
OPTIMASI ALUR PASAK DENGAN VARIASI FILLET DAN CHAMFER UNTUK MENINGKATKAN KEKUATAN POROS AISI 1045

Edy Suryono

Program Studi Teknik Mesin
Sekolah Tinggi Teknologi Warga Surakarta
Email: edysuryono@sttw.ac.id

Nikolaus Wignyo Darmaatmadja

Program Studi Teknik Mesin
Sekolah Tinggi Teknologi Warga Surakarta
Email: nikolaus.darmaatmadja95@gmail.com

Bambang Margono

Program Studi Teknik Mesin
Sekolah Tinggi Teknologi Warga Surakarta
Email: bambangmargono@sttw.ac.id

ABSTRAK

Alur pasak adalah tempat atau slot dimana pasak dipasangkan atau diletakkan sesuai dengan bentuk pasak. Pasak jenis *sunk key* merupakan salah satu pasak yang paling umum dipakai. Dalam rangka mengoptimalkan kekuatan penguncian pasak dengan tetap mempertahankan kekuatan poros yang optimal maka perlu dilakukan penelitian. Penelitian dengan memodifikasi desain alur pasak dengan profil radius maupun *chamfer*. Penelitian ini dilakukan dengan memvariasikan ukuran radius dan *chamfer* sebesar 0.05 mm – 2.00 mm dengan range 0.05 dan 0.25 pada alur pasak. Material poros yang diteliti adalah AISI 1045 *steel* dengan tegangan geser yang diijinkan sebesar 625 MPa. Metode yang digunakan adalah analisis statis pada poros dengan beban torsi. Parameter simulasi meliputi analisis statis, beban berupa torsi sebesar 702.084 N/m², ukuran mesh adalah standar fine dengan metode 4 *jacobian points*, ukuran elemen 4.697 mm dan toleransi 0.235 mm. Sedangkan *mesh control* pada bagian *fillet* dengan ukuran 1.174 mm.

Hasil penelitian berupa rekomendasi profil alur pasak dengan radius 0.25 mm, dimana memiliki tegangan yang optimal sebesar 604.104 MPa, *displacement* sebesar 0.366 dan regangan sebesar 0.001. Poros beralur pasak dengan profil radius memiliki kekuatan lebih tinggi sebesar 2.299% dibandingkan poros alur pasak berprofil *chamfer*.

Kata kunci: *alur pasak, radius, chamfer, analisis statis, mesh control.*

ABSTRACT

Keyways were placed or slots where pegs were attached or placed according to the shape of the pegs. The sunk key type peg is one of the most commonly used pegs. To optimize the locking strength of the keyways while maintaining optimal shaft strength, research is necessary. Research by modifying keyway design with radius and chamfer profiles. This research was conducted by varying the radius and chamfer sizes between 0.05 mm - 2.00 mm with a range of 0.05 and 0.25 in the keyway. The shaft material studied was AISI 1045 steel with an allowable shear stress of 625 MPa. The method used is a static analysis of the shaft with a torque load. The simulation parameters include static analysis, the load is a torque of 702.084 N / m², the mesh size is the fine standard with the 4 jacobian points method, the element size is 4.697 mm, and tolerance of 0.235 mm. While the control mesh is on the fillet with a size of 1.174 mm.

The results of the research were recommended for keyway profiles with a radius of 0.25 mm, which has an optimal stress of 604.104 MPa, a displacement of 0.366 and a strain of 0.001. The

pin grooved shaft with a radius profile has a higher strength of 2.299% compared to the chamfer profiled keyway shaft.

Keywords: *keyway, radius, chamfer, analysis static, mesh control.*

1. PENDAHULUAN

Keamanan sebuah komponen kendaraan merupakan salah satu syarat standar produk. Keamanan komponen kendaraan didasarkan pada kekuatan minimum dari komponen tersebut melalui serangkaian uji [1][2]. Salah satu analisis kekuatan komponen adalah analisis static linier, dengan cara menentukan tegangan pada komponen yang diuji akibat beban static maupun beban dinamik. Metode yang paling banyak digunakan untuk menganalisis kekuatan adalah metode elemen hingga [3][4][5][6]. Aplikasi analisis static linier pada poros propeller diperlukan dari segi syarat kekuatan, metode yang dilakukan adalah metode elemen hingga dengan menentukan dimensi poros, kondisi batas, beban, elemen hingga, dan analisis pada poros AISI 304 [7].

Pasak merupakan bagian mesin yang digunakan untuk mengunci bagian-bagian mesin seperti roda gigi, sprocket, puli, kopling, dll, pada poros. Momen diteruskan dari poros ke naf atau dari naf ke poros [8]. Prinsip kerja pasak adalah sebagai pengunci yang dipasang di antara poros dan *hub* sebuah roda *pulley* atau roda gigi, sehingga kedua tersebut tersambung dengan kuat dan mampu meneruskan momen putar/torsi. Pemasangan pasak ini akan dibenamkan pada alur di poros sebagai dudukan pasak dengan posisi memanjang searah sumbu poros [9].

Suryono [10] telah menganalisis turbin *crossflow* menggunakan *software* CFD Fluent. Analisis dilakukan terhadap desain 2D dengan mendefinisikan dinding luar dan dalam, *inlet*, *outlet*, dan sudut. Penelitian dilakukan dengan menganalisis tegangan yang terjadi pada alur pasak menggunakan *software* Solidworks dengan mendefinisikan dinding, profil *chamfer* dan radius, dan lantai alur pasak.

