tenaga dan pergerakan yang diinginkan.



Gambar 1. Crank Rocker Mechanism

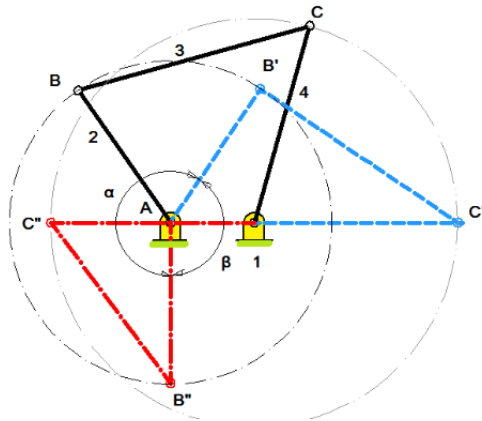
2. Double rocker mechanism melibatkan dua batang yang berfungsi sebagai "rocker" atau batang yang berayun. Kedua batang ini terhubung dengan batang lain yang berperan sebagai "connecting rod" atau batang penghubung. Double rocker mechanism sering digunakan dalam sistem suspensi kendaraan, di mana gerakan berayun diperlukan untuk menjaga stabilitas dan kenyamanan saat kendaraan bergerak.



Gambar 2. Double Rocker Mechanism

3. Drag link mechanism melibatkan penggunaan batang penghubung yang disebut "drag link" yang menghubungkan dua batang yang berayun. Salah satu batang berfungsi sebagai "crank" atau penggerak, sedangkan batang lainnya berperan sebagai "rocker" atau batang yang berayun. Drag link mechanism sering digunakan dalam sistem kemudi kendaraan, di mana perubahan sudut putaran pada crank digunakan untuk mengendalikan pergerakan batang penghubung dan akhirnya menggerakkan batang yang berayun.

4.



Gambar 3. Drag Link Mechanism

Mekanisme empat batang dapat digunakan dalam berbagai aplikasi, termasuk dalam mesin dan peralatan mekanik. Mekanisme ini memungkinkan gerakan dan perubahan sudut yang terkontrol antara batang-batang terhubung, sehingga digunakan untuk mengubah gerakan translasi menjadi gerakan rotasi atau sebaliknya.

Sudut dan kecepatan sudut adalah konsep-konsep dasar yang sangat penting dalam mekanika, karena mereka membantu kita memahami gerakan rotasi suatu objek. Konsep sudut merupakan ukuran dari rotasi atau perputaran suatu objek, dan dapat diukur dalam satuan derajat atau radian. Misalnya, 360 derajat setara dengan 2π radian. Sudut juga dapat diinterpretasikan sebagai perbandingan antara panjang busur lingkaran yang ditempuh oleh objek dengan jari-jari lingkaran [8].

Di sisi lain, kecepatan sudut menggambarkan laju perubahan sudut suatu objek seiring berjalannya waktu. Kecepatan sudut diukur dalam satuan radian per detik (rad/s) atau derajat per detik ($^{\circ}/s$). Dalam istilah sederhana, kecepatan sudut adalah seberapa cepat objek tersebut berotasi. Kecepatan sudut dapat didefinisikan sebagai perubahan sudut yang terjadi dalam interval waktu tertentu. Ketika mempelajari dan menganalisis sistem mekanik yang melibatkan gerakan rotasi, pemahaman yang mendalam tentang sudut dan kecepatan sudut sangat penting. Prinsip-prinsip ini memungkinkan kita untuk memodelkan dan memprediksi pergerakan objek dalam sistem mekanik, serta memberikan dasar yang kuat dalam mengembangkan teknologi dan aplikasi yang melibatkan gerakan rotasi.

Ada beberapa prinsip dasar yang terkait dengan sudut dan kecepatan sudut dalam mekanika [6].

