p-ISSN: 2301-6663, e-ISSN: 2477-250X
URL: http://ojs.ummetro.ac.id/index.php/turbo

ANALISIS DESAIN *IMPROVEMENT ROLLER ASSEMBLY* PADA MESIN *BUNDLING* MENGGUNAKAN *FINITE ELEMENT METHOD*

Nugroho Andri Kurniawan[1], Braam Delfian Prihadianto[2*], Lilik Dwi Setyana[3], Handoko[4]

[1,2,3,4]Program Studi Teknologi Rekasaya Mesin, Sekolah Vokasi, Universitas Gadjah Mada, Bulaksumur Caturtunggal, Depok, Sleman, Yogyakarta, Indonesia
**Corresponding author* : braam.delfian@ugm.ac.id

Abstract

The roller assembly is a critical component in a bundling machine that functions to grip and guide materials during the packaging process. Based on operational data, the failure frequency reached 248 units for the nip roll and 124 units for the shaft, exceeding the monthly replacement standards of 160 units and 80 units, respectively. This condition indicates uneven load distribution, which reduces system reliability and increases maintenance costs. This study aims to analyze the stress, strain, deformation, and contact pressure distributions of the existing roller assembly design and evaluate the effect of geometric optimization on the safety factor and fatigue life of the components. The analysis was conducted using the Finite Element Method with ANSYS Mechanical software. The materials used were Polyurethane 80A for the nip roll, ASTM A36 steel for the bracket, and AISI 1045 steel for the shaft. Design improvements were implemented by increasing the nip roll diameter by 20%, enlarging the contact width between the nip roll and the motor roller by 87.5%, increasing the bracket thickness by 50%, and adding a 0.5 mm fillet radius to the bracket. The simulation results showed that the improved design reduced the equivalent stress by 31.2%, equivalent elastic strain by 25.3%, and total deformation by 0.98%. In addition, the fatigue life increased by approximately 431 times, while the safety factor improved by 79,5% compared to the existing design. These results demonstrate that geometric optimization is effective in enhancing the structural performance and reliability of the roller assembly.
Keywords: *roller assembly, Finite Element Method, design optimization, polyurethane, fatigue life*

Abstrak

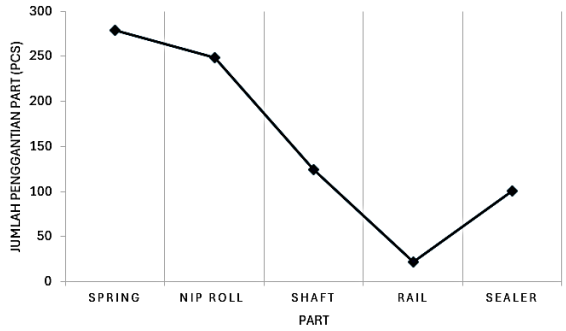
Roller assembly merupakan komponen penting pada mesin *bundling* yang berfungsi menjepit dan mengarahkan material selama proses pengemasan. Berdasarkan data operasional, frekuensi kerusakan komponen mencapai 248 pcs pada *nip roll* dan 124 pcs pada *shaft*, melebihi standar penggantian bulanan masing-masing sebesar 160 pcs dan 80 pcs. Kondisi ini mengindikasikan adanya distribusi beban yang tidak merata sehingga menurunkan keandalan sistem dan meningkatkan biaya perawatan. Penelitian ini bertujuan menganalisis distribusi tegangan, regangan, deformasi, dan tekanan kontak pada desain *roller assembly* eksisting serta mengevaluasi pengaruh optimasi geometri terhadap faktor keamanan dan umur lelah komponen. Analisis dilakukan menggunakan metode *Finite Element Method* dengan perangkat lunak ANSYS *Mechanical*. Material yang digunakan meliputi *Polyurethane* 80A pada *nip roll*, ASTM A36 pada *bracket*, dan AISI 1045 pada *shaft*. *Improvement* desain dilakukan melalui pembesaran diameter sebesar 20%, peningkatan lebar area kontak antara *nip roll* dan *roller motor* sebesar 87,5%, penambahan ketebalan *bracket* sebesar 50%, serta penambahan radius *fillet bracket* sebesar 0,5 mm. Hasil simulasi desain *improvement* menunjukkan penurunan *equivalent stress* sebesar 31,2%, *equivalent elastic strain* sebesar 25,3%, dan *total deformation* sebesar 0,98%. Selain itu, *fatigue life* meningkat sekitar 431 kali lipat dan *safety factor* meningkat sebesar 79,5% dibandingkan desain *existing*. Dengan demikian, optimasi geometri terbukti mampu meningkatkan performa struktural dan keandalan komponen *roller assembly*.
Kata kunci: *roller assembly*, *Finite Element Method*, optimasi desain, *polyurethane*, *fatigue life*

1. Pendahuluan

Industri *Fast Moving Consumer Goods* (FMCG) merupakan sektor manufaktur yang menuntut tingkat produktivitas tinggi serta kontinuitas proses produksi untuk memenuhi kebutuhan pasar yang bergerak cepat. Salah satu tahapan penting dalam lini produksi FMCG adalah proses *packaging*, yang berfungsi melindungi produk sekaligus mempermudah proses distribusi. Pada proses ini menggunakan mesin *bundling*

DOI: https://doi.org/10.24127/trb.v15i2.5454
Received 6 August 2026; Received in revised form 29 September 2026; Accepted 30 September 2026
Available online 10 October 2026

yang merupakan alat yang digunakan untuk mengelompokkan beberapa produk menjadi satu paket menggunakan material *belly band* [1]. Kinerja mesin *bundling* sangat dipengaruhi oleh keandalan komponen *roller assembly*, khususnya *nip roll*, *shaft*, *bearing*, dan *bracket*, yang berfungsi memberikan tekanan dan gaya jepit agar material *belly band* dapat bergerak secara stabil selama proses operasi [2].



