

# Analisis Sistem Transmisi Konversi Internal Combustion Engine Pada Mesin Outboard 3 PK Matsumoto Menjadi Electric Drive

Layang Seto Agung <sup>1\*</sup>, R. Dimas Endro W., S.T., M.T. <sup>2</sup>, Abdul Gafur, S.T., M.T. <sup>3</sup>

Program Studi D-IV Teknik Permesinan Kapal, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Indonesia<sup>1\*</sup>

Program Studi D-IV Teknik Perpipaian, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Indonesia<sup>2</sup>

Program Studi D-IV Teknik Permesinan Kapal, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Indonesia<sup>3</sup>

Email: [layangseto16@student.ppns.ac.id](mailto:layangseto16@student.ppns.ac.id)<sup>1\*</sup>; [dimasend@ppns.ac.id](mailto:dimasend@ppns.ac.id)<sup>2\*</sup>; [abdulgafur@ppns.ac.id](mailto:abdulgafur@ppns.ac.id)<sup>3\*</sup>

---

**Abstract** - Conventional outboard engines in the current era are still widely used, especially in Indonesia. The utilization of traditional outboard engines can adversely affect the environment, such as causing sea water pollution through fuel and oil leaks. To address this issue, one alternative is the conversion of a conventional outboard engine into an electric motor. This study concentrates on the transmission system, which is responsible for converting the torque and rotational speed from the engine or primary drive into varying torques and speeds for the final drive. The research identifies the characteristics of the transmission system, with a particular focus on the material strength of the system's components. These components must be compatible with the electric motor's characteristics. Consequently, it allows for the comparison of material strength and the planning of components in alignment with the electric motor's traits. The research employs ANSYS software, utilizing the Finite Element Method (FEM) for static analysis of the components and materials. From the static simulation results from Ansys Software, it was found that the bending stress, contact stress, and safety factor values after being converted into an electric motor were 9429.62 MPa, 1764.9 MPa, and 2,85 ul respectively. The percentage difference between manual calculation results and static simulation results was found to be <10%, which means the design is good and the meshing is good.

**Keyword:** Outboard Engine, Transmission System, Electric Motor, Finite Element Method (FEM), Static Simulation.

---

## 1. PENDAHULUAN

Sistem transmisi merupakan elemen krusial yang bertugas mengkonversi torsi dan kecepatan rotasi mesin menjadi torsi dan kecepatan yang optimal untuk penggerak roda. Perannya adalah untuk menyesuaikan performa kendaraan, dengan mengubah kecepatan tinggi mesin menjadi kecepatan yang lebih rendah tetapi dengan torsi yang meningkat, atau sebaliknya. Proses konversi ini memastikan bahwa kendaraan dapat beroperasi dengan efisien dalam beragam situasi, termasuk saat memulai pergerakan, menanjak, atau bergerak pada kecepatan yang tinggi.

Roda gigi merupakan elemen mesin yang esensial untuk mentransmisikan daya antara dua sumbu. Roda gigi payung spiral, yang merupakan evolusi dari roda gigi bevel dengan gigi lurus, menyediakan manfaat seperti kapasitas daya yang ditingkatkan, efisiensi yang lebih optimal, dan pengurangan kebisingan yang signifikan. Namun, roda gigi payung spiral juga memiliki beberapa kekurangan, termasuk proses pembuatan yang lebih rumit dan batasan dalam perhitungan analitis untuk tegangan lentur, yang sering kali dianggap setara dengan roda gigi bevel bergigi lurus, meskipun pada kenyataannya

roda gigi payung spiral lebih kuat.

Pada penelitian ini menganalisa kekuatan spiral bevel gear terhadap tegangan *bending* dan tegangan kontak yang terjadi serta nilai *safety factor*. Dimana analisis tersebut untuk membandingkan ketahanan struktur ketika mesinnya dikonversi menjadi motor listrik. Salah satu metode yang bisa digunakan adalah *finite elemen method*. Dengan metode ini, kita bisa mengetahui perbedaan kekuatan spiral bevel gear antara perhitungan analitis dan hasil simulasi statis.

