

Studi numerik kekuatan material transmisi roda gigi pico hydro

Akhmad Nuridin¹, Dwi Aries Himawanto²

^{1,2}Jurusan Teknik Mesin – Universitas Sebelas Maret
Jl. Ir. Sutami No.36 A Surakarta
Email korespondensi: akhmadnuridin.89@student.uns.ac.id

Abstrak :

Generator bekerja dengan optimal saat sistem penggerak mengirimkan daya turbin dengan arah putaran dan kecepatan yang sesuai. Tegangan bending dan tegangan kontak pada roda gigi serta tegangan geser pada poros perlu diperhatikan dalam merancang transmisi roda gigi karena sering menyebabkan terjadi kegagalan. Dibandingkan dengan analisa teoritik, menganalisa tegangan pada desain transmisi roda gigi dengan simulasi numerik akan memberikan keterangan lebih akurat dengan hasil tidak jauh berbeda. Tujuan penelitian ini menganalisa tegangan bending dan tegangan kontak pada roda gigi serta tegangan geser pada poros bertingkat menggunakan metode simulasi numerik menggunakan perangkat lunak Ansys Workbench 14.5. Desain transmisi menggunakan dua pasang roda gigi dengan tiga poros yang menerima beban 1200 Nmm pada poros pertama, 706 Nmm poros kedua, dan 456 Nmm poros ketiga. Hasil dari penelitian ini menunjukkan tegangan bending terbesar terjadi pada akar gigi, tegangan kontak terbesar terjadi pada pitch line, sedangkan tegangan geser pada poros bertingkat terjadi pada diameter terkecil. Berdasarkan nilai keamanan, desain transmisi roda gigi yang dianalisa layak digunakan.

Kata Kunci : roda gigi lurus, tegangan bending, tegangan kontak

Abstract:

The generator works optimally when the drive system sends turbine power with the appropriate rotation direction and speed. Bending stresses and contact stresses on the gears and shear stresses on the shaft need to be considered in designing gear transmissions because they often cause failures. Compared with theoretical analysis, analyzing stresses in the design of gear transmissions with numerical simulations will provide more accurate control with results not much different. The purpose of this study is to investigate the bending stress and contact stress on the gears and shear stress on the multilevel shaft using numerical simulation methods using Ansys Workbench 14.5 software. The transmission design uses two pairs of gears with three shafts that accept 1200 Nmm loads on the first shaft, 706 Nmm second shaft, and 456 Nmm third shaft. The results of this study show that the greatest bending stress occurs at the root of the tooth, the largest contact voltage occurs in the pitch line, while the shear stress on the multilevel shaft occurs at the smallest diameter. Based on the value of safety, the design of the analyzed gear transmission is feasible.

Keywords : spur gear, bending stress, contact stress

1. Pendahuluan

Pico hydro merupakan pembangkit listrik tenaga air dengan daya maksimal yang dapat dihasilkan 5 Kw. Secara garis besar, sebagai pembangkit listrik *pico hydro* terdiri dari dua komponen pokok, yaitu turbin dan generator [1, 2]. Tegangan dan frekuensi akan dihasilkan generator dengan stabil apabila *drive system* dari turbin ke generator dengan arah dan kecepatan putaran yang sesuai. Untuk memenuhi kebutuhan kecepatan putar generator tersebut diperlukan sistem transmisi [3]. Transmisi dalam ilmu teknik mesin adalah sistem yang digunakan untuk mengubah kecepatan putar dan torsi. Putaran poros *input* akan mengubah putaran *output* lebih rendah atau yang lebih tinggi. Apabila kecepatan putar yang lebih tinggi maka torsi yang akan dihasilkan akan menurun, sebaliknya apabila kecepatan putar yang lebih rendah maka torsi yang akan dihasilkan akan naik [4].

