

Simulasi Dinamik Pada Slider Pembawa Crankshaft Otomatis

Satrio Wipiansyah Valendrata¹, Karyadi^{2*}, Rizki Aulia Nanda³, Amir⁴

^{1,2,3,4}Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Buana Perjuangan Karawang, Karawang, Indonesia
*E-mail korespondensi: karyadi@ubpkarawang.ac.id

Abstract: This study investigates a slider system used to transfer a CNC-manufactured crankshaft to the next production stage through dynamic simulation prior to motor installation. The simulation aims to determine the velocity, acceleration, and displacement of the slider under the influence of the crankshaft mass and applied torque in order to select a suitable driving motor. The research begins with the design and fabrication of the slider, followed by the definition of design parameters, including torque variations of 100, 130, and 150 N-mm, a travel length of 1 m, a crankshaft mass of 7.8 kg, and gravitational acceleration of 9.81 m/s². The dynamic simulation is performed by applying rotational input to the wheel, defining contact interactions between the wheel and the rail, and assembling the wheel with the rail track. The results show that among the three torque variations, the highest velocity and acceleration occur at a torque of 100 N-mm, yielding a velocity of 174.9 mm/s, an acceleration of 22 mm/s², and a reaction force of 1.47×10^3 N, resulting in a travel time of 11 s to cover a 1-meter track.

Keywords: Dynamic Simulation, Crankshaft, CAD

Abstrak: Penelitian ini dilakukan dengan mengambil objek *slider* untuk mengantar *crankshaft* yang telah diproduksi menggunakan proses CNC ke tahapan berikutnya, penelitian ini bertujuan untuk melakukan simulasi dinamik sebelum slider tersebut dipasangkan motor, tujuan simulasi dinamik agar mengetahui kecepatan, percepatan dan perpindahan akibat pengaruh massa *crankshaft* dan torsi yang sesuai untuk memilih jenis motor penggerak pada slider. Metode penelitian dimulai dengan proses perancangan slider dan pembuatan slider, berikutnya dilakukan input parameter desain yaitu seperti penentuan torsi dengan variasi 100, 130 dan 150 N.mm, berikutnya panjang lintasan 1 m, massa *crankshaft* 7.8 kg dan gravitasi bumi 9,81 m/s². Simulasi dinamik agar slider tersebut dapat dilakukan simulasi dinamik yaitu input putaran pada roda (revolution), contact antara roda dan rel, terakhir assembly antara roda dan rel lintasan. Hasil penelitian ini menjelaskan dari ketiga variasi input torsi pada masing-masing roda maka kecepatan dan percepatan yang paling tinggi terletak pada torsi 100 N.mm. dengan kecepatan sebesar 174.9 mm/s, percepatan 22 mm/s² dan reaksi gaya sebesar 1.47E+3 N, sehingga menghasilkan waktu tempuh selama 11 s dengan panjang lintasan 1 meter.

Kata kunci : Dynamic Simulation, Crankshaft, CAD

I. PENDAHULUAN

Crankshaft diproduksi menggunakan perangkat CNC yang telah didesain sesuai dengan ukuran yang cocok untuk penghubung piston agar dapat bergerak naik turun yang ada pada blok silinder mesin. Salah satu perusahaan menggunakan CNC untuk memproduksi *crankshaft*, namun dalam proses pembuatan *crank shaft* tidak hanya CNC, namun ada proses finishing dan proses pengukuran kekerasan beserta uji kualitas, *crankshaft* yang telah diproduksi menggunakan CNC akan diantarkan ke line atau ke tahapan lainnya, namun jika seorang operator mesin CNC yang bertugas untuk mengantarkan *crankshaft* yang telah diproduksi ke tempat yang lain maka operator akan kehilangan waktu untuk proses manufaktur *crankshaft* yang lainnya, jika menambah petugas lagi maka akan ada *cost* lain yang akan keluar, maka dari permasalahan tersebut *crankshaft* akan diantarkan ke tahapan lainnya menggunakan JIG pengantar barang yang sudah terpasang sistem motor ke rel penggerak sehingga dapat bergerak lurus ke tahap berikutnya dan kembali ke tahapan CNC. Namun alat pengantar tersebut juga harus efisien terhadap kecepatan, perubahan gaya, torsi dan perpindahan yang dialami saat mengantarkan *crankshaft*. Rumusan masalah penelitian ini berdasarkan latar belakang maka tujuan penelitian ini adalah dengan melakukan simulasi dinamik untuk mendapatkan kecepatan yang ideal terhadap torsi dan gaya yang diberikan pada alat pengantar *crankshaft* ke tahapan berikutnya untuk proses manufaktur *crankshaft*. Urgensi penelitian ini terletak

bagaimana pengaruh torsi terhadap gaya yang diberikan dapat memberikan pengaruh kecepatan saat melakukan perpindahan barang *crankshaft* yang telah di CNC.