Langkah pertama yang dilakukan yakni melakukan uji bahan terhadap komponen sistem transmisi. Dimana hasil uji bahan tersebut guna mengetahui material yang digunakan pada komponen tersebut dan untuk mengetahui nilai *yield strength* pada material tersebut. Nilai *yield strength* digunakan untuk memastikan bahwa tingkat keamanan struktur atau komponen masih berada dalam batas aman.

[1] Penelitian tentang “analisis kekuatan spiral bevel gear dengan variasi sudut spiral.” Penelitian tersebut menggunakan metode elemen hingga dengan bantuan Software ANSYS. Data dimensi dan geometri gear diolah agar didapatkan nilai tegangan *bending* dan tegangan

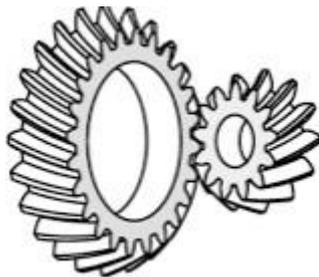
kontak yang digunakan untuk mengetahui safety factor nya..

Penelitian tentang “analisis safety factor roda gigi payung untuk alat penggerak garam.” Pada penelitian tersebut melakukan permodelan dalam bentuk metode elemen hingga menggunakan *Software Solidworks* dengan *Fatigue Tool* untuk mengetahui nilai *safety factor* yang terjadi pada roda gigi payung [2].

## 2. METODOLOGI

### 2.1 Spiral Bevel Gear

Spiral bevel gear memiliki fungsi yang sama dengan bevel gear biasa, yaitu untuk mentransmisikan daya antara dua poros yang berpotongan secara tegak lurus. Perbedaan signifikan terletak pada bentuk gigi; spiral bevel gear mempunyai gigi berbentuk lengkung yang memungkinkan kontak lebih lembut dan progresif, berbeda dengan bevel gear biasa yang memiliki gigi lurus dan bertemu pada sudut tajam. Desain lengkung gigi pada spiral bevel gear meningkatkan efisiensi dalam transmisi daya dan menghasilkan operasi yang lebih senyap dibandingkan dengan bevel gear biasa.



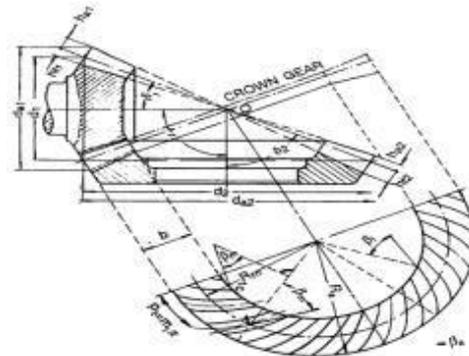
Gambar 1 Spiral Bevel Gear

Profil gigi spiral pada spiral bevel gear menawarkan berbagai keunggulan dibandingkan dengan bevel gear biasa, termasuk:

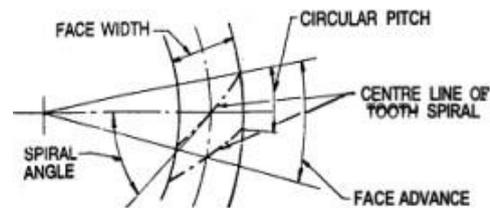
- Operasi yang lebih halus yang menghasilkan *noise* lebih rendah
- Rasio reduksi kecepatan yang lebih tinggi
- Area kontak yang lebih besar
- Struktur gigi yang lebih kuat
- Kapasitas transmisi daya yang lebih besar dengan geometri yang sama
- Efisiensi yang lebih tinggi

Sudut spiral, dilambangkan dengan ( $\beta m$ ), merupakan sudut yang terbentuk antara garis yang menghubungkan pusat roda gigi dengan titik tengah lengkungan spiral pada gigi, dan garis yang menghubungkan dasar gigi spiral dengan titik tengah lengkungan tersebut. Parameter tambahan seperti maju muka, lebar gigi, dan langkah lingkaran juga diilustrasikan dalam gambar yang relevan.

