

Rancang Bangun Mainan Mekanikal Luncuran Kelereng Menggunakan Sistem Pengangkat Jungkat Jungkit

*Muhamad Wildan Maulana¹, Dwi Basuki Wibowo², Ojo Kurdi²

¹Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

²Dosen Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Jl. Prof. Sudharto, SH., Tembalang-Semarang 50275, Telp. +62247460059

*E-mail: muhamadwildanmaulana29@gmail.com

Abstrak

Mainan mekanikal adalah mainan yang bisa bergerak atau digerakkan baik secara manual maupun dengan motor listrik. Mainan mekanikal edukatif bentuknya di bagian atas adalah obyek mainan yang digerakkan dan bagian bawah adalah mekanisme penggerakannya. Contohnya adalah mainan automata. Istilah *automaton* (bahasa Inggris plural: *automata*) diartikan sebagai perangkat yang bergerak dengan sendirinya (*a selfoperating machine*). Produk mainan ini mensimulasikan gerak kelereng berupa siklus yang secara umum terdiri dari 2 komponen yaitu: (1) pengangkat kelereng berupa jungkat jungkit, dan (2) panel lintasan turun berupa *three hole drop* dan *down rail* & modul jungkitan. Suatu mainan luncuran kelereng dirancang dari beberapa modul dan setiap modul disimulasikan dan dilakukan analisa posisi dan kecepatan agar pergerakan kelereng dapat meluncur dari satu modul ke modul berikutnya dengan baik. Dari hasil simulasi dan analisa pada mainan mekanikal kelereng luncur, kelereng membutuhkan waktu tempuh 30,87 detik serta kecepatan kelereng tertinggi pada mainan mekanikal luncuran kelereng berada di panel lintasan *three hole drop*, dengan kecepatan kelereng 0,948 m/s dengan waktu tempuh 27,592 s, saat posisi kelereng terdapat pada sumbu $x = 0,165$ $y = 0,244$ $z = 0,194$ pada saat kelereng bergerak jatuh dari lubang *three hole drop*.

Kata kunci: analisis kecepatan dan posisi; kelereng; mainan mekanikal; mekanisme

Abstract

Mechanical toys are toys that can move or be moved either manually as well as with an electric motor. The educational mechanical toy at the top is a toy object that is moved and the bottom is the driving mechanism. An example is the automata toy. The term automaton (plural English: automata) is defined as a device that moves by itself (a selfoperating machine). This toy product simulates the motion of marbles in the form of a cycle which generally consists of 2 components, namely: (1) marble lifters in the form of seesaws, and (2) descending track panels in the form of three hole drop and down rail & seesaw modules. A marble slide mechanical toy is designed from several modules and each module is simulated and analyzed for position and speed so that the movement of marbles can slide from one module to the next properly. From the results of simulation and analysis on the mechanical toy, the marble takes a travel time of 30.87 seconds and the highest marble velocity in the marble slide mechanical toy is on the three-hole drop track panel, with a marble velocity of 0.948 m/s with a travel time of 27.592 s, when the position of the marble is on the x axis = 0.165 y = 0.244 z = 0.194 when the marble moves down from the three-hole drop hole.

Keywords: marbles; mechanism; mechanical toys; velocity and position analysis

1. Pendahuluan

Mainan mekanikal adalah mainan yang bisa bergerak atau digerakkan baik secara manual maupun dengan motor listrik. Mainan mekanikal edukatif bentuknya di bagian atas adalah obyek mainan yang digerakkan dan bagian bawah adalah mekanisme penggerakannya. Contohnya adalah mainan automata. Istilah *automaton* (bahasa Inggris plural: *automata*) diartikan sebagai perangkat yang bergerak dengan sendirinya (*selfoperating machine*) [1]. Di TDC (*Toys Design Center*), sebuah komunitas yang didirikan di bawah naungan Laboratorium Proses Produksi Jurusan Teknik Mesin UNDIP dan saya adalah anggota dari komunitas tersebut, mainan seperti ini disebut *mainan mekanikal edukatif*. Unsur edukasinya adalah mainan tidak bisa berpindah tempat dan seluruh mekanisme penggerakannya diperlihatkan sehingga siapa saja yang melihat/memainkannya dapat mengetahui jenis mekanisme penggerak dan komponennya yang mampu menghasilkan gerak obyek mirip seperti gerak aktifitas tertentu orang, hewan, atau mesin [7]