Jenis dan model transmisi yang sering digunakan sebagai *system drive* antara lain, *timing belt*, *sprocket*, dan *gearbox*. Sedangkan dari beberapa tipe *gearbox*, yang mudah diaplikasikan roda gigi lurus [5]. Keunggulan roda gigi lurus terletak pada proses pembuatan dan biaya yang relatif lebih murah dan lebih mudah dibandingkan jenis roda gigi yang lain. Selain itu, *roda gigi lurus* cocok digunakan pada transmisi yang memiliki gaya keliling yang lebih besar, karena tidak menimbulkan gaya aksial [6]. Teknologi *polymer* yang telah berkembang sebagian mampu menggantikan teknologi logam, salah satunya dalam perancangan transmisi roda gigi beserta porosnya yang digunakan pada *low power system*. Keuntungan menggunakan material dari *polymer* antara lain benda lebih ringan, lebih senyap atau *low noise*, tidak korosi, dan proses pembuatannya yang lebih mudah serta lebih murah [7]. Terdapat beberapa

material *polymer* yang memiliki sifat keras dan cocok digunakan sebagai material roda gigi, antara lain *nylon 6* atau *polyamide 6* karena memiliki kekuatan dan nilai efisiensi yang baik [8].

Menganalisa beban dalam merancang roda gigi lurus sangat diperlukan, karena tegangan bending pada akar roda gigi saat terjadi benturan menyebabkan kegagalan yang berakibat patahnya gigi. Secara teoritis tegangan bending dapat dianalisis menggunakan Persamaan Lewis dengan mengasumsikan gigi sebagai balok kantilever. Karena perancangan roda gigi lurus memiliki geometri yang rumit, menggunakan metode numerik akan memberikan analisa yang lebih akurat dibandingkan dengan metode teoritis [9]. Selain kegagalan gigi yang disebabkan tegangan bending, tegangan kontak juga perlu diperhatikan dalam merancang roda gigi lurus. secara teoritis dapat dianalisa menggunakan persamaan hertz dengan mengasumsikan dua buah permukaan radius silinder yang saling kontak [10]. Nilai *safety factor* atau nilai keamanan perlu diperhitungkan dalam merancang elemen mesin juga diperlukan untuk menahan beban dinamis. Pada perancangan roda gigi *service factor* diperlukan untuk menahan beban dinamis, dengan pembebanan yang diterima *heavy shock* dan beroperasi sehari penuh nilai *service factor* yang digunakan 2 [11].

Beberapa penelitian sebelumnya menyatakan dalam menganalisis tegangan bending [12-17] dan tegangan kontak [10, 18] pada roda gigi lurus menggunakan metode numerik menunjukkan hasil nilai tegangan maksimal yang tidak jauh berbeda dengan perhitungan secara teoritis. Hasil simulasi menggunakan metode numerik menunjukkan hasil distribusi tegangan maksimal terjadi pada akar gigi hal ini disebabkan pada akar terjadi pembebanan momen bending dan bentuk *fillet* pada akar gigi mengakibatkan konsentrasi di daerah tersebut semakin tinggi [9, 17-19]. Sedangkan tegangan kontak tertinggi terjadi pada *pitch line* atau *involute* hampir sepanjang lebar gigi hal ini disebabkan di daerah tersebut terjadi konsentrasi benturan paling tinggi pada area kontak [10, 18]. Selain itu, pada hasil simulasi kekuatan poros, didapat tegangan terbesar pada poros terjadi pada diameter poros yang paling kecil, hal ini disebabkan pada diameter terkecil memiliki nilai *inertia polar (J)* terkecil sedangkan nilai tegangan geser berbanding terbalik dengan nilai *inertia polar (J)* [20].