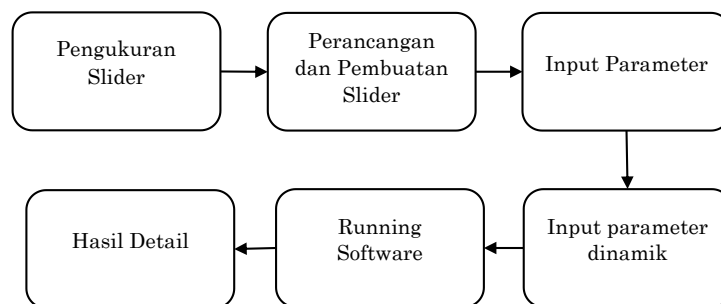
Penelitian dinamik simulasi sangat penting untuk mendapatkan titik posisi sebuah perpindahan dari suatu objek dengan mengatur kecepatan, torsi dan gaya yang diberikan, maka dari itu dengan adanya simulasi dinamik menjadi acuan dasar dalam membangun mesin untuk media penggerak[1]. Penelitian Y. Yang *'et.al.'* menjelaskan bagaimana perubahan posisi akibat pengaruh roda, dari segi diameter roda dan sudut yang terbentuk menghasilkan sebuah kecepatan yang dapat dihitung dengan menggunakan simulasi dinamik, maka dari itu dapat mengetahui kecepatan yang dihasilkan yaitu jika massa mobil penggerak 13.3 kg yaitu 10^8 N.s/mm[2]. Penelitian M. Omar *'et.al.'* menjelaskan penggunaan mata spindel untuk melakukan proses CNC namun simulasi mata spindel tersebut untuk mengetahui pengaruh kecepatan potong terhadap arah gerak, simulasi dilakukan berdasarkan simulasi dinamik dan statik[3]. Penelitian Y. Zhang *'et.al.'* menjelaskan pengaruh kecepatan akibat gaya tekan terhadap material AL-606. Gaya tekan maksimal 5.6 Gpa menghasilkan kecepatan perpindahan sebesar 0,4 km/s[4]. Penelitian M. Fatoni *'et.al.'* menjelaskan pengaruh gaya statik menghasilkan gaya dinamis pada pegas. Akibat gaya yang diberikan pada pegas maka terjadinya perpindahan yang dilakukan dalam simulasi dinamik dengan deformasi maksimal 12.3 mm menghasilkan frekuensi getaran perpindahan sebesar 96.269 Hz[5].

Pada dasarnya simulasi dinamik digunakan untuk mengilustrasikan gerak, pola dan dampak yang dihasilkan[6], maka penelitian sebelumnya yang membahas bagaimana pengaruh suatu benda dapat berpindah akibat input kecepatan dasar yang dipengaruhi beberapa gaya[7][8]. Penelitian dinamik simulasi tidak hanya pada benda, namun juga bisa pada sesuatu yang tidak kasat mata contohnya simulasi dinamik pada perpindahan panas, fluida dan lain-lainnya. Contohnya pada perpindahan panas dari sebuah pipa, dimana input yang digunakan juga berbeda karena akan membahas tentang konduktivitas termal[9][10]. Penelitian juga membahas bagaimana simulasi dinamik dapat menganalisa pengaruh perpindahan polusi, udara dan cuaca yang terjadi[11][12]. Namun pada penelitian ini hanya fokus pada penelitian dinamik untuk perpindahan suatu kendaraan yang dapat membawa barang, maka input suatu data yang dibutuhkan pada penelitian ini adalah torsi motor yang digunakan[13], gaya yang dialami kendaraan pemindah barang, sudut putar suatu roda dan kecepatan sudut yang dibutuhkan[14]. Maka reaksi yang diharapkan yaitu Akselerasi, Waktu, Kecepatan dan Velocity[15][16].

Dari studi literature yang dibahas maka Gap-Research dari penelitian ini adalah bagaimana tidak ada pembahasan pengaruh torsi terhadap gaya yang diberikan berpengaruh terhadap kecepatan, perpindahan dan percepatan, maka keterbaruan penelitian ini adalah dengan menerapkan pengaruh torsi terhadap gaya sehingga dapat menghasilkan waktu perpindahan, kecepatan dan percepatan dalam bentuk simulasi dinamik berdasarkan jarak yang diamati.