Meski memang produk mainan mekanikal sudah banyak dibuat orang tetapi hingga saat ini mainan mekanikal sebagai peraga/hiasan (*display*) di dalam rumah; kantor; mobil; dan tempat usaha, belum banyak orang yang memproduksinya. Produk mainan yang bisa bergerak-gerak sendiri dan seluruh mekanismenya kelihatan selalu mengundang rasa ketertarikan orang untuk melihatnya. Rasa jenuh tamu saat menunggudilayani seakan hilang dan terobati. Museum-museum yang di dalamnya terdapat wahana science dan teknologi (termasuk produk *mechanical toys* dan *mechanical toys for education*) selalu dipadati pengunjung, contohnya di Taman Pintar Jogjakarta dan Jatim Park Batu Malang. [2]

Dalam penelitian tugas akhir ini, penulis mencoba untuk mendesain dan merancang *mechanical toys murble run* dengan sistem pengangkat jungkat jungkit menggunakan *software Solidworks 2018*. Dalam hal ini bertujuan untuk bisa menghasilkan ragam *mechanical toys* yang menggunakan prinsip kerja lampu didalamnya.

2. Dasar Teori dan Metodologi

Mekanisme adalah gabungan beberapa komponen kaku (*rigid*), masing-masing komponen mempunyai fungsi gerak sendiri dan secara bersamaan menghasilkan gerakan mekanisme [3]. Mainan mekanikal menggunakan sistem penggerak sederhana. Dengan menggunakan satu sumber penggerak menunjukkan bahwasanya mainan mekanikal memiliki tingkat mekanisme yang beragam, mulai dari yang paling sederhana sampai ketinggian yang sangat kompleks. Kerumitan dari mainan mekanikal terletak pada seberapa banyak bagian dari mainan yang digerakkan. Salah satu komponen utama dan paling penting dalam mainan mekanikal luncuran kelereng adalah mekanisme modul pengangkat yang berfungsi sebagai pengangkat kelereng ke ketinggian tertentu sebagai awal mula mainan dapat berjalan. Masing-masing mekanisme pengangkat memiliki model, ukuran, dan mekanisme penggerak yang berbeda-beda. Mekanisme pengangkat juga memiliki kapasitas angkut kelereng dan cara kerja yang berbeda-beda. Pemilihan mekanisme pengangkat juga dapat disesuaikan dengan jumlah dan ukuran mainan luncuran kelereng. [8]

Macam-macam mekanisme pengangkat yang digunakan dalam *mechanical toys* luncuran kelereng antara lain:

Mekanisme pengangkat *hole disc* merupakan salah satu mekanisme pengangkat pada mainan luncuran kelereng yang sederhana. Berbentuk silinder tipis dengan lubang yang saling berdekatan dan memiliki kemiringan, terletak pada tepi silinder sebagai tempat kelereng dan ditopang oleh sepasang penyangga pada sisi kanan dan kiri [4]. Mekanisme pengangkat ini memiliki bentuk yang sederhana karena bentuknya yang menyerupai *discs* dan berlubang di bagian tepinya.

Pada mekanisme pengangkat *listing chain* terdapat satu buah roda gigi pada bagian atas dan satu buah roda gigi pada bagian bawah yang dihubungkan oleh rantai yang diberi pengait dan ditopang rangka sederhana [5]. Fungsi pengait ini adalah sebagai wadah kelereng yang akan dinaikan.

Mekanisme pengangkat tangga berjalan ini terdiri dari enam buah atau lebih anak tangga dengan pembatas pada tepi kanan dan kiri, yang tersusun dalam sebuah rangka berbentuk persegi panjang. Mekanisme ini dapat menampung kelereng yang akan diangkat sesuai dengan lebar anak tangga dan jumlah anak tangga. Pada bagian paling atas dari mekanisme pengangkat tangga berjalan ini terdapat alur lintasan yang akan dilewati kelereng untuk menuju panel lintasan yang lain.