1. Prinsip sudut menyatakan bahwa sudut dapat dioperasikan seperti bilangan biasa, sehingga dapat dijumlahkan, dikurangi, atau dikalikan dengan konstanta. Prinsip ini memungkinkan kita untuk mengukur dan menghitung rotasi atau perputaran objek terhadap sumbu tertentu.
2. Prinsip kecepatan sudut menjelaskan bahwa kecepatan sudut adalah perubahan sudut per unit waktu. Dengan kata lain, kecepatan sudut dapat dihitung dengan

membagi perubahan sudut yang terjadi oleh interval waktu yang diperlukan.

3. Prinsip hubungan antara sudut dan panjang busur mengungkapkan bahwa sudut dan panjang busur pada lingkaran memiliki hubungan yang tetap. Dalam konteks ini, panjang busur dapat dihitung dengan mempertimbangkan sudut di pusat lingkaran.
4. Prinsip hubungan antara kecepatan sudut dan kecepatan linier menjelaskan bahwa kecepatan sudut suatu objek yang berputar dapat dikaitkan dengan kecepatan linier pada titik tertentu di objek tersebut. Prinsip ini menghubungkan kecepatan sudut dengan jari-jari lingkaran dan kecepatan linier yang terkait.

Dengan pemahaman yang baik tentang prinsip-prinsip dasar ini, kita dapat menerapkan konsep sudut dan kecepatan sudut dalam analisis dan pemodelan pergerakan rotasi dalam sistem mekanik. Prinsip-prinsip ini memberikan dasar yang kokoh untuk memahami dan menguasai mekanika rotasi, yang merupakan bagian penting dalam studi ilmu mekanika secara keseluruhan.

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah bagaimana menghitung secara akurat perubahan sudut dan kecepatan sudut pada mekanisme empat batang dengan pendekatan koordinat Kartesian serta bagaimana memvalidasi hasil tersebut menggunakan perangkat lunak teknik. Urgensi praktis dari penelitian ini terletak pada kemampuannya untuk meningkatkan efisiensi desain mekanisme yang umum digunakan dalam mesin industri, sistem suspensi, dan perangkat transmisi energi.

2. METODOLOGI

Penelitian ini mengadopsi pendekatan kuantitatif karena menggunakan metode dan perhitungan yang telah ada sebelumnya. Fokus utama penelitian ini adalah pada mekanisme Double Rocker, salah satu jenis mekanisme empat batang yang memiliki signifikansi dalam rekayasa mekanik. Mekanisme Double Rocker memiliki karakteristik yang unik dan aplikasi yang luas dalam berbagai peralatan dan mesin.

Dalam penelitian ini, program yang dikembangkan mampu menerima input berupa parameter seperti panjang batang, sudut awal, dan kecepatan sudut awal. Kemudian, program tersebut menghasilkan output yang berupa perubahan sudut dan kecepatan sudut yang sesuai dengan parameter-input yang diberikan. Program ini memungkinkan para peneliti untuk menganalisis dan memodelkan pergerakan mekanisme Double Rocker secara efisien dan akurat. Dengan adanya program ini, penelitian dapat menggabungkan aspek kuantitatif dan kualitatif untuk memperoleh pemahaman yang lebih mendalam tentang mekanisme Double Rocker. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi yang berharga dalam pengembangan peralatan dan mesin yang menggunakan mekanisme empat batang, serta meningkatkan pemahaman kita tentang prinsip-prinsip dasar dalam rekayasa mekanik.

2.1 Perhitungan Perubahan Sudut

Terdapat beberapa sudut yang menjadi penting untuk menghitung perubahan sudut pada mekanisme empat batang. Salah satu sudut yang signifikan adalah sudut θ_1 , yang merupakan sudut pergerakan pada crank link. Perubahan sudut dalam mekanisme empat batang terjadi karena adanya rotasi pada crank link. Sudut θ_1 , yang merupakan sudut pergerakan pada crank link, memiliki pengaruh langsung terhadap perubahan sudut pada batang-batang lainnya dalam mekanisme. Dengan memperhatikan sudut θ_1 dan hubungannya dengan batang-batang lain dalam mekanisme, kita dapat menghitung perubahan sudut yang terjadi pada sudut-sudut lainnya.