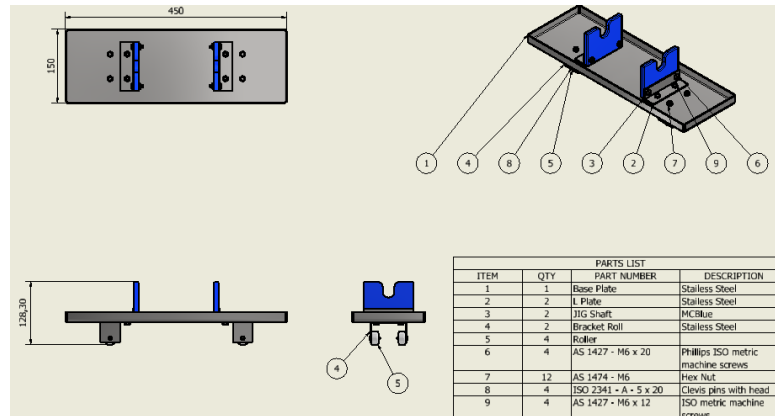
II. METODE PENELITIAN

Penelitian ini akan menggunakan software *Autodesk Inventor Nastran 2026 Dynamic Simulation*. Adapun tahapan dalam metode penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Alur penelitian.

Metode pertama yang dilakukan dalam penelitian ini adalah dengan melakukan pengukuran slider yang sesuai, dengan ukuran yang cocok untuk *crankshaft*. Jika pengukuran sudah selesai maka dilakukan proses perancangan yang dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Desain slider *crankshaft*

Desain yang ditampilkan pada Gambar 2 akan digunakan dalam proses simulasi dinamik untuk memindahkan *crankshaft* yang telah di produksi pada ruang CNC dan akan dibawa ke tahapan selanjutnya. Pada Gambar 2 menunjukkan dimensi maksimal dan beberapa komponen beserta material dan nama komponen yang tertera, maka untuk hasil pembuatannya dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Slider *crankshaft*

Pada Gambar 3 menunjukkan slider masih didorong secara manual belum diimplementasikan menjadi gerak otomatis yang tidak perlu didorong, maka hasil desain akan dilakukan simulasi dinamik untuk mendapatkan reaksi yang diinginkan, maka dari itu dibutuhkan input parameter yang akan akan digunakan. Untuk input parameter ada dua[17]. Parameter variasi dan parameter tetap yang dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Parameter input

Variabel	Nilai	Satuan
Panjang lintasan	1	Meter
Torsi	100, 150, 130	N.mm
Massa <i>crankshaft</i>	7.8	Kg
Gravitasi	9.81	m/s ²

Pada Tabel 1 menjelaskan bagaimana data yang diinput dalam simulasi dinamik maka variabel

variasi ada pada torsi dan variabel tetap ada pada panjang lintasan, massa *crankshaft* dan gravitasi bumi. Maka perhatikan Tabel 2 untuk memberikan input variabel pada simulasi dinamik.

Tabel 2. Variabel input simulasi dinamik

Variabel	Lokasi
Revolution	Pada roda yang diberikan gaya torsi (Motor penggerak)
Contact	Sentuhan bawah roda dan rel lintasan
Assembly	Gabungan antara roda dan lintasan

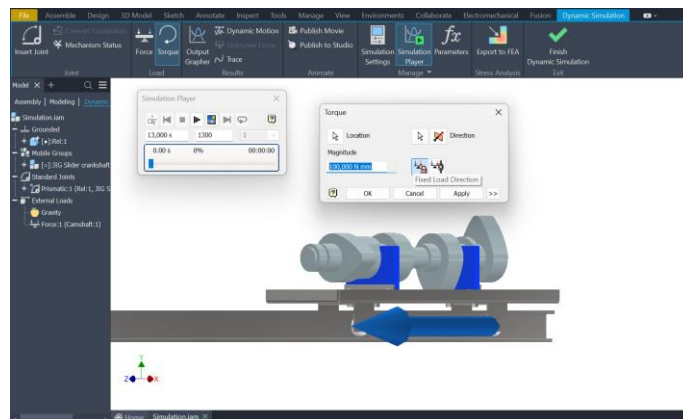
Setelah dilakukan input parameter dan input variabel dinamik simulasi maka tahapan selanjutnya adalah proses running simulasi dinamik berdasarkan massa komponen, torsi yang ditetapkan dan pengaruh gravitasi maka data yang akan dikumpulkan sebagai berikut:

1. Kecepatan (mm/s)
2. Akselerasi (mm/s²)
3. Posisi (mm)
4. Gaya yang bekerja (N)

Adapun hasil penelitian akan di bahas pada bagian subab hasil dan penelitian untuk menjawab permasalahan yang telah di jelaskan pada latar belakang penelitian dibab pendahuluan.