Gambar 1. Data penggantian *part* di *line bundling machine*

Berdasarkan data operasional pada salah satu lini *bundling machine* yang terlihat pada gambar 1, komponen *nip roll* dan *shaft* merupakan penyumbang terbesar frekuensi penggantian suku cadang. Jumlah penggantian *nip roll* mencapai 248 unit dan *shaft* mencapai 124 unit dalam satu periode pengamatan, melebihi standar penggantian bulanan yang telah ditetapkan perusahaan. Tingginya frekuensi kerusakan tersebut berdampak pada peningkatan biaya pemeliharaan, penurunan keandalan mesin, serta meningkatnya risiko *downtime* produksi.



Gambar 2. Kondisi *nip roll* yang pecah

Hasil observasi pada gambar 2 dan gambar 3 menunjukkan bahwa kerusakan yang terjadi berupa retak dan deformasi pada *nip roll* serta keausan pada area kontak *shaft* dan *bearing*. Kondisi tersebut mengindikasikan adanya distribusi beban yang tidak merata dan konsentrasi tegangan pada area kritis komponen .



Gambar 3. Kondisi *shaft* yang aus

Untuk menganalisis penyebab kerusakan tersebut, diperlukan evaluasi perilaku mekanis pada *roller assembly*. Salah satu metode yang banyak digunakan adalah *Finite Element Method* (FEM), yang mampu mengidentifikasi area kritis dengan konsentrasi tegangan tinggi melalui simulasi numerik sehingga mendukung proses evaluasi dan optimasi desain secara lebih efektif dan efisien [3].

Analisis FEM pada sistem *automated film roll cutter* menunjukkan bahwa metode ini mampu mengevaluasi deformasi dan faktor keamanan komponen *roller* akibat kombinasi pembebanan mekanis dan termal. Hasil penelitian menunjukkan bahwa meskipun deformasi meningkat seiring kenaikan beban dari 300 N hingga 500 N, desain *roller* masih memenuhi batas operasional yang diizinkan sehingga layak diterapkan pada aplikasi industri [4].

Penelitian mengenai kegagalan poros bertingkat akibat kombinasi pembebanan lentur dan torsi menunjukkan bahwa konsentrasi tegangan terbesar terjadi pada area *fillet* perubahan diameter. Optimasi radius *fillet* mampu menurunkan tegangan maksimum sekitar 18% dan meningkatkan faktor keamanan hingga di atas 2,0. Hasil tersebut menunjukkan bahwa modifikasi geometri pada area kritis efektif

meningkatkan keandalan komponen mekanis [5].

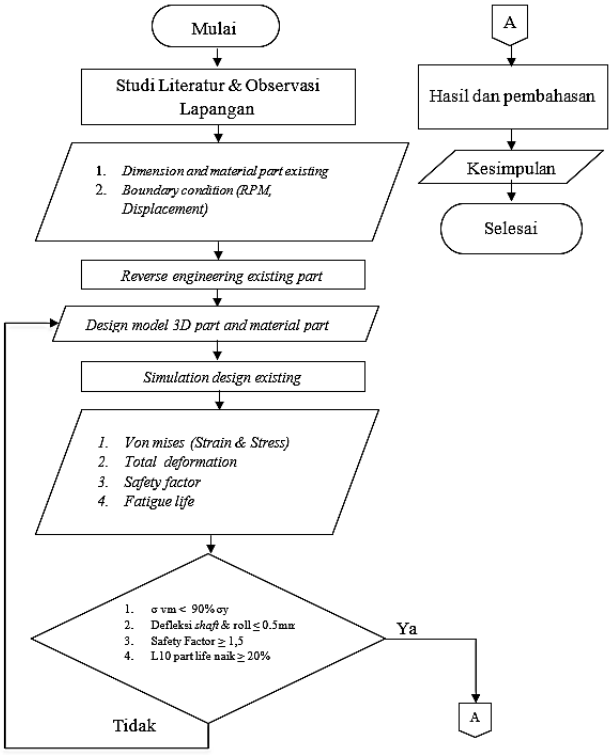
Investigasi kegagalan poros *roller* berbahan AISI 1040 pada mesin *continuous pad steam* menunjukkan bahwa kegagalan tidak disebabkan oleh cacat material, melainkan oleh konsentrasi tegangan pada area *shoulder* poros yang memicu kegagalan *fatigue*. Optimasi radius *fillet* direkomendasikan untuk mengurangi konsentrasi tegangan dan meningkatkan umur lelah komponen [6].

Penelitian mengenai *reverse engineering* dan evaluasi desain pada komponen *V-Plow conveyor belt* yang digunakan untuk penanganan material curah di industri mineral dan batubara dilatarbelakangi oleh adanya *over-specification* pada desain eksisting yang memiliki faktor keamanan. Setelah *improvement* dengan *reverse engineering* dan simulasi dengan metode elemen hingga diperoleh hasil bahwa desain ulang mampu mengoptimalkan *safety factor* menjadi 5,9. Angka ini lebih efisien dan ekonomis namun tetap berada dalam batas aman operasional serta rekayasa desain ini berhasil mengurangi berat rangka sebesar 28%, dari sebelumnya 116 kg menjadi 83 kg, sehingga memudahkan proses penanganan dan instalasi [7].

Berdasarkan penelitian terdahulu, analisis dan optimasi geometri terbukti efektif dalam meningkatkan performa struktur mekanis. Namun, kajian mengenai optimasi *roller assembly* pada mesin *bundling* dengan kombinasi material Polyurethane (PU) 80A, ASTM A36, dan AISI 1045 masih relatif terbatas. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk menganalisis kondisi mekanis desain *roller assembly* eksisting menggunakan metode FEM serta mengevaluasi pengaruh optimasi geometri terhadap distribusi tegangan, regangan, deformasi, *Fatigue life*, dan *safety factor*. Hasil penelitian diharapkan dapat menjadi dasar pengembangan desain *roller assembly* yang lebih andal, aman, dan memiliki umur pakai lebih panjang sehingga mampu menurunkan biaya pemeliharaan dan meningkatkan efisiensi operasional mesin *bundling*.

2. Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada *roller assembly* mesin *bundling* yang mengalami permasalahan kerusakan pada komponen *nip roll* dan *shaft*. Data penelitian diperoleh melalui observasi kondisi aktual, pengukuran dimensi komponen, serta pengumpulan spesifikasi material dan parameter operasi mesin. Penelitian difokuskan pada analisis kondisi desain *existing* dan pengembangan desain *improvement* untuk meningkatkan performa struktural serta keandalan komponen. Adapun tahapan penelitian yang dilakukan ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Diagram alir penelitian

Penelitian diawali dengan observasi dan *reverse engineering* untuk memperoleh model geometri sesuai kondisi aktual. Selanjutnya dilakukan pemodelan, simulasi FEM pada desain *existing*, optimasi geometri, simulasi desain *improvement*, serta analisis dan evaluasi hasil.

Objek penelitian berupa *roller assembly*

yang berfungsi menjepit dan mengarahkan material *belly band* selama proses *bundling* [2]. Sistem ini terdiri atas *nip roll* berbahan *Polyurethane* (PU) 80A, *shaft* berbahan AISI 1045, *bearing*, *roller motor*, dan *bracket* berbahan ASTM A36. Komponen *nip roll* menggunakan PU 8A karena berkontak langsung dengan material yang memerlukan kombinasi elastisitas dan fleksibilitas permukaan. AISI 1045 dipilih menjadi material untuk *shaft* karena tahan terhadap beban mekanis, beban berulang, beban radial, serta beban lentur. Sementara itu material ASTM A36 digunakan untuk *bracket* karena memiliki kekuatan luluh dan struktural yang baik serta kemudahan dalam fabrikasi [8][9][10]. Model tiga dimensi komponen dibuat menggunakan perangkat lunak SolidWorks 2024. Data sifat mekanik material yang digunakan dalam simulasi ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Data spesifikasi material [11]

Material	E(GPa)	ν	σy	σu
AISI 1045	200	0.29	355	565
Aluminium 6061	68.9	0.33	250	300
ASTM A36	200	0.26	250	400
PU 80A	0.025	0.49	6	31

Beberapa perhitungan yang digunakan untuk mengetahui kondisi aktual operasional mesin *bundling* yaitu :

Gaya tensioner

$$F = k \cdot x \quad (1)$$

Perhitungan torsi motor

$$T = \frac{9550 \times P}{n} \quad (2)$$

Perhitungan tekanan kontak maksimum [12]

$$P_{max} = \frac{2F}{\pi bL} \quad (3)$$

Perhitungan *von mises* poros [13]

$$\sigma_{vm} = \sqrt{\sigma_b^2 + 3\tau^2} \quad (4)$$

Perhitungan *life time bearing* [14]

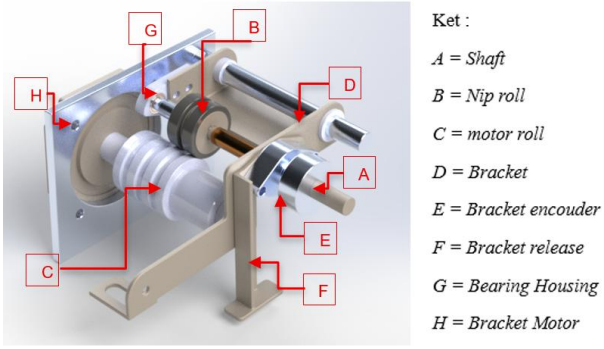
$$L_{10} = \left(\frac{C}{P}\right)^p \quad (5)$$

Setelah dilakukan modifikasi geometri, desain *improvement* disimulasikan menggunakan ANSYS *Mechanical* berbasis metode FEM dengan pembebanan gaya sebesar 70 N dan kecepatan rotasi 1800 rpm yang digunakan berdasarkan kondisi operasi aktual pada mesin. Kualitas *mesh* dievaluasi menggunakan parameter *mesh metric skewness*. Hasil simulasi kemudian dibandingkan dengan desain *existing* untuk mengevaluasi perubahan nilai *Equivalent Stress*, *Equivalent Elastic Strain*, *Total Deformation*, *Fatigue Life*, dan *Safety Factor*.

3. Hasil dan Pembahasan

1. Desain *existing roller assembly*

Reverse engineering merupakan metode yang digunakan untuk menganalisis dan mengevaluasi desain suatu produk yang telah ada guna mengidentifikasi kelemahan serta peluang perbaikannya. Metode ini dilakukan dengan mempelajari struktur, geometri, dan fungsi komponen penyusun produk sehingga dapat digunakan sebagai dasar pengembangan desain yang lebih optimal, efisien, dan ekonomis [3]. Data hasil analisis dan pengukuran digunakan sebagai dasar pembuatan model tiga dimensi (3D) menggunakan perangkat lunak SolidWorks 2024 dengan mempertahankan bentuk dan dimensi asli komponen. Model tersebut selanjutnya digunakan sebagai acuan dalam simulasi *Finite Element Method* (FEM) serta pengembangan desain *improvement.* Hasil model *roller assembly existing* ditunjukkan pada Gambar 5.

