

## PENGARUH QUENCHING TERHADAP UJI KEKERASAN DAN UJI IMPACT DISC BRAKE CESSNA GRAND CARAVAN 208B

Mohammad Ilham<sup>1</sup>, Indreswari Suroso<sup>2</sup>, Noviana Utami<sup>3</sup>

Program Studi S1 Teknik Dirgantara, Sekolah Tinggi Teknologi Kedirgantaraan,  
Jln. Parangtritis KM. 4.5, Druwo, Bangunharjo, Sewon, Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta 55187

\*E-mail: [pilisiilham@gmail.com](mailto:pilisiilham@gmail.com)

Diterima: 16-03-2022

Direvisi: 28-05-2022

Disetujui: 01-06-2022

### ABSTRAK

*Disc brake* merupakan piringan cakram pada system pengereman (*brake system*) yang terdapat pada bagian *landing gear*. Pada saat pengereman, terjadi gesekan antara *disc brake* dan *brake lining* sehingga mengakibatkan panas yang tinggi dan mengalami deformasi mengakibatkan menurunnya umur pakai pada *disc brake*. Untuk mengatasi masalah tersebut, dilakukan penelitian dengan memberikan perlakuan panas *quenching* menggunakan beberapa media pendingin yaitu air laut, air sumur, oli SAE 40, dan kemudian dilakukan pengujian kekerasan *vickers* dan uji *impact charpy* agar dapat mengetahui kekuatan pada material *disc brake* tersebut. Hasil pada penelitian ini memperlihatkan perubahan karakteristik sifat pada material yang telah diberi perlakuan panas *quenching*. *Quenching* menghasilkan fasa martensit yang bersifat keras tapi getas. *Quenching* menggunakan pendingin air laut menghasilkan kekerasan tertinggi sebesar 584 VHN atau meningkat sebesar 71% dari *raw material*. Hasil uji *impact charpy* menunjukkan harga *impact* tertinggi pada *raw material* sebesar 0,801 J/mm<sup>2</sup> dan harga *impact* pada material yang di *quenching* mengalami penurunan. Hal ini disebabkan karena terbentuknya fasa *martensit* yang sangat banyak, sehingga material yang telah di *quenching* menghasilkan kekerasan yang tinggi dan bersifat getas.

**Kata Kunci:** *Disc Brake*; Perlakuan Panas; *Quenching*; Uji Kekerasan; Uji Impact.

### ABSTRACT

*Disc brake* is a disc in the braking system (*brake system*) which is located on the landing gear. During braking, friction occurs between the *disc brake* and *brake lining*, resulting in high heat and deformation resulting in decreased service life of the *disc brake*. To overcome this problem, a research was conducted by providing *quenching* heat treatment using several cooling media, namely sea water, well water, oil SAE 40, and then carried out a *vickers* hardness test and a *charpy* impact test in order to determine the strength of the *disc brake* material. The results of this study show changes in the characteristics of the material that has been treated with heat *quenching*. *Quenching* produces a hard but brittle martensite phase. *Quenching* using seawater cooling resulted in the highest hardness of 584 VHN or an increase of 71%. The results of the *Charpy* impact test show that the highest impact price on *raw material* is 0.801 J/mm<sup>2</sup> and the impact price on quenched material has decreased. This is due to the formation of a large amount of martensite phase, so that the quenched material produces high hardness and is brittle.

**Keywords:** *Disc Brake*; Heat Treatment; *Quenching*; Hardness Test; Impact Test.

## 1. PENDAHULUAN

Dunia penerbangan mengalami kemajuan yang sangat pesat sehingga menciptakan jenis-jenis pesawat dengan teknologi canggih. Salah satunya adalah jenis pesawat Cessna Grand Caravan 208B. Pesawat ini menggunakan jenis mesin *single turboprop engine*. Demi menjaga keamanan penerbangan, pesawat ini sering dilakukan perawatan (*maintenance*) untuk mengetahui kelayakan komponen pada pesawat. Pada saat *takeoff* dan *landing* atau pergeakan di *ground* kecepatan pesawat dapat dikurangi dengan menggunakan system kerja pengereman (*brake system*).