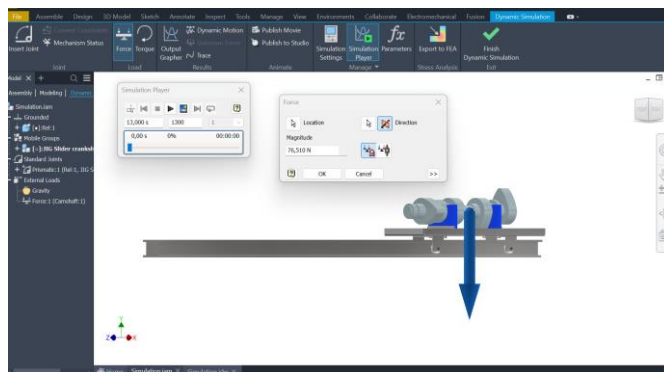
III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini dimulai dengan menentukan parameter input seperti torsi, massa *crankshaft*, dan grafitasi bumi. Untuk input pertama kali dilakukan pada torsi yang divariasikan, posisi input dapat dilihat pada Gambar 4.



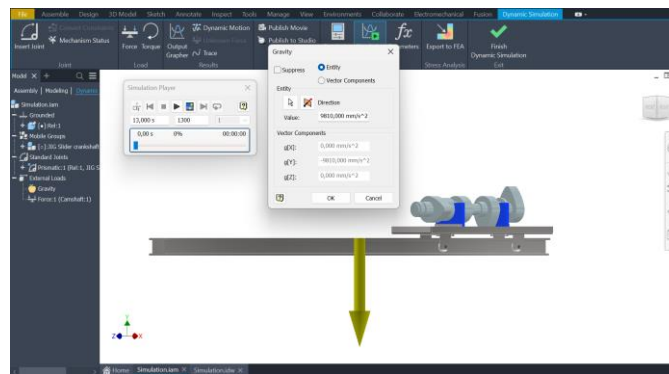
Gambar 4. Input Torsi

Torsi yang diinput pada Gambar 4 ditentukan pada bagian ke-4 Roda dengan total torsi 100 N.mm, 130 N.mm dan 150 N.mm. roda tersebut harus tersentuh pada bagian bawah rel agar mengalami *contact* supaya putaran roda dapat bergerak sesuai bentuk rel. Setelah input torsi tahap berikutnya adalah dengan menentukan massa *crankshaft* yaitu sebesar 76.51 N, yang dapat dilihat pada Gambar 5.



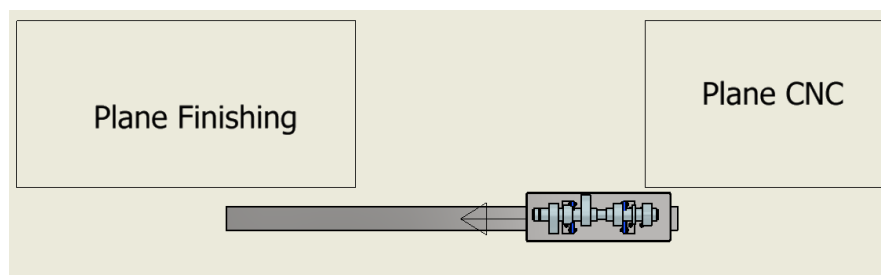
Gambar 5. Input Gaya

Posisi input gaya terletak pada bagian *crankshaft* dan gaya tersebut terarah pada bagian bawah sesuai dengan gravitasi. Maka untuk gravitasi dapat dilihat dilihat pada Gambar 6.



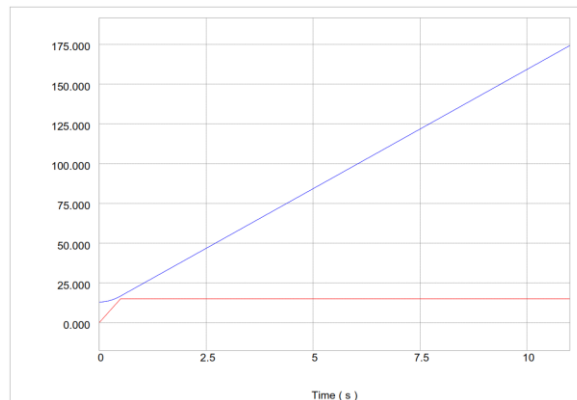
Gambar 6. Input Gravitasi

Gravitasi yang diinput sudah melalui tahapan keseluruhan komponen yang ada pada seluruh frame maka dengan demikian arah gravitasi menunjukkan nilai “-y” yang dapat dilihat pada Gambar 6. Setelah input dilakukan maka *planning* dari simulasi ini bertujuan untuk mendapatkan posisi jarak sejauh 1 meter. *Planning* dari penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 7.