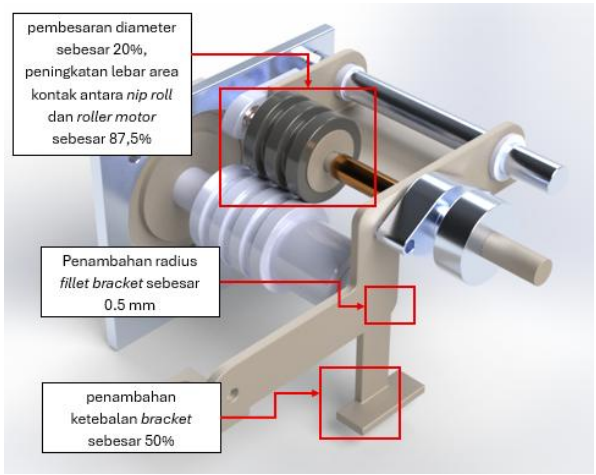


Gambar 5. Desain *existing roller assembly*

Tabel 2. Hasil perhitungan kondisi aktual dan parameter simulasi

Jenis Perhitungan	Perhitungan	Hasil
Gaya Tekan *Tensioner (F)*	$F = 10 \times 7$	70 N
Torsi motor (T)	$T = \frac{9550(0,2)}{1800}$	1,06 Nm
Hertzian Contact Max	$P_{max} = \frac{2(35)}{\pi(1,52)(4)}$	3,66 MPa
Von mises shaft	$\sigma_{vm} = \sqrt{(102,3)^2 + 3(25)^2}$	111,1 MPa
Life time bearing	$L_{10} = (10,21)^3 \times 10^6$	$1,06 \times 10^9$ *rev*

Selanjutnya dilakukan perhitungan dan penentuan parameter simulasi untuk memperoleh kondisi pembebanan yang mendekati kondisi aktual pada *roller assembly* mesin *bundling* yang digunakan dalam simulasi dan hasil tersaji pada tabel 2. Parameter ini digunakan sebagai input pada simulasi *finite element* sehingga hasil simulasi dapat merepresentasikan perilaku mekanis sistem secara lebih realistis [6].



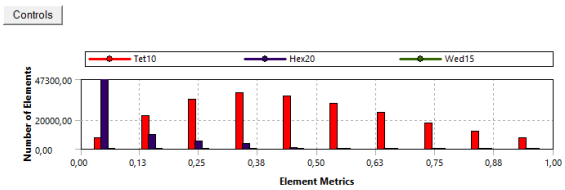
Gambar 6. Desain *improvement roller assembly*

Tahap *improvement* dilakukan berdasarkan hasil analisis desain *existing* dengan memodifikasi parameter geometri yang berpengaruh terhadap distribusi beban dan konsentrasi tegangan [11]. Optimasi meliputi pembesaran diameter dan ketebalan *nip roll*, penambahan luas area kontak dengan *roller* motor, serta peningkatan ketebalan dan radius *fillet* pada *bracket*. Hasil desain *improvement* ditunjukkan pada Gambar 6.

Desain hasil *improvement* kemudian dianalisis kembali menggunakan simulasi FEM untuk mengevaluasi perubahan nilai *equivalent stress*, *equivalent elastic strain*, *safety factor*, dan *fatigue life* dibandingkan desain *existing* [15].

2. *Meshing*

Kualitas *mesh* dievaluasi menggunakan parameter *skewness* untuk memastikan akurasi dan stabilitas hasil simulasi. Sebagian besar elemen memiliki nilai *skewness* pada rentang 0–0,5 yang termasuk kategori *very good* hingga *excellent*, sedangkan elemen pada rentang 0,5–0,8 masih berada pada kategori *good* dan *acceptable* [16]. Beberapa area yang tidak menjadi fokus analisis menggunakan ukuran *mesh* yang lebih besar untuk mengurangi jumlah elemen dan waktu komputasi. Secara keseluruhan kualitas *mesh* bernilai *average* 0,3 (*very good*) sehingga memadai untuk menghasilkan hasil simulasi yang akurat dan konvergen. Hasil *mesh metric* ditunjukkan pada Gambar 7.

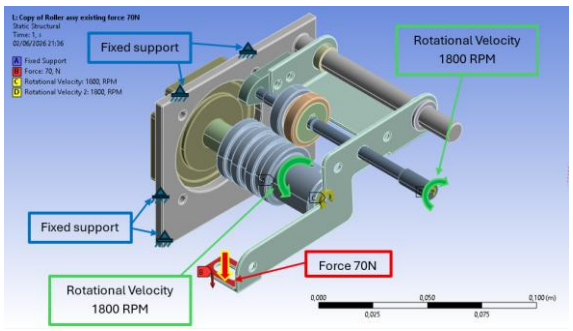


Gambar 7. Hasil pengukuran *mesh*

3. *Boundary condition*

Boundary condition pada simulasi terdiri dari gaya *force* sebesar 70 N. Kedua *joint rotation* diberikan *rotational velocity* sebesar 1800 RPM untuk merepresentasikan putaran poros saat mekanisme *nip roll* beroperasi. Analisis dilakukan menggunakan *Static Structural* pada ANSYS *Mechanical* dengan temperatur lingkungan 22°C untuk mengevaluasi distribusi tegangan dan deformasi akibat pembebanan yang diterapkan. Hasil

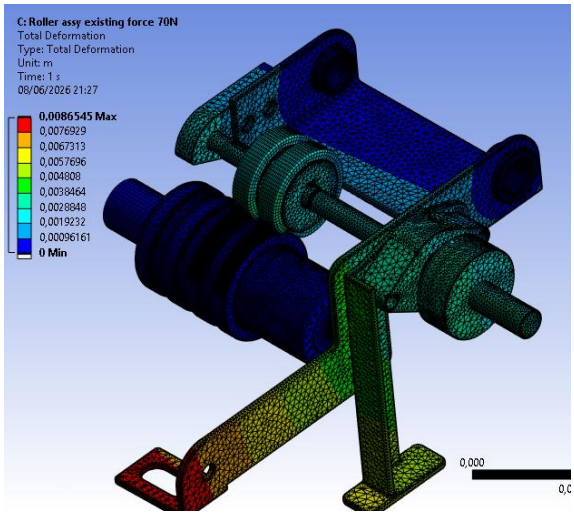
boundary condition ditunjukkan pada Gambar 8.