Mulyanto dan Sapto [11] melakukan penelitian dengan menggunakan faktor keamanan dan Teori *Von Mises*. Kekuatan sesungguhnya dari suatu rangkaian mesin harus melebihi kekuatan yang dibutuhkan. Misar [12] melakukan perencanaan dan simulasi terhadap poros roda tractor tangan yang dilakukan menggunakan *software Autodesk Inventor* dan *software Ansys Workbench 18.1*. Penelitian ini menyimpulkan bahwa ukuran poros yang direncanakan cukup aman. Tegangan *bending* poros yang terjadi pada perhitungan sebesar 56.25 N/mm² dan nilai saat disimulasikan menjadi 61.291 N/mm². Tentu nilai ini masih berada dibawah dari nilai tegangan izin sebesar 83 N/mm². Dapat dikatakan jika perencanaan poros ini cukup aman.

Wijaya [13] melakukan penelitian tentang gesekan pada *disc brake* dengan material komposit *hybrid* menggunakan *software Solidworks*. Penelitian yang dilakukan menggunakan metode *finite element* yang merupakan metode numerik untuk memecahkan masalah teknik dan fisika matematika. Desain yang ditekankan dan dianalisis pada penelitian kali ini untuk menemukan hasil yang spesifik. Parameter yang digunakan adalah beban, material *disc brake*, material tembaga pada kampas rem, dan kecepatan. Hasil dari penelitian ini adalah tegangan, regangan, dan deformasi. Hasil dari penelitian ini menyimpulkan bahwa semakin besar beban yang diberikan, semakin besar juga tingkat gesekan yang dihasilkan.

Saputra dan Zulkarnain [14] melakukan penelitian tentang nilai ergonomis sebuah rangka sepeda, karena bentuk rangka harus memenuhi aspek keamanan dan tidak mengurangi nilai kekuatan rangka. Penelitian ini menggunakan *Solidworks* untuk mensimulasikan tegangan pada rangka sepeda.

Umurani dan Amri [15] menguji suspensi pada sepeda motor menggunakan *software Solidworks* 2012. Metode yang digunakan adalah analisis statis dengan hasil yang dicari adalah nilai dari *stress*, *displacement*, dan *strain*. Dari penelitian tersebut disimpulkan bahwa pegas dengan tegangan maksimal tinggi yang terbaik untuk menjadi *shock absorber*.

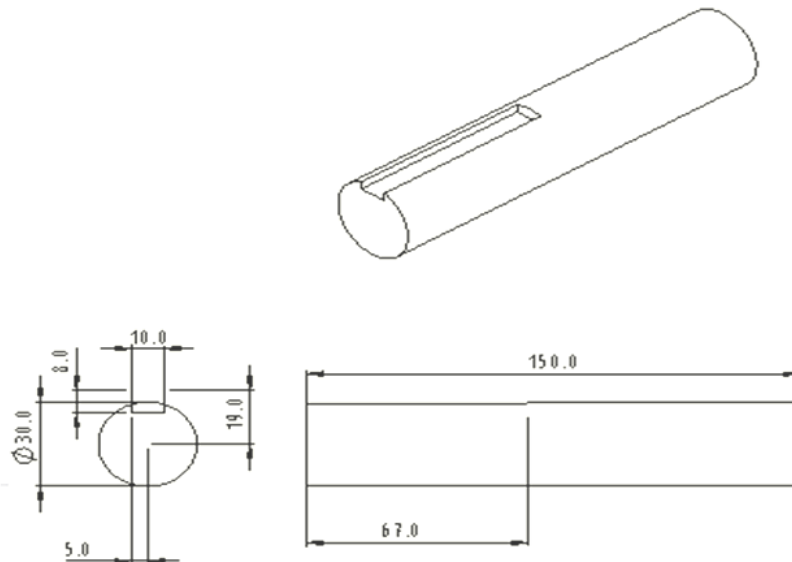
Uhlmann dan Schauer [16] meneliti tentang optimasi terhadap *micro end mill* dimana hasil dari penelitian tersebut didapatkan nilai *strain* yang lebih tahan lama pada *micro end mill* yang sudah dioptimasi terhadap *micro end mill* yang konvensional. Di dalam penelitian ini juga dilakukan pembebanan dinamis untuk mencari hasil *strain*.

Pedersen [17] meneliti tegangan alur pasak dengan merubah beberapa desain berupa variasi radius yang berbeda. Tujuan dari penelitian ini ada dua, pertama adalah menganalisa alur pasak dengan standar yang sudah ada tanpa merubah desain tersebut dan yang kedua adalah meningkatkan atau mengoptimalkan kekuatan poros dengan merubah desain dari alur pasak untuk menurunkan konsentrasi tegangan rata-rata 35% pada poros.

Penelitian ini berbasis metode elemen hingga menggunakan *Solidwork Simulation*. Optimasi bentuk alur pasak dilakukan dengan variasi sudut alur pasak berupa radius dan chamfer. Penelitian diharapkan mendapatkan rekomendasi variasi bentuk sudut pasak dengan nilai tegangan yang optimal, nilai *displacement* dan regangan yang rendah.