*Brake system* merupakan suatu sistem pada pesawat terbang untuk memperlambat kecepatan yang bekerja pada roda (*wheel*) pesawat terbang [1]. Salah satu komponen pada *landing gear* yang berperan penting dalam pengereman adalah *disc brake*. Masalah yang terjadi pada saat pengereman yaitu terjadinya gesekan antara *brake lining* dan *disc brake*. Gesekan terus menerus mengakibatkan perubahan bentuk permukaan, yaitu permukaan *disc brake* akan menipis, sehingga akan mengurangi umur pakai pada komponen *disc brake*. Salah satu cara untuk meningkatkan sifat material *disc brake*, yaitu dengan cara perlakuan panas dan dilanjutkan pendinginan cepat (*quenching*).

Penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan sifat material pada *disc brake*, agar menghasilkan karakteristik terbaik dari komponen *disc brake* sebelumnya, sehingga umur pakai pada *disc brake* dapat bertahan lama.

### 1.1 Disc Brake Pesawat Cessna Grand Caravan 208B

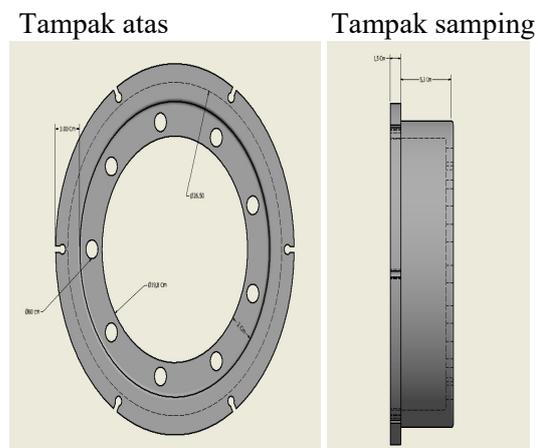
*Disc brake* merupakan piringan cakram yang berfungsi untuk membantu mengurangi kecepatan [2]. Bentuk komponen *disc brake* pesawat cessna grand caravan 208B dapat dilihat pada Gambar 1-2.

Komposisi kimia yang terdapat pada material *disc brake* merupakan unsur kimia yang harus diketahui terlebih dahulu sebelum dilakukannya penelitian. Setelah mengetahui unsur kimia yang terdapat pada material, maka

dapat dianalisis sifat mekanisnya sehingga dapat diketahui kelebihan dan kekurangan material sebelum pengaplikasian ke komponen yang akan digunakan. Komposisi kimia yang terkandung pada *disc brake* sangat banyak. Unsur kimia yang mendominasi adalah besi (Fe) sebesar 92,1%, Nikel (Ni) sebesar 3,61 % dan Karbon (C) sebesar 0,264 % sehingga komponen *disc brake* termasuk unsur paduan Fe-Ni dan merupakan golongan baja karbon rendah [3].



Gambar 1. Disc brake Cessna grand caravan 208B



Gambar 2. Desain disc brake Cessna grand caravan 208B

### 1.2 Perlakuan Panas Quenching

Perlakuan panas *quenching* merupakan proses peningkatan kekuatan material dengan cara pemanasan pada daerah *austenite* dan ditahan kemudian dilakukan pendinginan cepat [4]. Perlakuan panas dan pendinginan cepat pada baja bertujuan untuk memperoleh struktur yang keras atau terbentuknya martensit. Kekerasan maksimum yang terbentuk pada baja yang telah di *quenching* dipengaruhi oleh

kosentrasi karbon dan kecepatan pendinginan yang terjadi [5]. Keuntungan dari *quenching* untuk meningkatkan kadar karbon yaitu tidak memerlukan tambahan media lainnya, cukup menggunakan media pendinginan [6].