Analisa tegangan bending dan tegangan kontak pada roda gigi dengan material *polymer* pernah dilakukan beberapa penelitian sebelumnya menggunakan metode simulasi numerik dan metode eksperimental. Bahan *polymer* tersebut meliputi *acetal* [21,22], *PEEK*, komposit serat *gelas-epoxy* [23]. Berdasarkan beberapa penelitian hasil simulasi numerik roda gigi dengan material *polymer*, konsentrasi tegangan bending dan tegangan kontak tertinggi tidak menunjukkan perbedaan dengan material dari logam dan komposit serat *gelas-epoxy* [23], yaitu tegangan

bending pada akar gigi dan tegangan kontak pada bagian *involute* [21,23]. Hasil analisa simulasi numerik menunjukkan tidak adanya perbedaan dengan analisa eksperimental, pada pengujian eksperimental menunjukkan potensi kegagalan karena tegangan bending terjadi pada akar gigi, dan keausan terjadi pada bagian yang mengamali kontak antar gigi atau bagian *involute* atau *pitch line* [22].

Salah satu yang harus diperhatikan dalam merancang roda gigi adalah kekuatan material. Dalam perkembangannya, transmisi *low power* mulai bergeser dari material logam kearah *polymer*. Penelitian sebelumnya menunjukkan penggunaan material *polymer* yang bersifat keras pada roda gigi menunjukkan kelayakan yang baik terhadap beban bending dan beban kontak. Obyek dari penelitian ini terletak pada analisa distribusi tegangan bending dan tegangan kontak pada transmisi roda gigi dengan material *polymer nylon 6*, serta analisa tegangan geser yang terjadi pada poros menggunakan material *polyamide 6*, sehingga diketahui kelayakan roda gigi dan poros yang dirancang sebagai sistem transmisi melalui nilai keamanannya. Secara langsung penelitian ini berkontribusi pada metode analisa kekuatan material roda gigi dan poros yang lebih akurat dan lebih detail dibandingkan analisa teoritis. Selain itu dapat diketahui titik paling kritis atau kemungkinan terjadi kegagalan kerja pada design.

2. Metode

Desain transmisi pada penelitian ini terdiri dari dua pasang roda gigi lurus dengan tiga buah poros bertingkat masing-masing ditunjukkan Tabel 1 dan Tabel 2. Material yang digunakan pada roda gigi *nylon 6*,

Tabel 1. Spesifikasi roda gigi

Nama Bagian	Pasangan	
	Pertama	Kedua
Lebar gigi	17 mm	17 mm
Module	2.5	2.25
Jumlah Gigi <i>Driving</i>	25	22
Jumlah Gigi <i>Driven</i>	14	14
Diameter Roda Gigi <i>Driving</i>	35 mm	31,5 mm
Diameter Roda Gigi <i>Driven</i>	62,5 mm	49,5 mm
Addendum	2,5 mm	2,25 mm
Dedendum	3,125 mm	2,8125 mm

sedangkan pada poros menggunakan *polyamide 6*. Masing-masing roda gigi dan poros mengalami pembebanan torsi, yaitu :

- a. Pada poros input beban yang diterima 1200 Nmm menggerakkan roda gigi *driving* pada roda gigi pasangan pertama.

- b. Pada poros tengah beban yang diterima 706 Nmm menggerakkan roda gigi driving pada roda gigi pasangan kedua.
- c. Pada poros output beban yang diterima 465 Nmm

Tabel 2. Ukuran Poros Bertangga

Poros	Diameter kecil	Diameter besar
Input	16 mm	19 mm
Tengah	13 mm	15 mm
Ouput	11 mm	14 mm

Analisa numerik yang digunakan pada penelitian ini menggunakan perangkat lunak metode elemen hingga tiga dimensi *ansys workbench 14,5* dengan beberapa pengaturan *meshing* dan penentuan kondisi batasnya.

Pengaturan Meshing

Pengaturan *meshing* digunakan untuk membagi bagian struktur atau komponen menjadi beberapa *node* dan *element*. Pengaturan *meshing* yang digunakan pada roda gigi dan poros sebagai berikut:

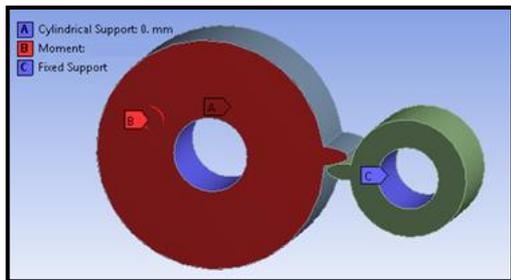
- *Relevance = Medium*
- *Element Size = Default*
- *Smoothing = Medium*
- *Span Angle Center = Coarse*

Pada konsentrasi tegangan kontak *roda gigi lurus* juga terdapat *meshing*, pengaturan yang digunakan yaitu dengan *tools contact sizing*, dengan *type bonded symmetric* dan *elemen size 0,4 mm*.

