Analisis Pengaruh Jarak *Sproket* dan *Brake Disc* Terhadap Natural Frekuensi Dan *Mode Shape* Poros Belakang Go-Kart

Ainur Rofiq dan Ahmad Yusuf Ismail
Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya
e-mail: rofiq1943@gmail.com, ayusufismail@itats.ac.id

ABSTRACT

The rear shaft is a crucial component in the go-kart drivetrain system, as it transmits torque while also supporting the wheels, sprocket, and disc brake. Inaccurate component placement can cause mass and stiffness imbalances, potentially generating vibration and resonance during operation. This study aims to analyse the effect of varying sprocket and disc brake installation distances on the natural frequency and vibration mode shapes of a go-kart rear shaft. It employs a 3D design approach and numerical simulation based on the Finite Element Method (FEM) using Autodesk Fusion 360 software. The shaft model uses ASTM A414 carbon steel, with free vibration analysis conducted to evaluate the first five vibration modes. Three installation distance variations were simulated: 104 mm (shorter distance), 144 mm (standard distance), and 164 mm (wider distance). The simulation results demonstrate that component spacing significantly affects the dynamic characteristics of the structure. At the standard spacing of 144 mm, the natural frequency ranges from 326.699 Hz to 663.571 Hz. Reducing the spacing to 104 mm increases global stiffness and raises the fundamental frequency to 335.456 Hz, while increasing the spacing to 164 mm creates higher local stiffness at the centre of the shaft, raising the fifth mode frequency to 691.711 Hz. The deformation analysis also reveals a transition from fundamental bending behaviour to more complex local bending at higher frequencies. The study concludes that positioning the sprocket and disc brake closer to the supporting bearings effectively distributes displacement more uniformly and increases the shaft's natural frequency. This configuration is essential for preventing resonance with go-kart excitation frequencies and reducing the risk of material failure.

Keywords: *Disc brake, finite element method, go-kart rear shaft, natural frequency, vibration mode. – font 10*

ABSTRAK

Poros belakang merupakan komponen krusial pada sistem penggerak go-kart yang berfungsi meneruskan torsi sekaligus menjadi dudukan roda, sproket, dan cakram rem. Penempatan komponen yang tidak presisi memicu ketidakseimbangan massa dan kekakuan, berpotensi menimbulkan getaran dan resonansi saat beroperasi. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh variasi jarak pemasangan sproket dan cakram rem terhadap frekuensi alami (natural frequency) dan bentuk mode getaran (mode shape) poros belakang go-kart. Penelitian menggunakan pendekatan desain 3D dan simulasi numerik berbasis Finite Element Method (FEM) melalui perangkat lunak Autodesk Fusion 360. Poros dimodelkan menggunakan material baja karbon ASTM A414, dengan fokus pengujian getaran bebas (free vibration) guna mengevaluasi lima mode getaran pertama. Tiga variasi jarak yang disimulasikan meliputi 104 mm (lebih pendek), 144 mm (standar), dan 164 mm (lebih lebar). Hasil simulasi membuktikan jarak komponen mengubah karakteristik dinamis struktur secara signifikan. Pada jarak standar 144 mm, frekuensi alami berada di rentang 326,699 Hz hingga 663,571 Hz. Saat diperpendek menjadi 104 mm, peningkatan kekakuan global menaikkan frekuensi fundamental menjadi 335,456 Hz, sedangkan pelebaran 164 mm menghasilkan kekakuan lokal di tengah poros yang menaikkan frekuensi Mode 5 hingga 691,711 Hz. Deformasi juga memperlihatkan transisi dari lenturan dasar ke lenturan lokal yang kompleks pada frekuensi tertinggi. Disimpulkan bahwa penempatan sproket dan cakram rem mendekati bantalan penumpu (bearing) efektif mendistribusikan displacement lebih stabil dan meningkatkan frekuensi alami poros. Hal ini penting untuk mencegah resonansi dengan frekuensi eksitasi go-kart, sehingga risiko kegagalan material dapat dihindari.

Kata kunci: Cakram rem, frekuensi alami, metode elemen hingga, mode getaran, poros belakang go-kart.

PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi di bidang otomotif menuntut peningkatan performa, keamanan, dan kenyamanan pada setiap komponen kendaraan, termasuk kendaraan ringan seperti go-kart. Salah satu komponen vital pada go-kart berpengerak belakang adalah poros belakang (rear axle). Poros belakang berfungsi untuk meneruskan torsi dari mesin menuju roda sekaligus menjadi dudukan komponen utama seperti roda, sproket, cakram rem, dan bantalan. Dalam perancangan poros, aspek beban puntir, beban lentur, kekakuan, sifat mekanik material, serta faktor keamanan harus diperhatikan secara cermat agar poros mampu bekerja secara aman pada kondisi operasi tertentu [1], [2].