Mekanisme pengangkat kincir berbentuk X atau *cross* dan terdapat lubang pada tiap ujung-ujungnya yang berfungsi sebagai tempat masuknya kelereng. Dibutuhkan panel tambahan untuk mengatur agar kelereng dapat masuk satu-persatu ke dalam lubang, sehingga jumlah kelereng yang dapat ditampung dalam panel tersebut terbatas pada ukuran panelnya.

Diantara mekanisme pengangkat lainnya, mekanisme ini termasuk yang paling rumit. Dengan 5 pasang jungkitan atau lebih (tempat kelereng pada saat akan dinaikan) yang bergerak berlawanan arah antara jungkitan bagian kanan dan jungkitan bagian kiri. Dan pada saat mencapai puncak jungkitan bagian kanan akan miring kebawah dan akan memindahkan kelereng ke jungkitan bagian kiri begitu seterusnya hingga kelereng akan terus bergerak ke atas.

Kinematika berkuat dengan sesuatu yang bergerak, oleh karena itu kinematika didefinisikan sebagai ilmu geometri dari sebuah gerakan yang meliputi posisi, kecepatan, percepatan, dan waktu tanpa memperhitungkan penyebab terjadinya gerakan [6]. Analisis posisi mereferensikan lokasi dari suatu objek, vektor posisi (R), dapat didefinisikan dengan posisi awal menuju poin lokasi yang dituju. Alternatif lain untuk mendefinisikan suatu posisi dari mekanisme persegi panjang dengan vektor posisi dapat dilakukan dengan mendefinisikan X dan Y dari komponen yang kemudian

bisa didapatkan nilai R_x dan R_y [6]. Tujuan dari analisa posisi dalam kinematika ialah untuk mengetahui perpindahan atau *displacement* yang terjadi. Perpindahan terjadi saat posisi dari suatu linkage dan titik referensi/titik awal berubah ataupun berpindah, saat perubahan posisi dari linkage tersebut terjadi, mekanisme pun dipaksa untuk turut berubah sesuai dengan konfigurasi yang mengakibatkan terjadinya gerakan [7].

2.1 Diagram Alir Penelitian



Gambar 1. Diagram Alir Metode Penelitian

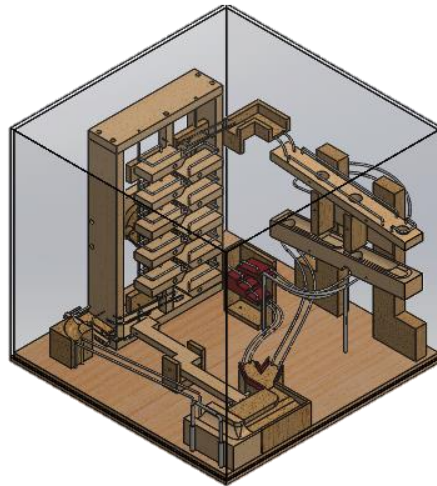
2.2 Menentukan Dimensi Global

Mechanical toy luncuran kelereng adalah mainan yang memiliki konsep dasar memindahkan atau menjatuhkan kelereng dari posisi satu keposisi lainnya melewati mekanisme pengangkat dan panel lintasan. Terlebih dahulu kelereng diangkat melalui mekanisme pengangkat ke ketinggian tertentu, kemudian kelereng akan bergerak melalui panel lintasan yang disambungkan ke mekanisme pengangkat ketempat semula. Maka akan tercipta suatu siklus perputaran kelereng seperti yang telah dirancang sebelumnya. Rancangan produk yang akan dibuat dengandimensi global 300 mm x 300 mm x 280 mm. Pada tugas akhir ini mekanisme pengangkat yang digunakan adalah mekanisme pengangkat tangga berjalan dan kincir silang serta panel lintasan turun. Tinggi terendah kelereng diukur dari permukaan base adalah 30 mm, sedangkan tinggi maksimum kelereng pada mainan ini adalah 240 mm.

2.3 Merancang Desain Produk

Dalam *mechanical toy* luncuran kelereng yang akan dirancang pada penelitian ini hanya memiliki satu mekanisme pengangkat utama yaitu mekanisme pengangkat jungkat-jungkit. Mekanisme pengangkat difungsikan untuk mengangkat kelereng ke ketinggian tertentu agar kemudian dapat meluncur ke panel lintasan lainnya. Dengan menggunakan satu mekanisme jungkat-jungkit ini dirasa sudah cukup untuk mengangkat kelereng ke ketinggian tertentu sehingga cukup untuk menjalankan mainan dengan membentuk satu siklus putaran kelereng.