Gambar 8. *Boundary condition* untuk simulasi pada *roller assembly*

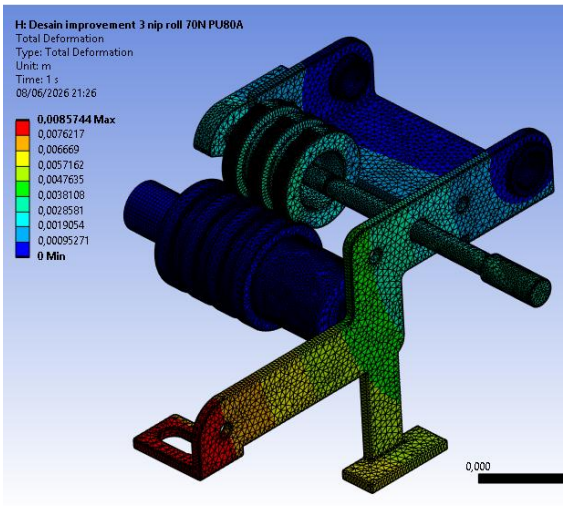
4. *Total Deformation*

Hasil simulasi *total deformation* pada desain *existing* menunjukkan deformasi maksimum sebesar 8,6545 mm yang terjadi pada ujung *bracket*, sedangkan deformasi pada area *shaft* yaitu sekitar 0,5 mm. Hasil simulasi *total deformation* desain *existing* ditunjukkan pada Gambar 9.



Gambar 9. Hasil *total deformation* pada desain *existing*

Pada desain *improvement*, deformasi maksimum menurun menjadi 8,57 mm. sedangkan deformasi pada area *shaft* menurun menjadi 0,3 mm. Penurunan ini diperoleh setelah dilakukan pembesaran diameter dan ketebalan *nip roll*, penambahan luas area kontak, serta optimasi ketebalan dan radius *fillet* pada *bracket*. Hasil simulasi *total deformation* desain *improvement* ditunjukkan pada Gambar 10.

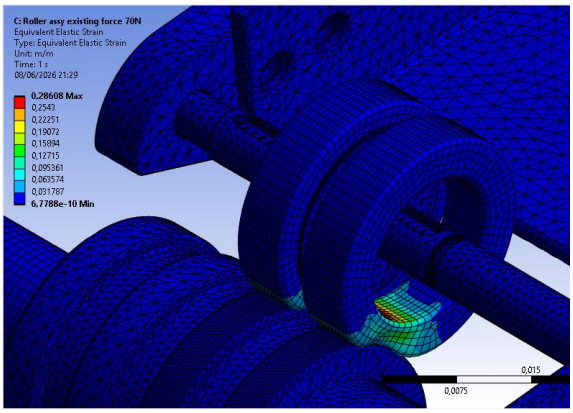


Gambar 10. Hasil *total deformation* pada desain *improvement*

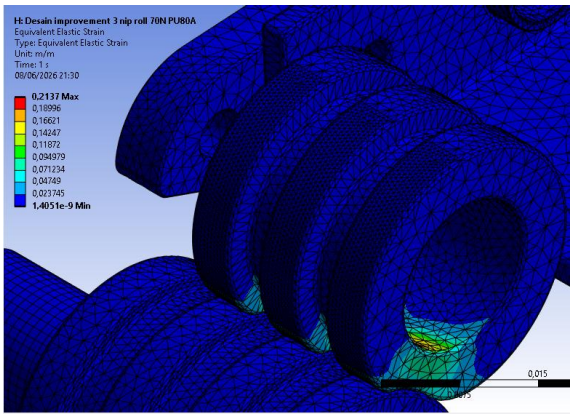
Perbandingan hasil simulasi menunjukkan bahwa optimasi geometri menurunkan deformasi maksimum sebesar 0,98%, dari 8,6545 mm menjadi 8,57 mm. Meskipun perubahan deformasi total relatif kecil karena dipengaruhi oleh mekanisme gerak *roller assembly*, deformasi pada area *shaft* berhasil menurun dari 0,5 mm menjadi 0,3 mm atau sekitar 40%. Hasil ini menunjukkan bahwa modifikasi geometri mampu meningkatkan kekakuan lokal dan memperbaiki distribusi beban pada komponen kritis, sehingga potensi terjadinya *misalignment* dan keausan selama operasi dapat dikurangi [13].

5. *Equivalent elastic strain*

Hasil simulasi *equivalent elastic strain* pada desain *existing* menunjukkan regangan maksimum sebesar 0,28608 yang terlokalisasi pada area kontak antara *nip roll* dan *roller motor*. Nilai tersebut melebihi *yield strain* teoritis material PU 80A sebesar 0,24 sehingga mengindikasikan potensi terjadinya deformasi permanen pada area kritis. Hasil simulasi *equivalent elastic strain* desain *existing* ditunjukkan pada Gambar 11.



Gambar 11. Hasil *equivalent elastic strain* pada desain *existing*



Gambar 12. Hasil *equivalent elastic strain* pada desain *improvement*

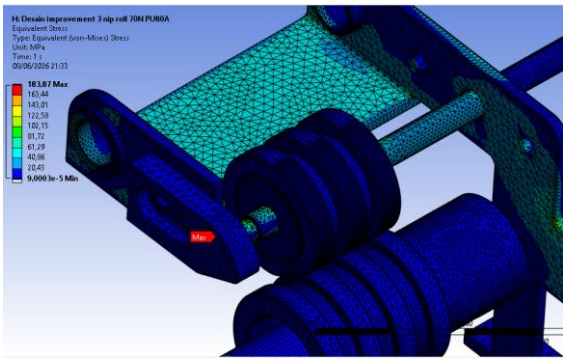
Hasil *improvement* desain menunjukkan bahwa nilai *equivalent elastic strain* maksimum menurun dari 0,28608 menjadi 0,2137 yang berarti mengalami penurunan sebesar 25,3%. Pengurangan nilai regangan ini mengindikasikan bahwa perubahan geometri berhasil memperbaiki distribusi beban pada area kontak dan mengurangi konsentrasi regangan pada daerah kritis komponen, sehingga risiko deformasi permanen dapat dikurangi. Hasil simulasi *equivalent elastic strain* desain *improvement* ditunjukkan pada Gambar 12.