2. METODOLOGI PENELITIAN

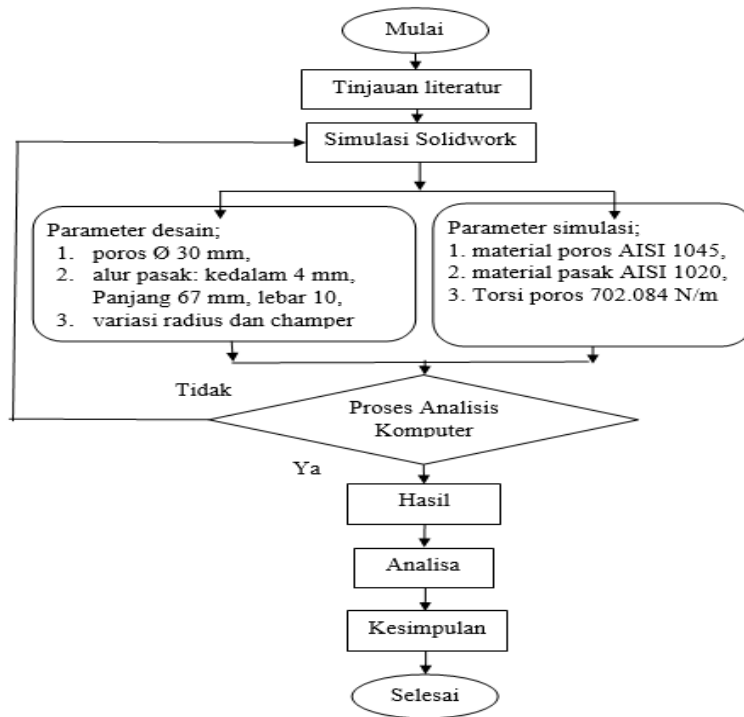
Penelitian ini menggunakan simulasi berbasis komputasi menggunakan software *Solidwork Simulation*. Desain yang dianalisis berupa poros dengan alur pasak *sunk key* seperti terlihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Dimensi alur pasak.

Gambar 1. menunjukkan dimensi poros dengan alur pasak yang diteliti, panjang poros 150 mm, berdiameter 30 mm. Sedangkan dimensi alur pasak yaitu panjang 67 mm, lebar 10 mm, dan kedalaman pasak 4 mm. Material poros AISI 1045 dengan tegangan geser yang diijinkan sebesar 625 MPa, sedangkan material pasak yaitu AISI 1020 dengan tegangan luluh yang diiinkan sebesar 350 MPa.

Langkah penelitian mengikuti gambar 2, dengan terlebih dahulu melakukan studi literatur, desain poros dengan alur pasak, parameter simulasi untuk analisis statis, komputasi dan hasil. Variabel penelitian adalah profil radius dan chamfer pada alur pasak dengan besaran 0.05 mm – 2 mm dengan nilai range sebesar 0.05 dan 0.25. Parameter simulasi meliputi analisis statis, beban berupa torsi sebesar 702.084 N/m², ukuran mesh adalah standar fine dengan metode 4 *jacobian points*, ukuran elemen 4.697 mm dan toleransi 0.235 mm. Sedangkan *mesh control* pada bagian *fillet* dengan ukuran 1.174 mm.



Gambar 2. Flowchart tahapan penelitian.

3. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Hasil simulasi yang dilakukan pada variasi alur pasak *chamfer* dan radius, didapatkan beberapa nilai tegangan maksimal, tegangan minimal, tegangan rata-rata dan *displacement*. Tabel 1. Menunjukkan hasil simulasi berupa tegangan pada setiap sisi alur pasak.

Tabel 1. Hasil Penelitian Simulasi Alur Pasak Berupa Tegangan Pada Radius

Variasi	Tegangan (MPa)								
	Dinding			Radius			Lantai		
	Avg	Max	Min	Avg	Max	Min	Avg	Max	Min
-	147.372	293.991	33.574	246.381	283.991	217.523	297.371	378.683	214.132
0.05	146.771	476.78	17.243	357.338	404.942	260.6	339.215	692.554	219.485
0.10	144.662	457.73	16.485	351.93	394.33	264.369	342.773	615.302	216.786
0.15	145.804	501.548	17.357	342.623	399.316	233.294	342.368	553.602	216.204
0.20	131.559	534.626	17.3	337.093	378.921	225.282	341.444	537.411	217.916
0.25	148.32	491.082	17.955	449.203	604.104	237.844	344.961	557.346	213.98
0.5	130.316	485.756	18.976	380.7	483.682	189.427	340.115	465.919	216.279

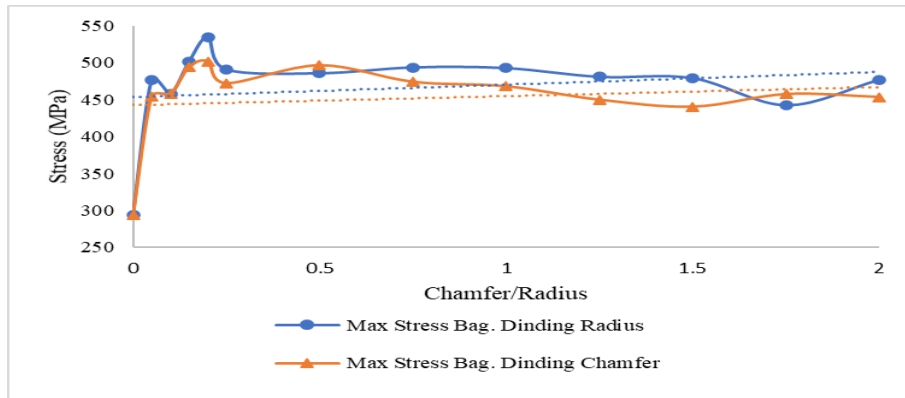
0.75	118.103	493.762	19.535	349.23	459.063	142.306	339.342	459.063	216.745
1	105.954	492.785	17.426	322.455	463.981	112.928	341.755	463.981	220.748
1.25	91.486	480.907	15.741	313.942	442.934	120.446	340.932	442.572	218.383
1.5	93.85	479.108	19.976	298.152	440.086	87.754	341.389	449.086	220.058
1.75	79.875	442.455	11.32	285.986	433.381	87.084	342.337	434.721	218.868
2	73.003	477.16	15.564	279.072	434.262	84.9	342.429	429.01	221.715

Tabel 1. menunjukkan hasil penelitian dari simulasi alur pasak berupa tegangan pada bagian dinding, profil, dan lantai. Nilai maksimal tegangan pada profil radius terjadi pada bagian lantai radius 0.05 mm dengan nilai tegangan sebesar 692.554 MPa, sedangkan nilai minimal tegangan pada profil radius terjadi pada bagian dinding radius 1.75 mm dengan nilai tegangan sebesar 11.32 MPa.

