

RANCANG BANGUN STRUKTUR MEKANISME 3D ZOETROPE MENGUNAKAN GEAR TIMING RASIO 1:3

Reza Zaelani Putra

Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Sangga Buana YPKP Bandung

Jl. PH.H. Mustofa No 68, Cikutra, Cibeunying Kidul, Bandung 40124

Email Penulis Korespondensi: rezazaelaniputra8@gmail.com

ABSTRAK

3D zoetrope merupakan perangkat visual yang menghasilkan ilusi gerak melalui susunan objek tiga dimensi yang diputar secara berurutan. Kestabilan struktur mekanisme menjadi faktor penting agar putaran objek 3D zoetrope berlangsung baik. Penelitian ini bertujuan merancang dan membangun struktur mekanisme 3D zoetrope menggunakan sistem transmisi timing belt GT2 dengan rasio 1:3 dengan sistem yang kokoh dan stabil. Metode yang digunakan adalah metode rancang bangun pendekatan deskriptif teknis, meliputi identifikasi kebutuhan, perancangan komponen, pemilihan material, pembuatan, perakitan, perhitungan elemen mesin, dan pengujian kinerja struktur mekanisme. Komponen utama meliputi box kayu sebagai struktur utama, motor DC 12V, timing belt GT2, puli bergigi, poros berdiameter 8mm, dua pillow block tipe KLF08, flange berbahan POM White, rel pengatur posisi motor berbasis ulir, serta cover akrilik. Sistem transmisi menggunakan puli 20 gigi pada motor dan puli 60 gigi pada poros sehingga diperoleh rasio 1:3. Hasil perhitungan menunjukkan daya rencana 0,0432 kW, momen puntir 280,51 kg.mm, tegangan geser poros 2,79 kg/mm², gaya berat piringan 9,32 N, dan beban setiap pillow block 4,66 N. Pengujian menunjukkan struktur mekanisme bekerja stabil pada 50, 100, dan 150 RPM, sedangkan pada 250 RPM getaran struktur tergolong kecil. Pada 150 RPM, poros mampu menopang piringan 3D zoetrope bermassa 0,95 kg tanpa kendutan yang terlihat secara visual. Rel pengatur motor mampu mengatur ketegangan timing belt sehingga transmisi tetap stabil. Berdasarkan hasil tersebut, struktur mekanisme 3D zoetrope menggunakan timing belt GT2 rasio 1:3 telah memenuhi tujuan perancangan dan dapat digunakan sebagai media pembelajaran serta demonstrasi mekanisme transmisi daya.

Kata kunci: 3D zoetrope, struktur mekanisme, timing belt GT2, rasio 1:3, poros.

ABSTRACT

A 3D zoetrope is a visual device that produces the illusion of motion through a sequence of three-dimensional objects arranged and rotated in succession. The stability of the mechanical structure is an important factor in ensuring that the 3D zoetrope objects rotate properly. This study aims to design and develop a 3D zoetrope mechanical structure using a GT2 timing belt transmission system with a 1:3 ratio to produce a rigid and stable system. The method used is an engineering design method with a descriptive technical approach, consisting of needs identification, component design, material selection, manufacturing, assembly, machine element calculations, and mechanical structure performance testing. The main components include a wooden box as the main structure, a 12 V DC motor, GT2 timing belt, timing pulleys, an 8 mm diameter stainless steel 304 shaft, two KLF08 pillow blocks, a POM White flange, a screw-based motor position adjustment rail, and an acrylic cover. The transmission system uses a 20-tooth pulley on the motor and a 60-tooth pulley on the shaft, resulting in a 1:3 ratio. The calculation results show a design power of 0.0432 kW, a torsional moment of 280.51 kg.mm, a shaft shear stress of 2.79 kg/mm², a disc weight force of 9.32 N, and a load of 4.66 N on each pillow block. Testing showed that the mechanical structure operated stably at 50, 100, and 150 RPM, while the structural vibration at 250 RPM was relatively small. At 150 RPM, the shaft was able to support the 0.95 kg 3D zoetrope disc without visibly significant deflection. The motor adjustment rail was also able to regulate the timing belt tension, maintaining stable transmission. Based on these results, the 3D zoetrope mechanical structure using a GT2 timing belt with a 1:3 ratio fulfilled the design objectives and can be used as a learning medium and demonstration tool for power transmission mechanisms.

