

## ANALISIS *HEAT TREATMENT TEMPERING* TERHADAP KEKERASAN DAN KEAUSAN *BRAKE LINING* PADA PESAWAT CESSNA GRAND CARAVAN 208B

Ignatius Ardian Amilleano Rorong\*, Indreswari Suroso, Noviana Utami

Program Studi Teknik Dirgantara, Sekolah Tinggi Teknologi Kedirgantaraan Yogyakarta  
Jl. Parangtritis Km. 4,5, Bangunharjo, Sewon, Bantul, D.I. Yogyakarta 55188.

\*Email: 180302090@students.sttkd.ac.id

### Abstrak

*Brake lining* atau kampas rem sangat penting perannya pada pesawat Cessna Grand Caravan 208B dalam mengontrol atau memberhentikan laju dari wheel pesawat. Dalam pengoperasiannya *brake lining* selalu mengalami gesekan secara terus-menerus dengan disc *brake* sehingga menyebabkan material mengalami keausan, kekerasan material berkurang, dan naiknya temperature secara drastis. Guna meningkatkan performa dari material *brake lining*, maka material ini akan diberi *heat treatment* dengan metode *tempering*. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh *tempering* terhadap kekerasan dan keausan pada material *brake lining*. Pengujian kekerasan pada material menggunakan metode Vickers dan pengujian keausan pada material menggunakan metode *ogoshi*. Hasil dari penelitian ini adalah dampak dari *tempering* untuk meningkatkan keuletan (*ductility*) dan ketangguhan material, namun menurunkan kekerasan dan kegetasan (*brittle*) material. Nilai kekerasan yang paling baik terdapat pada raw material sebesar 95,1 VHN, sedangkan nilai keausan yang paling baik terdapat pada material yang di *tempering* dengan suhu pemanasan 600°C sebesar 0,00120 mm<sup>3</sup>/kg.m yang nilainya menurun hingga 61% dari raw material. Hal ini dikarenakan semakin tinggi temperature saat di *tempering* maka material akan lebih tahan terhadap keausan ataupun gesekan, akan tetapi menurunkan nilai kekerasannya.

**Kata kunci:** *brake lining*, keausan, kekerasan, *tempering*

### PENDAHULUAN

Transportasi adalah sarana untuk menyalurkan atau mendistribusikan barang dan jasa maupun orang atau sekelompok orang yang akan bepergian ke suatu daerah. Setiap transportasi memiliki *wheel* atau roda yang berfungsi sebagai tumpuan agar sebuah transportasi dapat bergerak. Pesawat Cessna Grand Caravan 208B merupakan salah satu pesawat kecil yang dipakai pada bandara-bandara perintis yang menghubungkan daerah-daerah terpencil atau di pegunungan. Pesawat ini memiliki kecepatan jelajah 186 knot (344 km/h) serta kecepatan mengudara 6,77 m/s yang menggunakan Turboprop Engine (Andika, C., dkk., 2021).

*Brake system* merupakan sistem untuk memperlambat dan mengontrol laju kecepatan dari pesawat terbang. Salah satu komponen yang bekerja pada *brake system* adalah kampas rem atau *brake lining*. *Brake lining* memiliki peran yang sangat penting untuk mengontrol kecepatan atau menghentikan dari *landing gear*. *Brake lining* merupakan material yang lunak, namun tahan terhadap gesekan dan temperature yang

tinggi. Komposisi kimia dari *brake lining* ini terdiri dari Fe 95,9%; Cr 0,772%; Mn 0,468%; C 0,333%; Si 0,235%; Al 0,235%; dan Mo 0,151% (Suroso, I., 2020). Material *brake lining* dikategorikan sebagai baja karbon sedang karena memiliki kadar unsur Carbon (C) 0,333%. Baja karbon sedang memiliki nilai kadar C antara 0,3% sampai dengan 0,6%. Rem cakram memberikan gaya yang berlawanan dengan kampas rem, sehingga gaya gesek yang dihasilkan kampas rem lebih besar daripada rem cakram. Hal ini dikarenakan untuk memperlambat laju putaran dari rem cakram serta menyebabkan amplitudo getaran akan semakin meningkat baik pada kampas rem maupun rem cakram (Elhafid, M. M., dkk, 2017).