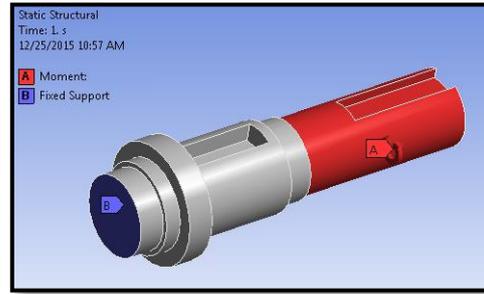
Kondisi Batas

Penentuan kondisi batas pada roda gigi seperti yang ditunjukkan Gambar 1 bagian roda gigi *driving* tumpuan yang digunakan *cylindrical support* dengan pengaturan sumbu *axial* dan *radial fixed*, sumbu *tangensial free*. Pada roda gigi *driven* tumpuan yang digunakan *fixed*. Beban yang digunakan adalah beban torsi.

Sedangkan pada poros seperti yang ditunjukkan Gambar 2 digunakan *fixed* pada ujung poros. Beban yang digunakan poros adalah beban torsi.



Gambar 1. Kondisi batas pada roda gigi



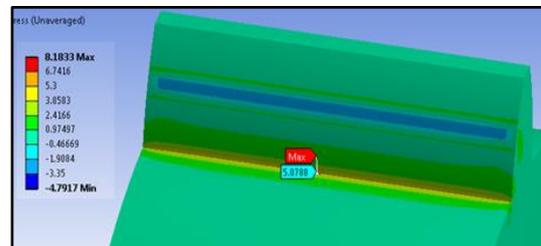
Gambar 2. Kondisi batas pada poros

3. Hasil dan Pembahasan

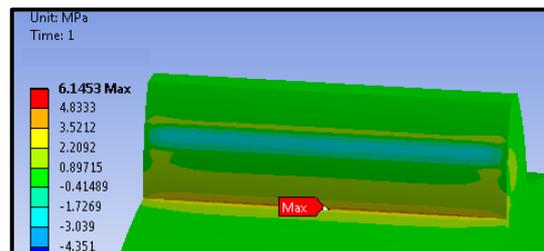
Distribusi Tegangan pada Roda Gigi

Hasil tegangan yang diperoleh dari simulasi *ansys* pada roda gigi adalah titik kritis dengan nilai tegangan bending dan tegangan kontak maksimal yang terjadi dengan ditunjukkan kontur warna merah.

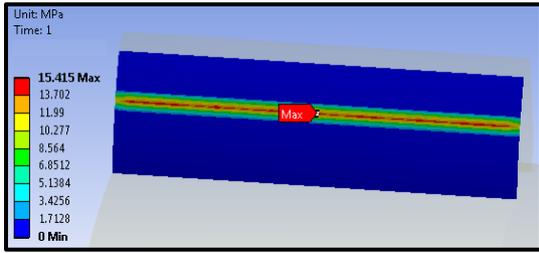
Pada pasangan roda gigi pertama beban yang diterima adalah 1200 Nmm. Tegangan bending maksimal yang terjadi pada roda gigi *driving* sebesar 8,1833 MPa terjadi akar gigi yang ditunjukkan Gambar 4, sedangkan pada roda gigi *driven* sebesar 6,1453 MPa terjadi pada akar gigi yang ditunjukkan Gambar 5. Tegangan kontak maksimal pada pasangan roda gigi pertama terjadi pada roda gigi *driving* sebesar 15,415 MPa terjadi disekitar *pitch line contact* hampir sepanjang lebar gigi ditunjukkan Gambar 6.