Tabel 2. Hasil Penelitian Simulasi Alur Pasak Berupa Tegangan Pada *Chamfer*

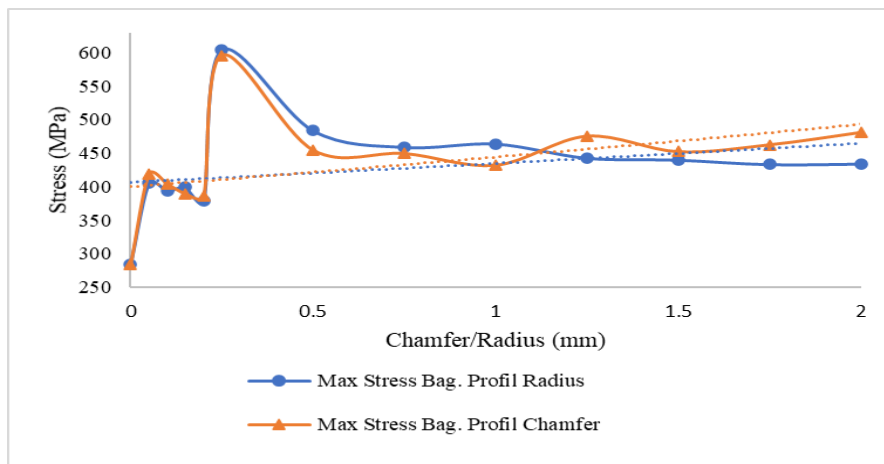
Variasi	Tegangan (MPa)								
	Dinding			Chamfer			Lantai		
	Avg	Max	Min	Avg	Max	Min	Avg	Max	Min
-	147.372	293.991	33.574	246.381	283.991	217.523	297.371	378.683	214.132
0.05	146.139	454.455	17.503	356.583	418.643	262.432	339.407	688.453	217.777
0.10	145	457.289	17.811	353.359	404.281	269.783	342.233	631.536	219.464
0.15	142.738	493.938	17.056	344.443	389.822	259.142	341.406	502.099	218.127
0.20	141.825	501.876	18.837	336.151	386.098	240.909	340.185	502.749	217.573
0.25	140.5	472.381	12.371	431.644	596.041	233.926	351.578	596.041	213.718
0.5	132.617	496.656	21.122	358.275	454.603	195.926	342.818	461.06	217.106
0.75	120.057	474.178	17.32	328.749	449.732	168.038	344.175	485.179	215.91
1	109.601	468.05	16.996	304.615	432.196	142.982	347.52	451.629	219.88
1.25	100.787	449.858	11.243	293.857	475.448	119.279	351.769	475.448	218.827
1.5	104.336	440.441	15.271	277.103	452.307	106.219	352.996	454.281	227.191
1.75	95.554	457.555	8.083	268.877	462.616	96.639	360.209	480.813	212.918
2	87.421	453.563	8.804	259.922	481.019	92.168	363.602	481.019	220.804

Tabel 2. menunjukkan hasil penelitian simulasi alur pasak berupa tegangan pada variasi *chamfer*. Nilai maksimal tegangan pada profil *chamfer* terjadi pada bagian lantai *chamfer* 0.05 mm dengan nilai tegangan sebesar 688.453 MPa, sedangkan nilai minimal tegangan pada profil *chamfer* terjadi pada bagian lantai *chamfer* 1.75 mm dengan nilai tegangan sebesar 8.083 MPa.



Gambar 3. Grafik tegangan maksimal pada dinding alur pasak dengan profil *chamfer* dan radius

Gambar 3. menunjukkan grafik tegangan maksimal pada dinding alur pasak dengan profil *chamfer* dan radius terlihat selisih nilai yang sangat signifikan dari profil alur pasak dengan nilai 0.75 mm – 1.5 mm, untuk sisanya tidak terlihat perbedaan yang signifikan. Perbedaan terbesar terjadi pada nilai profil 1.5 mm. Nilai tegangan pada variasi alur pasak radius 1.5 mm sebesar 470.108 MPa, sedangkan pada variasi alur pasak *chamfer* 1.5 mm sebesar 440.441 MPa. Hal ini menunjukkan untuk variasi radius lebih kuat daripada variasi *chamfer*. Untuk tegangan minimal pada dinding alur pasak tidak ada perubahan yang signifikan dan grafik cenderung lurus.