*Heat treatment* dengan metode *tempering* merupakan perlakuan terhadap material dengan meningkatkan ketangguhan dari material, namun menurunkan kekerasan secara perlahan-lahan (Haiko, O., et al, 2019). Metode *tempering* ini juga merubah struktur mikro dari material, namun tidak merubah persentase komposisi kimia dari

material. Hal ini dikarenakan metode ini hanya membentuk dan merubah sifat fisis serta mekanis dari material itu sendiri. Selain itu, metode ini juga akan meningkatkan keuletan (*ductility*) dari material dan menurunkan kegetasan (*brittle*) dari material akibat media pendinginan. Pada proses *tempering* ini material akan memperoleh hasil yang terbaik namun dengan mempertimbangkan lamanya *holding time* dan tingkat *temperature* yang akan diberikan terhadap material. Selain itu, menghaluskan butir-butir kristal, menghilangkan *internal stress*, dan membuat fasa-fasa bertransformasi untuk memperoleh kekuatan dan ketangguhan yang diinginkan (Yunus, M., 2016).

Kekerasan pada suatu material sangat diperlukan untuk material itu tetap kokoh terhadap medan pengoperasiannya ataupun gesekan yang terjadi antar material. Material memerlukan pengujian kekerasan, agar material dapat diketahui kemampuan bahan, kekuatan, keuletan, ketahanan, ketangguhan, kekakuan, dan kekerasan untuk menghadapi deformasi secara plastis ataupun permanen yang terjadi pada material saat dikenai beban permintaan (Viyus, V., dan Hertomo, B., 2020).

Pengujian dengan metode *Vickers* merupakan pengujian dengan indenter berbentuk piramida intan dengan sudut kemiringan  $136^\circ$  yang dipenetrasikan terhadap material selama 10 detik (Wada, K., *et al.*, 2021). Pengujian kekerasan *Vickers* memiliki keunggulan yaitu saat dilakukan pengujian terhadap suatu material hasil penetrasi dari indenter sangat kecil sehingga material tidak rusak dan dapat dipakai kembali, akan tetapi untuk mengukur bekas hasil uji tersebut memerlukan waktu yang cukup lama (Maulana, N. B., 2018). Perhitungan untuk memperoleh nilai kekerasan *Vickers* dapat diketahui pada **Persamaan (1)** dan **(2)** (Kaya, N., *et al.*, 2021):

$$VHN = 1,854 \times \frac{P}{d^2} \quad (1)$$

$$d = \frac{d_1 + d_2}{2} \quad (2)$$

VHN merupakan nilai *hardness Vickers number* ( $\text{kgf/mm}^2$ ), beban (P) yang digunakan ( $\text{kgf}$ ). indenter sudut  $\alpha$  sudut indenter (*Vickers* ;  $136^\circ$ ) diagonal rata-rata d diukur dalam satuan (mm) dengan nilai  $d_1$  merupakan diagonal titik Pertama (mm) dan  $d_2$  diagonal titik kedua (mm).

Keausan sering terjadi pada suatu material saat material tersebut beroperasi dalam pekerjaannya. Material mengalami keausan diakibatkan adanya gesekan (*friction*) antar material yang dinamis secara terus-menerus (Cahyadi, R., dkk., 2019). Beberapa faktor yang membuat material menjadi aus, yaitu kecepatan, tekanan, kekasaran permukaan material, dan kekerasan material. Keausan dapat juga diartikan sebagai hilangnya sejumlah material dari permukaan material. Keausan pada material akan meningkat apabila jarak geser dan volume keausan meningkat sehingga menurunkan kekerasan pada material (Syafa'at, I., *et al.*, 2018).

Keausan pada suatu material menyebabkan *clearance* dengan komponen yang lainnya sehingga pada suatu pengoperasian dapat mengakibatkan terjadinya getaran yang membuat beberapa komponen akan mengalami kelelahan (*fatigue*) (Wardoyo, W., dan Sumpena, S., 2018). Perhitungan untuk memperoleh nilai keausan pada suatu material dapat diketahui pada Persamaan (3) dan (4) (Valtonen, K., *et al.*, 2019):

$$Ws = \frac{1,5 \cdot W}{P \cdot l} \quad (3)$$

$$W = \frac{B \cdot b^3}{12 \cdot r} \quad (4)$$

Nilai keausan spesifik (Ws) diukur dalam satuan  $\text{mm}^3/\text{kg.m}$ , volume yang tergores (W) dalam  $\text{mm}^3$ , Beban (P) dalam satuan (kg) jarak keausan (l) dalam meter (m), B merupakan nilai dari tebal goresan (mm) dan notasi b merupakan indikasi lebar goresan (mm) serta r adalah jari-jari *disc* (mm)

