

## ANALISIS KEKUATAN SPIRAL BEVEL GEAR DENGAN VARIASI FACE WIDTH MENGGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA

Zulfan Fahmi Geva Aqviansyah<sup>1\*</sup>, Agus Triono<sup>2</sup>, Rahma Rei Sakura<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember,  
Jl. Kalimantan 37, Jember, 68121

<sup>2</sup>Staf Pengajar Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember, Jl. Kalimantan 37,  
Jember, 68121  
Email: zulfanfahmi12345@gmail.com

### ABSTRAK

*Perkembangan teknologi dewasa ini berkembang sangat pesat. Perkembangan tersebut mempengaruhi setiap aspek kehidupan, tak terkecuali roda gigi. Seiring berkembangnya teknologi, roda gigi dituntut untuk mampu mentransmisikan daya yang besar dengan tingkat efisiensi yang besar pula. Salah satu jenis roda gigi yang umum digunakan adalah spiral bevel gear. Roda gigi jenis ini merupakan versi pengembangan dari bevel gear, yang diklaim mampu menyalurkan daya yang lebih besar, minim suara serta lebih efisien. Akan tetapi spiral bevel gear juga mempunyai kelemahan yakni proses manufaktur yang lebih rumit, proses penghitungan kekuatan lebih kompleks, dll. Salah satu pendekatan yang dapat dilakukan adalah dengan menggunakan metode elemen hingga. Penelitian diawali dengan membuat model dari bevel gear yang face widthnya divariasikan 0.8, 0.9, 1.0, dan 1.1 inch. Model dibuat dengan dimensi berdasarkan perhitungan. Selanjutnya melakukan perhitungan analitis pada bevel gear yang hasilnya dibandingkan dengan hasil simulasi statis. Setelah eror yang terjadi dibawah 10% maka dimensi, langkah desain serta simulasi dapat dikatakan benar. Selanjutnya dilanjutkan dengan membuat model spiral bevel gear dengan memvariasikan face widthnya 0.8, 0.9, 1.0, dan 1.1 inch dan spiral angle sebesar 35°. Selanjutnya dilakukan simulasi untuk mengetahui pengaruh variasi face width terhadap kekuatan spiral bevel gear pada pembebanan statis maupun dinamis. Hasil dari penelitian yang dilakukan dapat disimpulkan bahwa variasi face width yang dilakukan berpengaruh terhadap kekuatan spiral bevel gear. Dari variasi yang telah dilakukan, didapati variasi 1.1 merupakan variasi paling baik karena menghasilkan nilai tegangan paling kecil. Hal ini sejalan dengan fakta bahwa semakin kecil tegangan yang dihasilkan, semakin kecil pula kemungkinan benda tersebut mengalami deformasi*  
*Keywords: spiral bevel gear, tegangan bending, tegangan kontak, metode elemen hingga*

### PENDAHULUAN

Roda gigi (gear) merupakan komponen integral dan penting dalam kehidupan kita sehari-hari [4]. Gear sendiri memiliki arti roda silindris yang berputar dengan gigi berpotongan dan menyatu dengan bagian gigi lainnya untuk mentransmisikan torsi atau daya [7]. Prinsip kerja roda gigi adalah dengan cara bersinggungan antara satu gigi dengan gigi yang lain, sehingga dapat menimbulkan gesekan yang dapat meneruskan daya dari suatu sistem penggerak. Seiring zaman yang berkembang pesat, gear harus mampu mentransmisikan daya yang besar namun dengan tingkat efisiensi yang tinggi. Jenis roda gigi berpotongan (intersecting shaft gear) mengalami perkembangan model yang cukup signifikan, salah satunya roda gigi kerucut spiral (spiral bevel gear). Roda gigi tersebut merupakan pengembangan dari jenis roda gigi kerucut biasa (bevel gear). Spiral bevel gear semakin banyak aplikasinya, seperti di industri alat berat, kendaraan besar, propeller kapal jenis bow thruster, pesawat terbang, dll. Hal ini karena spiral bevel gear memiliki beberapa keunggulan dibanding bevel gear, seperti, kemampuan transmisi daya yang lebih efisien dan lebih besar pada bentuk geometri