ISSN 2775-5630

Pada sistem penggerak go-kart, sproket berperan mentransmisikan daya dari mesin melalui rantai, sedangkan cakram rem memberikan gaya pengereman secara langsung pada poros. Posisi sproket dan cakram rem memengaruhi distribusi massa, Momen lentur, serta distribusi tegangan pada poros [3]. Apabila penempatan komponen tidak seimbang, gaya sentrifugal dan fluktuasi beban dinamis saat beroperasi dapat memicu getaran berlebih. Jika frekuensi eksitasi mendekati frekuensi alami sistem, maka fenomena resonansi akan terjadi, memicu kenaikan amplitudo getaran secara drastis yang berpotensi mempercepat keausan bantalan, penurunan keandalan sistem transmisi, hingga kegagalan patah lelah (fatigue) [4].

Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi jarak antara sproket dan cakram rem (104 mm, 144 mm, dan 164 mm) terhadap frekuensi alami (natural frequency) dan bentuk mode getaran (mode shape) pada poros belakang go-kart menggunakan pendekatan simulasi Metode Elemen Hingga (FEM) pada perangkat lunak Autodesk Fusion 360 [5]. Hasil analisis ini diharapkan dapat memberikan rekomendasi konfigurasi posisi komponen yang optimal untuk meningkatkan stabilitas dinamis poros dan mencegah timbulnya resonansi.

TINJAUAN PUSTAKA

Poros belakang go-kart umumnya tidak dilengkapi dengan sistem diferensial maupun suspensi, sehingga poros menerima kombinasi beban torsi dan bending secara langsung. Beban linier dan dinamis yang beroperasi pada poros berputar dapat memicu terjadinya getaran mekanis akibat ketidakseimbangan massa maupun misalignment [6].

Dalam analisis modal, persamaan dasar getaran bebas tanpa peredam untuk sistem dengan banyak derajat kebebasan (MDOF) dirumuskan sebagai persamaan diferensial matriks:

$$[M]\{\ddot{x}\} + [K]\{x\} = \{0\}$$

di mana [M] adalah matriks massa, [K] adalah matriks kekakuan, dan {x} adalah vektor perpindahan. Solusi dari persamaan karakteristik eigenvalue menghasilkan nilai frekuensi alami fn (dalam Hz):

$$fn = (1/2\pi)\ \sqrt{(keq/meq)}$$

di mana keq menyatakan kekakuan ekuivalen struktur dan meq menyatakan massa ekuivalen. Perubahan posisi komponen seperti sproket dan cakram rem memengaruhi distribusi massa dan kekakuan ekuivalen sistem poros, yang pada akhirnya secara langsung mengubah frekuensi alami dan bentuk mode getaran (mode shape) poros [4], [7].

METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif berbasis simulasi numerik Finite Element Method (FEM) pada perangkat lunak Autodesk Fusion 360. Poros yang dimodelkan memiliki diameter 25 mm dan panjang total 850 mm. Material yang digunakan adalah baja karbon ASTM A414, yang memiliki spesifikasi massa jenis 7850 kg/m³, Modulus Elastisitas E = 200 GPa, Poisson's ratio 0.29, dan Yield Strength 240 MPa. Kondisi batas (boundary condition) pada pemodelan ini menggunakan Fixed Constraint yang diaplikasikan pada permukaan kontak poros dengan kedua bearing penumpu. Terdapat tiga variasi jarak antara sproket dan cakram rem yang diuji, yaitu 104 mm (lebih pendek), 144 mm (standar), dan 164 mm (lebih lebar). Analisis yang difokuskan pada pengujian ini adalah analisis getaran bebas (free vibration modal analysis) untuk mengevaluasi 5 mode getaran pertama.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Simulasi berhasil mendapatkan 5 mode getaran pertama pada ketiga variasi jarak sproket dan cakram rem. Ringkasan parameter simulasi tercantum dalam Tabel 1, sedangkan perbandingan nilai frekuensi alami untuk masing-masing variasi disajikan dalam Tabel 2.

