

PERANCANGAN DAN KAJIAN TEKNIS *STEERING GEAR SYSTEM* DENGAN *CYCLOIDAL GEARBOX* PADA KAPAL IKAN AUTOPILOT

Yusiva Artama Putra^{1*}, Abdul Gafur², Dimas Pristovani Riananda³

Program Studi D-IV Teknik Permesinan Kapal, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Indonesia^{1*}

Program Studi D-IV Teknik Perpipaian, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Indonesia²

Program Studi D-IV Teknik Otomasi, Jurusan Teknik Kelistrikan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Indonesia³

Email: yusivaartama@student.ppns.ac.id^{1*}; abdulgafur@ppns.ac.id^{2*}; dimaspristovani@ppns.ac.id^{3*}

Abstract - This final project was created because there is no autopilot module for small vessels less than 24 metres in length. Generally, the steering system uses hydraulics which consists of many complex components. With the introduction of the Cycloidal gearbox, the current problem can be overcome as this gearbox simplifies the installation process and reduces the number of components. The use of an autopilot aims to improve the vessel's ability to locate and identify fish more efficiently, either automatically or with the assistance of the steering wheel. This research involves the design and technical analysis of a steering system using a Cycloidal Gearbox on an autopilot fishing boat. An experimental method was used with variations of 10 : 1, 15 : 1, and 40 : 1 ratios for comparison. The main results show that the minimum torque of the stepper shaft is 393 Nm, the minimum power of the stepper is 11.77 Watts, the best gearbox ratio is 10 : 1 with the highest torque reaching 7,555 Nm, and the gearbox efficiency is 61.73%. The estimated production cost of the prototype with 3D printing technology is around Rp1.661.000,00.

Keyword: Steering Gear System, Fish Location, Autopilot Ship, Cycloidal Gearbox, 3D Print, Dyno Test, Outboard Engine

1. PENDAHULUAN

Di Indonesia para nelayan masih melakukan penangkapan ikan dengan cara tradisional yaitu dengan berdasarkan pengalaman dan informasi dari nelayan lainnya tentang lokasi persebaran ikan. Keberadaan daerah penangkapan ikan di perairan akan selalu bersifat dinamis atau selalu berubah dan berpindah mengikuti pergerakan kondisi lingkungan, yang secara alamiah ikan akan memilih habitat yang lebih sesuai. Sedangkan habitat tersebut sangat dipengaruhi oleh kondisi atau parameter oseanografi perairan dan kondisi bahaya seperti tinggi gelombang yang ekstrim serta kecepatan angin yang tinggi (Suhartono *et al.*, 2013).

Salah satu teknologi untuk mempermudah pekerjaan manusia adalah teknologi autopilot. Kapal autopilot ini adalah inovasi dari Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya yang tidak memiliki awak kapal. Kapal autopilot adalah kapal yang berfungsi untuk mengetahui persebaran ikan di laut. Kapal ini dikendalikan dari jarak jauh dengan teknologi DVA & Gateway yang memungkinkan untuk mengirim data secara real time berupa suhu, salinitas, arah kapal, kecepatan kapal, dan kecepatan angin saat itu juga. Peta persebaran ikan dapat diketahui melalui Peta Prakiraan Daerah Ikan (PPDI) oleh Balai Riset Observasi Laut (BROL) dari Kementerian Kelautan dan Perikanan (Syarif, 2021).

Mesin tempel merupakan sistem penggerak pada kapal, terdiri dari mesin, *gearbox*, dan baling – baling atau *drive jet* yang dirancang di bagian belakang kapal (*boat transom*). Selain memberikan dorongan pada kapal, mesin tempel juga memiliki sistem kemudi yang mengontrol arah gaya dorong.

Berkembangnya ilmu pengetahuan dan teknologi, yang dahulunya sistem kemudi pada kapal menggunakan sistem manual, sekarang telah digantikan dengan kemudi otomatis dengan bantuan *Steering Gear System* dengan *motor stepper*. Keunggulan dari sistem *motor stepper* sendiri yaitu dapat memindahkan tenaga yang besar hanya dengan menggunakan komponen *motor stepper* yang relatif kecil, mudah dikontrol dan lebih fleksibel, dengan bantuan gigi reduksi yang digunakan yaitu berjenis *cycloidal gearbox*.