yang sama, tidak berisik dan minim getaran [6]. Kemudian Andika (2016), melakukan analisa kekuatan spiral bevel gear dengan variasi sudut spiral menggunakan metode elemen hingga. Variasi yang ditentukan adalah 20°, 35°, dan 45°. Selanjutnya peneliti membandingkan kekuatan spiral bevel gear dengan variasi sudut yang telah ditentukan dengan bevel gear. Dari penelitian tersebut didapat hasil bahwa spiral bevel gear dengan variasi sudut sebesar 35° memiliki nilai tegangan bending sebesar 29,466 psi dan tegangan kontak maksimal sebesar 57,596 psi, yang mana merupakan hasil paling optimal dari penelitian yang dilakukan karena nilai yang dihasilkan merupakan nilai terkecil. Hal itu dikarenakan semakin kecil nilai tegangan bending dan nilai tegangan kontak yang dihasilkan, semakin kecil kemungkinannya suatu benda mengalami deformasi [2]. Namun, penelitian yang dilakukan hanya sebatas memvariasikan spiral angle pada spiral bevel gear tanpa adanya pertimbangan akibat variasi di sektor lain, seperti halnya di sektor dimensi face width.

Oleh karena itu, penulis melakukan penelitian lanjutan tentang analisa kekuatan spiral bevel gear akibat variasi dimensi face width dengan menggunakan

metode elemen hingga. Dengan demikian, hasil dari penelitian tersebut dapat menunjukkan keterkaitan antara variasi dimensi face width terhadap kekuatan spiral bevel gear.

**METODOLOGI PENELITIAN**

**A. Data Utama**

Penelitian yang dilakukan tidak terlepas dari berbagai sumber referensi berupa penelitian sebelumnya, buku dan literatur yang digunakan sebagai bahan kajian yang menunjang. Penelitian yang dilakukan diawali dengan menentukan data utama terkait benda uji yang akan diteliti. Dalam penelitian ini, digunakan data utama dimensi dari bevel gear dan juga spiral bevel gear.

Tabel 1 Data utama benda uji

Bevel gear	Var. 1		Var. 2		Var. 3		Var. 4		Sat
	gea	pinio	gea	pinio	gea	pinio	gea	pinio	
	r	n	r	n	r	n	r	n	
Diameter	6	3	6	3	6	3	6	3	inch
Pressure angle					20				degree
Sudut spiral					0				degree
Rasio					1 : 2				
Jumlah gigi	36	18	36	18	36	18	36	18	
Torsi					2500				lbf.inch
Face width	0.8		0.9		1.0		1.1		inch

Spiral bevel gear	Var. 1		Var. 2		Var. 3		Var. 4		Sat
	gea	pinio	gea	pinio	gea	pinio	gea	pinio	
	r	n	r	n	r	n	r	n	
Diameter	6	3	6	3	6	3	6	3	inch
Pressure angle					20				degree
Sudut spiral					35				degree
Rasio					1 : 2				
Jumlah gigi	36	18	36	18	36	18	36	18	
Torsi					2500				lbf.inch
Face width	0.8		0.9		1.0		1.1		inch

**B. Validasi** Validasi dalam penelitian yakni dengan membandingkan hasil perhitungan manual menggunakan persamaan Lewis untuk nilai tegangan bending dan juga Hertzian Contact Theory untuk nilai tegangan kontak. Apabila error yang dihasilkan <10% maka dapat disimpulkan data utama, langkah desain serta proses simulasi yang dilakukan sudah tepat. Perhitungan tegangan bending menggunakan persamaan Lewis sebagai berikut :

$$\sigma_b = \frac{2T_1P}{Y(1-\frac{b}{L})d_1b} \dots(1)$$

dimana :

- $\sigma_b$  = Tegangan bending
- $P$  = Diametral pitch
- $b$  = Face width
- $L$  = Jarak pitch ke apex (cone distance)
- $Y$  = Lewis factor
- $T$  = Torsi
- $d_1$  = Diameter pinion

