

ANALISIS PENGARUH *RADIUS FILLET* TERHADAP KONSENTRASI TEGANGAN PADA POROS TRANSMISI BAJA AISI 1040

Firman Alhaffis¹, Erwen Martianis², Maksum³, Ahmad Aidil Rasyid⁴, Rusmanidar⁵

^{1,2,3,4,5} Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Bengkalis

E-mail: firman.alhaffis@polbeng.ac.id, erwen55@polbeng.ac.id, maksum@polbeng.ac.id, aidilrasyid22@gmail.com, rusmanidar8@gmail.com

Abstract

Shafts are crucial components in mechanical transmission systems that transfer power between moving machine elements. In high-speed applications, shafts experience dynamic and cyclic loads that can trigger material failure due to fatigue, especially in cross-sectional areas such as stepped shafts. Stress concentrations that occur in diameter transition areas can be the starting point for cracking that leads to structural failure. One method to reduce these stress concentrations is by applying a fillet radius to the diameter change area. This study aims to analyze the effect of fillet radius on torsional and bending loads on a transmission shaft made of AISI 1040 steel. The method used is a numerical simulation based on Finite Element Analysis (FEA). It was found that the application of an 11 mm fillet radius on the stepped shaft provided better performance compared to a 1 mm fillet radius for a diameter transition from 190 mm to 150 mm. The use of an 11 mm fillet radius on the stepped shaft made of AISI 1040 material resulted in a decrease of total deformation by 1.8%, equivalent elastic strain by 4.24%, and, most notably, equivalent elastic stress by 75%.

Keywords: *diveshift, radius fillet, Stress concentrations, AISI 1040, FEA.*

PENDAHULUAN

Dalam sistem transmisi mekanis, poros merupakan komponen utama yang berfungsi sebagai pemindah daya antar elemen yang bergerak. Peran poros menjadi sangat vital, terutama pada mesin dengan putaran tinggi, di mana beban yang bekerja bersifat dinamis dan berulang. Kondisi ini menimbulkan tantangan tersendiri terkait keandalan dan umur pakai poros, karena siklus pembebanan yang terus-menerus dapat memicu konsentrasi tegangan pada titik-titik kritis, khususnya di daerah perubahan penampang atau poros bertingkat (*stepped shaft*), yaitu bagian poros dengan geometri diameter yang berbeda.

Konsentrasi tegangan merupakan fenomena lokal yang terjadi akibat gangguan pada kontur atau geometri benda, seperti lubang, takikan, atau perubahan diameter. Tegangan yang terfokus di area ini dapat mempercepat terjadinya kegagalan material akibat kelelahan (fatigue), terutama pada material seperti baja AISI 1040. Baja ini banyak digunakan dalam aplikasi teknik karena sifat mekaniknya yang baik, namun tetap rentan terhadap konsentrasi tegangan.

Salah satu pendekatan yang banyak digunakan untuk mengurangi konsentrasi tegangan adalah melalui modifikasi geometris, khususnya dengan penerapan *radius fillet* pada bagian transisi poros. *Radius fillet* yang tepat dapat membantu memperhalus perubahan penampang

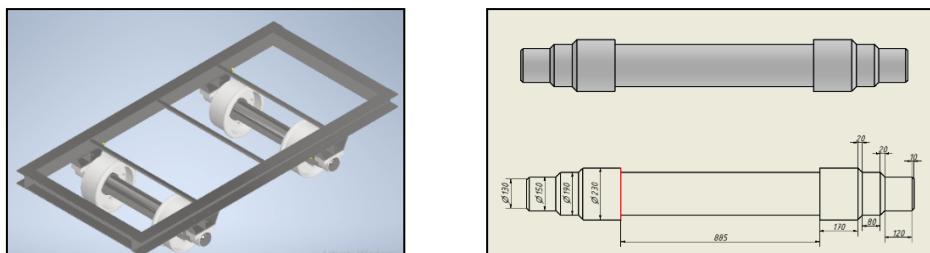
dan mendistribusikan tegangan secara lebih merata, sehingga menurunkan risiko kegagalan akibat kelelahan. Oleh karena itu, penting untuk menganalisis secara sistematis bagaimana variasi *radius fillet* memengaruhi distribusi tegangan pada poros bertingkat.

