

SIMULASI STATIS METODE ELEMEN HINGGA PADA KONTAK *PINION* HELIKS SHAFT DRIVE PULLEY SEKUNDER DAN COUNTER GEAR CONTINOUSLY VARIABLE TRANSMISSION SEPEDA MOTOR

*Muhammad Robith Al Anam¹, Sri Nugroho², Rifky Ismail² ¹Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro ²Dosen Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro Jl. Prof. Sudharto, S.H., Tembalang-Semarang 50275, Telp. +62247460059 *E-mail: robith.mra@gmail.com

Abstrak

Shaft drive pulley sekunder pada Continously Variable Transmission (CVT) sepeda motor berperan meneruskan putaran ke gear train melalui pinion heliks. Tegangan yang dihasilkan pada kontak antara pinion heliks dengan counter gear dapat memicu kegagalan jika melebihi kekuatan luluh material shaft drive. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi kondisi pembebanan dan kontur konsentrasi tegangan yang dihasilkan oleh kontak pinion heliks shaft drive pulley sekunder dan counter gear. Studi literatur dilakukan untuk mengetahui sifat material penyusun shaft drive, yaitu AISI 5130. Langkah-langkah simulasi statis metode elemen hingga meliputi menggambar desain tiga dimensi, menerapkan sifat material, meshing, menerapkan kondisi pembebanan dan tumpuan, dan menjalankan simulasi. Kondisi beban yang diterapkan adalah torsi berdasarkan perhitungan rasio CVT yang bernilai 1 – 3. Hasil menunjukkan bahwa torsi yang besar dengan rasio CVT bernilai tinggi dapat menghasilkan tegangan von Mises yang tinggi pula pada lokasi kontak shaft drive dengan counter gear.

Kata Kunci: counter gear; metode elemen hingga; pinion heliks; shaft drive

Abstract

The secondary shaft drive pulley in a Continuously Variable Transmission (CVT) transmits rotation to the gear train via a helical pinion. The stress generated at the contact point between the helical pinion and the counter gear can cause failure if it exceeds the yield strength of the shaft drive material. This study aims to identify the loading conditions and stress concentration contours generated by the contact between the helical pinion of the secondary shaft drive pulley and the counter gear. A literature review was conducted to determine the properties of the shaft drive material, AISI 5130. The steps of the finite element method static simulation included drawing a three-dimensional design, applying material properties, meshing, applying loading and support conditions, and running the simulation. The applied load conditions were torque based on CVT ratio calculations ranging from 1 to 3. The results showed that high torque with a high CVT ratio can also produce high von Mises stress at the contact location between the shaft drive and the counter gear.

Keywords: failure; finite element method; helical pinion; shaft drive

1. Pendahuluan

Shaft drive pulley sekunder berperan meneruskan putaran poros engkol pada pulley utama sistem CVT sepeda motor melalui konfigurasi roda gigi *pinion* heliks pada ujung *shaft drive*. *Pinion* heliks ini akan berkontak dengan gear train selama shaft drive berputar ketika mesin motor matik beroperasi [1]. Sistem ini dapat menanggung kinerja yang cukup intensif selama motor beroperasi sehingga berpotensi menghasilkan pembebanan berlebih, lubrikasi yang tidak tepat, atau kondisi lain yang dapat menjadi penyebab kegagalan.

Melihat dari banyaknya kasus kegagalan pada *shaft* dan roda gigi, *fatigue fracture* menjadi kegagalan yang paling rentan terjadi [2]. Kondisi tersebut merupakan konsekuensi dari mekanisme kerja *shaft* dan roda gigi terutama pada sistem kerja yang mengharuskan adanya kontak berulang dengan pembebanan yang tinggi. Ciri lain dapat muncul bergantung pada penyebab atau kondisi lain di sekitar lokasi kegagalan, di antaranya seperti *stress corrosion cracking* (SCC), *abrasive particle*, dan adanya kontaminan pada penyusun material [3–5].

Pada penelitian ini, dilakukan identifikasi kondisi pembebanan dan konsentrasi tegangan von Mises yang dihasilkan oleh kontak *pinion* heliks *shaft drive pulley* sekunder dan *counter gear* menggunakan simulasi statis metode elemen hingga.



2. Bahan dan Metode Penelitian

Penelitian ini memerlukan beberapa tahapan yang perlu dilakukan. Tahapan tersebut secara berurutan divisualisasikan melalui diagram alir yang ditunjukkan pada Gambar 2.1 berikut.