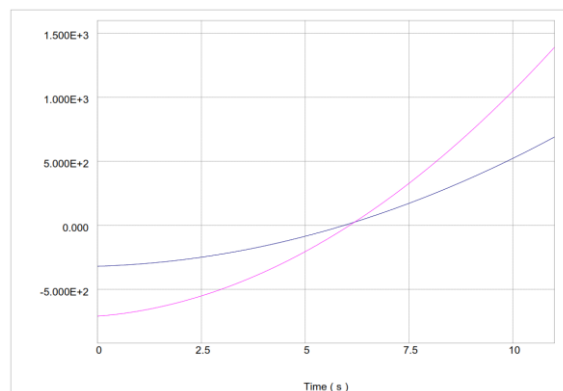
Gambar 7. *Planning* Simulasi Slider

Crankshaft yang sudah diproduksi dari *line cnc* akan dipindahkan ke *line* akhir menggunakan slider yang dapat bergerak otomatis. Pada saat slider bergerak sejauh 1 meter maka akan menampilkan hasil simulasi berupa posisi akhir, kecepatan, percepatan dan gaya. Maka dari itu pembahasan pertama dimulai pada input torsi 100 N.mm, hasil pengujian pertama menampilkan pengaruh kecepatan dan percepatan jika diberikan torsi 100 N.mm. grafik tersebut dapat dilihat pada Gambar 8.



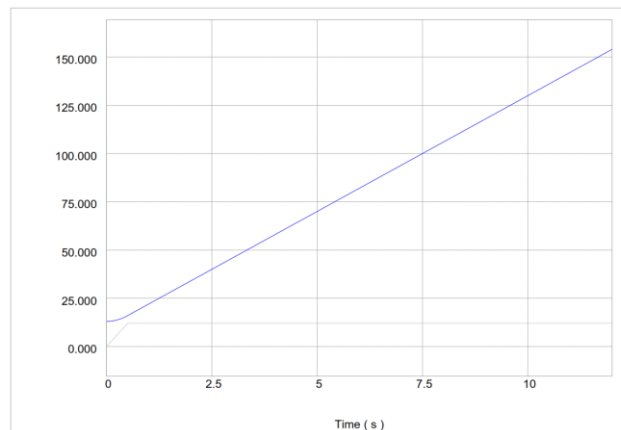
Gambar 8. Kecepatan dan Percepatan dengan torsi 100 N.mm

Jika slider diberikan torsi sebesar 100 N.mm maka kecepatan akan terus meningkat. Dari Gambar 8 garis berwarna merah menunjukkan percepatan dan berwarna biru merupakan kecepatan. Maka dari itu kecepatan awal sebesar 24,5 mm/s pada titik 0 s-0,2 s, pada titik berikutnya akan terus meningkat sampai pada 11 s posisi ujung rel berhenti dengan kecepatan akhir yaitu 174,9 mm/s. pada posisi percepatan awal dari 0 s-0,2 s mengalami peningkatan 22 mm/s^2 , dan konstan sampai di detik 11 s. maka dengan demikian akhir berhenti sebuah *slider* ada pada waktu 11 s. hasil peneitian berikutnya adalah dengan pengaruh posisi rel dan gaya yang dihasilkan selama proses berjalannya slider. Grafik pengujian dapat dilihat pada Gambar 9.



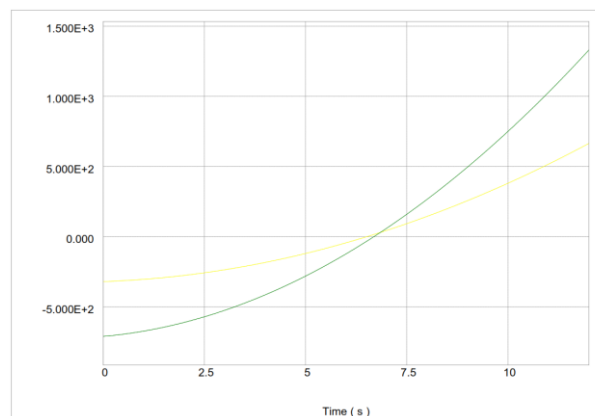
Gambar 9. Pengaruh gaya terhadap posisi torsi 100 N.mm.

Posisi ditunjukkan pada warna biru dan gaya ditunjukkan pada warna ungu, maka dari itu dapat diperhatikan gaya terus meningkat seiring dengan gaya yang dihasilkan selama waktu 11 s. posisi awal terletak pada $-4.255E+2 \text{ mm}$ dan pada detik sebelas berada pada $6.439E+2 \text{ mm}$ maka dengan demikian gaya yang di hasilkan pada waktu 0 s menghasilkan gaya sebesar $-6.341E+2 \text{ N}$ dan pada waktu 11 s menjadi $1.47E+3 \text{ N}$. Dengan demikian maka pengujian berikutnya pada Torsi 130 N.mm, hasil grafik pengujian dimulai dengan kecepatan dan percepatan yang dapat dilihat pada Gambar 10.