ISSN 2775-5630

Tabel 1. Parameter Simulasi Modal Frequency Poros Belakang Go-Kart

Parameter Simulasi	**Spesifikasi / Setting**
Perangkat Lunak	Autodesk Fusion 360
Jenis Analisis	Modal Frequency Analysis (Free Vibration)
Material Poros	Baja Karbon ASTM A414
Kondisi Penumpuan	Fixed Constraint pada 2 lokasi bearing penumpu
Jumlah Mode Evaluasi	5 Mode Getaran Pertama
Variasi Jarak Sproket - Disc	104 mm (Shorter), 144 mm (Standard), 164 mm (Greater)

Tabel 2. Perbandingan Hasil Frekuensi Alami (Hz) 5 Mode Getaran Pertama

Mode Getaran	**104 mm (Shorter)**	**144 mm (Standard)**	**164 mm (Greater)**
Mode 1	335,456	326,699	325,120
Mode 2	336,714	334,431	333,850
Mode 3	436,045	421,257	418,910
Mode 4	436,572	431,758	429,430
Mode 5	659,327	663,571	691,711

Berdasarkan data pada Tabel 2, analisis perilaku dinamis poros dapat dibahas sebagai berikut: Pada jarak standar 144 mm, frekuensi alami fundamental (Mode 1) adalah 326,699 Hz, sedangkan Mode 5 berada di angka 663,571 Hz yang menandakan deformasi kelenturan lokal (localized bending) di area tengah poros. Ketika jarak diperpendek menjadi 104 mm, frekuensi alami Mode 1 meningkat secara signifikan menjadi 335,456 Hz. Peningkatan tersebut disebabkan karena konsentrasi massa komponen berpindah mendekati bearing, sehingga momen inersia lentur menurun dan kekakuan global ekuivalen poros meningkat. Sebaliknya, ketika jarak diperlebar menjadi 164 mm, frekuensi alami Mode 1 turun menjadi 325,120 Hz akibat menurunnya kekakuan global. Pada variasi jarak 164 mm tersebut, frekuensi Mode 5 justru mengalami lonjakan tinggi hingga 691,711 Hz karena adanya efek penjepitan lokal (local stiffening). Secara keseluruhan, penempatan komponen yang lebih rapat ke arah bearing (jarak 104 mm) sangat menguntungkan untuk meningkatkan margin aman dari potensi resonansi yang diakibatkan oleh eksitasi putaran mesin.

KESIMPULAN

Variasi jarak antara sproket dan cakram rem memiliki pengaruh yang signifikan terhadap nilai frekuensi alami pada poros belakang go-kart. Memperpendek jarak komponen menjadi 104 mm terbukti mampu menaikkan frekuensi alami fundamental (Mode 1) dari 326,699 Hz menjadi 335,456 Hz karena peningkatan kekakuan global struktur. Karakteristik bentuk mode getaran (mode shape) menunjukkan bahwa Mode 1 dan Mode 2 adalah lenturan dasar berpasangan, Mode 3 dan Mode 4 adalah lenturan tingkat kedua, dan Mode 5 berupa lenturan lokal di tengah poros. Konfigurasi dengan jarak 104 mm terbukti sebagai konfigurasi yang paling optimal untuk mendistribusikan displacement secara lebih stabil dan mencegah terjadinya resonansi pada saat go-kart beroperasi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Bapak Ahmad Yusuf Ismail, S.T., M.Sc., Ph.D. selaku dosen pembimbing, serta Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya (ITATS) atas fasilitas laboratorium dan dukungan akademik yang diberikan selama pelaksanaan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

[1] R. G. Budynas and J. K. Nisbett, Shigley's Mechanical Engineering Design, 10th ed. New York: McGraw-Hill Education, 2015.
[2] R. L. Mott, Machine Elements in Mechanical Design, 4th ed. Upper Saddle River, NJ: Pearson Prentice Hall, 2004.
[3] P. Mateja and M. Zenowicz, "Analysis of loads and stresses in a go-kart rear axle assembly," Journal of Mechanical and Energy Engineering, vol. 6, no. 2, pp. 115–122, 2022.
[4] S. S. Rao, Mechanical Vibrations, 6th ed. Boston: Pearson, 2017.
[5] R. D. Cook, D. S. Malkus, M. E. Plesha, and R. J. Witt, Concepts and Applications of Finite Element Analysis, 4th ed. New York: John Wiley & Sons, 2002.
[6] A. Ardiansyah, A. Y. Ismail, and A. A. Arifin, "Analisis sifat mekanik dan kekuatan poros belakang go-kart berbasis material ASTM A414," Jurnal Teknik Mesin ITATS, vol. 12, no. 1, pp. 45–52, 2023.
[7] R. L. Norton, Design of Machinery: An Introduction to the Synthesis and Analysis of Mechanisms and Machines, 6th ed. New York: McGraw-Hill, 2020.
[8] Shigley, J. E. (2015). Mechanical Engineering Design. McGraw-Hill.
[9] Stephens, R. I., et al. (2000). Metal Fatigue in Engineering (2nd ed.). Wiley.
[10] Sugeng, S., & Ridwan, M. (2021). Analisis getaran pada sistem poros propeller. Jurnal Teknik Mesin.
[11] Widianto, A. (2016). Penerapan metode elemen hingga pada analisis struktur. Jurnal Teknik.