Gambar 2.1 Diagram alir penelitian

2.1 Shaft Drive Pulley Sekunder CVT Sepeda Motor

Pada sistem CVT yang ditunjukkan pada Gambar 2.2, gerakan piston diubah menjadi putaran *crankshaft* yang kemudian memutar *pulley* primer. Putaran ini diteruskan oleh *drive belt* ke *pulley* sekunder. *Pulley* sekunder bekerja bersama *secondary sheave*, kopling sentrifugal, dan *torque cam* untuk mengatur torsi dan putaran yang diteruskan ke *shaft drive* dan roda gigi pada *gear train. Gear train* dan *shaft drive* mengatur rasio putaran untuk menggerakkan roda belakang [6]. *Shaft drive pulley* sekunder dapat dilihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2.2 Ilustrasi komponen CVT dan lokasi gear yang berkontak dengan shaft drive pulley sekunder.



Gambar 2.3 Shaft drive pulley sekunder

2.2 Analisis Pembebanan

Untuk menentukan beban dalam simulasi numerik, diperlukan perhitungan distribusi torsi dan daya berdasarkan kondisi operasional aktual sepeda motor. Proses ini memerlukan data spesifikasi teknis dari sepeda motor, yaitu kapasitas mesin 110 cc dan torsi maksimum oleh *crankshaft* sebesar 9,01 N.m terjadi pada 6500 rpm. Torsi pada *shaft drive pulley* sekunder dapat berbeda karena dipengaruhi oleh mekanisme transmisi CVT yang bekerja berdasarkan rasio transmisi. Rasio ini bergantung pada perubahan diameter *pulley* yang terjadi selama berkendara. Perubahan tersebut dikendalikan oleh gaya sentrifugal dari per kopling sentrifugal [7]. Proses ini dijelaskan pada Gambar 2.4. Torsi pada *pulley* sekunder dapat dihitung menggunakan rumus rasio transmisi pada persamaan 3.1 [8].

$$I = \frac{R_s}{R_p} = \frac{T_s}{T_p}$$
(3.1)

Keterangan: $T_s = torsi$

 T_s = torsi di *pulley* sekunder (N.m) T_p = torsi di *pulley* primer (N.m)

JTM (S-1) - Vol. 13, No. 2, April 2025: 51-56

52



 R_s = jari-jari *pulley* sekunder (m) R_p = jari-jari *pulley* primer (m)



Gambar 2.4 Mekanisme putaran dan torsi pada pulley primer dan sekunder CVT [9]

Nilai rasio transmisi CVT bervariasi bergantung pada kondisi pengoperasian sepeda motor, umumnya berada dalam kisaran 1 hingga 3 [9]. Untuk mengetahui torsi maksimum pada *pulley* sekunder, digunakan nilai torsi maksimum *crankshaft*, kemudian disubstitusikan dengan rasio transmisi maksimum.

$$T_s = T_p \cdot I = 9,01 \cdot 3 = 27,03$$
 N. m

Torsi maksimum pada *pulley* sekunder yaitu sebesar 27,03 Nm. Torsi pada *shaft drive pulley* sekunder yang digunakan untuk data pembebanan pada simulasi terdapat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1	Variasi torsi	pada shaft drive	pulley sekunder be	erdasarkan rasio CVT
-----------	---------------	------------------	--------------------	----------------------

Kondisi Pembebanan ke-	Rasio CVT	Torsi pada <i>Shaft Drive Pulley</i> Sekunder (Nm)
1	1	9,01
2	1,5	13,515
3	2	18,02
4	2,5	22,525
5	3	27,03

2.3 Langkah-Langkah Simulasi Statis Metode Elemen Hingga

Т

Langkah awal dalam simulasi numerik menggunakan metode elemen hingga adalah membuat model tiga dimensi *shaft drive pulley* sekunder menggunakan Solidworks. Setelah itu, proses dilanjutkan dengan memasukkan data sifat material dari komponen, membuat *mesh*, menetapkan kondisi batas, dan menjalankan simulasi. Beban yang diterapkan disesuaikan dengan hasil perhitungan dari analisis pembebanan. Urutan tahapan simulasi metode elemen hingga ditampilkan pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5 Langkah-langkah simulasi numerik metode elemen hingga

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Gambar Tiga Dimensi Shaft Drive Pulley Sekunder

Gambar geometri *shaft drive pulley* sekunder dibuat menggunakan Solidworks 2022 dan mengacu pada hasil pengukuran menggunakan vernier caliper. Gambar 3 dimensi *shaft drive* dapat dilihat pada Gambar 3.1 dan geometri *pinion* heliks pada *shaft drive* dapat dilihat pada Tabel 3.1.