Gambar 3. Distribusi tegangan roda gigi *driving* pada pasangan roda gigi pertama

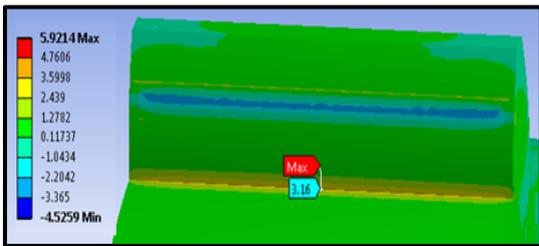


Gambar 4. Distribusi tegangan roda gigi *driven* pada pasangan roda gigi pertama

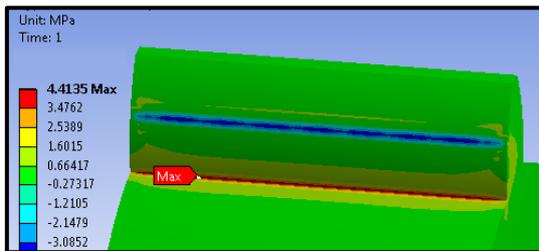


Gambar 5. Distribusi tegangan kontak pada pada pasangan roda gigi pertama

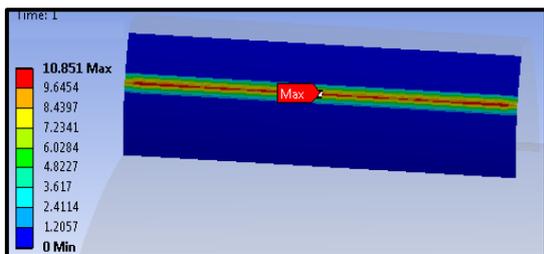
Pada pasangan roda gigi kedua beban yang diterima adalah 706 Nmm. Tegangan bending maksimal yang terjadi pada roda gigi *driving* sebesar 5,9214 MPa yang terjadi pada akar gigi ditunjukkan Gambar 7, sedangkan pada roda gigi *driven* sebesar 4,4135 MPa yang terjadi pada akar roda gigi ditunjukkan Gambar 8. Tegangan kontak maksimal pada pasangan roda gigi kedua terjadi pada roda gigi *driving* sebesar 10,8510 MPa disekitar pitch line contact hampir sepanjang lebar roda gigi ditunjukkan Gambar 9.



Gambar 6. Distribusi tegangan roda gigi *driving* pada pasangan roda gigi kedua



Gambar 7. Distribusi tegangan roda gigi *driven* pada pasangan roda gigi kedua



Gambar 8. Distribusi tegangan kontak pada pada pasangan roda gigi kedua

Gambar 4, 5, 7, 9 menunjukkan tegangan pada roda gigi *driving* maupun *driven* yang terjadi pada bagian akar gigi, hal ini sesuai dengan penelitian dengan metode simulasi numerik yang dilakukan oleh Marciniac dkk., (2009) tegangan bending tertinggi roda gigi terjadi pada akar gigi yang disebabkan terjadi pembebanan momen bending maksimum, serta bentuk *fillet* atau melengkung menyebabkan konsentrasi di daerah tersebut menjadi tinggi [18]. Rajeshkumar dkk., (2019) pada penelitiannya menggunakan simulasi numerik menyatakan tegangan bending terbesar pada roda gigi dengan material logam, *polymer*, dan komposit serat gelas-*epoxy* menunjukkan hasil yang sama, yaitu pada akar gigi [23].

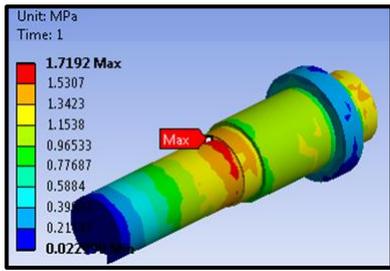
Sedangkan Gambar 6 dan 9 menunjukkan tegangan kontak maksimal terjadi pada bagian *pitch line* hampir sepanjang lebar gigi, hal ini sesuai dengan penelitian dengan metode simulasi numerik yang dilakukan oleh Langlois dkk., (2017) tegangan kontak tertinggi roda gigi dengan material *polymer* dalam keadaan statis daerah terjadi pada *involute* atau *pitch line* merupakan daerah dengan konsentrasi benturan paling tinggi pada area kontak gigi [21].