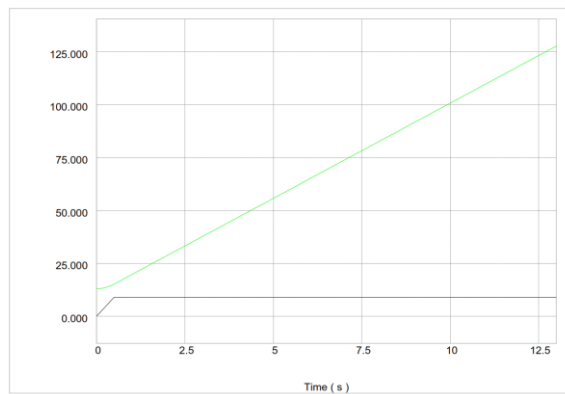
Gambar 10. Pengaruh kecepatan dan percepatan *slider* pada torsi 130 N.mm.

Pada saat torsi ditingkatkan maka kecepatan dan percepatan mengalami perubahan dan waktu bekerja menjadi lama pada saat posisi *slider* untuk mencapai titik akhir. Pada pengujian dari Gambar 10, dapat dijelaskan warna abu-abu merupakan percepatan. Dari titik 0 s-0.2 s mengalami peningkatan 20 mm/s^2 dan konstan hingga 12 s. Grafik kecepatan yang di tunjukkan pada Gambar 10 mengalami peningkatan dari 0 s- 0.2 s sebesar 24.5 mm/s dan pada waktu sampai 12 s sebesar 154.2 mm/s . dari pengaruh kecepatan dan percepatan tersebut maka *slider* mengalami perubahan gaya dan posisi yang dapat dilihat dari grafik yang ada pada Gambar 11.



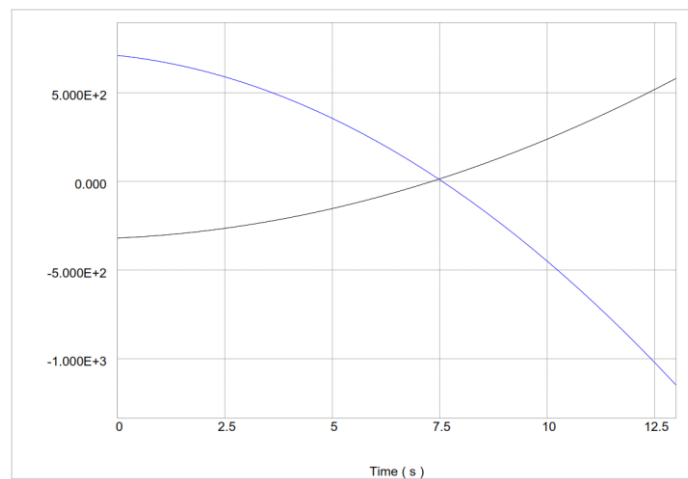
Gambar 11. Pengaruh posisi dan gaya *slider* pada torsi 130 N.mm.

Untuk posisi (garis berwarna kuning) memiliki nilai yang sama terhadap pengujian pada torsi 100 N.mm yaitu pada $-4.255E+2 \text{ mm}$ dan pada detik duabelas berada pada $6.439E+2 \text{ mm}$. dari posisi tersebut perubahan gaya (garis berwarna hijau) pada titik 0 s sebesar $-6.275E+2 \text{ N}$ dan dititik 12 s sebesar $1.43E+3 \text{ N}$. berikutnya adalah pengujian kecepatan dan percepatan pada torsi yang diberikan sebesar 150 N.mm. hasil grafik pengujian dapat dilihat pada Gambar 12.



Gambar 12. Kecepatan dan Percepatan pada torsi 150 N.mm.

Posisi roda pada saat diberikan torsi dengan besaran 150 N.mm. maka pengaruh kecepatan dan percepatan semakin menurun. Dari 0 s – 0,2 s mengalami peningkatan percepatan (garis berwarna hitam) sebesar 19 mm/s² dan konstan hingga waktu 12.8 s. kecepatan (garis berwarna hijau) mengalami peningkatan dari 23.8 mm/s hingga di waktu 12.8 s sebesar 126.7 mm/s. berikutnya adalah pengujian pengaruh gaya terhadap posisi yang dapat dilihat pada Gambar 13.



Gambar 13. Pengaruh posisi dan gaya yang bekerja pada torsi 150 N.mm.