Beberapa studi sebelumnya telah membuktikan bahwa peningkatan *radius fillet* secara signifikan mampu menurunkan konsentrasi tegangan. Suresh (1998) menyatakan bahwa peningkatan *radius fillet* pada poros bertingkat dapat secara nyata mengurangi faktor konsentrasi tegangan, sehingga meningkatkan umur kelelahan komponen. Hal serupa juga ditemukan oleh Wahyudi dkk (2016) melalui pendekatan simulasi elemen hingga (*Finite Element Analysis*), yang menunjukkan bahwa *radius fillet* yang lebih besar mampu menurunkan tegangan maksimum secara signifikan. Secara teoritis, pengaruh *radius fillet* terhadap distribusi tegangan dijelaskan oleh Peterson (2000), yang menyusun grafik dan persamaan untuk menghitung faktor konsentrasi tegangan (K_t) berdasarkan parameter geometris. Dalam model tersebut, peningkatan rasio r/d (*radius fillet* terhadap diameter kecil poros) terbukti efektif dalam menurunkan nilai K_t , sehingga memungkinkan proses optimasi desain secara lebih ilmiah dan presisi.

Dengan mempertimbangkan kebutuhan akan komponen transmisi yang andal pada sistem berputar tinggi, penelitian ini menjadi sangat relevan dan strategis. Poros dengan desain geometris yang optimal tidak hanya dapat mengurangi risiko kegagalan dini, tetapi juga memperpanjang umur komponen, serta meningkatkan efisiensi dan keselamatan sistem secara keseluruhan.

METODE PENELITIAN

Pemodelan adalah proses pembentukan objek menggunakan sistem komputasi. Proses pemodelan secara keseluruhan meliputi pembentukan *part*, proses perakitan (*assembly part*) dan model proyeksi dua dimensi (*2D engineering drawing*). Pada tahap dilakukan permodelan 3D didasarkan dari acuan geometri poros transmisi yang akan diteliti.



Gambar 1. Konsep mekanisme kerja poros dan geometri poros kereta pengangkut.

Berikut adalah data *mechanical properties* AISI 1040 yang digunakan penulis sebagai objek penelitian yang dilampirkan pada tabel berikut:

SeAH Besteel Corp.
 1-6, SORYONG-DONG, KUNSAN,
 CHEONBUK, KOREA(573-711)

MILL CERTIFICATE

Date : 2020-04-20 Steel Grade : AISI 1040/ST 40 Size (mm) : 10 - 100
 Cert. No. : 201804-207465 Shape of Product : ROUND BAR Length (mm) : 6,000
 Customer : Delivery Condition : AS ROLLED Weight (kg) :
 Heat No. : 269972 Quantity(pcs) : 1,000

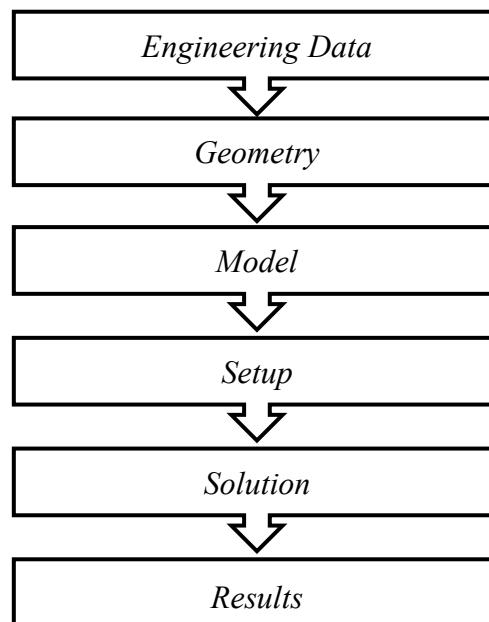
Inspection Items		Chemical Composition (wt. %)					
Spec.	Result	C	Si	MN	P	S	
		x 100	x 100	x 100	x 100	x 1000	
		Min.	15	15	3	35	
Spec.		Max.	35	25	6	35	
Result		30	25	4	MAX	MAX	
Inspection Items		Product Hardness (HB)					
		SURFACE	160 HB				