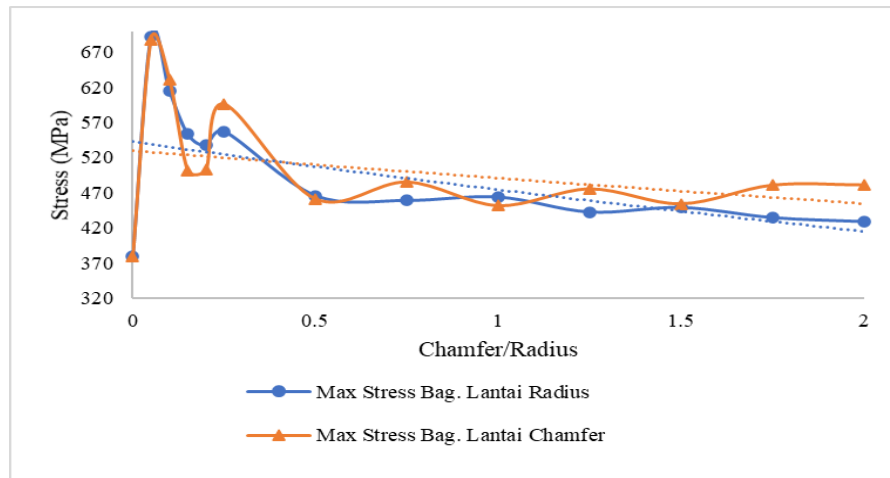
Gambar 4. menunjukkan hasil tegangan maksimal pada profil alur pasak *chamfer* dan radius.

Nilai maksimal dari variasi profil *chamfer* dan radius hampir sama. Untuk hasil tegangan maksimal variasi profil radius alur pasak terletak pada nilai variasi 0.25 mm, dengan kekuatan tegangan sebesar 604.104 MPa. Sedangkan untuk *chamfer* hasil tegangan maksimal terletak pada nilai variasi 0.25 mm, dengan kekuatan tegangan sebesar 596.041 MPa. Untuk seterusnya nilai maksimal tegangan cenderung lurus tidak ada perubahan signifikan. Untuk besar tegangan minimal pada variasi profil alur pasak, semakin besar nilai variasinya, tegangan minimalnya semakin menurun.

Perbandingan di atas dapat disimpulkan bahwa pada variasi radius memiliki rata-rata tegangan maksimal lebih rendah dari pada *chamfer*. Tegangan maksimal rata-rata profil radius adalah 444.917 MPa, sedangkan rata-rata tegangan maksimal profil *chamfer* adalah 450.234 MPa, dengan tegangan maksimal rata-rata radius lebih kecil 1.181%. Ini berarti kekuatan poros dengan variasi radius lebih baik daripada

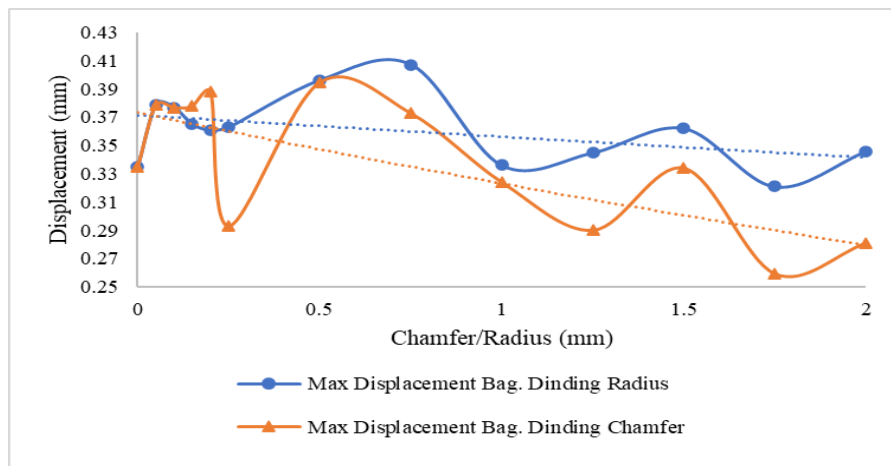
variasi *chamfer*. Hasil tersebut sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Pedersen [17]. Beberapa faktor yang mempengaruhi redesain alur pasak dapat meningkatkan kekuatan poros. Untuk *trendline* antara variasi profil alur pasak *chamfer* dan radius, cenderung stagnan dengan perubahan yang tidak signifikan.

Safety factor dari kedua variasi sama-sama aman karena memiliki nilai *safety factor* sebesar 2.228 untuk variasi radius dan 2.266 untuk variasi *chamfer*. Hasil *safety factor* sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Mulyanto dan Sapto [11] dimana *safety factor* pada penelitian tersebut sebesar 1.5.



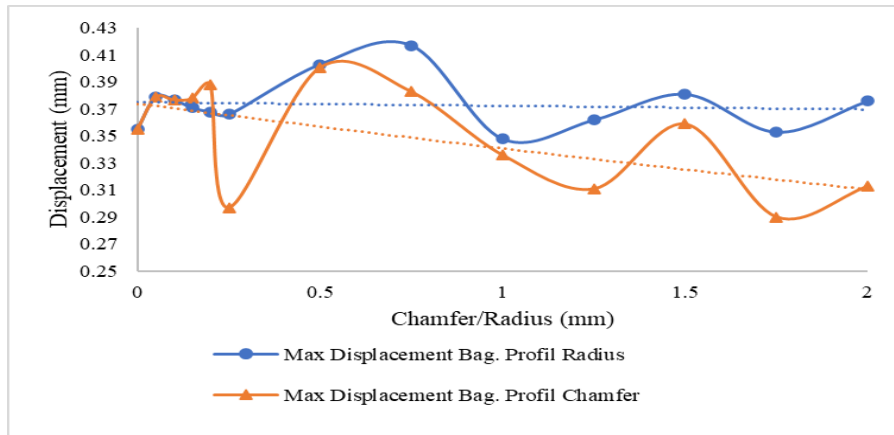
Gambar 5. Grafik Tegangan Maksimal Bagian Lantai Alur Pasak dengan Profil *Chamfer* dan Radius

Gambar 5. menunjukkan grafik tegangan maksimal pada lantai profil alur pasak *chamfer* dan radius. Nilai maksimal pada lantai radius terletak pada radius 0.05 mm dengan nilai tegangan sebesar 692.554 MPa, sedangkan nilai tegangan maksimal dari lantai *chamfer* terletak pada *chamfer* 0.05 dengan nilai stress sebesar 688.453 MPa.