Penurunan ini menunjukkan bahwa distribusi beban pada area kontak menjadi lebih merata sehingga konsentrasi regangan berkurang dan menunjukkan bahwa *nip roll* memiliki ketahanan yang lebih baik terhadap pembebanan berulang dan potensi kerusakan akibat deformasi permanen dapat diminimalkan [17].

6. *Equivalent stress*

Hasil simulasi *Equivalent stress* pada desain *existing* menunjukkan tegangan maksimum sebesar 267,24 MPa yang terlokalisasi pada area *fillet bracket*. Nilai tersebut melebihi *yield strength* material ASTM A36 sebesar 250 MPa, sehingga menunjukkan adanya potensi deformasi plastis pada area kritis. Hasil simulasi *equivalent stress* desain *existing* ditunjukkan pada Gambar 13.

Hasil desain *improvement* menunjukan tegangan maksimum menurun menjadi 183,87 MPa. Nilai tersebut berada di bawah batas luluh material ASTM A36 (250 MPa) sehingga struktur masih bekerja pada daerah elastis. Hasil simulasi *equivalent stress* desain *improvement* ditunjukkan pada Gambar 14.



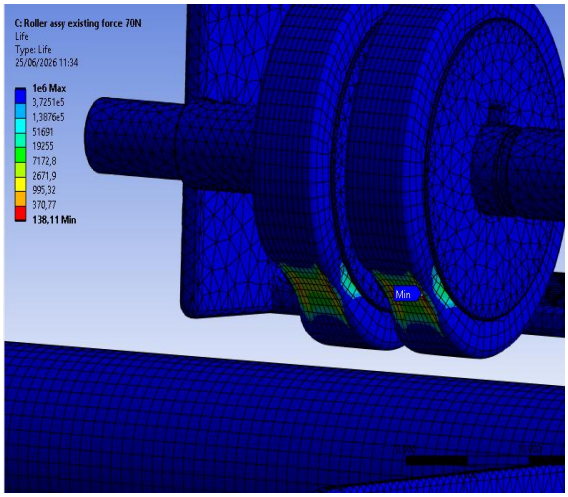
Gambar 13. Hasil *equivalent stress* pada desain *improvement*

Perbandingan hasil simulasi menunjukkan bahwa optimasi geometri berhasil menurunkan tegangan maksimum sebesar 31,2%, dari 267,24 MPa menjadi 183,87 MPa. Penurunan ini menunjukkan bahwa distribusi beban menjadi lebih merata dan konsentrasi tegangan pada area kritis berkurang. Peningkatan radius *fillet* dan dimensi komponen membantu menurunkan *stress concentration* sehingga meningkatkan kemampuan struktur dalam menahan pembebanan selama operasi [18].

7. *Fatigue life*

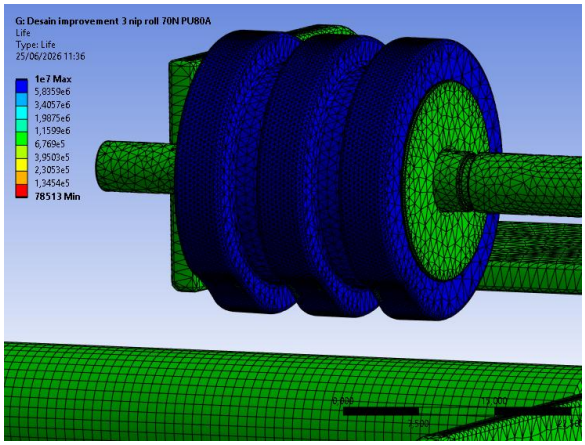
Hasil simulasi *fatigue life* pada desain *existing* menunjukkan umur lelah minimum sebesar 138 siklus yang terlokalisasi pada area kontak antara *nip roll* dan *shaft*. Nilai tersebut menunjukkan bahwa area tersebut

mengalami pembebanan siklik yang tinggi sehingga berpotensi mengalami kegagalan lebih cepat dibandingkan bagian lainnya. Hasil simulasi *fatigue life* desain *existing* ditunjukkan pada Gambar 15.



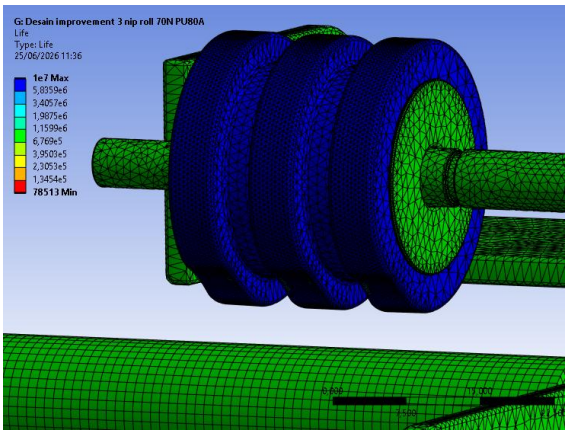
Gambar 14. Hasil *fatigue life* pada desain *existing*

Hasil desain *improvement* menunjukan umur lelah minimum meningkat hingga 78.513 siklus. Peningkatan ini menunjukkan bahwa distribusi beban pada komponen menjadi lebih merata sehingga potensi kerusakan akibat pembebanan berulang dapat dikurangi. Perubahan geometri *roller assembly* efektif menurunkan konsentrasi tegangan dan menggeser kerja komponen ke area umur lelah yang lebih tinggi pada kurva S-N.