Mechanical Properties AISI 1040/ST 40

Mechanical Properties	Symbol	Steel
Young's modulus (GPa)	<i>E</i>	190 - 210
Poisson's ratio	<i>v</i>	0,26
Density (Kg/m ³)	<i>P</i>	7.860
Yield strength (MPa)	<i>S_y</i>	205 - 245
Tensile strength (MPa)	<i>S_t</i>	400 - 510
Elongation (%)		27 - 30
Hardness (Hb)	<i>Hb</i>	160

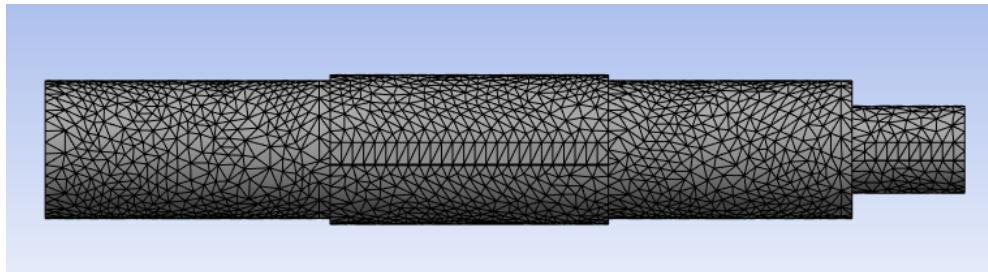
Gambar 2. *Mechanical properties* baja AISI 1040/ST40
 (Sumber: *Mill certificate SeAH Besteel Corp*)

Skema proses dari simulasi analisis implementasi *radius fillet* pada poros penggerak dapat dilihat pada skema berikut:



Gambar 3. Skema Proses FEA

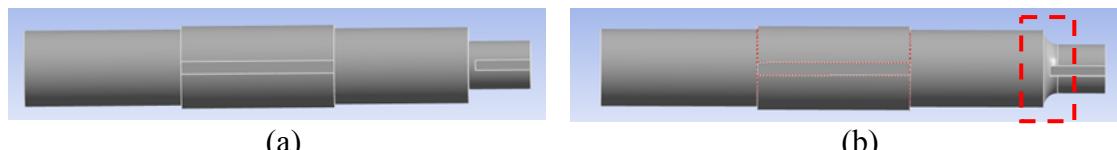
Proses *meshing* ialah membagi bagian yang disimulasikan menjadi bagian-bagian yang lebih kecil (diskritasi), dan tujuannya ialah untuk melihat kondisi *defect* lebih rinci setiap bagian. Pada penelitian ini jumlah simpangan adalah 127.054 node dari 75.160 elemen dengan setup elemen tipe heksagonal.



Gambar 4. Poros Transmisi poros transmisi.

Menurut (Purnama Harry, 2016) *meshing* adalah kesatuan proses dalam simulasi metode elemen hingga. *Meshing* memberikan pengaruh yang signifikan pada tingkat akurasi, konvergensi dan kecepatan suatu sistem komputasi dalam menghasilkan gambaran solusi metode elemen hingga.