Pada *mechanical toy* luncuran kelereng ini menggunakan satu mekanisme pengangkat berupa sistem jungkat-jungkit. Panel ini sebagai panel pengangkat kelereng yang terdiri *pool* batang pembagi dan sepuluh buah jungkitan yang memiliki kemiringan 15° pada tiap jungkitan sebelah kanan dan kiri. Bagian kanan atas terdapat lintasan yang menghubungkan panel ini dengan *pool* menuju panel *three hole drop*. Seperti dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Mekanisme Mainan Luncuran Kelereng

2.4 Prosedur Simulasi Gerak

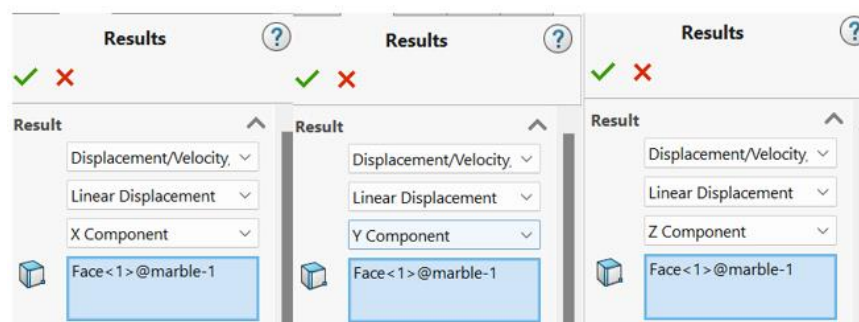
Proses simulasi gerak kinematika dan dinamika pada seluruh penelitian tugas akhir ini dilakukan menggunakan proses *motion analysis* pada *software* SolidWorks Motion. Langkah-langkah dalam menjalankan simulasi adalah sebagai berikut: Langkah awal yang dilakukan untuk melakukan simulasi adalah dengan mengaktifasi SOLIDWORKS Motion pada *taskbar* SOLIDWORKS Add-ins. Langkah selanjutnya sebelum melakukan simulasi adalah dengan menentukan parameter-parameter yang relevan/dibutuhkan untuk melakukan proses simulasi *motion*. Dibawah ini adalah parameter yang relevan/dibutuhkan dalam menjalankan simulasi, yaitu: Input Parameter Kecepatan Putar Motor, Input Parameter Gravitasi, Input Parameter *Option Contact Body*

2.5 Pembuatan Prototipe

Mainan mekanikal kelereng meluncur ini 80% terbuat dari bahan kayu, dan kayu yang digunakan adalah kayu jati londo dan kayu pinus, serta penggunaan material besi hanya digunakan untuk membuat jalur lintasan yang menghubungkan mekanisme pengangkat dan panel lintasan, kelereng yang digunakan berukuran diameter 12,5 mm. Mainan mekanikal kelereng meluncur ini juga mempunyai sistem penggerak motor gearbox DC 3-6V dengan putaran 30 *rpm*, yang digunakan untuk menggerakkan mekanisme pengangkat yang terdapat 2 *base* jungkitan yang akan di hubungkan dengan mekanisme penggerak *gear*, *cam* dan engkol.

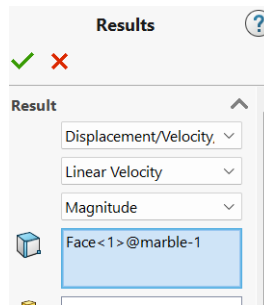
2.6 Prosedur Analisa dan Hasil Plot

Proses dalam mencari plot kurva posisi/perpindahan dilakukan dengan memilih opsi *Result and Plots* pada Solidworks Motion untuk dapat memperlihatkan kurva posisi/*displacement* sumbu X, Y, Z terhadap waktu seperti pada Gambar 2.



Gambar 2. *Result* dan Plot Perpindahan

Proses dalam mencari plot kurva kecepatan/velocity dilakukan seperti Gambar 3 dengan memilih opsi *Result and Plots* pada *Solidworks Motion* untuk dapat memperlihatkan kurva kecepatan V_m terhadap waktu.