Persamaan yang dapat digunakan dalam menentukan nilai sudut-sudut pada crank rocker mechanism, dengan menggunakan konsep segitiga O_AAO_B dan ABO_B , maka [1,8] :

$$d^2 = L_1^2 + L_4^2 - (2L_1L_4\cos\theta_1) \quad (1)$$

$$d^2 = L_2^2 + L_3^2 - (2L_2L_3\cos\beta) \quad (2)$$

Dari persamaan diatas, maka didapatkan;

$$\cos\beta = (L_2^2 + L_3^2 - d^2)/(2L_2L_3) \quad (3)$$

$$\cos\delta = (d^2 + L_2^2 - L_3^2)/(2dL_2) \quad (4)$$

$$\cos\gamma = (d^2 + L_3^2 - L_2^2)/(2dL_3) \quad (5)$$

$$\cos\sigma = (d^2 + L_4^2 - L_1^2)/(2dL_4) \quad (6)$$

$$\varphi = 180 - \sigma - \theta_1 \quad (7)$$

$$\theta_2 = \delta - \sigma \quad (8)$$

$$\theta_3 = 180 - \gamma - \sigma \quad (9)$$

Kemudian, titik posisi coupling link atau batang AB dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan:

$$X_A = L_1\cos\theta_1 \quad (10)$$

$$Y_A = L_1\sin\theta_1 \quad (11)$$

$$X_B = L_4 - (L_3\cos(\gamma + \sigma)) \quad (12)$$

$$Y_B = L_3\sin(\gamma + \sigma) \quad (13)$$

2.2 Perhitungan Kecepatan Sudut

Dari persamaan untuk mencari kecepatan sudut yang sudah dikemukakan dalam beberapa jurnal tentang mekanisme empat batang, dengan menggunakan konsep vector, maka didapatkan persamaan berikut dibawah, dengan parameter kecepatan sudut batang 1 atau crank link (ω_1)[1,4,8];

$$\omega_2 = \omega_1(L_1/L_2)(\sin(\theta_1 - \theta_3)/\sin(\theta_3 - \theta_2)) \quad (14)$$

$$\omega_3 = \omega_1(L_1/L_3)(\sin(\theta_1 - \theta_2)/\sin(\theta_3 - \theta_2)) \quad (15)$$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam langkah analisa hasil program Bahasa C yang dibuatkan untuk perhitungan secara teoritik. Selain itu, untuk memvisualisasikan hasil perhitungan, digunakan juga software AutoCAD. Dan pada tahap akhir, perhitungan dari hasil program Bahasa C dengan menggunakan bantuan Microsoft Excel. Sebagai langkah awal dalam analisis, ditentukan beberapa variabel masukan atau input yang perlu diperhatikan. Berikut adalah variabel masukan yang telah ditentukan:

- $L_1 = 12$ m
- $L_2 = 5$ m
- $L_3 = 10$ m
- $L_4 = 2$ m
- $\omega_1 = 10$ rad/s

Perhitungan akan dilakukan untuk posisi crank link berada pada sudut

- $\theta_1 = 40^\circ$
- $\theta_1 = 200^\circ$

3.1 Perhitungan secara Teoritik

Dari persamaan yang diberikan sebelumnya, maka dilakukan perhitungan secara manual untuk nanti selanjutnya dibandingkan dengan output yang disajikan dari program yang dibuatkan.