Boundary condition adalah kondisi batas, dapat diartikan sebagai kondisi atau persyaratan yang dikenakan pada batas suatu masalah (misalnya struktur, sistem mekanik, persamaan diferensial) yang menentukan bagaimana sistem itu berinteraksi dengan lingkungan sekitarnya. Dengan cara ini, kondisi batas adalah kondisi di mana struktur berinteraksi dengan lingkungan baik melalui penerapan gaya eksternal atau melalui suatu pembebanan yang menyebabkan perubahan struktur dari posisi semula. Agar masalah analisis struktur dapat dipecahkan, setiap lokasi pada batas struktur kita harus mempunyai kondisi batas yang diketahui, baik gaya yang diketahui atau perpindahan yang diketahui. Gaya atau perpindahan yang diketahui mungkin mempunyai besaran tertentu atau mungkin nol. Misalnya, kita mungkin mengetahui bahwa ada lokasi pada struktur kita yang tidak memiliki gaya eksternal. Ini akan menjadi kondisi batas gaya nol. Kondisi batas perpindahan yang bernilai nol ekuivalen dengan struktur yang ditahan pada lokasi tersebut.

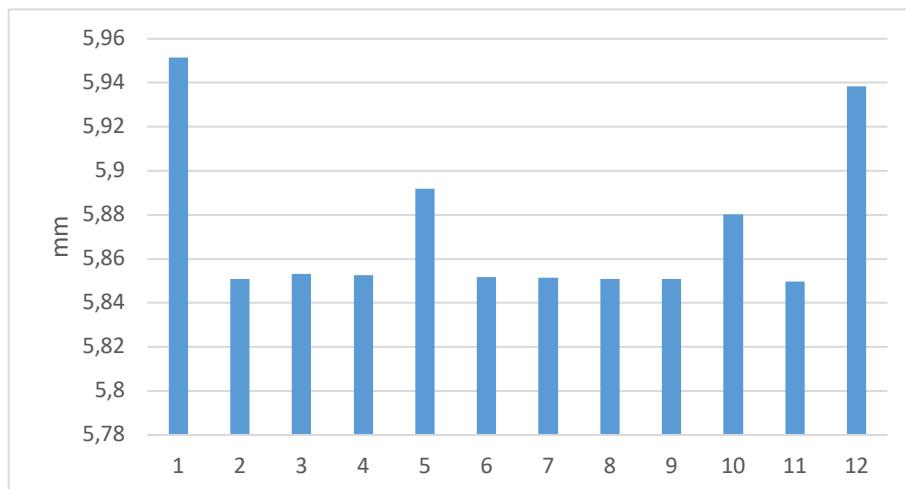


Gambar 5. Desain poros *Transfer Carriage* (a) tanpa *radius fillet*, (b) dengan *radius fillet*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

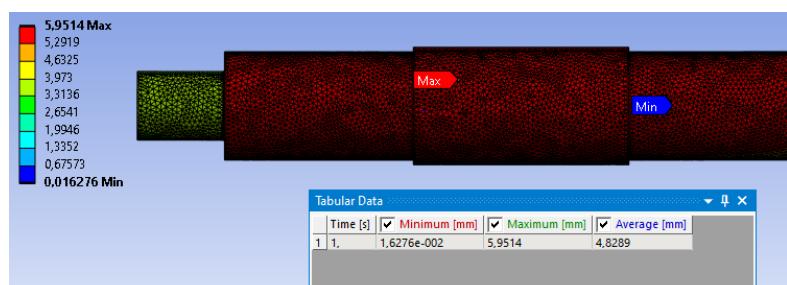
Simulasi bertujuan untuk membandingkan perilaku poros *transfer carriage* dengan 12 variasi *radius fillet*. Hasil dari simulasi bisa memberi informasi tentang *total deformation*, *equivalen elastic strain*, dan *equivalen stress*. Ini akan berkontribusi dalam mengambil keputusan mengenai pemilihan *radius fillet* yang tepat untuk di implementasikan pada poros *transfer carriage*.