2.8. Untuk parameter lainnya seperti sudut poros dapat diasumsikan sama dengan bevel gear.



Gambar 2 Geometri Spiral Bevel Gear



Gambar 3 Sudut spiral

### 2.2 Perhitungan Analitis Spiral Bevel Gear

Analisis analitik terhadap bevel gear dijalankan untuk membandingkan dan memverifikasi keakuratan dari nilai tegangan yang didapatkan melalui simulasi. Keabsahan hasil simulasi diakui jika perbedaan antara nilai simulasi dan analisis analitik tidak melebihi 15%. Analisis ini memanfaatkan formulasi dari teori dasar, terutama berlandaskan pada persamaan Lewis, yang merupakan metode perhitungan tegangan pada gigi. Persamaan Lewis memberikan cara analitik untuk mengestimasi tegangan bending pada bevel gear dengan mempertimbangkan parameter geometri dan beban operasional, yang memfasilitasi penilaian konsistensi antara hasil simulasi dan estimasi analitik. Persamaan tersebut, yakni:

$$F_b = \frac{\sigma_b Y b}{P} \left(1 - \frac{b}{L}\right)$$

Dengan  $F_b = \frac{2T_1}{d_1}$  (1)

Sehingga  $\sigma_b = \frac{2T_1 P}{Y \left(1 - \frac{b}{L}\right) d_1 b}$

Dimana :

$F_b$  = Gaya bending

$\sigma_b$  = Tegangan bending

$P$  = Diametral pitch

$b$  = Face width

$L$  = Jarak pitch menuju apex (*cone distance*)

$Y$  = Lewis factor

$T$  = Tors

Untuk menghitung keausan yang diizinkan, dapat digunakan persamaan tegangan kontak Hertzian, yakni:

$$\sigma_H = \sqrt{\frac{2.T.cos\gamma.1,4}{dp^2.Q'.\sin\phi.cos\phi.\left(\frac{1}{E_1} + \frac{1}{E_2}\right)}} \quad (2)$$

Dengan

$$Q' = \frac{2N'_{tg}}{\dots}$$

Dimana :

- $\gamma$  = sudut pitch *pinion*
- $\phi$  = sudut tekan
- $N'_{tg}$  = formative number of *pinion teeth*
- $N'_{tg}$  = formative number of *gear teeth*
- $E$  = modulus elastis

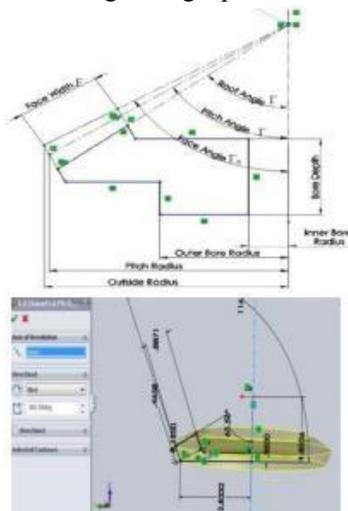
### 2.3 Pemodelan

Proses desain 3D dalam penelitian ini dilaksanakan menggunakan software Fusion 360. Tahapan perencanaan desain dibagi menjadi dua fase utama: pembuatan komponen (part) dan perakitan (assembly). Sebelum proses pemodelan dimulai, ukuran gear diatur sesuai dengan spesifikasi yang tercantum dalam Tabel 1.

Tabel 1 Dimensi Gear

Variabel	Bevel Gear	Pinion Gear	Satuan
Diametral Pitch	4	4	
Modular	1	1	
Pressure Angle	20	20	Deg
Spiral Angle	35	35	Deg
Ratio	1 : 2		
Number of Teeth	27	13	
Face width	0,75	0,75	mm
Backlash	0,15	0,15	mm
Torque	3819		N.mm

Modeling proses suatu komponen meliputi dua fase: pembuatan sketsa dasar dan sketsa gigi. Dalam fase sketsa dasar, sketsa permulaan dari spiral bevel gear dibuat pada sebuah bidang datar, diikuti dengan penerapan fitur *resolve base*. Fase perakitan mencakup penggabungan komponen pinion dan gear yang telah termodelkan dengan lengkap.