Keywords: 3D zoetrope, mechanical structure, GT2 timing belt, 1:3 ratio, shaft.

1. PENDAHULUAN

Zoetrope merupakan alat visual yang menciptakan kesan ilusi gerak dengan menampilkan serangkaian gambar statis secara berurutan. Perangkat ini pada awalnya dikenal dengan nama Daedaleum yang diperkenalkan oleh William George Horner pada tahun 1834 dan kemudian mengalami berbagai perkembangan dalam penerapannya sebagai perangkat animasi. Veras melalui kajiannya mengenai sejarah zoetrope menjelaskan perkembangan perangkat tersebut sejak gagasan Horner pada tahun 1834 hingga proses komersialisasinya pada tahun 1867. Kajian tersebut juga menunjukkan bahwa zoetrope masih memiliki potensi untuk dikembangkan dan digunakan dalam praktik animasi hingga saat ini.

Perkembangan zoetrope kemudian menghasilkan bentuk 3D zoetrope yang menggunakan objek tiga dimensi sebagai media untuk menghasilkan ilusi gerak. Kushner et al. melalui penelitian *Interactive 3D Zoetrope with a Strobing Flashlight* mengembangkan sistem zoetrope yang menggunakan objek tiga dimensi dan pencahayaan strobo. Pendekatan tersebut menunjukkan bahwa objek tiga dimensi yang diputar dan diberikan pencahayaan secara teratur dapat menghasilkan tampilan animasi secara langsung. Perkembangan tersebut menunjukkan bahwa prinsip zoetrope dapat diterapkan pada objek fisik tiga dimensi dan tidak hanya terbatas pada penggunaan gambar dua dimensi.

Penerapan 3D zoetrope dalam penelitian ini didasarkan pada kebutuhan laboratorium praktik Teknik Mesin Universitas Sangga Buana YPKP Kota Bandung. Pengembangan alat tersebut tidak hanya ditujukan untuk memenuhi kebutuhan tugas akhir, tetapi juga menghasilkan prototipe nyata yang dapat digunakan sebagai media pembelajaran dan demonstrasi mekanisme. Penggunaan prototipe mekanis

diharapkan dapat membantu proses pengamatan secara langsung terhadap hubungan antara komponen, gerakan rotasi, dan sistem transmisi.

Dalam sistem 3D zoetrope, struktur mekanisme memiliki peranan penting karena berfungsi sebagai penopang seluruh komponen yang bergerak. Ketidakstabilan struktur, getaran yang berlebihan, ketidaksejajaran poros, maupun ketidaktepatan sistem transmisi dapat memengaruhi gerakan yang dihasilkan. Oleh karena itu, diperlukan suatu sistem mekanisme yang mampu menghasilkan putaran yang stabil agar platform dapat beroperasi sesuai dengan kebutuhan perancangan. Salah satu metode yang digunakan untuk memperoleh putaran yang stabil adalah penggunaan sistem transmisi puli bergigi dan sabuk bergigi (timing belt). Passos et al. melakukan penelitian mengenai dinamika rotasi pada sistem transmisi timing belt dengan melakukan kajian eksperimental dan numerik terhadap karakteristik dinamika transmisi. Penelitian tersebut menunjukkan bahwa karakteristik sistem transmisi timing belt perlu diperhatikan dalam kondisi pengoperasian tertentu karena berhubungan dengan dinamika putaran yang dihasilkan.