Gambar 6. Grafik *Displacement* Maksimal Bagian Dinding *Chamfer* dan Radius

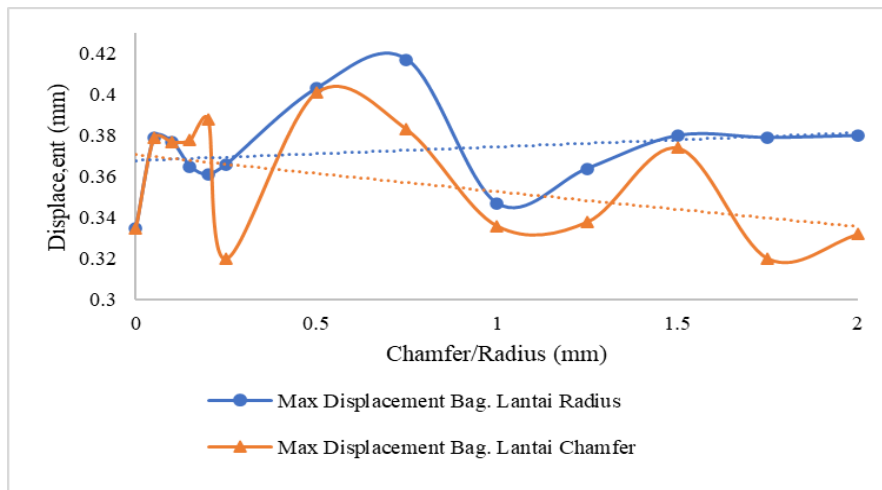
Gambar 6. menunjukkan hasil penelitian berupa grafil *displacement* maksimal dan minimal bagian dinding *chamfer* dan radius. Nilai maksimal *displacement* pada dinding radius terletak pada radius 0.75 mm dengan nilai *displacement* sebesar 0.407 mm, sedangkan nilai maksimal *displacement* pada dinding *chamfer* terletak pada *chamfer* 0.5 mm dengan nilai *displacement* sebesar 0.395 mm.



Gambar 7. Grafik *displacement* maksimal bagian profil *chamfer* dan radius.

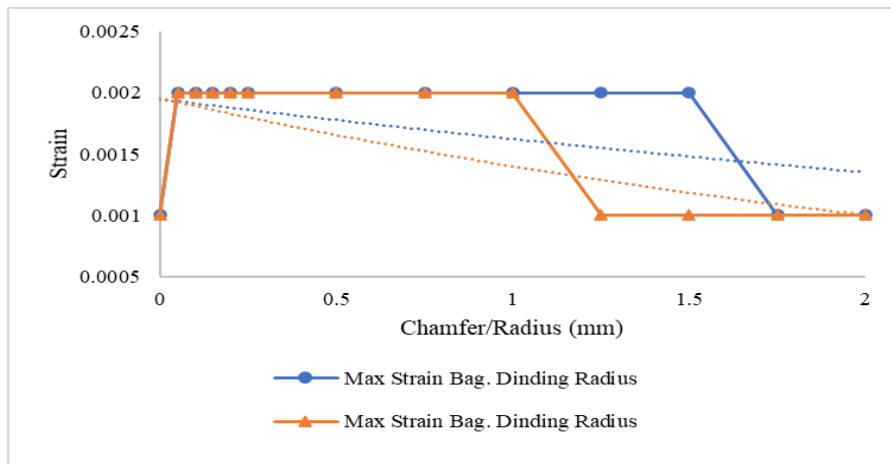
Gambar 7. menunjukkan grafik maksimal dan minimal *displacement* bagian profil *chamfer* dan radius. Nilai maksimal *displacement* pada profil radius terletak pada radius 0.75 mm dengan nilai *displacement* sebesar 0.417 mm, sedangkan nilai maksimal *displacement* pada profil *chamfer* terletak pada *chamfer* 0.5 mm dengan nilai *displacement* sebesar 0.401 mm.

Dari Gambar 7 dapat diketahui bahwa nilai rata-rata maksimal *displacement* pada variasi radius lebih tinggi daripada variasi *chamfer* dengan nilai rata-rata variasi radius sebesar 0.374 mm dan untuk variasi *chamfer* nilainya sebesar 0.351 mm. Variasi *chamfer* memiliki nilai *displacement* lebih kecil 5.951% daripada variasi radius. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Pedersen [17] dimana terjadi perbedaan *displacement* antara variasi radius dan variasi *chamfer* sebesar 9%.



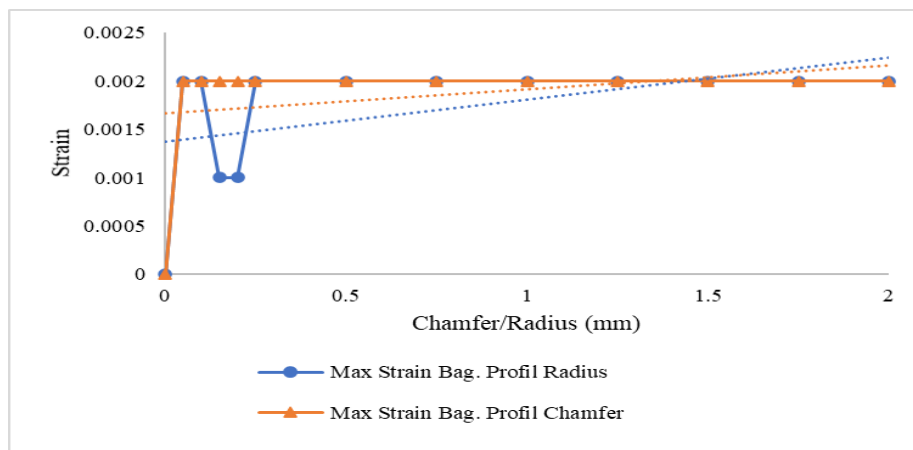
Gambar 8. Grafik maksimal *displacement* bagian lantai *chamfer* dan radius