Pengerasan sifat material dengan terjadinya perubahan struktur mikro pada saat pemanasan dan pendinginan cepat sehingga mengakibatkan perubahan dari *austenite* menjadi *martensit* yang bersifat kekerasan tinggi dan bersifat getas [7]. Penyebab terjadinya peningkatan kekuatan material dipengaruhi oleh temperatur, waktu penahanan, dan pendinginan cepat. Nilai kekerasan material dapat meningkat tinggi jika pendinginan dari media pendinginnya sangat cepat [8].

### 1.3 Uji Kekerasan Vickers

Uji kekerasan *vickers* merupakan metode uji kekerasan yang paling umum digunakan untuk mengetahui sifat mekanik material [9]. Pengujian kekerasan *vickers* ini dapat dilakukan pada benda kerja yang berukuran kecil [10]. Proses pengujian ini yaitu dengan penekanan berbentuk piramida pada benda kerja selama waktu yang ditentukan. Kelebihan dari pengujian ini adalah tidak merusak benda, sehingga spesimen masih dapat dipakai untuk pengujian lainnya. Sedangkan kekurangannya yaitu proses untuk mengetahui nilai kekerasannya membutuhkan waktu yang lama dan persyaratan sebelum melakukan pengujian ini spesimen harus dalam keadaan bersih, mengkilap, dan posisinya harus benar sehingga untuk pembuatan spesimen ini memerlukan waktu yang cukup lama. Mencari nilai kekerasan dapat ditemukan dengan memasukan data hasil pengujian ke rumus Persamaan (1) dan Persamaan (2) sebagai berikut:

$$d = \frac{d_1 + d_2}{2} \quad (1)$$

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

Keterangan:

- VHN : *Vickers Hardness Number* (kgf/mm<sup>2</sup>)
- P : Beban yang diterapkan (kgf)
- d : Diagonal rata-rata (mm)
- d<sub>1</sub> : Diagonal titik pertama (mm)
- d<sub>2</sub> : Diagonal titik kedua (mm)

### 1.4 Uji Impact Charpy

Pengujian *impact* menggambarkan kondisi penggunaan konstruksi material yang terdapat pada transportasi seperti pesawat terbang [11]. Beban kejut yang paling besar terjadi pada *landing gear*, dimana pada saat pesawat *landing* akan terjadi tumbukan kejut karena *wheel* bertemu dengan permukaan landasan. Oleh karena itu material yang terdapat dalam komponen *landing gear* harus memiliki sifat ketangguhan yang baik dan pengujian yang paling akurat untuk masalah ini yaitu pengujian *impact*.

Uji *impact* termasuk pengujian ketangguhan dengan pemberian beban kejut yang mengakibatkan patah atau rusak pada spesimen [12]. Pengujian *impact charpy* bertujuan untuk mengetahui ketangguhan logam yang memiliki sifat ulet atau rapuh [13].

Jika mencari besarnya energi *impact* dapat menggunakan Persamaan (3) dan untuk mencari besarnya harga *impact* dapat menggunakan Persamaan (4).

$$E = m \cdot g \cdot R \cdot (\cos \beta - \cos \alpha) \quad (3)$$

$$HI = \frac{E}{A} \quad (4)$$

Keterangan:

- m : masa palu (kg)
- g : Percepatan gravitasi (m/s<sup>2</sup>)
- R : Panjang lengan palu (m)
- α : Sudut awal (°)
- β : Sudut akhir (°)
- HI : Harga *Impact* (J/mm<sup>2</sup>)
- E : Energi *Impact* (J)
- A : Luas spesimen (mm<sup>2</sup>)

Perlu dilakukan pengujian *impact charpy* untuk mengetahui kekuatan material dengan pemberian beban secara tiba-tiba. Dengan pengujian ini dapat dikatakan bahwa semakin rendah hasil dari *impact* maka akan semakin kuat perpatahan yang akan terjadi pada bahan uji [14].