Gambar 3. Result dan Plot Kecepatan

3. Analisis dan Pembahasan

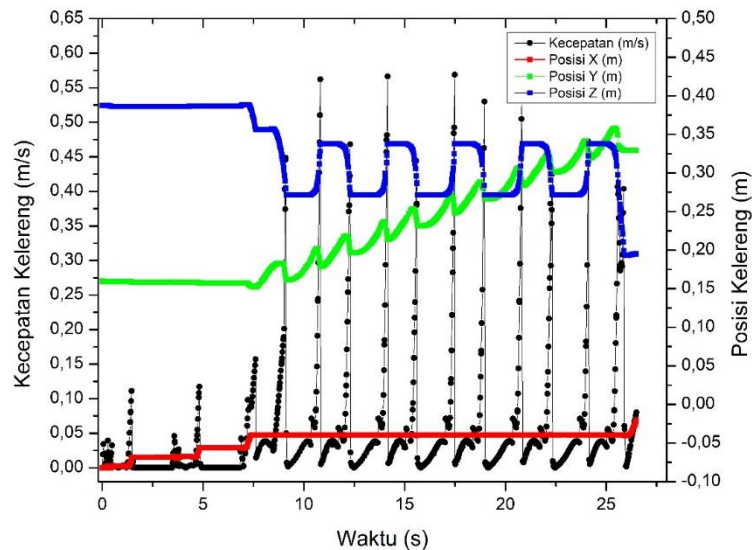
Hasil analisa dari simulasi yang telah dilakukan akan dipaparkan dalam pembahasan berikut. Simulasi dan analisa dalam pembahasan ini diselesaikan menggunakan *Software SolidWorks 2020* dan *Solidworks Motion*. Dalam simulasi melalui *software* ini data yang akan didapat adalah grafik dari hasil analisa posisi dan kecepatan pada mainan mekanikal kelereng meluncur dengan sistem penggerak jungkat-jungkit.

3.1 Analisis Pada Sistem Pengangkat

Pengaturan kamera yang digunakan untuk pengambilan gambar benda kerja pada penelitian ini menggunakan 3 pengaturan yang disesuaikan dengan kondisi pencahayaan dan bentuk benda kerja. Terdapat 3 aspek penting pada pengaturan kamera yang digunakan pada metode *photogrammetry* yaitu pengaturan *shutter speed*, pengaturan *ISO*, dan pengaturan *aperture* kamera.

3.1.1 Hasil Analisis Pada Mekanisme Jungkat Jungkit

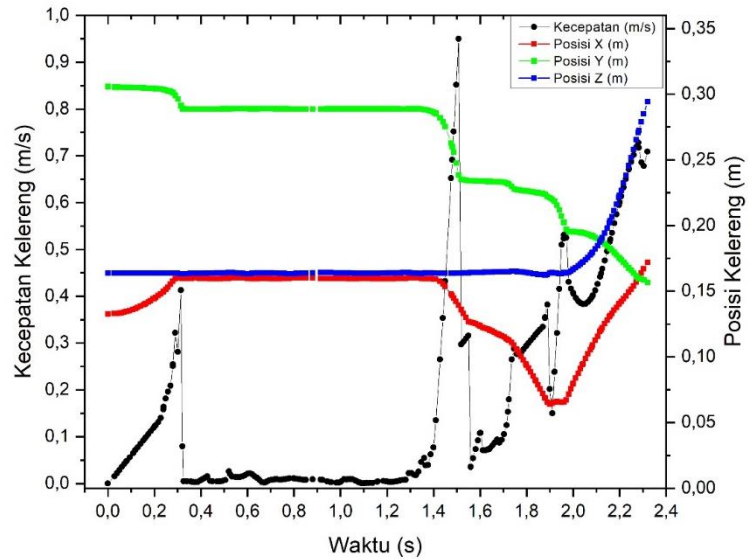
Setelah simulasi dilakukan dengan *software Solidworks Motion* maka akan didapatkan data hasil simulasi yang kemudian akan digambarkan dalam bentuk grafik. Hal ini bertujuan agar memudahkan dalam melihat hasil dari analisis posisi dan kecepatan yang didapatkan. Berikut ditunjukkan Gambar 4 hasil grafik yang didapatkan dari analisis *solidworks motion*.