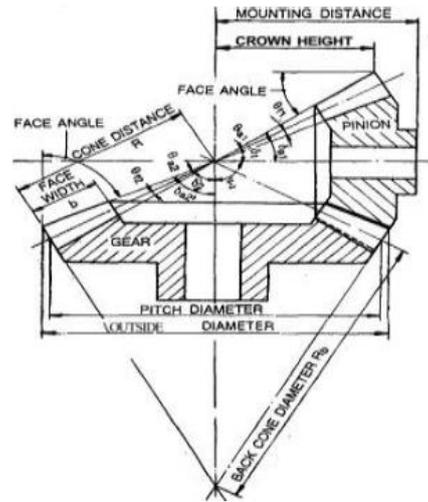
Untuk menghitung tegangan kontak yang terjadi digunakan persamaan Hertzian Contact Theory sebagai berikut :

$$\sigma_H = \sqrt{\frac{2.T.cos y.1,4}{dp^2.Q'.sin a.cos a.(\frac{1}{E_1} + \frac{1}{E_2})}} \dots(2)$$

- $T$  = Torsi
- $y$  = Pitch angle pinion
- $dp$  = Diameter pinion
- $a$  = Pressure angle
- $E$  = Modulus elastisitas

**C. Pemodelan**

Dalam proses pemodelan pada benda uji yang diteliti, dilakukan kedalam 2 tahap yaitu proses pemodelan 3D dan proses *assembly*



Gambar 1 Sketsa spiral bevel gear

**D. Simulasi**

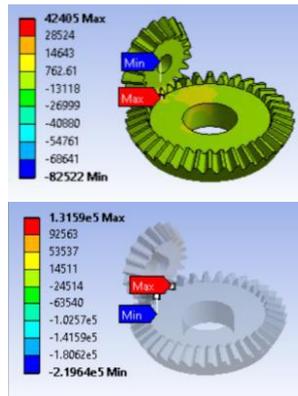
Simulasi yang dilakukan berupa simulasi statis dan simulasi dinamis untuk mendapatkan nilai tegangan bending dan juga tegangan kontak maksimum. Simulasi statis dilakukan untuk menguji kekuatan spiral bevel gear terhadap beban statis melalui bantuan software. Untuk melakukan simulasi ini, diperlukan model 3D dari spiral bevel gear hasil dari langkah pemodelan. Spiral bevel gear diberikan tumpuan pada bagian bore gear dan diberikan beban berupa momen pada pinion. Bagian gear seolah-olah diam dan menahan beban yang diberikan. Setelah itu, dilakukan proses meshing yang bertujuan untuk membagi area permukaan model menjadi beberapa bagian. Proses meshing ini menggunakan default mechanical mesh dan mapped face meshing pada bagian gear yang terjadi kontak agar hasil meshing lebih baik. Selanjutnya, diberikan input momen berupa torsi sebesar 2500 lbf.in. Setelah semua boundary condition ditentukan, solusi yang ingin didapatkan adalah tegangan kontak dan juga tegangan bending. Untuk mendapatkan tegangan kontak diberikan contact stress berupa pressure. Sedangkan untuk tegangan bending didapat dari tegangan normal terhadap sumbu yang searah dengan tinggi gigi gear. Proses selanjutnya adalah menjalankan software untuk mendapatkan nilai yang dicari. Simulasi dinamis dilakukan untuk mengetahui kekuatan spiral bevel gear terhadap beban dinamis. Langkah pada

simulasi ini sama seperti yang dilakukan pada simulasi statis. Perbedaan mendasarnya terletak pada adanya fungsi waktu pada simulasi dinamis, gear dapat berputar, serta adanya input kecepatan rotasi sebesar 1000 rpm.

Salah satu aplikasi spiral bevel gear adalah digunakan pada transmisi kendaraan khususnya roda 4. Sehingga pada penelitian ini nilai torsi dan putaran pada penelitian ini diambil dari aplikasi spiral bevel gear pada kendaraan diesel pada putaran rendah.