Gambar 3.1 Gambar geometri shaft drive pulley sekunder



<u></u>	Tabel 3.1 Geometri pinion helik	S	_
Besaran	Shaft Drive	Counter Gear	
Jumlah Gigi	18	48	
Modul (mm)	1,375	1,375	
Face Width (mm)	30	11,8	
Pressure Angle (°)	20	20	
Sudut Heliks (°)	30	30	

3.2 Data Material

Material *shaft drive pulley* sekunder adalah AISI 5130 atau baja paduan rendah CrMnSi. Sifat material yang dimasukkan pada *engineering data* sesuai dengan sifat AISI 5130 [10]. Sifat material AISI 5130 dicantumkan pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2 Sifat material shaft drive		
Young Modulus (GPa)	200	
Kekuatan Tarik Maksimum (MPa)	658,95	
Yield Strength (MPa)	545	
Poisson Ratio	0,3	
Densitas (kg/m ³)	7850	

3.3 Hasil Meshing

Berdasarkan gambar geometri dan sistem kerja *shaft drive*, pengaturan *mesh* difokuskan pada bentuk elemen, metode *meshing*, dan ukuran elemen. Bentuk elemen menggunakan tetrahedral dengan metode *mesh refinement* pada permukaan kontak *pinion* untuk meningkatkan kualitas *mesh* dan simulasi [4]. Pengaturan *mesh* dapat dilihat pada Tabel 3.3 dan hasil *meshing* dapat dilihat pada Gambar 3.2.

Tabel 3.3 Pengaturan meshing				
Bentuk Elemen	Tetrahedral			
Metode <i>Meshing</i>	Refinement pada kontak roda gigi			
Ukuran Elemen (mm)	2,5			



Gambar 3.2 Hasil meshing pada shaft drive dan counter gear



3.4 Kondisi Batas Pembebanan dan Tumpuan

Pada *shaft drive pulley* sekunder, terdapat *roller bearing* yang menumpu beban dari putaran *shaft drive* dan gaya yang dihasilkan *pinion* heliks. Gaya reaksi *bearing* meliputi gaya reaksi arah aksial (R_a), radial (R_r), dan tangensial (R_t). Pembebanan yang bekerja pada *shaft drive pulley* sekunder direpresentasikan melalui diagram benda bebas pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3 Diagram benda bebas shaft drive pulley sekunder

Kondisi batas untuk simulasi numerik pada penelitian ini menerapkan pembebanan dan tumpuan berdasarkan diagram benda bebas. Pembebanan diterapkan pada lokasi berputarnya *pulley* sekunder pada *shaft drive*. Pembebanan yang diterapkan adalah torsi maksimum yang dapat terjadi pada putaran *shaft drive pulley* sekunder, yaitu sebesar 27,03 Nm. *Roller bearing* pada *shaft drive* dimodelkan menggunakan *cylindrical support* agar dapat menahan gaya arah radial dan aksial. Pada *counter gear, fixed support* diterapkan pada permukaan tengah agar dapat menahan pergerakan atau gaya pada berbagai arah. Kondisi batas untuk simulasi numerik pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3.4 berikut.



Gambar 3.4 Penerapan kondisi batas untuk simulasi

3.5 Hasil Simulasi Static Structural

Hasil simulasi *static structural* ditunjukkan pada Gambar 3.5, membuktikan adanya konsentrasi tegangan von Mises pada kontak *pinion* heliks *shaft drive pulley* sekunder dan *counter gear*. Hal ini ditandai dengan perbedaan warna yang terlihat pada area tersebut pada kontur yang menandai distribusi tegangan von Mises. Kondisi operasional dengan torsi *shaft drive pulley* sekunder bernilai maksimum (27,03 Nm) menghasilkan tegangan von Mises maksimum di antara kondisi lainnya, yaitu bernilai 745,27 MPa, lebih besar daripada *yield strength* material penyusunnya. Kondisi seperti ini rentan menjadi penyebab kegagalan.