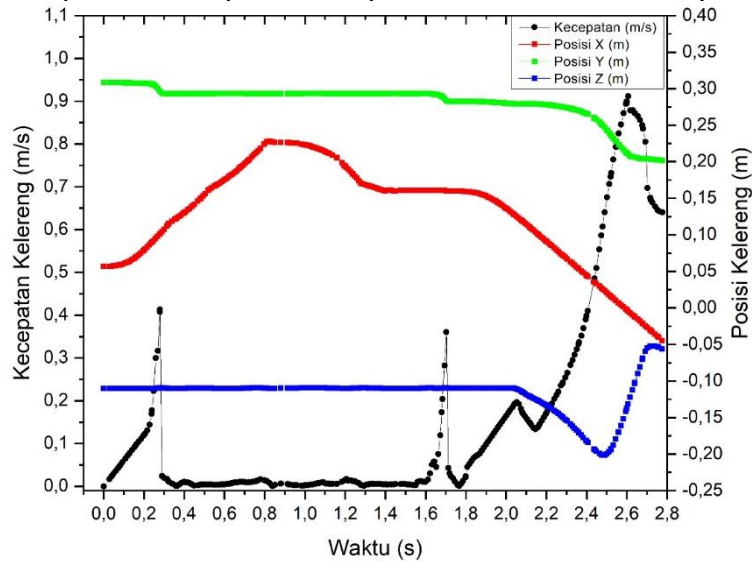
Gambar 4. Grafik posisi dan kecepatan kelereng terhadap waktu mekanisme pengangkat jungkat-jungkit

3.1.2 Hasil Analisa Pada Lintasan *Three Hole Drop*

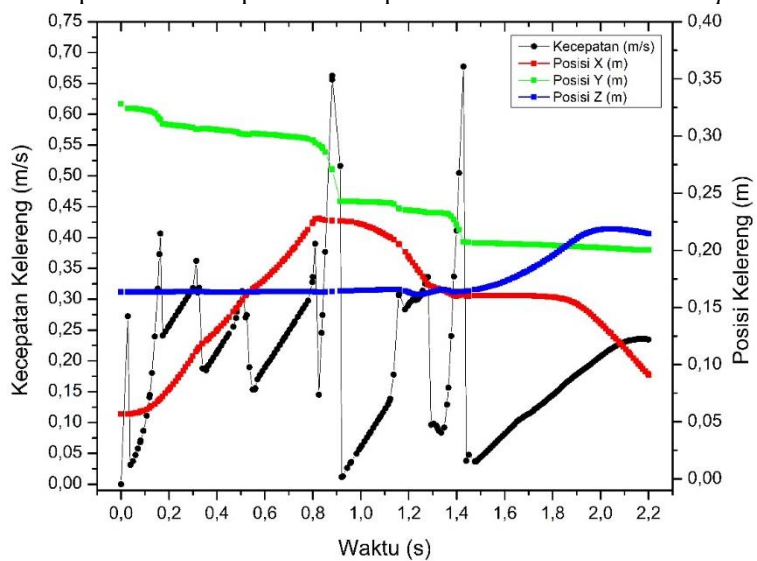
Setelah simulasi dilakukan dengan *software Solidworks Motion* maka akan didapatkan data hasil simulasi yang kemudian akan digambarkan dalam bentuk grafik. Hal ini bertujuan agar memudahkan dalam melihat hasil dari analisis posisi dan kecepatan yang didapatkan. Berikut ditunjukkan Gambar 5,6,7 hasil grafik yang didapatkan dari analisis *solidworks motion* pada kelereng pertama.



Gambar 5. Grafik posisi dan kecepatan terhadap waktu lintasan *three hole drop* kelereng pertama