Steering Gear System yang diaplikasikan pada kapal ini menggunakan Cycloidak Gearbox, atau sering disebut *cycloidal gearbox*, adalah jenis gearbox yang menggunakan prinsip perpindahan gerakan osilasi sinusoidal untuk menghasilkan perubahan dalam torsi dan kecepatan. Desain ini sangat dikenal karena keandalannya dan kemampuannya untuk menangani beban dinamis yang berubah-ubah dengan baik. *Gearbox Cycloidal* ini sangat cocok untuk berbagai kebutuhan karena sangat andal dan tahan lama

dan digunakan dalam industri otomotif, robotika, dan manufaktur [1]

Dari latar belakang tersebut maka dibuatlah rancang bangun sistem kemudi otomatis pada kapal menggunakan sistem motor listrik dan *cycloidal gearbox*. Tujuan dari perancangan ini adalah untuk merancang dan menganalisis sistem kontrol kemudi otomatis pada kapal menggunakan penggerak dari *motor stepper* dan *cycloidal gearbox* untuk memudahkan para nelayan dalam memantau dan mengontrol sistem penggerak kapal agar pekerjaan mereka menjadi lebih efisien.

2. METODOLOGI

2.1 Penentuan Data Kapal

Berikut merupakan principal dimension dari kapal Autopilot yang didapatkan dari hasil pengambilan data di Dermaga Tlocor.

Table 1. Spesifikasi Data Utama Kapal Autopilot

No	Parameter	Besaran	Satuan
1.	LPP	5.79	m
2.	LOA	6.62	m
3.	B	3.32	m
4.	H	1	m
5.	T	0.5	m
6.	Vs	8.6	knot

2.2 Perhitungan Torsi Kemudi

Torsi merupakan besaran yang dipengaruhi oleh gaya dan lengan. Besaran yang dapat menyebabkan benda berotasi itulah yang dinamakan torsi. Benda dapat melakukan gerak rotasi karena adanya torsi. Torsi timbul akibat gaya yang bekerja pada benda tidak tepat pada pusat massa. Rumus dari torsi adalah

$$T = F \cdot r \text{ (Nm)}$$

Dimana :

F = Gaya (N)

R = Lengan (m)

Perhitungan gaya dan torsi kemudi digunakan untuk menentukan Motor Stepper yang akan digunakan. Kalkulasi torsi kemudi ini mengambil referensi rumus dari Rules BKI Part 3 Volume VII Rules for small vessel up to 24M Section 3.2 Rudder force and torsional moment. Perhitungan torsi kemudi menurut BKI 2022 Vol.VII Sec.14 A5, ditentukan dengan formula sebagai berikut :

$$Qr = Cr \times r \text{ [Nm]}$$

di mana rumus dalam menentukan torsi kemudi jika sumbu rotasi terletak di depan kemudi adalah sebagai berikut

$$r = Xc + f \text{ [m]}$$

2.3 Perhitungan Daya Motor Stepper

Daya adalah kecepatan melakukan kerja. Daya sama dengan jumlah energi yang dihabiskan per satuan waktu. Dalam sistem SI, satuan daya adalah joule per detik (J/s), atau watt. Setelah selesai perhitungan Torsi kemudi, dilanjutkan

dengan menentukan spesifikasi Motor Stepper minimal dengan faktor-faktor yang ditentukan. Faktor-faktor ini meliputi Rasio Gearbox, Rpm, dan torsi minimal dan lain-lain. Daya adalah besaran skalar. Daya keluaran dari putaran motor adalah hasil perkalian antara torsi yang dihasilkan motor dengan kecepatan sudut dari tangkai keluarannya (Halliday, 1974). Pada perhitungan daya dalam penelitian ini menggunakan rumus sebagai berikut :