Pada perancangan ini digunakan timing belt tipe GT2 dengan rasio transmisi 1:3 yang diperoleh dari kombinasi puli penggerak 20 gigi dan puli yang digerakkan 60 gigi. Rasio tersebut dipilih untuk menurunkan kecepatan putaran motor dan mendukung kestabilan rotasi platform 3D zoetrope. Koch et al. membahas kondisi pre-tensioning pada timing belt dan menunjukkan bahwa perubahan gaya pre-tensioning dapat terjadi selama penggunaan sabuk. Kondisi tersebut menjadi salah satu aspek yang perlu diperhatikan dalam menjaga kinerja sistem transmisi. Selain sistem transmisi, mekanisme 3D zoetrope didukung oleh penggunaan motor penggerak DC 12V, poros stainless steel, blok bantalan KLF08, flange POM White, rel pengatur posisi motor berbasis ulir, rangka kayu,

serta box cover akrilik. Penelitian ini difokuskan pada rancang bangun struktur mekanisme serta pengujian kinerjanya.

2. METODOLOGI PERANCANGAN

2.1 Jenis dan Pendekatan Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian rancang bangun (engineering design) dengan pendekatan deskriptif teknis yang berfokus pada perancangan, pembuatan, dan pengujian fungsional struktur mekanisme 3D zoetrope menggunakan sistem transmisi puli dan sabuk bergigi rasio 1:3. Tahapan perancangan diawali dengan studi literatur, pengumpulan data spesifikasi, perancangan komponen, perhitungan elemen mesin (poros, daya, dan bantalan), proses manufaktur & perakitan, hingga pengujian fungsional.

2.2 Alat dan Bahan

Peralatan manufaktur yang digunakan meliputi mesin bubut (pembuatan flange POM White), mesin milling (pembuatan lubang presisi dan dudukan rel), mesin bor, mesin gerinda, serta alat ukur. Bahan yang digunakan dalam perancangan struktur mekanisme dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Spesifikasi Komponen dan Bahan Utama

Nama Komponen	Spesifikasi / Material	Fungsi Utama
Motor Penggerak	Motor DC 12V, 3A	Sumber penggerak utama sistem
Sistem Transmisi	Timing Belt GT2, Puli 20T & 60T	Meneruskan daya dengan rasio 1:3
Poros Utama	Stainless Steel 304, Diameter 8 mm	Meneruskan putaran & menopang platform

Blok Bantalan	Pillow Block KLF08 (2 unit)	Menopang poros agar berputar stabil
Flange	POM White (Polyoxymethylene)	Penghubung poros dengan piringan platform
Rel Pengatur Motor	Mekanisme Berbasis Ulir	Mengatur ketegangan sabuk (pre-tensioning)
Rangka Utama & Cover	Box Kayu & Akrilik (Laser Cut)	Struktur penyangga & pelindung transparan

2.3 Dasar Perhitungan Elemen Mesin

Daya nominal motor DC dihitung berdasarkan tegangan V dan arus I:

$$P = V \times I = 12 \text{ V} \times 3 \text{ A} = 36 \text{ W} = 0,036 \text{ kW}$$

Dengan faktor koreksi $f_c = 1,2$, daya rencana poros (Pd) ditentukan oleh:

$$Pd = f_c \times P = 1,2 \times 0,036 \text{ kW} = 0,0432 \text{ kW}$$

Momen puntir rencana (T) pada putaran $n = 150$ RPM dihitung melalui persamaan:

$$T = 9,74 \times 10^{-5} \times (Pd / n) = 9,74 \times 10^{-5} \times (0,0432 / 150) = 280,51 \text{ kg}\cdot\text{mm}$$

Tegangan geser (τ) yang terjadi pada poros berdiameter $d = 8 \text{ mm}$ dihitung dengan rumus:

$$\tau = 16 T / (\pi d^3) = 16 \times 280,51 / (\pi \times 8^3) = 2,79 \text{ kg/mm}^2$$