Distribusi Tegangan pada Poros

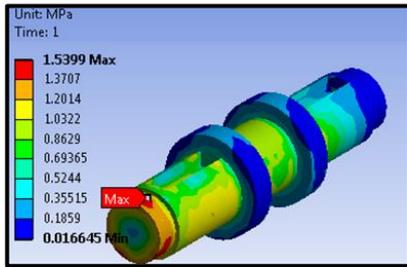
Hasil tegangan yang diperoleh dari simulasi *ansys* pada poros adalah titik kritis dengan nilai tegangan geser maksimal yang terjadi dan ditunjukkan dengan kontur warna merah.

Pada poros *input* beban yang diterima adalah 1200 Nmm memiliki tegangan maksimal yang terjadi sebesar 1,7192 MPa yang ditunjukkan Gambar 10. Pada poros tengah beban yang diterima adalah 706 Nmm memiliki tegangan maksimal yang terjadi sebesar 1,5399 MPa yang ditunjukkan Gambar 11. Pada poros *output* beban yang diterima adalah 465 Nmm memiliki tegangan maksimal yang terjadi sebesar 1,7688 MPa yang ditunjukkan Gambar 12.

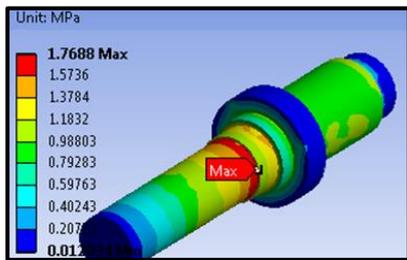
Berdasarkan Gambar 10, 11, dan 12, masing-masing dapat dilihat tegangan terbesar yang terjadi pada poros *input*, tengah maupun *output* terjadi pada bagian poros yang berdiameter paling kecil. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan secara simulasi numerik oleh Cojocar dkk., (2014) tegangan geser terbesar pada poros bertingkat terjadi pada poros dengan diameter terkecil, hal ini disebabkan pada diameter terkecil memiliki nilai *inertia polar* (J) terkecil, sedangkan nilai tegangan geser yang terjadi berbanding terbalik dengan nilai *inertia polar* (J) [20].



Gambar 9. Distribusi tegangan poros *input*



Gambar 10. Distribusi tegangan poros tengah

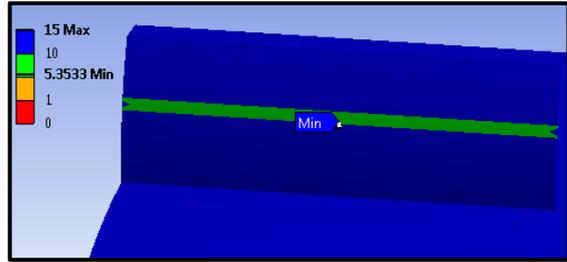


Gambar 11. Distribusi tegangan poros *output*

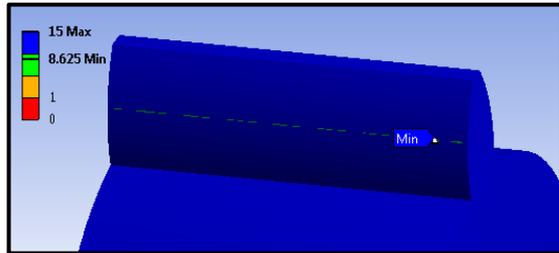
Nilai Keamanan

Pada roda gigi secara berturutan pasangan pertama dan kedua memiliki nilai keamanan minimal nilai 5,3533 dan 8,6250 yang ditunjukkan pada Gambar 13 dan Gambar 14 Sedangkan pada poros secara berturutan poros input, tengah, dan output memiliki nilai keamanan 4,0717, 4,5457, dan 3,9574 yang ditunjukkan Gambar 15, 16, 17.