Gambar 8. menunjukkan grafik maksimal dan minimal *displacement* pada lantai alur pasak dengan profil *chamfer* dan radius. Nilai maksimal *displacement* pada lantai radius terletak pada radius 0.75 mm dengan nilai *displacement* sebesar 0.417 mm, sedangkan nilai maksimal *displacement* pada lantai *chamfer* terletak pada *chamfer* 0.5 dengan nilai *displacement* sebesar 0.401 mm.



Gambar 9. Grafik maksimal *strain* bagian dinding *chamfer* dan radius

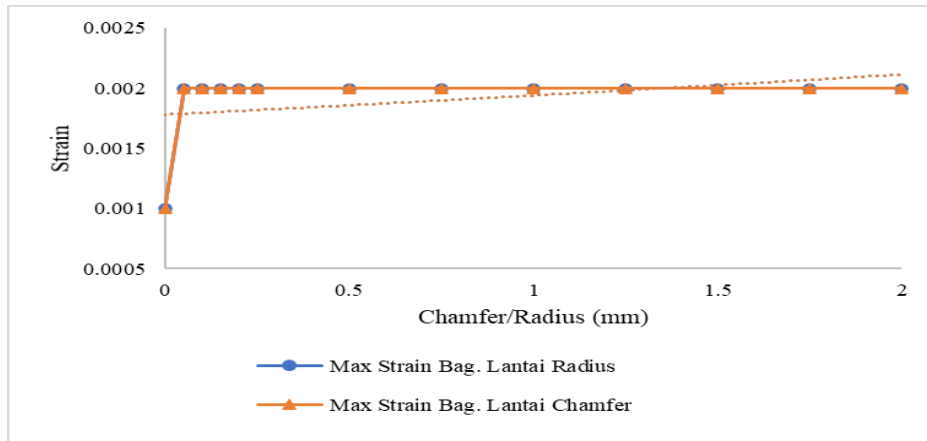
Gambar 9. menunjukkan grafik maksimal dan minimal *strain* bagian dinding *chamfer* dan radius. Nilai maksimal *strain* pada dinding radius terletak pada radius 0.5 – 1.25 mm dengan nilai *strain* sebesar 0.002; sedangkan nilai maksimal *strain* pada dinding *chamfer* terletak pada *chamfer* 0.05 – 1 mm dengan nilai *strain* sebesar 0.002. Pada profil radius 1.25 dan 1.5 mm mempunyai nilai yang lebih besar 50% daripada profil *chamfer* 1.25 dan 1.5 mm.



Gambar 10. Grafik maksimal *strain* pada bagian profil *chamfer* dan radius

Gambar 10. menunjukkan grafik maksimal dan minimal *Strain* pada bagian profil *chamfer* dan radius. Nilai maksimal *strain* pada variasi radius terjadi pada radius 0.05, 0.10, dan 0.25 – 2 mm dengan nilai *strain* sebesar 0.002, sedangkan nilai maksimal *strain* pada variasi *chamfer* terjadi pada *chamfer* 0.05 – 2 mm dengan nilai *strain* sebesar 0.002.

Data regangan pada profil radius memiliki nilai lebih kecil 8.333% dibandingkan dengan rata-rata nilai maksimal regangan pada profil *chamfer*. Perbedaan 50% terletak pada radius 0.15 dan 0.20 dengan *chamfer* 0.15 dan 0.20 mm dimana pada profil radius 0.15 dan 0.02 mm mempunyai nilai *strain* sebesar 0.002, sedangkan pada profil *chamfer* 0.15 dan 0.02 mm mempunyai nilai *strain* sebesar 0.001. Hasil tersebut sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Uhlmann dan Schauer [16] yang meneliti tentang optimasi *micro end mill* dimana terjadi peningkatan ketahanan sebesar 30% dari *micro end mill* konvensional.



Gambar 11. Grafik maksimal *strain* bagian lantai *chamfer* dan radius

Gambar 11. menunjukkan grafik maksimal dan minimal *strain* bagian lantai *chamfer* dan radius. Nilai maksimal *strain* pada lantai radius terjadi pada radius 0.05 – 2 mm dengan nilai *strain* sebesar 0.002, sedangkan nilai maksimal *strain* bagian lantai *chamfer* terjadi pada *chamfer* 0.05 – 2 mm dengan nilai *strain* sebesar 0.002. Dapat disimpulkan untuk nilai *strain* bagian lantai sama-sama memiliki regangan yang kecil.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan data yang telah dianalisa, maka dapat disimpulkan bahwa kekuatan poros paling tinggi pada variasi radius adalah poros alur pasak berprofil radius 0.25 mm dengan nilai kekuatan sebesar 604.104 MPa atau meningkat sebesar 112.179%. Nilai kekuatan poros paling tinggi pada variasi profil *chamfer* adalah pada poros alur pasak berprofil *chamfer* 0.25 mm dengan nilai kekuatan sebesar 596.041 MPa atau meningkat sebesar 109.880% dari desain alur pasak standar.