Gambar 4 Sket base Spiral Bevel Gear

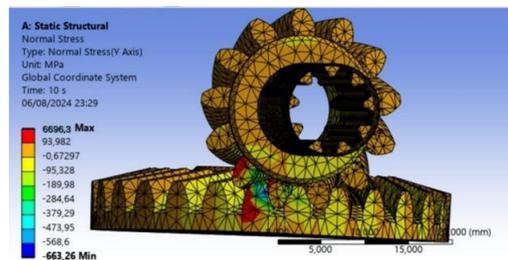
### 2.4 Simulasi

Simulasi statis yang dilakukan bertujuan untuk mengukur tegangan bending, tegangan kontak maksimum, dan faktor keselamatan. Model 3D solid dari spiral bevel gear yang dibuat menggunakan Fusion 360 dijadikan dasar simulasi ini. Model tersebut ditumpu pada bagian bore dan momen diaplikasikan pada pinion, dengan gear yang dianggap dalam keadaan statis. Proses meshing dilakukan dengan membagi permukaan model menjadi elemen-elemen kecil menggunakan mechanical mesh default dan mapped face meshing di area kontak guna meningkatkan akurasi.

Setelah menetapkan semua kondisi batas, tujuan analisis ini adalah untuk mendapatkan nilai dari tegangan kontak dan tegangan lentur. Tegangan kontak diukur dengan mengaplikasikan beban tekan pada model, sedangkan tegangan lentur dihitung sebagai tegangan normal yang berorientasi sepanjang sumbu tinggi dari gigi gear. Langkah berikutnya adalah menjalankan simulasi perangkat lunak untuk menghitung nilai dari tegangan lentur dan tegangan kontak, dengan memasukkan input torsi sebesar 3819 N.mm terlebih dahulu.

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

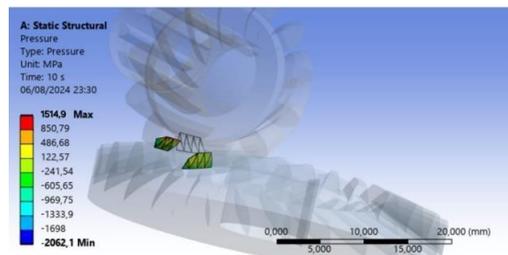
### 3.1 Tegangan Bending Pada Motor Bakar



Gambar 5 Simulasi Tegangan Bending Pada Motor Bakar

Gambar di atas merupakan hasil dari proses simulasi yang telah dilakukan, diperoleh nilai tegangan *bending* maksimum dari hasil pemodelan spiral bevel gear sebesar 6696,3 MPa

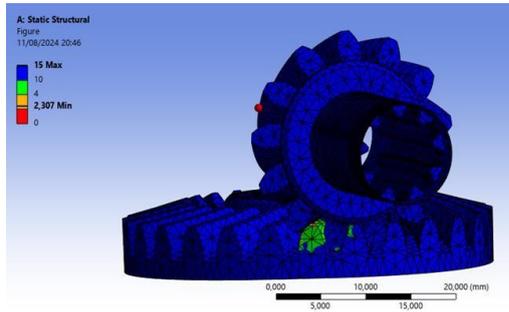
### 3.2 Tegangan Kontak Pada Motor Bakar