Gambar 3.5 Distribusi tegangan von Mises pada hasil simulasi *static structural*. (a) Lokasi tegangan von Mises maksimum dan minimum. (b) Konsentrasi tegangan von Mises maksimum. (c) Tegangan von Mises maksimum terjadi pada permukaan kontak dengan *counter gear*.



Simulasi dilakukan dengan berbagai kondisi operasional rasio CVT. Grafik pada Gambar 3.6 menujukkan hubungan antara rasio CVT dengan torsi pada *shaft drive pulley* sekunder dan tegangan von Mises maksimum. Semakin besar nilai rasio CVT, semakin besar pula torsi pada *shaft drive pulley* sekunder dan tegangan von Mises maksimumnya. Tegangan von Mises maksimum terbesar terjadi ketika rasio CVT bernilai 3.



Gambar 3.6 Grafik hasil simulasi pada berbagai kondisi rasio CVT dari 1 hingga 3. (a) Grafik rasio CVT terhadap torsi pada *shaft drive pulley* sekunder. (b) Grafik rasio CVT terhadap tegangan von Mises maksimum.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, didapatkan kesimpulan bahwa tegangan von Mises maksimum berlokasi tepat pada kontak *pinion* heliks *shaft drive pulley* sekunder dengan *counter gear*. Rasio CVT bernilai 3 (rasio CVT maksimum) menghasilkan nilai torsi pada *shaft drive pulley* sekunder terbesar dibandingkan dengan rasio CVT lainnya, sehingga dapat menghasilkan tegangan von Mises yang melebihi kekuatan luluh material *shaft drive pulley* sekunder (AISI 5130) dan dapat memicu kegagalan.

5. Daftar Pustaka

- [1] Pour E, Golabi S. Design of Continuously Variable Transmission (CVT) with Metal Pushing Belt and Variable Pulleys. Vol. 4, International Journal of Automotive Engineering. 2014.
- [2] Hou N, Ding N, Qu S, Guo W, Liu L, Xu N, Tian L, Xu H, Chen X, Zaïri F, Lawrence Wu CM. Failure modes, mechanisms and causes of shafts in mechanical equipment. Vol. 136, Engineering Failure Analysis. Elsevier Ltd; 2022.
- [3] Bhattacharyya S, Banerjee A, Chakrabarti I, Bhaumik SK. Failure analysis of an input shaft of skip drive gearbox. Eng Fail Anal. 2008 Jun;15(4):411–9.
- [4] Feng W, Feng Z, Mao L. Failure analysis of a secondary driving helical gear in transmission of electric vehicle. Eng Fail Anal. 2020 Nov 1;117.
- [5] Zhu S, Yuan W, Cong J, Guo Q, Chi B, Yu J. Analysis of regional wear failure of crankshaft pair of heavy duty engine. Eng Fail Anal. 2023 Dec 1;154.
- [6] Akhmadi AN, Usman MK. Analisis Pengaruh Berat Roller Standard Dan Racing Pada Sistem Cvt Terhadap Rpm Sepeda Motor Honda Beat Pgm-Fi Tahun 2015. Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur dan Energi [Internet]. 2021;4(1):22–31. Available from: https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/
- [7] Zhu C, Liu H, Tian J, Xiao Q, Du X. EXPERIMENTAL INVESTIGATION ON THE EFFICIENCY OF THE PULLEY-DRIVE CVT. International Journal of Automotive Technology [Internet]. 2010 [cited 2024 Nov 20];11(2):257–61. Available from: https://doi.org/10.1007/s12239-010-0032-2
- [8] Akehurst S, Vaughan ND, Parker DA, Simner D. Modelling of loss mechanisms in a pushing metal V-belt continuously variable transmission. Part 1: Torque losses due to band friction. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering. 2004;218(11):1269–81.
- [9] Cholis N, Ariyono S, Priyandoko G. Design of single acting pulley actuator (SAPA) continuously variable transmission (CVT). In: Energy Procedia. Elsevier Ltd; 2015. p. 389–97.
- [10] Nekouei RK, Akhaghi R, Tahmasebi R, Ravanbakhsh A, Moghaddam AJ. Two-stage heat treatment of steel 30CrMnSi and its optimization. Metal Science and Heat Treatment. 2016 Sep 1;58(5–6):362–8.