Nilai kekuatan poros beralur pasak dengan profil radius lebih tinggi karena pembebanan yang lebih merata dan lebih rapat daripada poros beralur pasak dengan profil *chamfer*. Poros beralur pasak dengan profil radius memiliki kekuatan lebih tinggi sebesar 2.299% dibandingkan poros alur pasak berprofil *chamfer*.

UCAPAN TERIMA KASIH

Kami ucapkan terim kasih dengan selesainya penelitian ini:

1. Program Studi Teknik Mesin, Sekolah Tinggi Teknologi Warga Surakarta.
2. Laboratorium CAD dan CAM
3. Seluruh civitas akademik yang secara langsung ataupun tidak langsung membantu terselesaikannya penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Sasmito, “Disain Kekuatan Sambungan Hoop Pillar Dan Floor Bearer Pada Struktur Rangka Bus Menggunakan Solidworks,” *Simetris J. Tek. Mesin, Elektro dan Ilmu Komput.*, vol. 9, no. 1, pp. 657–670, 2018, doi: 10.24176/simet.v9i1.2023.
- [2] F. E. F. Anis dan Sulardjaka, “Analisis Kekuatan Tabung Gas Lpg Dengan Bahan Baja Sg295 Dan Komposit Menggunakan Metode Elemen Hingga,” *J. Tek. Mesin*, vol. 4, no. 1, pp. 99–104, 2016.
- [3] L. A. N. Wibawa, “Desain Dan Analisis Kekuatan Rangka Meja Kerja (Workbench) Balai Lapan Garut Menggunakan Metode Elemen Hingga,” *J. Tek. Mesin*, vol. 3, no. 1, pp. 13–17, 2019.
- [4] S. Khoeron, I. Syafa’at, dan Darmanto, “Analisis Tegangan, Defleksi, Dan Faktor Keamanan Pada Pemodelan Footstep Holder Sepeda Motor ‘Y’ Berbasis Simulasi Elemen Hingga,”

-
- Rotasi*, vol. 18, no. 4, p. 124, 2016.
- [5] A. Nugroho, H. Yudo, dan W. Amiruddin, "Analisis Kekuatan Sistem Konstruksi Kemudi Pada Kapal Skipi Kelas Orca Dengan Metode Elemen Hingga," *J. Tek. Perkapalan*, vol. 5, no. 4, pp. 652–661, 2017.
- [6] A. Kusmiran dan M. Said L, "Analisis Pengaruh Gaya Terhadap Fatigue Life Baja Struktural Pada Pegas Daun Menggunakan Analisis Elemen Hingga," *JFT J. Fis. dan Ter.*, vol. 6, no. 2, p. 103, 2019, doi: 10.24252/jft.v6i2.11547.
- [7] T. Yulianto dan R. C. Ariesta, "Analisis Kekuatan Shaft Propeller Kapal Rescue 40 Meter dengan Metode Elemen Hingga," *Kapal J. Ilmu Pengetah. dan Teknol. Kelaut.*, vol. 16, no. 3, pp. 100–105, 2019, doi: 10.14710/kapal.v16i3.23572.
- [8] Sularso dan K. Suga, "Dasar Perencanaan dan Pemilihan Elemen Mesin," p. 5, 2004.
- [9] R. S. Khurmi and J. K. Gupta, *A Textbook of Machine Design*, no. I. 2005.
- [10] E. Suryono dan A. E. B. Nusantara, "Simulasi Turbin Crossflow Dengan Jumlah Sudu 18 Sebagai Pembangkit Listrik Picohydro," *Simetris J. Tek. Mesin, Elektro dan Ilmu Komput.*, vol. 8, no. 2, p. 547, 2017, doi: 10.24176/simet.v8i2.1412.
- [11] T. Mulyanto dan A. D. Sapto, "Analisis Tegangan Von Mises Poros Mesin Pemotong Umbi-Umbian Dengan Software Solidworks," *J. PRESISI*, vol. 18, no. 2, pp. 24–29, 2017.
- [12] S. Misar, Sudarsono, "Misar, Sudarsono, Samhuddin," *ENTHALPY-Jurnal Ilm. Mhs. Tek. Mesin*, vol. 3, no. 4, pp. 1–8, 2018.
- [13] L. B. Wijaya, D. Rahmalina, dan E. A. Pane, "Analisis Gesekan Dengan Simulasi Statis Pada Disc Brake Material Komposit Hybrid," *Semin. Nas. Teknol. 2018*, pp. 146–152, 2018.
- [14] H. Saputra dan R. A. Zulkarnain, "Simulasi Tegangan dan Perubahan Bentuk Pada Rangka Sepeda Air Hamors Menggunakan Software Solidwork 2013 Mechanical Engineering study Program," *J. Integr.*, vol. 7, no. 2, pp. 91–96, 2015.
- [15] K. Umurani dan T. Amri, "Desain Dan Simulasi Suspensi Sepeda Motor Dengan Solidwork 2012," *J. Rekayasa Mater. Manufaktur dan Energi*, vol. 1, no. 1, pp. 47–56, 2018, doi: 10.30596/rmme.v1i1.2435.
- [16] E. Uhlmann and K. Schauer, "Dynamic load and strain analysis for the optimization of micro end mills," *CIRP Ann. - Manuf. Technol.*, vol. 54, no. 1, pp. 75–78, 2005, doi: 10.1016/S0007-8506(07)60053-5.
- [17] N. L. Pedersen, "Stress concentrations in keyways and optimization of keyway design," *J. Strain Anal. Eng. Des.*, vol. 45, no. 8, pp. 593–604, 2010, doi: 10.1243/03093247JSA632.