## 2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan komponen *disc brake* bekas. Sebelum dilakukan perlakuan panas, *disc brake* dipotong dan dibentuk dengan ukuran ASTM E 23 untuk pengujian *impact charpy*. Ukuran spesimen kekerasan *vickers* yaitu panjang 12 mm, lebar 10 mm, dan tinggi 10 mm. Pengujian kekerasan *vickers* menggunakan alat *Universal Hardness Tester* dan pengujian *impact charpy* menggunakan alat *impact tester (Controlab)*. Ukuran spesimen *impact charpy* dan kekerasan *vickers* dapat dilihat pada Gambar 3 dan 4.



Gambar 3. Spesimen *disc brake* ASTM E23



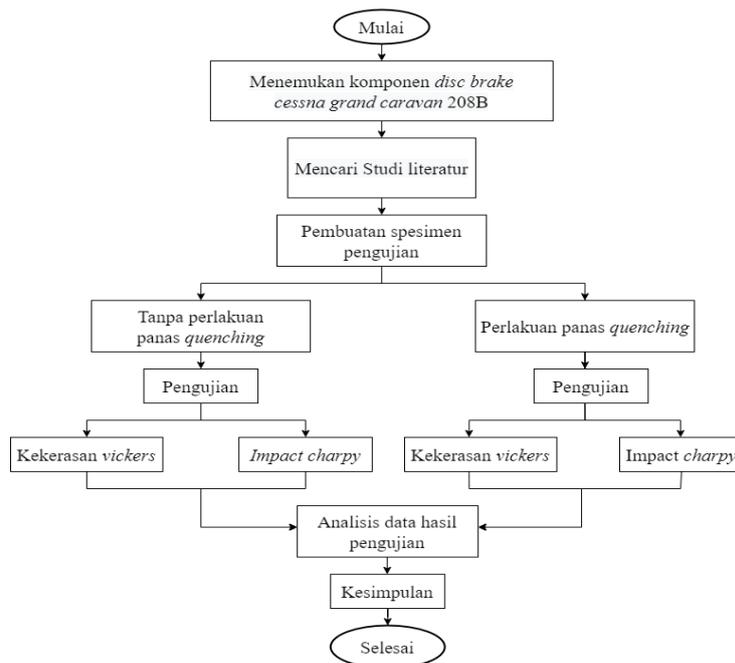
Gambar 4. Spesimen kekerasan *vickers*

Spesimen *disc brake* yang telah dibentuk kemudian dikenakan proses pemanasan pada temperatur 912°C kemudian ditahan selama 30 menit dan dilanjutkan pendinginan cepat menggunakan media air laut, air sumur, dan oli SAE 40.



Gambar 6. Proses pemanasan spesimen pada temperatur 912°C

Kemudian dilakukan pengujian kekerasan *vickers* dan pengujian *impact charpy*. Dengan melakukan pengujian ini dapat memperoleh data-data yang akan dianalisis secara kuantitatif sehingga dapat disimpulkan karakteristik material *disc brake*. Agar lebih jelas, proses penelitian dapat dilihat pada Gambar 6.

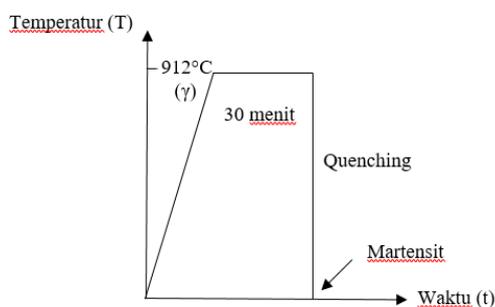


Gambar 5. Diagram Alir Penelitian

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1 Pengaruh Perlakuan Panas *Quenching* Pada *Disc Brake* Pesawat Cessna Grand Caravan 208B

Pemberian perlakuan panas pada spesimen *disc brake* bertujuan untuk merubah kekuatan dari material seperti terjadinya perubahan struktur mikro, memperbaiki keuletan, meningkatkan kekerasan, dan meningkatkan ketahanan aus. Peningkatan kekuatan material disebabkan oleh temperatur, waktu penahanan saat pemanasan (*holding time*), dan pendinginan cepat (*quenching*) [7]. Proses perlakuan panas *quenching* tersaji pada Gambar 7.