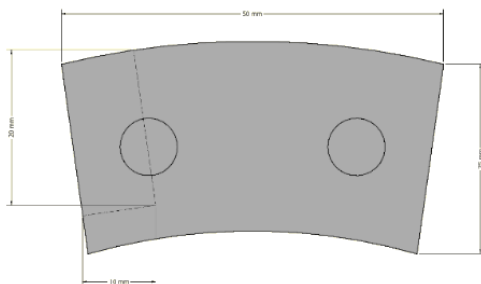
## METODE PENELITIAN

Sampel pada penelitian ini adalah komponen *brake lining* dari pesawat Cessna Grand Caravan 208B. Komponen *brake lining* ini merupakan material bekas yang sudah tidak terpakai lagi dikarenakan sudah aus dan telah mencapai batas pemakaiannya.

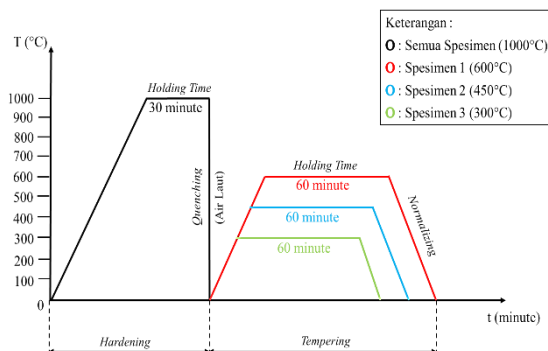


**Gambar 1. Brake Lining Pesawat Cessna Grand Caravan 208B**

Berdasarkan AMM (*Aircraft Maintenance Manual*) limitasi pemakaian *brake lining* hingga 0,1 inch (2,54 mm). Material ini dipotong berdasarkan ukuran dari uji keausan yang diambil dari ASTM G99 tentang *standard test method for wear testing with a pin-on-disk apparatus* (ASTM Internasional., 2000) dengan ukuran 20 x 10 mm yang dapat dilihat pada Gambar 2.



**Gambar 2. Desain brake lining dan pembagiannya**



**Gambar 3. Kurva tempering pada brake lining**



**Gambar 4. furnace (thermo scientific)**

Pemberian *heat treatment* pada *brake lining* menggunakan metode *tempering*. Kurva pemberian *tempering* pada material *brake lining* dapat dilihat pada Gambar 3 dan alat pemberian panas disajikan pada Gambar 4.



**Gambar 5. universal hardness tester**

Pengujian kekerasan ini menggunakan metode *Vickers* yang didasarkan pada ASTM E92 tentang *Standard Test Method for Vickers Hardness of Metallic Materials* (ASTM Internasional, 1997). Pengujian ini menggunakan beban penetrasi sebesar 20 kgf dengan penetrasi selama 10 detik. Alat pengujian kekerasan *Vickers* dapat dilihat pada gambar 5.



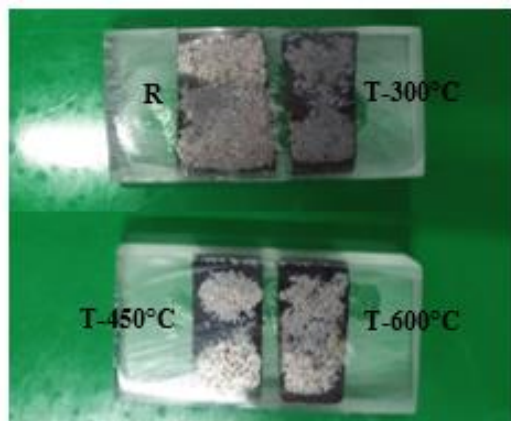
**Gambar 6. Universal Wear (Riken-Ogoshi)**