Untuk $\theta_1 = 40^\circ$

β	82.09
σ	69.91
γ	28.01
δ	133.00
θ_2	-63.09
θ_3	18.99
Xa	9.19
Ya	7.71
Xb	11.46
Yb	3.25
ω_2	8.69
ω_3	11.80

Untuk $\theta_1 = 200^\circ$

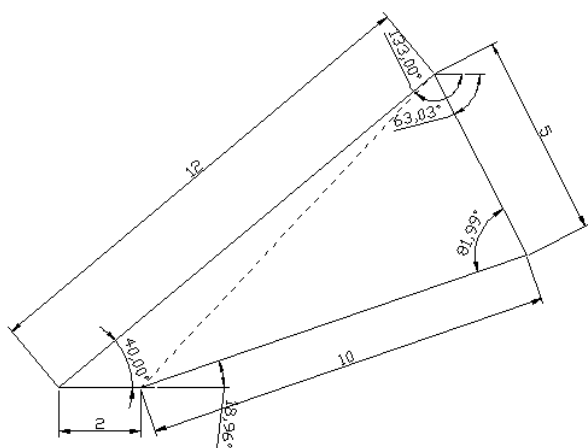
β	132.93
σ	31.80
γ	15.28
δ	17.18
θ_2	48.98
θ_3	181.90
Xa	-11.28
Ya	-4.10
Xb	-7.99
Yb	-0.33
ω_2	10.18
ω_3	7.94

3.2 Pengamatan Menggunakan AutoCAD

Setelah melakukan perhitungan perpindahan sudut dan kecepatan sudut secara teoritis atau manual, langkah berikutnya adalah melakukan validasi terhadap hasil tersebut menggunakan AutoCAD. Dengan menggunakan perangkat lunak AutoCAD, seluruh sudut yang dihasilkan dapat ditampilkan secara jelas dalam bentuk visual. Proses validasi dilakukan dengan mengikuti koordinat titik A dan melanjutkan dengan koordinat titik B dalam pergerakan mekanisme.

Dalam tahap validasi ini, perbandingan antara hasil perhitungan teoritis dengan hasil visualisasi pada AutoCAD dapat dilakukan dengan tingkat akurasi yang tinggi. Melalui perbandingan ini, validitas dan kebenaran perhitungan teoritis dapat diuji dan dikonfirmasi. Pengamatan yang dilakukan menggunakan AutoCAD memungkinkan peneliti untuk memverifikasi sudut dan posisi titik A dan B secara lebih terperinci dan terukur. Dengan adanya proses validasi yang dilakukan dengan bantuan AutoCAD, dapat dipastikan bahwa hasil perhitungan sudut dan posisi titik A dan B yang diperoleh dapat dipercaya dan memiliki tingkat akurasi yang tinggi. Validitas hasil perhitungan ini menjadi kunci dalam memastikan keandalan dan keabsahan model mekanisme yang dikembangkan. Dengan demikian, penggunaan AutoCAD dalam proses validasi menjadi langkah penting dalam penelitian ini untuk memastikan hasil yang akurat dan dapat diandalkan.

Hasil perhitungan yang dihasilkan untuk sudut 40° sejalan dengan visualisasi yang ditampilkan oleh AutoCAD, menunjukkan konsistensi dan keakuratan perhitungan. Namun, ketika melakukan perhitungan untuk sudut 200° , terdapat ketidaksesuaian antara hasil perhitungan dan visualisasi yang ditampilkan pada AutoCAD. Fenomena ini menunjukkan adanya ketidakselarasan antara perhitungan teoritis dan implementasi praktis pada model mekanisme empat batang. Kemungkinan penyebab perbedaan tersebut dapat melibatkan kesalahan parameter dalam formula perhitungan matematis. Oleh karena itu, penting untuk melacak sumber ketidaksesuaian ini dan melakukan pengecekan ulang pada rumus dan parameter yang digunakan dalam perhitungan.