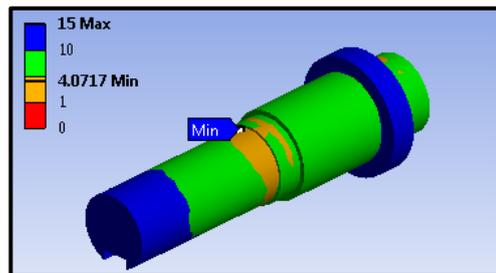
Berdasarkan nilai keamanan pada roda gigi dan poros dengan masing-masing pembebanan torsi yang diterima, pada poros *output* memiliki nilai keamanan terendah yaitu 3,9574. Komponen atau *part* dengan nilai keamanan paling rendah merupakan titik yang paling lemah dari suatu struktur dan memiliki peluang terbesar terjadi kegagalan kerja [24]. Berdasarkan hal tersebut poros *output* yang merupakan titik paling kritis dari struktur sehingga peluang terbesar kemungkinan terjadi kegagalan kerja pada sistem transmisi ini.



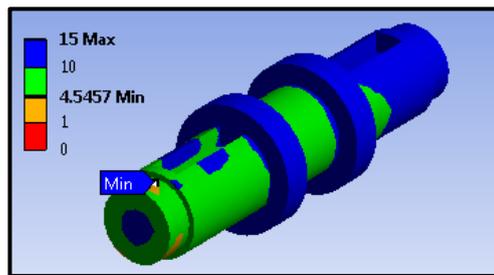
Gambar 12. Nilai keamanan roda gigi pasangan pertama



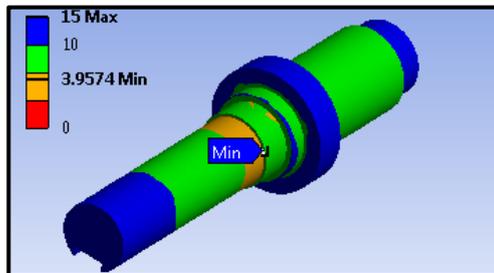
Gambar 13. Nilai keamanan roda gigi pasangan kedua



Gambar 14. Nilai keamanan poros *input*



Gambar 15. Nilai keamanan poros tengah



Gambar 16. Nilai keamanan poros *output*

4. Kesimpulan

Dari simululasi studi numerik yang telah dilakukan secara detail didapat tegangan bending dan tegangan kontak roda gigi masing-masing terbesar terletak pada akar gigi dan *pitch line*. Sedangkan pada poros tegangan geser terbesar terletak pada diameter terkecil. Titik paling kritis pada roda gigi terletak pada *pitch line* yang disebabkan tegangan kotak antar gigi, sedangkan pada poros terletak pada diameter poros *output* yang paling kecil. Berdasarkan analisa yang telah dilakukan dengan nilai keamanan komponen terkecil 3,9574 diatas syarat nilai minimal *service factor*, desain transmisi layak digunakan.