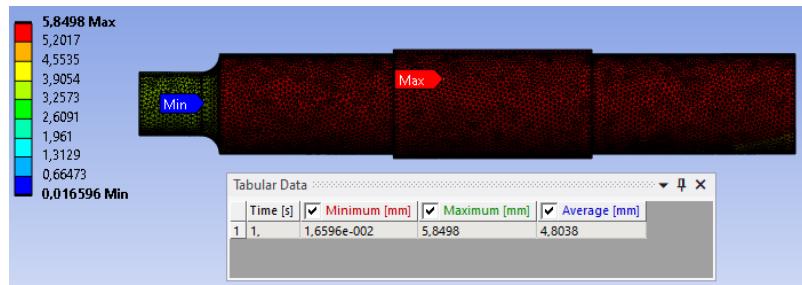
Total deformasi memperlihatkan bagaimana sebuah poros berubah bentuk jika diberikan beban. Beban akan memberikan pengaruh kepada material dan memberikan identifikasi pada area yang terkena tegangan berlebih. Setelah melakukan simulasi pada poros, hasil analisis menunjukkan pada gambar 6 bahwa total deformasi terbesar terjadi jika diterapkan pada poros *transfer carriage* dengan *radius fillet* 1 mm dengan deformasi maksimum ketika diberikan beban 5,9514 mm, sedangkan terendah apabila diterapkan *radius fillet* 11 mm pada poros yaitu nilai 5,8498 mm.



Gambar 6. Grafik Total Deformasi

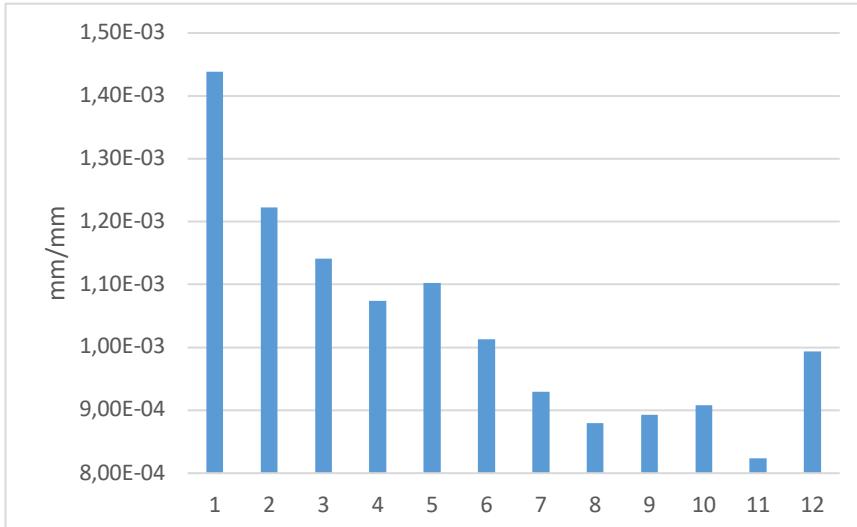
Gambar 7 berikut memperlihatkan ilustrasi dari parameter total deformasi ketika dikenakan beban puncak. Terlihat bahwa total deformasi yang diakibatkan oleh pembebanan memperlihatkan zona maksimum dan minimum.





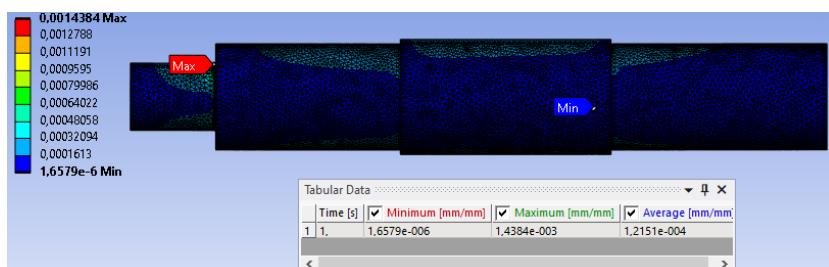
Gambar 7. Total Deformasi *radius fillet* 1 mm dan *radius fillet* 11 mm.