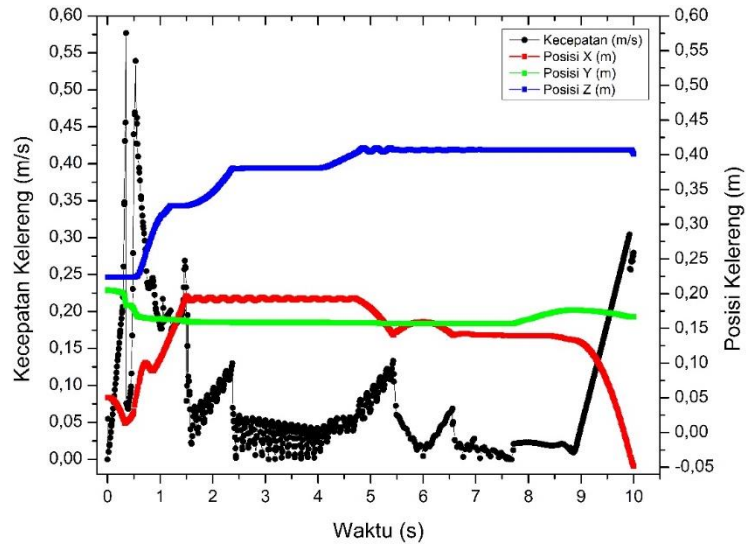
Gambar 6. Grafik posisi dan kecepatan terhadap waktu lintasan *three hole drop* kelereng kedua



Gambar 7. Grafik posisi dan kecepatan terhadap waktu lintasan *three hole drop* kelereng ketiga

3.1.3 Hasil Analisis Pada Lintasan *Down Rail* dan Modul Jungkitan

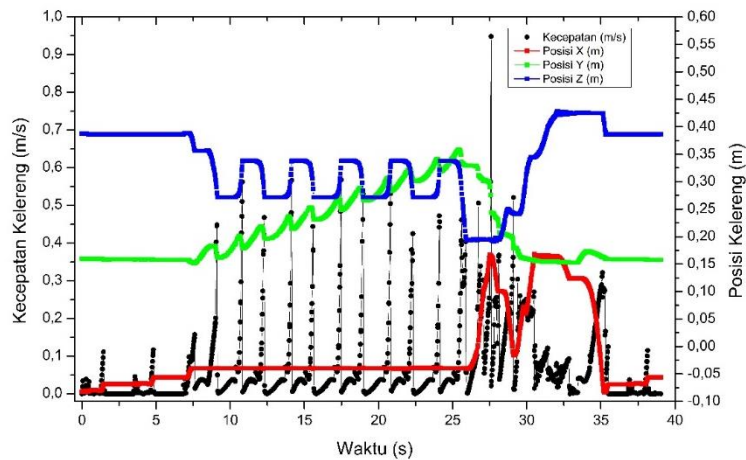
Setelah simulasi dilakukan dengan *software Solidworks Motion* maka akan didapatkan data hasil simulasi yang kemudian akan digambarkan dalam bentuk grafik. Hal ini bertujuan agar memudahkan dalam melihat hasil dari analisis posisi dan kecepatan yang didapatkan. Dapat dilihat hasil dari analisis pada Gambar 8 dibawah ini.



Gambar 8. Grafik posisi dan kecepatan terhadap waktu lintasan *down rail* dan modul jungkitan

3.2 Analisa Pada Seluruh Produk Mainan aMekanikal Luncuran Kelereng

Setelah simulasi dilakukan dengan *software Solidworks Motion* maka akan didapatkan data hasil simulasi yang kemudian akan digambarkan dalam bentuk grafik. Hal ini bertujuan agar memudahkan dalam melihat hasil dari analisis posisi dan kecepatan yang didapatkan. Berikut grafik yang didapatkan dari hasil analisis *solidworks motion* dapat dilihat pada Gambar 9. dibawah ini.



Gambar 9. Grafik posisi dan kecepatan terhadap waktu kelereng mainan mekanikal luncuran kelereng

Dari gambar 4.10 menunjukkan grafik posisi dan kecepatan kelereng terhadap waktu pada keseluruhan mainan mekanikal luncuran kelereng. Dari grafik tersebut dapat di lihat posisi gerak kelereng melewati titik A, B, dan C. Dimana kelereng melewati masing-masing titik dengan waktu tempuh pada titik A=26,2 s , titik B = 4,7 s dan titik C= 9,1 s. Kemudian gerak kelereng akan berhenti bergerak dalam waktu tempuh kelereng 39 s di titik akhir simulasi dengan posisi kelereng pada $x = -0,056$, $y = 0,158$, $z = 0,387$ dengan kecepatan terakhir 0,0 m/s.