Gambar 4. Visualisasi Menggunakan AutoCAD

3.3 Output Program

Dari program yang telah dikembangkan sesuai dengan algoritma yang ditentukan, keluaran tampilan/output program dapat disajikan dalam bentuk tabel. Tabel 1 menampilkan hasil perhitungan sudut dan kecepatan sudut pada mekanisme empat batang. Dengan menampilkan hasil perhitungan dalam bentuk tabel, output program memberikan kemudahan bagi pengguna untuk melihat dan menganalisis nilai sudut dan kecepatan sudut yang diperoleh. Hal ini memungkinkan engineer atau peneliti untuk melakukan evaluasi dan pemahaman lebih lanjut terhadap mekanisme empat batang yang sedang dianalisis.

4. KESIMPULAN

Analisis perhitungan perpindahan sudut dan kecepatan sudut pada mekanisme empat batang memiliki peran penting dalam merancang dan memodifikasi mekanisme tersebut. Melalui perhitungan teoritis, pengamatan visual menggunakan AutoCAD, dan validasi program menggunakan Excel, kita dapat memperoleh pemahaman yang komprehensif tentang sudut-sudut yang terlibat dalam mekanisme dan bagaimana perubahan sudut dan kecepatan sudutnya. Hasil analisis menunjukkan bahwa terdapat rumus yang berbeda dalam menghitung sudut pada mekanisme empat batang ketika menghadapi sudut yang lebih besar dari 180° . Dalam hal ini, diperlukan analisis yang mendalam untuk memahami dengan lebih detail mengapa rumus yang berbeda diperlukan dan bagaimana sudut-sudut tersebut berhubungan dengan pergerakan mekanisme. Analisis ini dapat memberikan wawasan yang lebih mendalam tentang karakteristik dan perilaku mekanisme empat batang dalam berbagai kondisi sudut.

Penting untuk melanjutkan penelitian dan analisis lebih lanjut terkait rumus-rumus yang berbeda untuk sudut-sudut yang lebih besar dari 180° pada mekanisme empat batang. Dalam hal ini, penggunaan pendekatan komputasi seperti program Bahasa C dan aplikasi seperti AutoCAD dan Excel dapat terus dikembangkan dan ditingkatkan. Selain itu, penelitian lebih lanjut juga dapat melibatkan eksperimen fisik untuk memvalidasi dan memverifikasi hasil perhitungan secara praktis.

Keterbatasan dari penelitian ini adalah belum dilakukannya validasi eksperimen fisik secara langsung serta ketergantungan hasil terhadap keakuratan input parameter. Penelitian selanjutnya disarankan untuk mengembangkan model numerik berbasis simulasi dinamis serta melakukan uji coba fisik untuk membandingkan hasil simulasi dengan data nyata.

REFERENCES

- [1] Zulkarnain (2006), Perbandingan Karakteristik Gerak Mekanisme Empat Batang Secara Grafis, Analitis dan Numeris
- [2] Uicker, J. J., Pennock, G. R., Shigley, J. E., & McCarthy, J. M. (2003). Theory of machines and mechanisms (Vol. 768). New York: Oxford University Press.

- [3] 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.
- [4] Al-Dwairi, A. F., Al-Lubani, S. E., & Al-Nawafle, M. A. (2009). Analytical synthesis of crank-Rocker and double-crank mechanisms with minimax link-length ratios. In *Proceedings of the XXXVII Summer School-Conference* (pp. 192-203).
- [5] Nazaruddin (2008), Analisa Tegangan dan Regangan Four Bar Linkage Mechanism Pada Kecepatan Tinggi
- [6] Taylor, J. R., & Taylor, J. R. (2005). *Classical mechanics* (Vol. 1). Sausalito: University science books.
- [7] Kimbrell, J. T. (1991). *Kinematics analysis and synthesis*. McGraw-Hill Science, Engineering & Mathematics.
- [8] Dwi Basuki Wibowo, Peragaan Pembelajaran Mekanisme Kinematika Sederhana Dengan Mainan Mekanikal