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

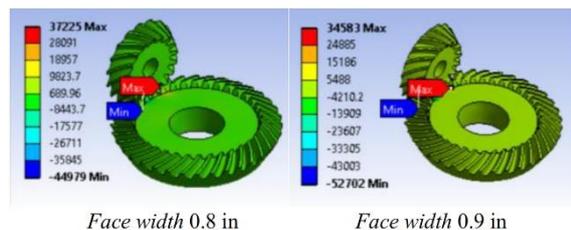
**A. Perbandingan simulasi bevel gear dengan perhitungan manual**



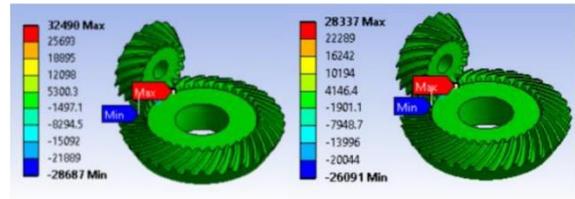
Tegangan bending Tegangan kontak  
Gambar 2 Simulasi bevel gear

Dari simulasi statis bevel gear yang telah dilakukan, diperoleh nilai 42,405 psi untuk tegangan bending dan 131,590 psi untuk tegangan kontak pada model bevel gear dengan variasi face width 0.8 inch. Sedangkan dari perhitungan teoritis, diperoleh nilai 43,542 psi untuk tegangan bending dan 140,617 psi untuk nilai tegangan kontak. Jika keduanya dibandingkan dan dipersentasikan, maka perbedaan nilai tegangan bending antara simulasi dan perhitungan teoritis sebesar 2.6 % sedangkan perbedaan nilai tegangan kontak antara simulasi dan perhitungan teoritis 6,42%. Jika dilihat dari nilai persentase perbedaannya, dapat dikatakan bahwa penentuan dimensi, Langkah-langkah desain serta proses simulasi yang dilakukan sudah valid.

**B. Simulasi statis tegangan bending spiral bevel gear**



Face width 0.8 in Face width 0.9 in

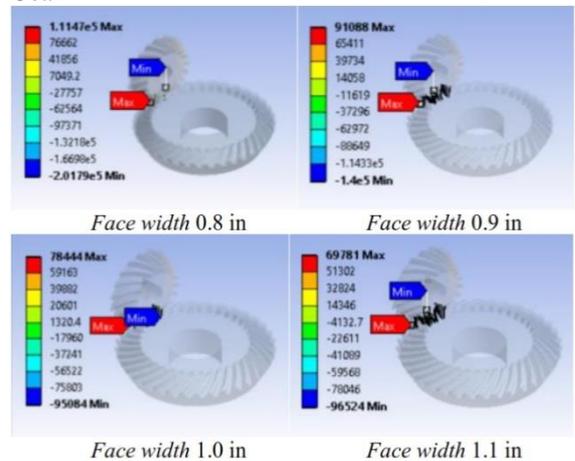


Face width 1.0 in Face width 1.1 in

Gambar 3. Simulasi statis tegangan bending spiral bevel gear

Gambar di atas merupakan hasil dari proses simulasi yang telah dilakukan, diperoleh nilai tegangan bending maksimum dari hasil pemodelan spiral bevel gear variasi face width 0.8 inch sebesar 37,225 psi, variasi 0.9 inch sebesar 34,583 psi, variasi 1.0 inch sebesar 32,490 psi, dan variasi 1.1 inch sebesar 28,337 psi.