Gambar 7. Proses perlakuan panas *quenching*

Spesimen yang mengalami perlakuan panas *quenching* jika dilihat secara visual memiliki perbedaan bentuk dari *raw material*. Spesimen yang diberi perlakuan panas terlihat hangus dan mengalami pengelupasan pada struktur permukaan spesimen. Hal ini disebabkan karena proses pemanasan tinggi sampai pada temperatur 912°C.

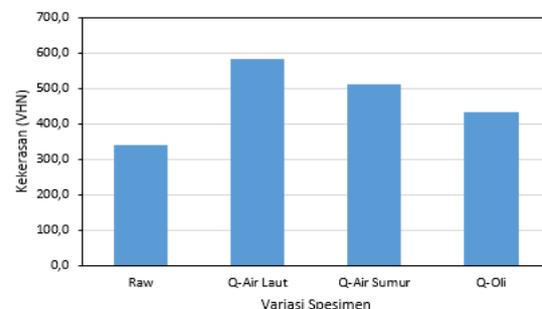
#### 3.2 Hasil Pengujian Kekerasan *Vickers* Pada Material *Disc Brake* Pesawat Cessna Grand Caravan 208B

Dilakukannya uji kekerasan *vickers* untuk mengetahui perbedaan tingkat kekerasan *raw material* dan spesimen yang diberi perlakuan *quenching*. Pengujian dilakukan dengan memberi pembebanan indenter 40 kgf dan diuji pada 3 titik spesimen yang berbeda. Hasil pengujian kekerasan *vickers* tersaji dalam Tabel 1.

Tabel 1. Hasil uji kekerasan *vickers*

Variasi Media Pendingin	Titik Uji	Kekerasan (VHN)	Kekerasan Rata-rata (VHN)
Raw Material	1	343.0	340.6
	2	335.7	
	3	343.0	
Q-Air Laut	1	572.2	584.0
	2	556.7	
	3	623.1	
Q-Air Sumur	1	527.4	514.1
	2	527.4	
	3	487.6	
Q-Oli SAE 40	1	452.1	434.6
	2	441.2	
	3	410.6	

Berdasarkan tabel 1, pengujian kekerasan *vickers* menghasilkan peningkatan nilai kekerasan yang terjadi pada spesimen yang mengalami perlakuan panas *quenching*. Nilai rata-rata kekerasan *raw material* sebesar 340,6 VHN, *quenching* air laut sebesar 584 VHN, *quenching* air sumur sebesar 514,1 VHN, dan spesimen *quenching* oli SAE 40 sebesar 434,6 VHN. Hasil uji kekerasan disajikan dalam bentuk diagram sebagai berikut.



Gambar 8. Diagram hasil uji kekerasan

Dari data yang diperoleh pada Gambar 8, kekerasan tertinggi terdapat pada spesimen yang mengalami perlakuan panas *quenching* menggunakan air laut. Air laut sangat tinggi nilai kekerasannya, karena air laut merupakan zat yang memiliki banyak unsur garam dan unsur-unsur lainnya, sehingga proses pendinginan akan semakin cepat dan menghasilkan kekerasan yang sangat tinggi [15]. Dari ke tiga media pendingin yang berbeda, media pendingin yang menghasilkan kekerasan terendah yaitu oli SAE 40 karena memiliki viskositas yang sangat

tinggi sehingga proses pendinginan menjadi lama.

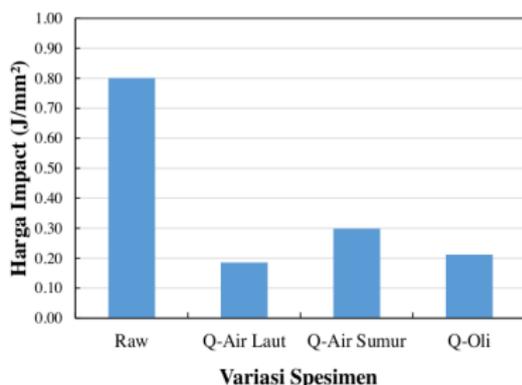
### 3.3 Hasil Uji *Impact Charpy* Pada *Disc Brake* Pesawat Cessna Granda Caravan 208B

Pengujian *impact charpy* dilakukan untuk mengetahui ketangguhan *raw material* dan spesimen yang mengalami proses *quenching*. Spesimen yang digunakan dalam pengujian mengikuti ASTM E23. Hasil uji *impact charpy* disajikan pada Tabel 2.