Daftar Pustaka

- [1] A. Z. S, "Redesign runner turbin pembangkit listrik tenaga pico hydro dengan metode reverse engineering melalui pendekatan teoritis," vol. 12, no. 2, pp. 61–65, 2016.
- [2] H. P. Dewanto, D. A. Himawanto, and D. Danardono, "Pembuatan dan pengujian turbin propeller dalam pengembangan teknologi pembangkit listrik tenaga air piko hidro (PLTA-PH) dengan variasi debit aliran," vol. 12, no. 2, pp. 54–62, 2017.
- [3] S. Davis and S. Graham, *Micro Hydro-power Systems: A Buyer's Guide*. Her Majesty the Queen in Right of Canada. 2004.
- [4] A. Bhatia, "Basic Fundamentals of Gear Drives," no. 877.
- [5] Herbert S. Cheng. *Introuction of Gears*. 2001.
- [6] Yefri Chan, ST.MT. *Teori Dasar Roda Gigi dan Sambungan Pasak (Keys)*. Universitas Darma Persada.
- [7] A. D. Dighe, A. K. Mishra, and V. D. Wakchaure, "Investigation of Wear Resistance and Torque Transmission Capacity of Glass Filled Polyamide and PEEK Composite Spur Gears," no. 3, pp. 299–303, 2014.
- [8] S. Kirupasankar, C. Gurunathan, and R. Gnanamoorthy, "Transmission efficiency of polyamide nanocomposite spur gears," *Mater. Des.*, vol. 39, pp. 338–343, 2012.
- [9] S. H. Din, "Failure Analysis and Investigation of bending stress on a gear tooth at design stage by finite element modelling Investigation of Bending Stress on a Spur Gear Tooth at Design Stage by Finite Element Modelling," no. June, 2018.
- [10] P. S. Rao, "Contact Stress and Shear Stress Analysis of Spur Gear Using ANSYS and Theoretical," vol. 2, no. 2, pp. 9–14, 2016.
- [11] Sularso, K. Suga. 1997. *Dasar Perencanaan dan Pemilihan Elemen Mesin*. Cetakan kesembilan, Pradnya Paramita, Jakarta
- [12] S. P. Shinde, A. A. Nikam, and T. S. Mulla, "Static Analysis of Spur Gear Using Finite Element Analysis," pp. 26–31.
- [13] R. K. Rathore, "Bending Stress Analysis & Optimization of Spur Gear," vol. 3, no. 5, pp. 2044–2049, 2014.
- [14] A. Patil, "Bending Stress Analysis of Spur Gear," vol. 5, no. Vi, pp. 422–426, 2017.
- [15] S. Prabhakaran, D. S. Balaji, and R. P. Kumar, "Bending Stress Analysis Of A Spur Gear For Material Steel 15ni2cr1mo28," vol. 12, no. 19, pp. 5636–5641, 2017.
- [16] S. Damtie and D. Tilahun, "Contact Stress Analysis Of Involute Spur Gear By Finite Element Method (FEM) Shiferaw Damtie and Daniel Tilahun Materials Gear Specifications Table 2: Spur Gear Specification Modeling," pp. 33–40.
- [17] I. Atanasovska, "3d Spur Gear Fem Model For The Numerical Calculation Of Face Load Factor," vol. 6, no. 045, pp. 131–143, 2007.
- [18] A. Marciniac and A. Pawlowicz, "The Bending And Contact Stress Analysis Of Spur Gears," vol. 16, no. 3, 2009.
- [19] M. Z. Rizal and A. S. Pramono, "Studi Kekuatan Spur Gear dengan Profil Gigi Asymmetric Involute dan Symmetric Involute," vol. 1, no. 2, pp. 1–6, 2014.
- [20] V. Cojocar and A. O. Cantaragiu, "Finite Element Analysis Of Stresses Distributions On The Shafts And," vol. 45, pp. 5–8.
- [21] Langlois, Paul. 2017. "Tooth Contact Analysis — Off Line of Action Contact and Polymer Gears," no. October: 84–91.
- [22] Yousef, Samy, T A Osman, M Khattab, Ahmed A Bahr, and Ahmed M Youssef. 2015. "A New Design of the Universal Test Rig to Measure the Wear Characterizations of Polymer Acetal Gears (Spur , Helical , Bevel , and Worm)" 2015.
- [23] S Rajeshkumar and R Manoharan. 2017. "Design and Analysis of Composite Spur Gears Using Finite Element Method Design and Analysis of Composite Spur Gears Using Finite Element Method." <https://doi.org/10.1088/1757-899X/263/6/062048>.
- [24] Anggi Kurniawan. Skripsi: *Analisa Kekuatan Struktur Crane Hook dengan Perangkat Lunak Elemen Hingga untuk Pembebanan 20 Ton*. 2014. Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Bengkulu.