**C. Simulasi Statis Tegangan Kontak Spiral Bevel Gear**

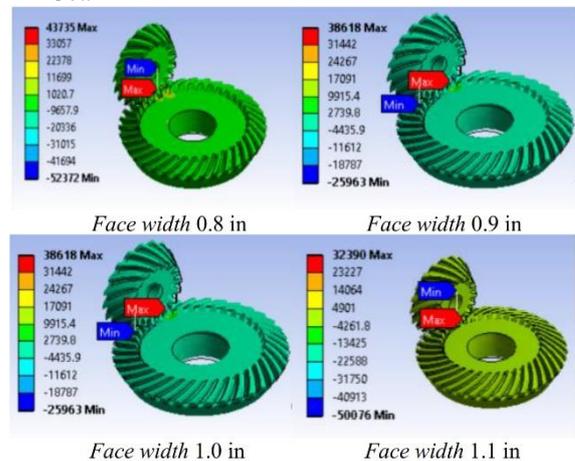


Face width 0.8 in Face width 0.9 in  
Face width 1.0 in Face width 1.1 in

Gambar 4. Simulasi Statis Tegangan Kontak Spiral Bevel Gear

Dari simulasi yang telah dilakukan, diperoleh nilai tegangan kontak maksimum dari hasil pemodelan spiral bevel gear dengan variasi face width 0.8 inch sebesar 111,470 psi, variasi 0.9 inch sebesar 91,088 psi, variasi 1.0 inch sebesar 78,444 psi, dan variasi 1.1 inch sebesar 69,781 psi.

**D. Simulasi Dinamis Tegangan Bending Spiral Bevel Gear**

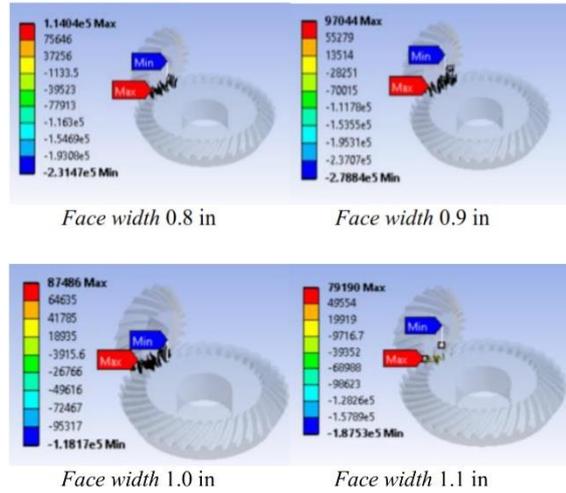


Face width 0.8 in Face width 0.9 in  
Face width 1.0 in Face width 1.1 in

Gambar 5. Simulasi Dinamis Tegangan Bending Spiral Bevel Gear

Dari simulasi dengan pembebanan dinamis yang telah dilakukan, diperoleh nilai tegangan bending maksimum dari hasil pemodelan bevel gear variasi face width 0.8 inch sebesar 43,735 psi, variasi 0.9 inch sebesar 38,618 psi, variasi 1.0 inch sebesar 36,582 psi, dan variasi 1.1 inch sebesar 32,390 psi.

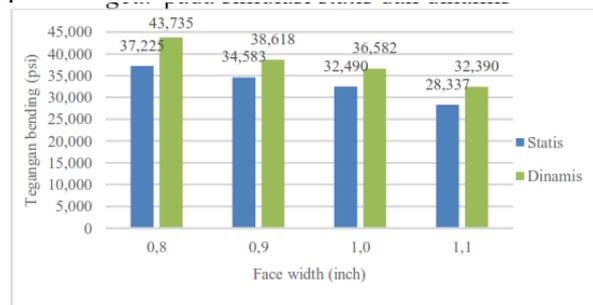
E. Simulasi Dinamis Tegangan Kontak Spiral Bevel Gear



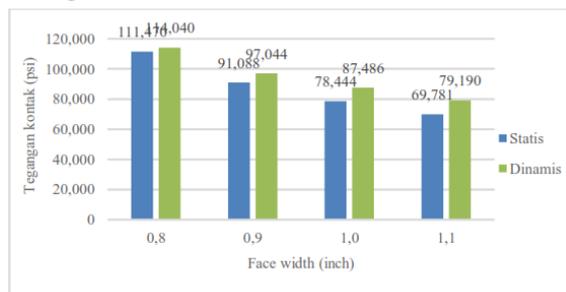
Gambar 6. Simulasi Dinamis Tegangan Kontak Spiral Bevel Gear

Dari simulasi dengan pembebanan dinamis yang telah dilakukan, diperoleh nilai tegangan bending maksimum dari hasil pemodelan spiral bevel gear variasi face width 0.8 inch sebesar 114,040 psi, variasi 0.9 inch sebesar 97,044 psi, variasi 1.0 inch sebesar 87,486 psi, dan variasi 1.1 inch sebesar 79,190 psi.