$$P = \frac{T \times 2\pi \times n}{6000} \text{ (kWatt)}$$

Atau

$$\text{Horse power} = \frac{T \times \text{rpm}}{5252}$$

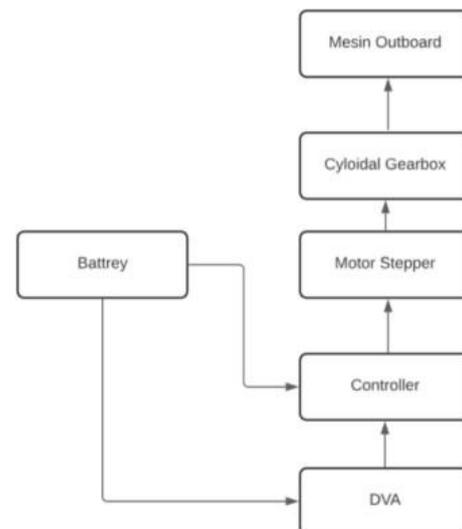
Dimana :

P : Daya (kWatt)

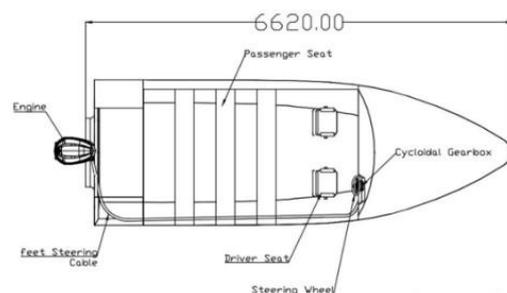
T = Momen Gaya (N.m)

N = Kecepatan putar (rpm)

2.4 Perancangan Konstruksi Sistem Kemudi



Gambar 1. Flow Chart Pemasangan Equipment



Gambar 2. Penempatan Equipment

Pada Gambar 2 dijelaskan rancangan konstruksi mekanik dan mesin Outboard. Alat ini dirancang dalam bentuk praktis sehingga mudah untuk digunakan. Komponen mesin ini terdiri dari : Mesin tempel, Gearbox & motor Stepper dan baterai (accu). Mesin Outboard digunakan sebagai penggerak utama. Motor Stepper dan

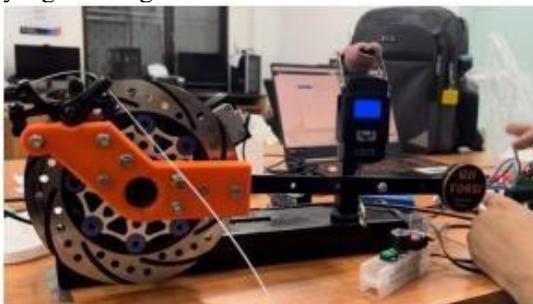
Cycloidal Gearbox berfungsi sebagai penggerak, baterai (accu) berfungsi untuk menyimpan energi dari listrik dari hasil konversi untuk di pakai untuk sumberdaya Motor Stepper dan juga controller. Sistem kemudi ini akan dirancang dengan sistem pengoperasian otomatis, sehingga memudahkan proses pengoperasian. Menggunakan sensor GPS, jadi ketika sensor aktif akan memberikan sinyal kepada kontaktor lalu kontaktor mengirimkan sinyal ke Motor stepper sehingga menggerakkan sistem kemudi.

2.5 Perakitan Komponen

Perakitan komponen dan juga proses *fit up* ini di gunakan untuk memastikan hasil perakitan komponen bisa di uji dan menjadi suatu sistem yang terstruktur yang dilakukan ketika setelah bagian-bagian dari komponen tersebut telah selesai di print menggunakan mesin print 3D.

2.6 Perhitungan Torsi Aktual dengan Metode Lengan Beban dan Panjang Lengan

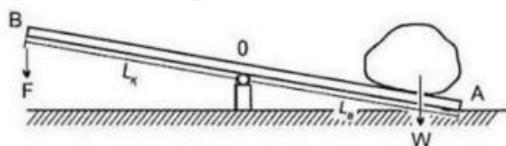
Metode Pengujian yang digunakan menggunakan alat ukur bantu berupa timbangan digital, dimana posisi timbangan digital ini di disesuaikan dengan panjang lengan tertentu untuk mendapatkan torsi dari gearbox. Berikut merupakan gambaran dalam pelaksanaan pengujian torsi Gearbox Cycloidal yang akan digunakan :



Gambar 3. Metode Pengujian Torsi Aktual Gearbox

(Sumber : Dokumentasi Pribadi)

Berikut merupakan rumus yang digunakan untuk menentukan torsi gearbox aktual.