Gambar 15. Hasil *fatigue life* pada desain *improvement*

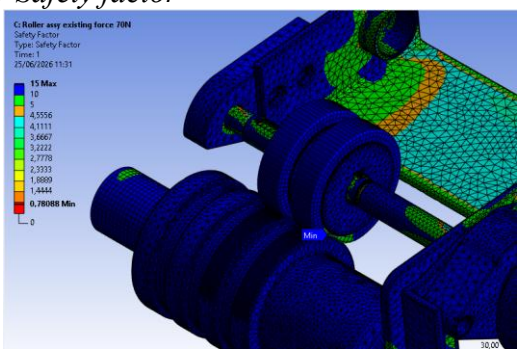
Penurunan tegangan maksimum sebesar 31,2% mampu meningkatkan *fatigue life* secara eksponensial hingga ratusan kali lipat pada daerah *high cycle fatigue*. Besarnya peningkatan tersebut dipengaruhi oleh kombinasi parameter seperti *stress ratio*, *mean stress*, serta *mean stress correction* yang digunakan [19]. Hasil simulasi *fatigue life* desain *improvement* ditunjukkan pada Gambar 16.



Gambar 16. Hasil *fatigue life* pada desain *improvement*

Perbandingan hasil simulasi menunjukkan bahwa optimasi geometri meningkatkan umur lelah dari 138 siklus menjadi 78.513 siklus, atau meningkat sekitar 431 kali lebih tinggi. Peningkatan tersebut menunjukkan bahwa konsentrasi tegangan dan regangan pada area kritis berhasil dikurangi sehingga ketahanan komponen terhadap pembebanan siklik menjadi lebih baik. Penurunan regangan lokal diketahui dapat meningkatkan ketahanan *fatigue* dan memperpanjang umur pakai komponen yang bekerja secara berulang [20].

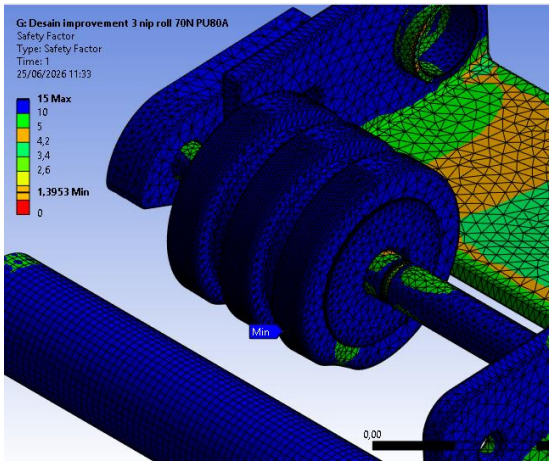
8. *Safety factor*



Gambar 17. Hasil *safety factor* pada desain *existing*

Hasil simulasi *safety factor* pada desain *existing* menunjukkan nilai minimum sebesar 0,78 pada area kontak antara *nip roll* dan *shaft*. Nilai *safety factor* yang lebih kecil dari satu menunjukkan bahwa tegangan kerja telah melampaui batas kemampuan material sehingga area tersebut berpotensi mengalami deformasi permanen atau kegagalan selama operasi. Kondisi ini menunjukkan bahwa desain *existing* masih memiliki tingkat keamanan yang rendah dan berisiko mengalami kegagalan lebih awal akibat pembebanan berulang. Hasil simulasi *safety factor* desain *existing* ditunjukkan pada Gambar 17.

Hasil desain *improvement* menunjukan nilai *safety factor* minimum meningkat menjadi 1,4, sementara sebagian besar komponen memiliki nilai di atas 10. Nilai tersebut menunjukkan bahwa struktur telah berada pada kondisi aman untuk menahan beban kerja yang diberikan. Hasil simulasi *safety factor* desain *improvement* ditunjukkan pada Gambar 18.



Gambar 18. Hasil *safety factor* pada desain *improvement*

Perbandingan hasil simulasi menunjukkan bahwa optimasi geometri meningkatkan *safety factor* minimum dari 0,78 menjadi 1,4, atau meningkat sekitar 79,5%. Peningkatan ini menunjukkan bahwa distribusi tegangan pada struktur menjadi lebih merata sehingga kemampuan komponen dalam menahan pembebanan kerja meningkat. Optimasi radius *fillet* diketahui dapat mengurangi *stress concentration factor* dan meningkatkan tingkat keamanan struktur secara signifikan [21].

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian, desain *improvement roller assembly* menghasilkan peningkatan performa struktural dibandingkan desain *exiting* yang ditandai dengan penurunan *equivalent stress* sebesar 31,2%, *equivalent elastic strain* sebesar 25,3%, dan *total deformation* sebesar 0,98% serta peningkatan *fatigue life* hingga 431 kali lipat dan *safety factor* sebesar 79,5%. Hasil tersebut membuktikan bahwa perubahan desain pada diameter *nip roll*, area kontak, ketebalan *bracket*, dan radius *fillet* menghasilkan distribusi beban yang lebih baik dan meningkatkan *reliability roller assembly* sehingga mendukung kontinuitas proses produksi. Namun hasil ini masih terbatas pada analisis numerik dan belum didukung validasi eksperimental maupun *mesh convergence study*. Pengaruh *improvement* terhadap massa, momen inersia, daya motor, serta biaya produksi belum dikaji sehingga menjadi fokus penelitian selanjutnya untuk memastikan kelayakan desain pada kondisi aktual.

Referensi

[1] K. Marsh and B. Bugusu, “Food Packaging—Roles, Materials, and Environmental Issues,” *J. Food Sci.*, vol. 72, no. 3, pp. R39–R55, 2007, doi: https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2007.00301.x.