Pengujian keausan ini menggunakan metode ogoshi yang didasarkan pada ASTM G99 tentang *Standard Test Method for Wear Testing with a pin-on-disk Apparatus* (ASTM Internasional., 2000). Pengujian ini menggunakan beban pengausan sebesar 6,36 kg dan jarak pengausan 15 m dengan tebal *disc* 3,45 mm dan jari-jari *disc* 13,6 mm yang berputar dengan kecepatan 1430 rpm. Alat pengujian kekerasan Vickers dapat dilihat pada gambar 6.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Pemberian *heat treatment* pada *brake lining* menggunakan metode *tempering* yang disajikan pada gambar 7. *Heat treatment* terdapat beberapa faktor yang mempengaruhinya, yaitu *temperature* pemanasan, waktu penahanan pemanasan (*holding time*), dan media pendingin. Variasi *temperature* pada proses *tempering* bertujuan untuk membandingkan

tingkat kekuatan yang diperoleh material.



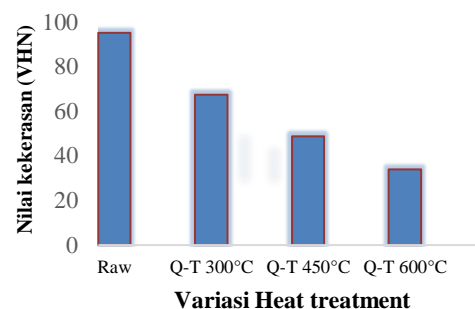
**Gambar 7.** Spesimen *brake lining* saat sebelum dan sesudah di *tempering*

Spesimen I dengan suhu pemanasan 300°C memberi pengaruh menurunkan tegangan kerut dan kerapuhan pada material, spesimen II dengan suhu pemanasan 450°C memberi pengaruh meningkatkan keuletan dari material, dan spesimen III dengan suhu pemanasan 600°C memberi pengaruh tingkat keuletan yang tinggi pada material (Mujaddedy, M. N., dkk., 2020). Perlakuan dengan metode *tempering* ini memberikan dampak meningkat-kan keuletan (*ductile*) dan ketangguhan pada material, namun menurunkan kekerasan dan kegetasan (*brittle*) pada material.

**Tabel 1.** Hasil Pengujian Kekerasan Vickers

Variasi Temperature	Titik Uji	Kekerasan (VHN)	Kekerasan rata-rata (VHN)
Raw	1	98,0	95,1
	2	98,0	
	3	89,1	
Q-T 300°C	1	69,6	67,4
	2	67,7	
	3	65,0	
Q-T 450°C	1	51,3	48,7
	2	48,4	
	3	46,3	
Q-T 600°C	1	28,8	33,9
	2	30,4	
	3	42,4	

Pada tabel 1 nilai analisis pengujian kekerasan Vickers. kekerasan rata-rata pada *raw material* atau bahan asli sebesar 95,1 VHN. Pada spesimen *brake lining* yang telah di *tempering* 300°C nilai kekerasan rata-ratanya sebesar 67,4 VHN yang menurun 29% dari *raw material*, spesimen *brake lining* yang di *tempering* 450°C nilai kekerasan rata-ratanya sebesar 48,7 VHN yang menurun 49%, dan spesimen *brake lining* yang di *tempering* 600°C nilai kekerasan rata-ratanya sebesar 33,9 VHN yang menurun 64% dari *raw material*.



**Gambar 8.** Presentasi Uji Kekerasan Vickers pada *Brake Lining*

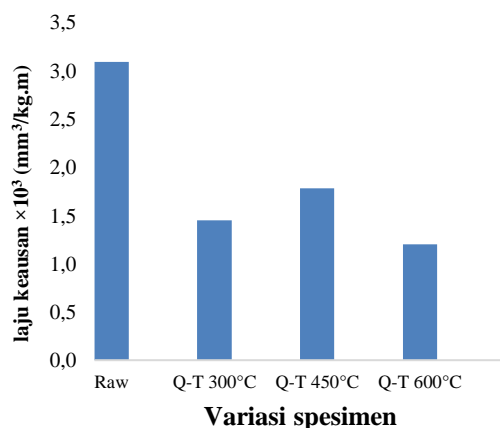
Penurunan kekerasan ini diakibatkan dari pemberian *tempering* dikarenakan pengaruh dari *tempering* menurunkan kekerasan dan kegetasan dari material, akan tetapi penurunan kekerasan ini tidak menurun secara drastis. Hal ini diakibatkan juga oleh media *quenching* yaitu air laut. Air laut menurunkan nilai kekerasan secara perlahan-lahan pada material dikarenakan air laut memiliki kadar garam (NaCl) yang tinggi

(Erizal, E., 2017). Nilai kekerasan paling baik adalah pada *raw material* atau bahan asli.