Gambar 4. Perhitungan Lengan

(Sumber : Fisika.co.id)

$$W \times Lb = F Lk$$

Dimana

$$W = m \times g$$

Keterangan :

W = Berat Beban (N)

Lb = Lengan Beban (m)

F = Gaya yang diberikan (N)

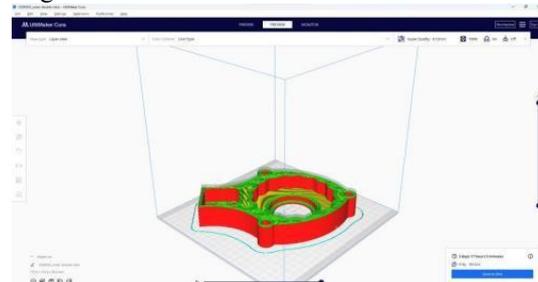
Lk = Lengan kuasa (m)

m = massa benda (kg)

g = Percepatan gravitasi (m/s²)

2.7 Perhitungan Estimasi Biaya

Metode perhitungan Estimasi biaya ini menggunakan bantuan Software Ultimate Cura, pada penggunaan software ini akan didapatkan data berupa berat benda kerja, hasil dimensi benda kerja, dan durasi pekerjaan yang merupakan data utama yang digunakan dalam pembuatan RAB. Berikut merupakan tampilan simulasi yang akan di gunakan :



Gambar 5. Simulasi Ultimate Cura

(Sumber : Dokumentasi Pribadi)

2.8 Hasil Pengujian

Setelah semua komponen sudah tersusun menjadi satu kesatuan. Dimana seluruh komponen akan saling bekerja untuk melakukan fungsinya masing-masing. Sehingga sistem dapat bekerja sebagai mestinya. Selanjutnya dilakukan pengujian. Pada tahap pengujian, dilakukan pemeriksaan dari gerakan sistem kemudi, apakah bekerja sesuai dengan hasil yang diharapkan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Penentuan Data Kapal

Data kapal didapatkan dari observasi dan pengukuran kapal secara aktual yang digunakan sebagai objek penelitian yang diambil dari Dermaga Tlocor.

Tabel 2. Spesifikasi Data Utama Kapal Autopilot

No	Parameter	Besaran	Satuan
1.	LPP	5.79	m
2.	LOA	6.62	m
3.	B	3.32	m
4.	H	1	m
5.	T	0.5	m
6.	Vs	8.6	Knot

3.2 Perhitungan Rasio/Reduksi

Rumus perhitungan rasio gerakan antara steering wheel dan rudder stock adalah

$$Rasio = \frac{\text{sudut steering wheel}}{\text{sudut rudder stock}}$$

$$Rasio = \frac{1260^\circ}{48^\circ}$$

$$Rasio = \frac{26.25}{1}$$

Sehingga didapatkan kesimpulan observasi rasio transmisi steering wheel sampai ke aktuator sebesar 26.25 : 1. Dalam menentukan rasio reduksi *cycloidal gearbox* dengan menggunakan persamaan dari [2] sebagai berikut

$$Rasio = \frac{(P - L)}{L}$$

Pada rasio 10 : 1 didapatkan hasil $\frac{1}{10}$, rasio 15 : 1 didapatkan hasil $\frac{1}{15}$ dan rasio 40 : 1 didapatkan hasil $\frac{1}{40}$. Dalam penelitian ini, pembuatan prototype gearbox menggunakan 3 ukuran rasio yang akan diuji coba yaitu, 10 : 1, 15 : 1 dan 40 : 1.