Nilai posisi (garis hitam) yang ada pada Gambar 13 memiliki nilai yang sama pada sebelumnya karena tidak ada penambahan posisi dan penguranga posisi yaitu sebesar -4.255E+2 mm dan pada detik sebelas berada pada 6.439E+2 mm. namun pada pengujian ini pengaruh gaya sangat signifikan pada grafik -y yaitu pada posisi 0 s sebesar 6,569E+2 N dan waktu 12,8 s maka sebesar -1,327E+3 N. pengaruh negatif tersebut dihasilkan akibat torssi yang begitu besar namun menghasilkan kecepatan yang kecil sehingga gaya menjadi negatif. Dari data tersebut dikumpulkan dalam bentuk Tabel 3.

Tabel 3. Rangkuman data

Pengujian	100 N.mm.	130 N.mm.	150 N.mm.
Kecepatan mm/s (maks)	174.9	154.2	126.7
Percepatan mm/s ² (maks)	22	20	19
Gaya N (maks)	1.47E+3	1,43E+3	-1,327E+3
Posisi (maks)	6.439E+2	6.439E+2	6.439E+2
Waktu (s)	11	12	12,8

Dari rangkuman data pada Tabel 3 maka dapat dijelaskan bahwa kecepatan sangat berpengaruh oleh torsi. Semakin meningkat torsi maka semakin kecil kecepatan yang dihasilkan, maka dari itu penggunaan torsi 100 N.mm. menghasilkan kecepatan sebesar 174,9 mm/s dengan peningkatan percepatan 22 mm/s^2 maka waktu tempuh yang dihasilkan semakin cepat yaitu sebesar 11 s sejauh 1 meter. Dibandingkan dengan torsi 150 N.mm. dengan kecepatan 126,7 mm/s dan percepatan 19 mm/s^2 maka menghasilkan waktu tempuh sejauh 1 meter sebesar 12,8 s. maka dari itu penelitian dinamik simulasi untuk mendapatkan asumsi sementara sebelum dilakukan pengujian secara eksperimental, penelitian ini mengikuti penelitian Łukaszewicz *'et.al.'* yang menjelaskan hasil *dynamic simulation* yaitu mendapatkan hasil percepatan dan kecepatan dalam data asumsi pertama sekaligus mengitung posisi dan gaya yang bekerja[1].

IV. KESIMPULAN

Sesuai dengan permasalahan yang muncul yaitu dibutuhkan sebuah *slider* yang dapat memindahkan barang dari titik awal (*cnc line*) ke titik akhir (*line akhir*) bertujuan untuk memudahkan pekerjaan, namun dibutuhkan simulasi dinamik untuk mendapatkan asumsi nilai gerak kecepatan, percepatan, posisi awal dan akhir hingga gaya yang bereaksi. Karena tujuan pembuatan slider akan digunakan mesin yang memiliki torsi dengan besaran 100 N.mm, 130 N.mm dan 150 N.mm. dari hasil simulasi menunjukkan:

1. Kecepatan yang paling baik berada pada pengujian dengan skala torsi sebesar 100 N.mm. dengan jarak lintasan sejauh 1 m dapat memberikan waktu pindah selama 11 s.
2. Dengan reaksi gaya $1.47\text{E}+3 \text{ N}$ sehingga masih terbilang aman karena gaya total dari *crankshaft* sebesar 76,51 N dengan massa *crankshaft* sebesar 7,8 kg.
3. Maka dengan demikian penelitian ini memiliki keterbaruan yang terletak pada sisi desain, input variabel tetap dan variasi variabel hingga pengaruh posisi terhadap reaksi gaya yang bekerja.
4. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan awal dari penelitian berikutnya untuk mendalami proses-proses simulasi dinamik untuk menghasilkan asumsi dasar sebelum menggunakan komponen yang bergerak, sekaligus penelitian simulasi dapat di uji dengan eksperimental berdasarkan input data luaran data yang sama.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini saya ucapkan terimakasih kepada pembimbing 1 saya yaitu bapak Karyadi, S.T., M.T., yang telah memberikan projek dari PT. Raika Trinity Indonesia untuk mejadikan tugas akhir saya, dan terimakasih juga kepada bapak Rizki Aulia Nanda, S.T., M.T. selaku dospem 2 yang telah membantu mengajari saya untuk simulasi dinamik pada projek TA saya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] K. Łukaszewicz and N. Niechoćko, "Dynamic simulation of a virtual prototype of a one-track vehicle in motion on uneven ground conditions," *MATEC Web Conf.*, vol. 254, p. 02015, 2019, doi: 10.1051/mateconf/201925402015.
- [2] Y. J. Yang, M. K. Jang, and J. S. Nam, "Dynamic Simulation Model of Miniature Tracked Forestry Tractor for Overturning and Rollover Safety Evaluation," *Agric.*, vol. 14, no. 11, 2024, doi: 10.3390/agriculture14111991.
- [3] M. H. Omar, M. F. Allias, R. Radzi, and M. N. Abdul Halim, "Static and Dynamic Analyses of Spindle Collet Made of Different Materials Using Finite Element Modeling," *JMPM (Jurnal Mater. dan Proses Manufaktur)*, vol. 8, no. 1, pp. 1–9, 2024, doi: 10.18196/jmpm.v8i1.20467.
- [4] Y. Zhang *et al.*, "Accurate Finite Element Simulations of Dynamic Behaviour: Constitutive Models and Analysis with Deep Learning," *Materials (Basel)*, vol. 17, no. 3, pp. 1–12, 2024, doi: 10.3390/ma17030643.
- [5] M. Fatoni, A. Fauzan, and H. Soegiharto, "The dynamic simulation of the 46SiCrMo6 steel-