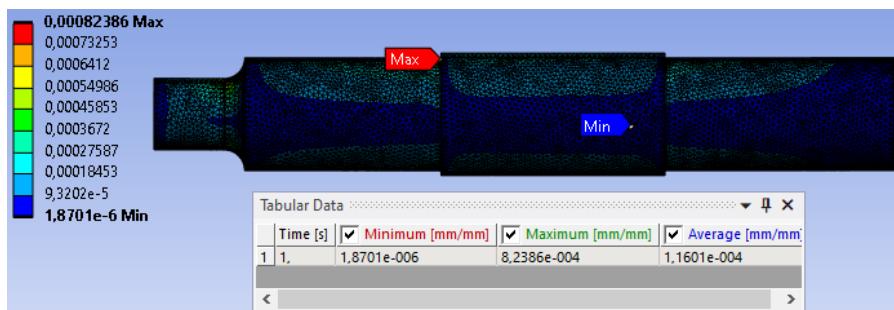
Equivalen Elastic Strain digunakan untuk mengukur deformasi yang terjadi pada suatu material ketika dikenakan beban, dan memperlihatkan area yang mengalami regangan maksimum dan minimum. Gambar 8 berikut akan memperlihatkan hasil dari simulasi *equivalen elastic strain* yang telah dilakukan.



Gambar 8. *Equivalen elastic strain*.

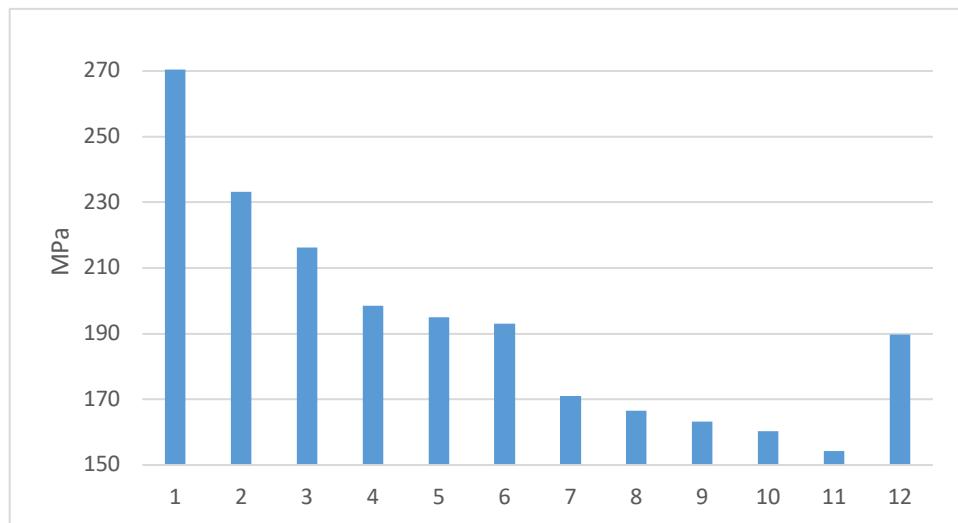
Dari gambar 8, diketahui bahwa *equivalen elastic strain* terbesar dihasilkan poros *transfer carriage* $1,4384 \times 10^{-3}$ mm/mm, dan terendah dihasilkan oleh poros dengan *radius fillet* 11 mm dengan nilai $8,2386 \times 10^{-4}$ mm/mm.





Gambar 9. Ilustrasi *Equivalen elastic strain radius fillet* 1 mm dan *radius fillet* 11 mm.

Equivalen stress dipakai untuk mengetahui nilai tegangan yang terjadi pada sebuah titik material. Berikut menampilkan hasil dari simulasi *equivalen stress* dari 12 variasi *radius fillet*.



Gambar 10 *Equivalen stress*.

Dari gambar 10, diketahui bahwa *equivalen stress* terbesar dihasilkan poros *transfer carriage* dengan *radius fillet* 1 mm yaitu dengan nilai 270,44 MPa, dan terendah dihasilkan oleh poros dengan *radius fillet* 11 mm dengan nilai 154,28 MPa.