Gambar 6 Simulasi Tegangan Kontak Pada Motor Bakar, diperoleh nilai tegangan kontak maksimum dari

hasil pemodelan spiral bevel gear sebesar 1514,9 MPa

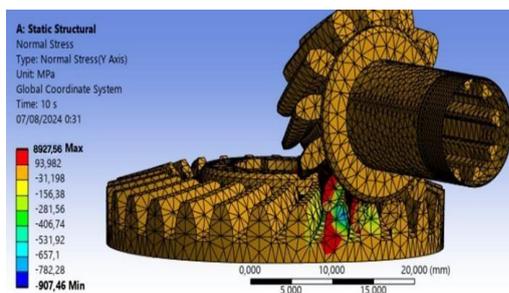
### 3.3 Safety Factor Pada Motor Bakar



Gambar 7 Simulasi Safety Factor Pada Motor Bakar

Dari simulasi yang telah dilakukan, diperoleh nilai *safety factor* maksimum dari hasil pemodelan spiral bevel gear sebesar 2,307 *ul*.

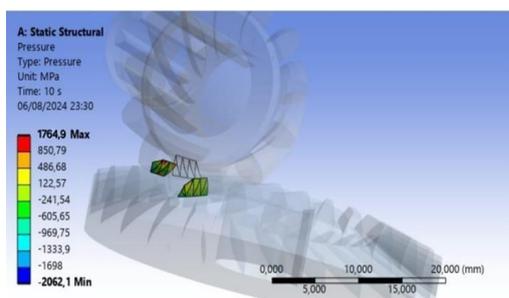
### 3.4 Tegangan Bending Pada Motor Listrik



Gambar 8 Simulasi Tegangan Bending Pada Motor Listrik

Gambar di atas merupakan hasil dari proses simulasi yang telah dilakukan, diperoleh nilai tegangan *bending* maksimum dari hasil pemodelan spiral bevel gear sebesar 8927,56 Mpa.

### 3.5 Tegangan Kontak Pada Motor Listrik

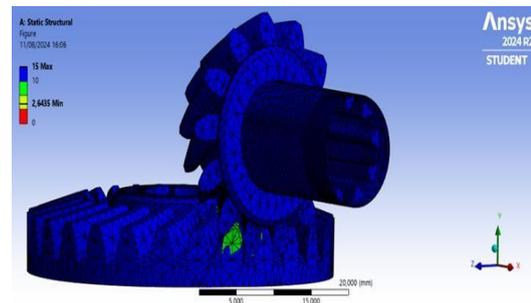


Gambar 9 Simulasi Tegangan Kontak Pada Motor Listrik

Hasil simulasi menunjukkan bahwa tegangan kontak maksimum yang terjadi pada spiral bevel gear adalah 1764,9 MPa. Angka ini merefleksikan tingkat tekanan maksimum yang

diterima oleh gigi gear dalam model simulasi tersebut.

### 3.6 Safety Factor Pada Motor Listrik



Gambar 10 Simulasi Safety Factor Pada Motor Listrik

Dari simulasi yang telah dilakukan, diperoleh nilai *safety factor* maksimum dari hasil pemodelan spiral bevel gear sebesar 2,64 *ul*.

### 3.6 Hasil Perbandingan Simulasi dengan Perhitungan Analitis

Berdasarkan hasil simulasi statis yang dilakukan pada software ANSYS, perlu divalidasi dengan membandingkan perhitungan analitis dan hasil simulasi statis pada software ANSYS. Nilai selisih prosentase dibawah 10% dapat dikatakan baik jika desain dan meshing yang dilakukan sudah valid. Berikut nilai perbandingan untuk setiap analisis yang dilakukan:

Tabel 2 Perbandingan Hasil Simulasi Dengan Perhitungan Analitis Tegangan Bending

Variabel	Perbandingan		
	Software	Analitis	Selisih Prosentase
Motor Bakar	6696,3 MPa	6891,35 MPa	3%
Motor Listrik	8927,56 MPa	9429,62 MPa	6%

Tabel 3 Perbandingan Hasil Simulasi Dengan Perhitungan Analitis Tegangan Kontak

Variabel	Perbandingan		
	Software	Analitis	Selisih Prosentase
Motor Bakar	1514,9 MPa	1657,23 MPa	9%
Motor Listrik	1764,9 MPa	1938,56 MPa	10%