**Tabel 2.** Hasil uji *impact charpy*

Variasi Media Pendingin	Energi Terserap (J)	Harga Impact (J/mm <sup>2</sup> )
Raw Material	90,5	0,801
Q-Air Laut	17,4	0,185
Q-Air Sumur	28,8	0,299
Q-Oli SAE 40	19,2	0,212

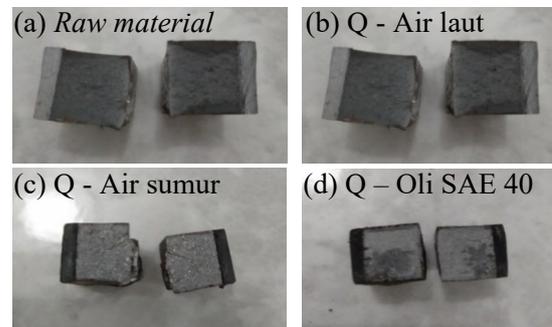
Berdasarkan Tabel di atas, harga *impact* terbesar yaitu pada *raw material* dengan nilai 0.801 J/mm<sup>2</sup>. Semakin rendah harga *impact* maka material memiliki sifat semakin getas [16]. Harga *impact* paling rendah terdapat pada *quenching* menggunakan media air laut yaitu 0.185 J/mm<sup>2</sup>. Agar lebih jelas, hasil uji *impact* dapat dilihat pada diagram Gambar 9.



**Gambar 9.** Diagram hasil pengujian *impact charpy*

Mengetahui ketangguhan suatu material dapat diketahui dengan cara lain seperti menganalisis secara visual jenis patahan yang terjadi. Material yang memiliki sifat ulet memperlihatkan permukaan patahan buram, permukaan mengalami deformasi, dan berbentuk patahan berserat. Sedangkan material yang memiliki sifat getas memperlihatkan permukaan patahan berbentuk kristal kecil

mengkilap dan permukaan halus ataupun datar [17]. Berikut merupakan gambar jenis patahan pada spesimen uji *impact charpy*.



**Gambar 10 (a) – (d).** Jenis patahan

Pada Gambar 10(a) terlihat jenis patahan buram dan berbentuk patahan berserat yang menandakan jenis patahan yaitu patahan ulet. Hasil dari pengamatan visual dapat dibuktikan dengan harga *impact raw material* sebesar 0.801 J/mm<sup>2</sup>. Gambar 10(b) *quenching* menggunakan air laut memiliki retakan dan terdapat kristal mengkilap yang sangat banyak. Sehingga jenis patahan spesimen yang di *quenching* menggunakan media air laut merupakan jenis patahan getas. Hasil pengamatan visual ini dapat dibuktikan dengan harga *impact quenching* air laut yang paling rendah yaitu 0.185 J/mm<sup>2</sup>. Gambar 10(c) *quenching* menggunakan air sumur terlihat kristal mengkilap mendominasi permukaan patahan, warna buram, dan sedikitnya patahan berserat. Sehingga jenis patahan spesimen yang di *quenching* air sumur termasuk dalam jenis patahan getas. Penelitian secara visual ini dapat dibuktikan dengan harga *impact* spesimen di *quenching* air sumur yaitu 0.299 J/mm<sup>2</sup>. Gambar 10(d) *quenching* menggunakan oli SAE 40 terlihat adanya kristal mengkilap yang sedikit dan bentuk patahan permukaannya halus atau datar. Sehingga dapat diketahui jenis patahan pada spesimen merupakan patahan getas. Kebenaran pengamatan secara visual ini dapat dibuktikan dengan harga *impact quenching* oli SAE 40 yaitu 0.212 J/mm<sup>2</sup>.