**Tabel 2. Hasil Pengujian Keausan**

Variasi <i>Tempe- rature</i>	Titik Uji	Volume Tergores (W;mm <sup>3</sup> )	Keausan (Ws;mm <sup>3</sup> /kg.m)	Keausan rata-rata (Ws;mm <sup>3</sup> /kg.m)
Raw	1	0,21009	0,00330	0,00309
	2	0,21009	0,00330	
	3	0,16912	0,00266	
Q-T 300°C	1	0,08659	0,00136	0,00145
	2	0,10386	0,00163	
	3	0,08659	0,00136	
Q-T 450°C	1	0,10386	0,00163	0,00178
	2	0,11330	0,00178	
	3	0,12329	0,00194	
Q-T 600°C	1	0,08659	0,00136	0,00120
	2	0,07135	0,00112	
	3	0,07135	0,00112	

Analisis pengujian keausan berdasarkan pada tabel 2 nilai keausan rata-rata pada *raw material* atau bahan asli sebesar 0,00309 mm<sup>3</sup>/kg.m. Pada spesimen *brake lining* yang telah di *tempering* 300°C nilai keausan rata-ratanya sebesar 0,00145 mm<sup>3</sup>/kg.m yang menurun 53% dari *raw material*, spesimen *brake lining* yang di *tempering* 450°C nilai keausan rata-ratanya sebesar 0,00178 mm<sup>3</sup>/kg.m yang menurun 42%, dan spesimen *brake lining* yang di *tempering* 600°C nilai keausan rata-ratanya sebesar 0,00120 mm<sup>3</sup>/kg.m yang menurun 61% dari *raw material*.



**Gambar 9. Presentasi Uji Keausan pada Brake Lining**

Jika semakin tinggi *temperature* saat material di *tempering* maka material akan lebih tahan terhadap keausan (Insan, G. L. N., dkk., 2020). Pada gambar 9 terlihat spesimen yang di *tempering* pada suhu pemanasan 450°C mengalami kenaikan kembali keausannya. Hal

ini diakibatkan karena adanya unsur Carbon (C) yang selalu bertransformasi saat material menerima panas di setiap peningkatan pemanasan pada proses *tempering*. Unsur C juga merupakan unsur non-logam sehingga unsur ini sangat cepat menyesuaikan dengan kondisi dan keadaan pada material (fleksibel). Jadi, spesimen yang paling tahan terhadap keausan adalah pada material *brake lining* yang diberi *tempering* dengan suhu pemanasan 600°C.

## PENUTUP

### Kesimpulan

Dari penelitian ini, dapat disimpulkan bahwa *heat treatment* dengan metode *tempering* memberikan pengaruh untuk meningkatkan keuletan dan ketangguhan pada material, namun menurunkan kekerasan dan kegetasan pada material. Pada pengujian kekerasan *Vickers*, nilai kekerasan paling baik adalah pada *raw material* atau bahan asli dengan nilai kekerasan rata-rata sebesar 95,1 VHN, sedangkan nilai kekerasan yang kurang baik adalah pada material di *tempering* dengan suhu pemanasan 600°C dengan nilai kekerasan dengan nilai kekerasan rata-rata sebesar 33,9 VHN yang menurun 64% dari *raw material*. Hal ini dikarenakan pengaruh dari metode *tempering* akan menurunkan kekerasan dari material karena semakin tinggi *temperature* dari proses *tempering* maka akan menurunkan kekerasan dari material. Pada pengujian keausan, material yang paling tahan terhadap keausan adalah material yang di *tempering* dengan suhu pemanasan 600°C dengan nilai keausan rata-rata sebesar 0,00120 mm<sup>3</sup>/kg.m yang menurun hingga 61% dari *raw material*, sedangkan pada *raw material* atau bahan asli memiliki nilai keausan rata-rata sebesar 0,00309 mm<sup>3</sup>/kg.m sehingga material ini sudah sangat aus. Semakin tinggi *temperature* dari proses *tempering* maka akan membuat material lebih tahan terhadap keausan.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kepada laboratorium Teknik Mesin Universitas Gadjah Mada Yogyakarta yang telah memberikan waktu dan kesempatan serta fasilitas untuk kelancaran penelitian ini.