[2] N.-A. Noda *et al.*, “Irreversible interfacial slip in shrink-fitted bimetallic work roll promoted by roll deformation,” *Eng. Fail. Anal.*, vol. 126, p. 105465, Aug. 2021, doi: 10.1016/j.engfailanal.2021.105465.

[3] W. A. Jabar and F. Teknik, “Evaluasi Struktural Rancangan Dongkrak Ulir sebagai Alat Pengangkat pada EV Maung Galunggung Menggunakan Analisis Elemen Hingga,” vol. 14, no. 02, pp. 539–546, 2025.

[4] T. Sundaram *et al.*, “Design and

Analysis of Automated Film Roll Cutter," *Eng. Proc.*, vol. 66, no. 1, Jul. 2024, doi: 10.3390/engproc2024066030.

[5] X. Hou, Q. Diao, Y. Liu, C. Liu, Z. Zhang, and C. Tao, "Failure Analysis of a Cylindrical Roller Bearing Caused by Excessive Tightening Axial Force," *Machines*, vol. 10, no. 5, 2022, doi: 10.3390/machines10050322.

[6] S. D. Dalvi, Hariom, D. Chandrababu, S. Satav, and Vijoykumar, "Failure analysis of a carbon steel roller shaft of continuous pad steam machine," *Case Stud. Eng. Fail. Anal.*, vol. 9, pp. 118–128, Oct. 2017, doi: 10.1016/j.csefa.2017.11.001.

[7] Febriyanto and S. Cahyati, "Reverse Engineering dan Evaluasi Desain pada Komponen V-Plow Conveyor Belt Jenis Bulk Material Handling menggunakan Metode Elemen Hingga atau " V " -plow yang menggunakan blade Pendekatan reverse engineering memungkinkan untuk mengidentifikasi dan desain," *Turbo J. Progr. Stud. Tek. Mesin*, vol. 14, no. 02, pp. 717–725, 2025.

[8] I. Łopianiak, B. Butruk-Raszeja, and M. Wojasiński, "Shore hardness of bulk polyurethane affects the properties of nanofibrous materials differently," *J. Mech. Behav. Biomed. Mater.*, vol. 161, no. November 2024, 2025, doi: 10.1016/j.jmbbm.2024.106793.

[9] Y. Zhao, B. Gong, Y. Liu, W. Zhang, and C. Deng, "Fatigue behaviors of ultrasonic surface rolling processed AISI 1045: The role of residual stress and gradient microstructure," *Int. J. Fatigue*, vol. 178, no. August 2023, p. 107993, 2024, doi: 10.1016/j.ijfatigue.2023.107993.

[10] S. Senthilkumar, S. Manivannan, R. Venkatesh, and M. Karthikeyan, "Influence of heat input on the mechanical characteristics, corrosion and microstructure of ASTM A36 steel welded by GTAW technique," *Heliyon*, vol. 9, no. 9, p. e19708, 2023, doi: 10.1016/j.heliyon.2023.e19708.

[11] Y. Li *et al.*, "Effects of process parameters on the microstructure and mechanical properties of AISI 1045 steel prepared by selective laser melting," *Mater. Today Commun.*, vol. 37, p. 107287, Dec. 2023, doi: 10.1016/j.mtcomm.2023.107287.

[12] X. Zhu, "Tutorial on Hertz Contact Stress," *Opti 521*, pp. 1–8, 2012.

[13] R. G. . Budynas, J. K. Nisbett, J. E. Shigley, and K. Tangchaichit, *Shigley's mechanical engineering design*. McGraw-Hill Education, 2020.

[14] T. Lazović, A. Marinković, I. Atanasovska, M. Sedak, and B. Stojanović, "From Innovation to Standardization—A Century of Rolling Bearing Life Formula," *Machines*, vol. 12, no. 7, 2024, doi: 10.3390/machines12070444.

[15] Y. Zhao, Q. Han, and X. Gao, "Partial wear and deformation of roller bearing under extreme inclined load and its experimental research," *Arch. Appl. Mech.*, vol. 93, 2023, doi: 10.1007/s00419-022-02361-5.

[16] A. D. Canonsburg, "ANSYS Meshing User ' s Guide," no. July, 2025.

[17] K. Junik, K. Junik, S. orgGoogl. Scholar, and K. K. 2ORCID andAnna S. 1ORCID 1, Grzegorz Lesiuk 1,*ORCID, Szymon Duda 1ORCID, Krzysztof Jamroziak 1ORCID, Wojciech Błażejewski 1, Paweł Zielonka 1ORCID, Tomasz Socha 2ORCID, Arkadiusz Denisiewicz 2ORCID, "Constitutive Law Identification and Fatigue Characterization of," pp. 1–16, 2022.

[18] T. Yamaguchi and H. Okuda, "Prediction of stress concentration at fillets using a neural network for efficient finite element analysis," vol.

6, no. 20, pp. 1–8, 2020, doi: 10.1299/mel.20-00318.
[19] A. Linn, M. Wächter, and A. Esderts, “On how S-N curves for nonproportional loading can be determined from S-N curves for proportional loading – An exemplary evaluation of numerous fatigue tests using scaled normal stresses,” *Int. J. Fatigue*, vol. 188, no. July, 2024, doi: 10.1016/j.ijfatigue.2024.108505.
[20] R. Eberlein, Y. Fukada, and L. Pasieka, “Fatigue Life Analysis of Solid Elastomer-Like Polyurethanes,” 2020.
[21] Taylor, A. Kelly, M. Toso, and L. Susmel, “The variable-radius notch : Two new methods for reducing stress concentration,” *Eng. Fail. Anal.*, vol. 18, no. 3, pp. 1009–1017, 2011, doi: 10.1016/j.engfailanal.2010.12.012.