Tabel 3. Rasio Shaft stepper sampai ke rudder stock

Rasio Gearbox	Rasio Shaft Stepper sampai ke Rudder Stock
1 : 10	1 : 787.5 Putaran
1 : 15	1 : 1181 Putaran
1 : 40	1 : 3150 Putaran

3.3 Perhitungan Gaya Kemudi dan Torsi Kemudi

Gaya kemudi berdasarkan Rules BKI 2022 Part 3. Special Ships Vol VII Section 1, 3.2.1. Rudder force and torsional moment didapatkan perhitungan sebagai berikut :

$$Cr = K1 \times K2 \times CH \times VO2 \times A [N]$$

Keterangan :

A = Total luas permukaan kemudi tanpa skeg di dapatkan dari pembuatan replika model pada autocad dengan fitur hatch [m²]

VO = Kecepatan kapal [knot]

K1 = Faktor luasan permukaan kemudi efektif berdasarkan BKI 2022 Vol. VII Sec 1, 3.2.1

K2 = Faktor, berdasarkan tipe kapal menurut BKI 2022 Vol VII Sec 1, 3.2.1

Maka, dihasilkan perhitungan nilai gaya kemudi yaitu sebesar 2166,493 N.

Berikut merupakan perhitungan untuk menentukan torsi kemudi

$$QR = Cr \times r [m]$$

$$QR = 4344.211 \times 0,018162$$

$$QR = 393.495 Nm$$

Sehingga, momen torsi kemudi pada kapal ini yaitu 393.495 Nm

3.4 Design Cycloidal Gearbox

Pada proses ini parameter pertimbangan dalam mendesain gearbox ini antara lain dimensi space, ketersediaan equipment pendukung seperti belt dan motor stepper. Berdasarkan parameter yang ada di sesuaikan dengan kebutuhan akan di desain menggunakan software fusion 360.

- a. Eccentric Bearing / Pivot



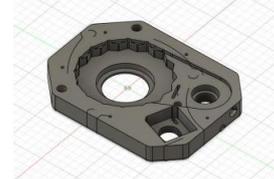
Gambar 6. Eccentric Bearing/Pivot
(Sumber : Dokumentasi Pribadi)

- b. Cycloidal Disk/Rotor



Gambar 7. Cycloidal Disk / Rotor
(Sumber : Dokumentasi Pribadi)

- c. Ring Gear Housing(outer) / Stator



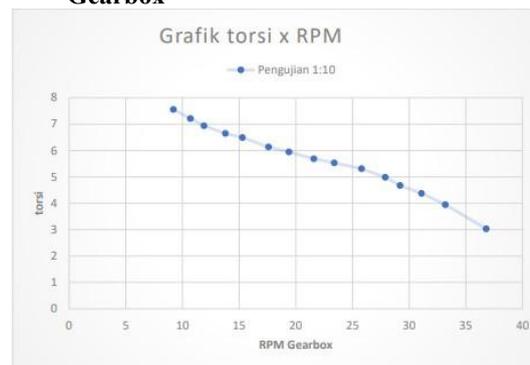
Gambar 8. Ring Gousing (outer)/Stator
(Sumber : Dokumentasi Pribadi)

- d. Low Speed Shaft Rollers

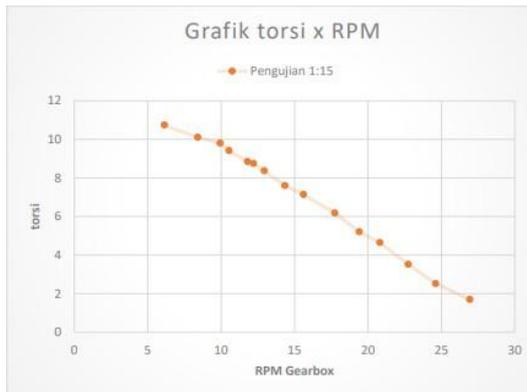


Gambar 9. Low Speed Shaft Rollers
(Sumber : Dokumentasi Pribadi)