## DAFTAR PUSTAKA

- Andika, C., dkk., (2021), Karakteristik Komponen Fuel Nozzle Gasket Pesawat Cessna Grand Caravan 208B, *Teknika STTKD: Jurnal Teknik, Elektronik, Engine*, 7(2), 293-298.
- ASTM Internasional., (1997), ASTM E92 Standard Test Method for Vickers Hardness of Metallic Materials, Vol. 82, no. Reapproved, p. 10.
- ASTM Internasional., (2000), ASTM G99 Standard Test Method for Wear Testing with a Pin-on-Disk Apparatus.
- Cahyadi, R., dkk., (2019), Analisis Laju Keausan Baja Suj2 Hasil Variasi Temperatur Tempering Untuk Aplikasi Ball Bearing, *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, 7(2), 79-86.
- Elhafid, M. M., dkk., (2017), Pengaruh Bahan Kampas Rem Terhadap Respon Getaran Pada Sistem Rem Cakram, *Jurnal Teknik Mesin Indonesia*, 12(1), 1-7.
- Erizal, E., (2017), Uji Kekerasan Pada Pegas Daun Mobil Pick-Up. Suhu Pemanasan 8000c Di Quenching Air Laut, *Majalah Teknik Simes*, 11(1), 16-22.
- Haiko, O., *et al.*, (2019), Effect of Tempering on the Impact-Abrasive and Abrasive Wear Resistance of Ultra-High Strength Steels, *Wear*, 440, 203098.
- Insan, G. L. N., dkk., (2020), Analisis Pengaruh Variasi Holding Time dan Temperatur Tempering terhadap Kekerasan Baja AISI 4340 untuk Komponen Poros Pompa Sentrifugal Multistage Horizontal dengan Metode Kang dan Lee Equation, *Jurnal Teknik ITS*, 8(2), F176-F181.
- Kaya, N., *et al.*, (2021), Investigation of Microhardness Properties of the Multi-Walled Carbon Nanotube Additive MgB2 Structure by Using the Vickers Method, *Cryogenics*, 116, 103295.
- Maulana, N. B., (2018), Pengaruh Variasi Beban Indentor Vickers Hardness Tester Terhadap Hasil Uji Kekerasan Material Aluminium dan Besi Cor, *Jurnal Teknik Mesin MERC (Mechanical Engineering Research Collection)*, 1(1).
- Mujaddedy, M. N., dkk., (2020), Analisa Pengaruh Qhuenching dan Tempering Terhadap Sifat Mekanik Pada Baja Aisi 1050, *Jurnal Mesin Sains Terapan*, 4(2), 125-130.
- Suroso, I., (2020), Characteristics of Brake Lining Cessna Caravan Type 208B, In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 722, No. 1, p. 012027). IOP Publishing.
- Syafa'at, I., *et al.*, (2018), Wear Analysis of Spherical Graphite Cast Iron Using Pin-on Disc Tribotester, *Journal of Physical Science*, 29.
- Valtonen, K., *et al.*, (2019), Comparison of Various High-Stress Wear Conditions and Wear Performance of Martensitic Steels, *Wear*, 426, 3-13.
- Viyus, V., dan Hertomo, B., (2020), Prediksi Nilai Batas Elastisitas Baja Konstruksi Dengan Uji Kekerasan Brinell dan Vickers, *Jurnal Teknik Ilmu Dan Aplikasi*, 9(2), 46-51.
- Wada, K., *et al.*, (2021), Mechanism of Hydrogen-Induced Hardening in Pure Nickel and In a Copper–Nickel Alloy Analyzed by Micro Vickers Hardness Testing, *Materials Science and Engineering: A*, 805, 140580.
- Wardoyo, W., dan Sumpena, S., (2018), Pengaruh Variasi Temperatur Quenching pada Aluminium Paduan AlMgSi-Fe12% terhadap Keausan, *Jurnal Engine: Energi, Manufaktur, dan Material*, 2(1), 33-39.
- Yunus, M., (2016), Pengaruh Perlakuan Quenching-Tempering Terhadap Kekuatan Impak Pada Baja Karbon Sedang, *Jurnal Teknik Mesin*, 2(1).