F. Perbandingan tegangan bending spiral bevel gear pada simulasi statis dan dinamis



Gambar 6. Perbandingan tegangan bending spiral bevel gear pada simulasi statis dan dinamis



Gambar 7. Perbandingan tegangan kontak spiral bevel gear pada simulasi statis dan dinamis

Dari grafik grafik diatas, dapat dilihat bahwa nilai tegangan bending dan nilai tegangan kontak hasil simulai mengalami tren penurunan seiring dengan bertambahnya nilai face width. nilai tegangan bending dan tegangan kontak hasil simulasi dinamis selalu lebih besar dibandingkan dengan nilai tegangan bending dan kontak hasil simulasi statis. Hal ini terjadi karena adanya beban kejut yang terjadi pada proses simulasi dinamis. Beban kejut dapat terjadi ketika beban berupa torsi sebesar 2500 lbf.inch dan kecepatan rotasi sebesar 1000 rpm pada pinion mendistribusikan torsi tersebut ke gear melalui kontak gigi. Setelah akhir kontak antara gigi pinion dengan gigi gear, gigi pinion akan kembali melakukan kontak dengan gigi gear selanjutnya. Adanya backlash dan juga jeda waktu antara akhir kontak menuju kontak selanjutnya inilah yang memungkinkan terjadinya beban kejut pada proses

simulasi dinamis. hal serupa tidak akan terjadi pada proses simulasi statis. Hal ini karena pada simulasi statis tidak diberikan kecepatan rotasi dan pada bagian gear tidak ada gerakan karena diberikan fixed support. Beban yang diberikan pada simulasi statis juga linier dari 0 sampai 2500 lbf.inch selama 1 detik, sehingga tidak terjadi beban kejut dan hasil simulasi statis akan lebih kecil dibanding hasil simulasi dinamis. Dari hasil simulasi yang telah dilakukan dibandingkan dengan tegangan bending yang diijinkan yang diperoleh dari persamaan AGMA (American Gear Manufacturers Association) sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 Sat &= \frac{Sat K_L}{K_T K_R} \text{ psi} \\
 &= \frac{55,000 \times 1.7}{1.0 \times 1.3} \text{ psi} \\
 &= 71,923 \text{ psi}
 \end{aligned}$$

Apabila nilai  $\sigma_b < Sat$ , maka hasil simulasi tegangan bending dapat dikatakan aman. Untuk hasil simulasi yang telah dilakukan dibandingkan dengan tegangan kontak yang diijinkan yang diperoleh dari persamaan AGMA (American Gear Manufacturers Association) di dapatkan nilai sebesar 235,385 psi

$$\begin{aligned}
 S_c &= \frac{S_{ac} C_L C_H}{C_T C_R} \text{ psi} \\
 &= \frac{180,000 \times 1.7 \times 1.0}{1.0 \times 1.3} \\
 &= 235,385 \text{ psi}
 \end{aligned}$$

Apabila nilai  $\sigma_H < S_c$ , maka hasil simulasi tegangan kontak dapat dikatakan aman. Selanjutnya, penelitian tentang analisis kekuatan spiral bevel gear akibat variasi face width menunjukkan variasi face width 1.1 adalah variasi paling baik. Hal ini dikarenakan variasi face width 1.1 menghasilkan nilai tegangan paling kecil dan nilainya masih memenuhi tegangan bending yang diijinkan dan juga tegangan kontak yang di ijjinkan berdasarkan rumusan yang direkomendasikan oleh AGMA (American Gear Manufacturers Association).