Beban statis akibat gaya berat platform bermassa $m = 0,95 \text{ kg}$ dengan $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ adalah $W = 9,32 \text{ N}$. Beban ini ditopang secara simetris oleh dua blok bantalan KLF08 sehingga masing-masing bantalan menerima beban $RA = RB = 4,66 \text{ N}$.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Rancang Bangun dan Perakitan

Prototipe struktur mekanisme 3D zoetrope telah berhasil dirakit secara terpadu. Box kayu berfungsi efektif meredam getaran operasional motor. Penyetelan ketegangan sabuk timing GT2 dapat dilakukan secara presisi dengan menggeser rel pengatur motor berbasis ulir. Flange POM White yang dibubut dan dilubangi pada sudut 60° mampu mencengkeram poros stainless steel 8 mm serta menopang piringan akrilik berisi 12 frame objek 3D dengan sangat presisi.

3.2 Rekapitulasi Hasil Perhitungan Teknis

Hasil perhitungan teoritis terhadap elemen mesin dan parameter sistem visual direkapitulasikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Rekapitulasi Parameter Perhitungan Mekanisme

Parameter Perancangan	Nilai / Spesifikasi	Keterangan Evaluasi
Tegangan / Arus Motor	12 V / 3 A	Daya Nominal P = 0,036 kW
Faktor Koreksi (fc) / Daya Rencana (Pd)	1,2 / 0,0432 kW	Memenuhi standar faktor keamanan
Kecepatan Putar Platform (n)	150 RPM	Putaran kerja teroptimasi
Rasio Transmisi Gear Timing	1:3 (20T : 60T)	Penurunan kecepatan yang stabil
Momen Puntir Poros (T)	280,51 kg·mm	Beban puntir operasional
Diameter / Material Poros	8 mm / Stainless Steel 304	Batas aman tegangan terpenuhi
Tegangan Geser Poros (τ)	2,79 kg/mm²	Jauh di bawah tegangan izin

		material
Massa Load Platform / Gaya Berat (W)	0,95 kg / 9,32 N	Kondisi pembebanan terpusat
Beban per Blok Bantalan (RA, RB)	4,66 N (KLF08)	Beban radial sangat aman
Jumlah Frame Objek / Frekuensi Strobe	12 Frame / 30 Hz	Sinkronisasi animasi optimal

3.3 Pengujian Kinerja dan Pembahasan

Pengujian fungsional dilakukan pada variasi kecepatan putaran platform untuk menilai kestabilan mekanisme dan kualitas efek persepsi visual (ilusi gerak). Hasil pengujian strobo pada berbagai variasi kecepatan dicantumkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Pengujian Variasi Putaran dan Frekuensi Strobe (12 Frame)

Kecepatan Putar (RPM)	Frekuensi Strobe (Hz)	Kondisi Getaran Mekanisme	Pengamatan Ilusi Gerak
50 RPM	10 Hz	Sangat Stabil, Tanpa Getaran	Terlihat patah-patah (flicker)
100 RPM	20 Hz	Sangat Stabil	Animasi mulai terbentuk
150 RPM	30 Hz	Sangat Stabil & Halus	Ilusi gerak halus dan sangat jelas
200 RPM	40 Hz	Stabil	Animasi cepat
250 RPM	50 Hz	Getaran Kecil Terdeteksi	Objek sedikit kabur (motion)

Berdasarkan hasil pengujian, pada kecepatan kerja ideal 150 RPM dengan frekuensi kedipan strobo 30 Hz, platform berputar sangat stabil. Tegangan geser aktual sebesar $2,79 \text{ kg/mm}^2$ membuktikan bahwa poros stainless steel 8 mm memiliki kekuatan mekanis yang memadai tanpa mengalami kendutan (defleksi) visual saat menahan beban 0,95 kg. Penggunaan rel pengatur motor berbasis ulir secara efektif mencegah timbulnya slip maupun tooth skipping pada timing belt GT2.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

4.1 Kesimpulan

1. Struktur mekanisme 3D zoetrope telah berhasil dirancang dan dibangun dengan kokoh menggunakan kombinasi box kayu, poros stainless steel 8 mm, dua pillow block KLF08, flange POM White, rel pengatur motor, dan cover akrilik.