Dari rangkaian simulasi yang dilakukan, hasil menunjukkan bahwa poros dengan implementasi *radius fillet* 11 mm memberikan respon yang paling minimum, dimana poros menunjukkan nilai total deformasi tertinggi 5,8498 mm, *equivalen elastic strain* $8,2386 \times 10^{-4}$ mm/mm, dan *equivalen stress* 154,28 MPa. Hasil simulasi terendah diperoleh oleh poros dengan implementasi *radius fillet* sebesar 1 mm dimana poros ini menghasilkan simulasi dengan nilai total deformasi tertinggi 5,9514 mm, *equivalen elastic strain* $1,4384 \times 10^{-3}$ mm/mm, dan *equivalen stress* 270,44 MPa.

SIMPULAN

Berikut ini adalah kesimpulan yang dapat diperoleh dari “Implementasi *Radius Fillet* Pada Poros trasmsi AISI 1040:

1. Pada poros bertingkat dari diameter 190 mm ke 150 mm, penerapan *radius fillet* 11 mm memperoleh hasil lebih baik jika dibandingkan dengan variasi *radius fillet* lainnya.
2. Penerapan *radius fillet* 11 mm pada poros bertingkat dengan material AISI 1040 mampu mereduksi *total deformation* 1,8%, *equivalen elastic strain* 4,24%, dan yang paling signifikan adalah *equivalen elastic stress* sebesar 75%.
3. Penerapan *radius fillet* yang tepat akan meningkatkan umur pakai dari poros *transfer carriage* yang beroperasi secara siklik pada beban yang besar.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terima kasih Jurusan Teknik Mesin dan Pusat Penelitian dan Pengabdian Masyarakat (P3M) Politeknik Negeri Bengkalis.

DAFTAR PUSTAKA

- Afif, Mokh. Makhrus (2020) Simulasi Pembebanan Gaya Berat Pada Shaft Crusher Machine di Pabrik PT. XXX dengan Metode Elemen Hingga. Undergraduate thesis, Universitas Muhammadiyah Surabaya. Universitas Muhammadiyah Surabaya. Universitas Muhammadiyah Surabaya.
- ALharys Aji (2021). Blade 110r Tahun 2010 Dengan Material St90 JIS SCM 447–AISI. Jurnal Teknik Mesin Dan Mekatronika
- Baruqi, M. S., Sholihah, S. Z., Sugiharto, A., Martonio, B. C., Sulthoni, A., Supriyanto, D., ... & Suryaningrum, W. (2009). Pengukuran Tensile Strength, Compressive Strength Dan Modulus Elastisitas Benda Padat. Universitas Airlangga. Surabaya.
- Chandra, H (2021). Investigasi Tegangan Pada Poros Bertingkat Menggunakan Metode Elemen Hingga Berbasis Computer Aided Engineering. Austenit
- D S Hoddinott (2004) Railway axle failure investigations and fatigue crack growth monitoring of an axle. HM Railway Inspectorate, Health and Safety Executive, Rose Court, 2 Southwark Bridge, London SE1 9HS, UK.
- Fadillah, R., Zakki, A. F., & Kiryanto, K. (2020). Analisa Fatigue Pada Kapal Tanker 6500 DWT Berdasarkan Common Structural Rules (CSR) berbasis Finite Element Analysis (FEA). Jurnal Teknik Perkapalan, 8(4), 588-599.
- Hidayat, W. (2019). Klasifikasi dan Sifat Material Teknik Serta Pengujian Material.
- Jeadi, Raymond Philander dan Andoko Andoko (2021) Failure analysis of railway freight car axle with finite method element. Mechanical Engineering Department, State University of Malang Semarang 5, Malang 65145, Indonesia.
- Jeffrey Erockho (2020) Mechanics of Time-Dependent Materials.