## KESIMPULAN

Dari penelitian tentang analisa kekuatan pada spiral bevel gear akibat variasi face width menggunakan metode elemen hingga, dapat ditarik kesimpulan nilai dari tegangan bending spiral bevel gear hasil simulasi statis dari nilai terbesar sampai terkecil secara berurutan adalah 37,225 psi pada face width 0.8 inch, 34,583 psi pada face width 0.9 inch, 32,490 pada variasi face width 1.0 inch, dan 28,337 pada variasi face width 1.1 inch. Nilai dari tegangan bending spiral bevel gear hasil simulasi dinamis dari nilai terbesar sampai terkecil secara berurutan adalah 43,735 psi pada face width 0.8 inch, 38,618 psi pada face width 0.9 inch, 36,582 pada variasi face width 1.0 inch, dan 32,390 pada variasi face width 1.1 inch. Nilai dari tegangan kontak spiral bevel gear hasil simulasi statis dari nilai terbesar sampai terkecil secara berurutan adalah 111,470 psi pada face width 0.8 inch, 91,088 psi pada face width 0.9 inch, 78,444 psi pada face width 1.0 inch, dan 69,781 psi pada face width 1.1 inch. Nilai dari tegangan kontak spiral bevel gear hasil simulasi dinamis dari nilai terbesar sampai terkecil secara berurutan adalah 114,040 psi pada face width 0.8 inch, 97,044 psi pada face width 0.9 inch, 87,486 psi pada face width 1.0 inch, dan 79,190 psi pada face width 1.0 . Dari penelitian yang dilakukan, variasi face width yang optimal adalah variasi face width 1.1 inch dikarenakan variasi tersebut menghasilkan nilai tegangan paling kecil sehingga semakin kecil pula kemungkinan untuk mengalami deformasi.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Abdullah, M. Q., & Abdulwahid, H. A. (2017, June). Stress Analysis of Spiral Bevel Gear Drives. *Journal of Engineering, Volume 23*(Issue6), 1 - 13.
- [2] Andika, D. R. (2016). Analisa Kekuatan Spiral Bevel Gear dengan Variasi Sudut Spiral Menggunakan Metode Elemen Hingga. *Jurnal Teknik ITS, Vol. 5*(No. 2), E109-E113.
- [3] Gupta, S., Chauhan, D. S., & Hussain, P. (2016, May). Stress Analysis of Bevel Gear Tooth using FEA. *International Journal of Engineering Technology Science and Research, Volume 3*(Issue 5), 116 - 121.
- [4] Jadeja, R. M., Chauhan, D. M., & Lakhani, J. D. (2013). Bending Stress Analysis of Bevel Gear. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology, Volume 2*(Issue 7), 3041-3046.
- [5] Kumar, M. K., & Kumar, P. A. (2017, August). Design dan Contact Stress Analysis of a Straight Bevel Gear. *International Journal & Magazine of Engineering, Technology, Management, and Research, Volume 4*(Issue 7), 465 - 474.
- [6] Longlong, G., Xiaozhong, D., Jing, D., Chuang, J., & Zhengyang, H. (2021, January 12). Calculation and Experiment of Spiral Bevel

- Gear by Duplex Helical Method Pre-designed Contact Path. *Journal of Advanced Mechanical Design, System, and Manufacturing, Volume 15*(No. 1), 1-17.
- [7] Narayankar, N. D., & Mangrulkar, K. S. (2017). Contact Stress and Bending Stress Analysis of Spur Gear by Analytical Method. *International Journal on Theoretical an Applied Research in Mechanical Engineering, Volume 6*(issue 1-2), 1-3.
- [8] Patil, A. V., Gambhire, V. R., & Patil, P. J. (2014, July). Analysis of Bending Strength of Bevel Gear by FEM. *International Journal of Innovative Research in Advanced Engineering, Volume 1*(Issue 6), 424 - 429.
- [9] Sutanto, H. (2017, Juni). Analisa Tegangan Roda Gigi Miring pada Transmisi Kendaraan Roda Empat Berdasarkan AGMA dan ANSYS. *Media Teknika Jurnal Teknologi, Vol. 12*(No. 1), 17 - 25.