Tabel 4 Perbandingan Hasil Simulasi Dengan Perhitungan  
 Analitis *safety factor*

Variabel	Perbandingan		
	Software	Analitis	Selisih Prosentase
Motor Bakar	2,307 <i>ul</i>	2,43 <i>ul</i>	5%
Motor Listrik	2,6435 <i>ul</i>	2,85 <i>ul</i>	8%

#### 4. KESIMPULAN

Berlandaskan pada perolehan perhitungan dan analisa yang telah dilaksanakan, maka dapat disimpulkan bahwa pemodelan komponen sistem transmisi mampu bekerja dengan baik ketika dikonversi menjadi motor listrik.

Didapatkan hasil simulasi nilai tegangan *bending*, tegangan kontak, dan *safety factor* pada motor listrik berturut – turut adalah 9429,62 MPa, 1764,9 MPa dan 2,64 *ul*. Berdasarkan hasil perbandingan antara perhitungan analitis dengan hasil simulasi didapat selisih prosentase pada masing-masing pengujian yaitu 3% untuk tegangan *bending*, 9% untuk tegangan kontak, dan 10% untuk *safety factor*. Selisih prosentase dibawah 10% artinya desain geometri yang dilakukan sudah valid dan baik serta material yang digunakan (AISI 1045) sudah kompatibel karena nilai *safety factor* yang dibawah 3 mampu menahan 2,64 kali lipat terhadap beban yang terjadi.

#### 5. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengakui bahwa penyelesaian jurnal ini merupakan hasil dari bimbingan, dukungan, dan motivasi dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan terima kasih yang tidak terhingga kepada:

1. Orang tua, yang telah memberi dukungan material, motivasi, cinta, doa, dan nasihat yang tidak ternilai. Dukungan mereka adalah dasar penting dalam menyelesaikan penelitian ini.
2. Bapak R. Dimas Endro W., S.T., M.T., sebagai dosen pembimbing pertama, atas bimbingannya, petunjuk, dan saran yang sangat membantu selama penelitian. Keahlian dan komitmen beliau telah memberikan arahan yang berarti dalam menyelesaikan jurnal ini.
3. Bapak Abdul Gafur, S.T., M.T., sebagai dosen pembimbing kedua, yang telah memberikan dukungan akademis dan bimbingan yang detail. Kontribusi beliau dalam memberikan petunjuk teknis dan

perspektif tambahan sangat berharga dalam mengarahkan penelitian ini ke hasil yang lebih baik.

4. Rekan dan teman sejawat di Teknik Permesinan Kapal-PPNS, atas kerjasama, dukungan moral, dan semangat yang konsisten diberikan selama penelitian. Partisipasi mereka dalam berbagai aspek penelitian dan diskusi ilmiah telah memperluas pengalaman dan meningkatkan kualitas jurnal ini.

#### 6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Aqviansyah, Z. F. G. (2022). Analisis Kekuatan Spiral Bevel Gear Dengan Variasi Face Width Menggunakan Metode Elemen Hingga. *STATOR: Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, 4(1), 10-14.
- [2] ANDIKA, D. R. TUGAS AKHIR–TM141585 ANALISA KEKUATAN SPIRAL BEVEL GEAR DENGAN VARIASI SUDUT SPIRAL MENGGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA.
- [3] HALIM, F. F. (2023). *PENGARUH VARIASI RASIO STRAIGHT BEVEL GEAR DENGAN MATERIAL AISI 4140 TERHADAP KINERJA GENERATOR GERAK TRANSLASI DAN ROTASI* (Doctoral dissertation, UNIVERSITAS SULTAN AGENG TIRTAYASA).
- [4] Sumardi, S., Fasni, N., Martunis, M., & Munzir, M. (2020). Tinjauan Efektifitas Dan Perbandingan Kinerja Mesin Tempel Outboard Jenis Propeller Baling-Baling Konvensional Dengan Propeller Jenis Water Jet Propulsion.
- [5] Khurmi, R. S., & Gupta, J. K. *A textbook of machine design*. S. Chand publishing.