Dari Gambar 4.10 juga dapat diidentifikasi bahwa kecepatan kelereng tertinggi pada mainan mekanikal luncuran kelereng berada di panel lintasan *three hole drop*, dengan kecepatan kelereng 0,948 m/s pada waktu tempuh 27,592 s, saat posisi kelereng terdapat pada sumbu $x = 0,165$ $y = 0,244$ $z = 0,194$ pada saat kelereng bergerak jatuh dari lubang *three hole drop*.

4. Kesimpulan

Mainan mekanikal luncuran kelereng dirancang dengan dimensi global 300 mm x 300 mm x 280 mm menggunakan mekanisme pengangkat jungkat jungkit, serta panel lintasan turun *three hole drop* dan *down rail* dan modul jungkitan. Tinggi terendah kelereng adalah 30 mm sedangkan tinggi maksimum kelereng pada mainan mekanikal luncuran kelereng ini adalah 240 mm diukur dari permukaan base mainan mekanikal luncuran kelereng.

Prototype mainan mekanika kelereng luncur dibuat dari kayu jati londo, kayu pinus, kawat besi untuk jalur lintasan, dan kelereng berdiameter 12,5 mm. Sedangkan, motor gearbox DC 3-6V dengan putaran 30 rpm untuk digunakan menggerakkan mekanisme pengangkat dimana terdapat 2 buah *cam* dan engkol yang dihubungkan pada base anak jungkitan sebagai rangkaian penggerak.

Hasil simulasi gerak kelereng pada mainan mekanikal kelereng luncur menunjukkan bahwa kelereng membutuhkan waktu tempuh 39,87 detik, dengan masing-masing waktu tempuh pada sistem pengangkat jungkat jungkit 26,2 detik, panel lintasan *three hole drop* 4,7 detik, dan panel lintasan *down rail* dan modul jungkitan 9,1 detik.

Hasil analisa posisi dan kecepatan kelereng terhadap waktu pada keseluruhan mainan mekanikal luncuran kelereng menunjukkan bahwa kecepatan kelereng tertinggi pada mainan mekanikal luncuran kelereng berada di panel lintasan *three hole drop*, dengan kecepatan kelereng 0,948 m/s dengan waktu tempuh 27,592 s, saat posisi kelereng terdapat pada sumbu $x = 0,165$ $y = 0,244$ $z = 0,194$ pada saat kelereng bergerak jatuh dari lubang *three hole drop*.

5. Daftar Pustaka

- [1] Abdul Herlan, Rizal dan Wibowo, Dwi Basuki, 2012, Penelitian Respon Anak-Anak Usia 5-9 tahun Terhadap Berbagai Gerakan-Gerakan Dasar Manusia yang Dapat Ditiru Melalui Mainan Mekanikal Edukatif, Tugas Akhir, Jurusan Teknik Mesin, UNDIP
- [2] Chang, K. H. (2021). *Motion Simulation and Mechanism Design with SOLIDWORKS Motion 2021*. SDC publications.
- [3] Guemez, Julio, et al, 2009, "Toys in Physics Lectures and Demonstration a Brief Review", Physics Education Journal, Vol. 44, Number 1, Feature 53
- [4] Howard, W., & Musto, J. (2017). *Solid modeling using SolidWorks 2017*. New York: McGraw-Hill Education.
- [5] Kurowski, P. (2013). *Engineering Analysis with SolidWorks Simulation 2013*. SDC publications.
- [6] Meriam, J. L., & Kraige, L. G. (2012). *Engineering Mechanics: Dynamics: Dynamics*. Wiley Global Education.
- [7] Mohammad, R., Mansour, R., Abdol, H. H., Kamran, K., & Mohammad, R. A. (2011). Kinematics and kinetic analysis of the slider-crank mechanism in otto linear four-cylinder Z24 engine. *Journal of mechanical engineering research*, 3(3), 85-95.
- [8] Myszka, D. H. (2004). *Machines and mechanisms*. Prentice Hall.
- [9] Wibowo, D. B., & Hardjono, B. S. (2014). Pengembangan Desain dan Manufaktur Mainan Mekanikal Edukatif untuk Mendukung Kemajuan Industri Kreatif. *Prosiding SNATIF*, 27-34.
- [10] Wibowo, D. B., & Sulardjaka, G. D. H. Merancang Mata Kuliah Desain Mainan Mekanikal Edukatif di Perguruan Tinggi.