- primary suspension spring in locomotives,” *Mech. Sci. Reports*, vol. 2, no. 1, pp. 17–26, 2024.
- [6] S. Klein, M. Güner, and D. Bähre, “Description of the Kinematics based on a Simulation Tool and Analysis of the Interaction of the Gimbal in Precision Honing,” *Procedia CIRP*, vol. 101, no. March, pp. 130–133, 2020, doi: 10.1016/j.procir.2021.03.127.
- [7] Z. Han *et al.*, “Dynamic Simulation of Land Use and Habitat Quality Assessment in Baiyangdian Basin Using the SD-PLUS Coupled Model,” *Water (Switzerland)*, vol. 16, no. 5, 2024, doi: 10.3390/w16050678.
- [8] H. Wibowo, A. Marwanto, A. A. Fakhri, and A. Riskiyanto, “Design and Simulation of Carbon Steel-based Band Saw Frame,” *J. Eng. Appl. Technol. Eng. Appl. Technol.*, vol. 6, no. 1, pp. 9–17, 2025.
- [9] M. C. Siame, T. Zvarivadza, M. Onifade, I. N. Simate, and E. Lusambo, “Dynamic Simulation of Heat Distribution and Losses in Cement Kilns for Sustainable Energy Consumption in Cement Production,” *Sustain.*, vol. 17, no. 2, 2025, doi: 10.3390/su17020553.
- [10] R. P. Putra and M. , Dori Yuvenda, Muji Setiyo, Andrizal, “Body City Car Design of Two Passengers Capacity: A Numerical Simulation Study,” *UNIMMA*, vol. 5, no. 2, pp. 163–172, 2022.
- [11] L. Tian, Y. Tao, W. Fu, T. Li, F. Ren, and M. Li, “Dynamic Simulation of Land Use/Cover Change and Assessment of Forest Ecosystem Carbon Storage under Climate Change Scenarios in Guangdong Province, China,” *Remote Sens.*, vol. 14, no. 10, 2022, doi: 10.3390/rs14102330.
- [12] H. Gao *et al.*, “The Dynamic Simulation and Potential Hazards Analysis of the Yigong Landslide in Tibet, China,” *Remote Sens.*, vol. 15, no. 5, 2023, doi: 10.3390/rs15051322.
- [13] Y. Li, G. Chen, D. Sun, Y. Gao, and K. Wang, “Dynamic analysis and optimization design of a planar slider – crank mechanism with fl exible components and two clearance joints,” *MAMT*, vol. 99, no. 1, pp. 37–57, 2016, doi: 10.1016/j.mechmachtheory.2015.11.018.
- [14] Y. Chen, J. Feng, Q. He, Y. Wang, Y. Sun, and C. Yu, “A methodology for dynamic behavior analysis of the slider-crank mechanism,” *IJNSNS*, vol. 22, no. 3–4, pp. 1–18, 2021.
- [15] Z. Cao *et al.*, “Dynamic Simulation and Experimental Study of Electric Vehicle Motor-Gear System Based on State Space Method,” *Machines*, vol. 10, no. 7, 2022, doi: 10.3390/machines10070589.
- [16] A. G. Wahab, Z. Tao, H. Li, A. Y. Rasa, T. Huma, and Y. Liang, “Dynamic Simulation and Seismic Analysis of Hillside RC Buildings Isolated by High-Damping Rubber Bearings,” *Infrastructures*, vol. 10, no. 9, pp. 1–22, 2025, doi: 10.3390/infrastructures10090239.
- [17] W. Huang, X. Huang, and C. Majidi, “Dynamic simulation of articulated soft robots,” *Nat. Commun.*, vol. 11, no. 2233, pp. 1–9, 2020, doi: 10.1038/s41467-020-15651-9.