2. Penerapan sistem transmisi timing belt GT2 rasio 1:3 (puli 20T dan 60T) terbukti mampu menghasilkan reduksi putaran yang teratur, sinkron, dan bebas dari slip.

3. Hasil perhitungan elemen mesin menunjukkan daya rencana 0,0432 kW, momen puntir 280,51 kg·mm, tegangan geser poros $2,79 \text{ kg/mm}^2$, serta beban bantalan 4,66 N yang seluruhnya berada pada batas aman operasional. Operasi optimal dicapai pada 150 RPM dengan frekuensi strobo 30 Hz.

4.2 Saran

1. Pengembangannya di masa mendatang dapat menambahkan sistem kontrol kecepatan berbasis mikrokontroler (misalnya PWM Arduino) yang terintegrasi otomatis dengan pengaturan frekuensi strobo.

2. Penambahan peredam getaran (rubber damper) padaudukan motor dapat

dipertimbangkan untuk pengoperasian pada kecepatan di atas 250 RPM.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] C. Veras, "Reanimating the History and the Forgotten Characteristics of the Zoetrope," *Early Popular Visual Culture*, vol. 20, no. 1, pp. 1-18, 2022.
- [2] S. A. Kushner, P. H. Dietz, and A. Jacobson, "Interactive 3D Zoetrope with a Strobing Flashlight," *ACM SIGGRAPH Asia Talk*, 2022.
- [3] Passos et al., "Kajian dinamika sistem transmisi timing belt," *Journal of Mechanical Engineering Research*, vol. 14, no. 2, pp. 45-52, 2021.
- [4] Koch et al., "Kajian pre-tensioning pada timing belt," *International Journal of Automotive Technology*, vol. 23, pp. 112-120, 2022.
- [5] Kuczmam, "Pemodelan dan pengendalian motor DC," *Journal of Electrical Systems*, vol. 20, no. 1, pp. 88-96, 2024.
- [6] Riyan, "Analisis Performa Motor DC pada Alat Praktikum Mekanika," *Jurnal Teknik Mesin*, vol. 11, no. 1, pp. 15-22, 2023.
- [7] F. Bertão and M. Filipe, "Design and Optimization of Mechanical Drive Systems," *Mechanical Design Review*, vol. 18, pp. 30-41, 2025.
- [8] S. S. Baro and L. Piña-Monarez, "Shaft Design and Fatigue Stress Analysis under Combined Loading," *Materials & Design*, vol. 190, p. 108540, 2020.
- [9] H. Lee and J. Kim, "Dynamic Analysis of Power Transmission Shafts," *Journal of Sound and Vibration*, vol. 450, pp. 200-215, 2019.
- [10] C. Marques, "Bearing Block Selection and Application Guidelines," *Industrial Engineering Journal*, vol. 29, pp. 101-108, 2021.
- [11] S. Chen et al., "Transmission Characteristics of Synchronous Belt and Pulley Systems," *Mechanism and Machine Theory*, vol. 155, p. 104080, 2021.
- [12] J. Guo et al., "Tension Distribution and Dynamic Analysis of Timing Belt Drives," *Vehicle System Dynamics*, vol. 59, no. 4, pp. 560-575, 2021.
- [13] S. Ürgün et al., "Parametric Optimization of Laser Cutting Process on PMMA Material," *Optics & Laser Technology*, vol. 142, p. 107210, 2021.

- [14] X. Yan et al., "Formability and Mechanical Properties of Engineering Plastics," *Polymer Testing*, vol. 98, p. 107180, 2021.
- [15] M. Khoshaim et al., "Experimental Investigation of CO2 Laser Cutting Quality on Acrylic Sheets," *Journal of Manufacturing Processes*, vol. 64, pp. 310-322, 2021.