3.5 Pengujian Torsi dan Daya pada Cycloidal Gearbox



Gambar 10. Grafik Torsi vs RPM Gearbox pada Pengujian 10:1

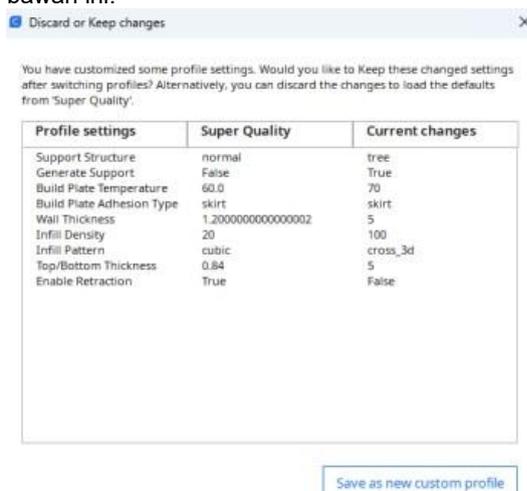


Gambar 11. Grafik Torsi vs RPM gearbox pada pengujian 15:1

Berdasarkan data di atas di dapatkan di simpulkan bahwa semakin tinggi rpm nilai torsi akan turun, dan semakin rendah rpm nilai torsi akan meningkat.

3.6 Perhitungan Ekonomi Produksi Cycloidal Gearbox dengan Ultimate Cura

Pada perhitungan ekonomis produksi cycloidal gearbox dengan Software Ultimate Cura. Pada software ini akan dihitung seberapa banyak filament berdasarkan berat filament berdasarkan desain 3d berdasarkan settingan terlampir di bawah ini:



Gambar 12. Settingan Software Ultimaker Cura
 (Sumber : Dokumentasi Pribadi)

Berdasarkan proses slice pada software ultimaker cura dengan settingan di atas di dapatkan data :

Tabel 4. Detail Konsumsi Filament Proses 3D Print

No	Nama Komponen	Berat filament	Satuan
1	Eccentric Bearing / Pivot	59	gram
2	Pivot Close	16	gram
3	Cycloidal Disk/Rotor	55	gram
4	Ring Gear Housing(outer) up	469	gram
5	Ring Gear Housing(outer) down	614	gram
6	Low Speed Shaft Rollers	125	gram
7	Converter	172	gram
Berat Keseluruhan		1510	Gram

Berdasarkan hasil simulasi menggunakan Software Ultimaker Cura di dapatkan nilai berat filament untuk memproduksi cycloidal gearbox sebanyak 1510 gram. Dari data yang ada akan

digunakan sebagai acuan untuk mendapatkan estimasi biaya. Berdasarkan survey pasar yang ada di Surabaya didapatkan biaya cetak 3d print seharga Rp1.100,00/gram dengan penyesuaian pengaturan dari software. Dari perhitungan di atas di dapatkan biaya produksi 3D print sebesar Rp1.661.000,00.

4. KESIMPULAN

Penelitian ini melibatkan perancangan Prototype dengan metode 3D print dan analisis teknis sistem kemudi menggunakan *cycloidal gearbox* pada kapal ikan autopilot. Metode eksperimen digunakan dengan variasi rasio 10 : 1, 15 : 1, dan 40 : 1 sebagai perbandingan. Hasil utama menunjukkan bahwa torsi minimal shaft stepper adalah sebesar 393.4956 Nm, daya minimal stepper adalah 11.7781 Watt, rasio gearbox terbaik adalah 10 : 1 dengan torsi tertinggi mencapai 7.555 Nm, dan efisiensi gearbox sebesar 61.73%. Estimasi biaya produksi prototype dengan teknologi pencetakan 3D print sebesar Rp1.661.000,00.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyadari penyelesaian jurnal ini tidak terlepas dari bimbingan, doa, dan motivasi dari berbagai pihak, penulis menyampaikan rasa terimakasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Kedua orang tua yang telah memberikan dukungan materi, semangat, motivasi, kasih sayang, do'a selama menempuh pendidikan di Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya
2. Bapak Abdul Gafur, ST., MT. selaku dosen pembimbing I
3. Bapak Domas Pristovani Riananda, S.ST., MT. selaku dosen pembimbing II
4. Kerabat dan sahabat seperjuangan Teknik Permesinan Kapal PPNS

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] N. W. S. Y. A. Z. W. & Z. J. Jiang, "Transmission Efficiency of Cycloid-Pinion System Considering the Assembly Dimensional," 2022.
- [2] A. P. C. T. A. M. N. Muthe, "Design and Fabrication of Cycloidal Gearbox," *International Research Journal of Engineering and Technology*, pp. 4-6, 2018.