## 4. KESIMPULAN

Pengaruh perlakuan panas *quenching* dapat meningkatkan kekuatan material *disc brake*. Dengan menggunakan variasi tiga media

pendinginan yang berbeda akan menghasilkan kekuatan material yang berbeda juga. Nilai rata-rata kekerasan pada *raw material* sebesar 340,6 VHN. Pengaruh perlakuan panas *quenching* menunjukkan peningkatan nilai kekerasan terhadap nilai kekerasan dari *raw material*. Dari keseluruhan nilai rata-rata kekerasan, menunjukkan kekerasan tertinggi terdapat pada perlakuan panas *quenching* menggunakan air laut sebesar 584 VHN atau mengalami peningkatan kekerasan sebesar 71% dari *raw material*. Uji *impact charpy* terhadap *raw material* menghasilkan harga *impact* sebesar 0,801 J/mm<sup>2</sup> dan memiliki jenis patahan buram, berbentuk patahan berserat yang menandakan jenis patahan yaitu patahan ulet (*ductile*). Sedangkan harga *impact* pada spesimen yang mengalami *quenching* mengalami penurunan dan memperlihatkan jenis patahan getas karena terlihat adanya kristal mengkilap, retakan pada permukaan, dan patahan datar atau halus.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Suroso, I. 2020. Karakteristik Brake Lining Pada Pesawat Cessna Type 208b. *Teknika STTKD: Jurnal Teknik, Elektronik, Engine*, 6(1), 17-24.
- [2] Samwijaya, D., Darmanto, D., & Syafa'at, I. (2019). Analisis Keausan Kampas Rem Pada Disc Brake Dengan Variasi Lubang Disc Brake. *Majalah Ilmiah MOMENTUM*, 15(1).
- [3] Firmansah, A. 2020. Analisis komposisi kimia dan keausan (wear testing) pada disc brake pesawat cessna grand caravan 208 B (Tugas Akhir). Program Studi DIII Aeronautika Sekolah Tinggi Teknologi Kedirgantaraan (STTKD) Yogyakarta.
- [4] Salahudin, X., Aziz, S. F., Mulyaningsih, N., & Widodo, S. (2021). Analisis Laju Keausan Ring Ball Bearing Hasil Perlakuan Quenching. *Mekanik: Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, 7(1), 44-50.
- [5] Achmadi, A. (2017). Studi Eksperimen Pengaruh Perlakuan Quenching Dengan Variasi Pendingin Konsentrasi Air Garam Terhadap Kekerasan Dan Kekuatan Tarik Pada Baja ST 37. *SIMETRIS*, 11(2), 34-42.
- [6] Ahmadin, A. (2021). Pengujian Kekerasan Dan Struktur Mikro Plat Baja Karbon Rendah Setelah Proses Pemanasan Dengan Suhu 800°C Di Quenching Bio Solar. *majalah teknik simes*, 15(2), 8-14.
- [7] Anggoro, S. 2017. Pengaruh Perlakuan Panas Quenching Dan Tempering Terhadap Laju Korosi Pada Baja AISI 420. *Jurnal Engine: Energi, Manufaktur, dan Material*, 1(2), 19-29.
- [8] Farima, L., & Palupi, A. E. 2021. Efek Perlakuan Panas Dengan Variasi Double Quenching Dan Penambahan Garam (NaCl) Pada Al6061 Terhadap Kekerasan Dan Struktur Mikro. *Jurnal Teknik Mesin*, 9(1), 47-56.
- [9] Guo, B., Zhang, L., Cao, L., Zhang, T., Jiang, F., & Yan, L. (2018). The Correction Of Temperature-Dependent Vickers Hardness Of Cemented Carbide Base On The Developed High-Temperature Hardness Tester. *Journal of Materials Processing Technology*, 255, 426-433.
- [10] 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).
- [11] Siswanda, H., Zuhaimi, Z., & Yusuf, I. (2019). Analisa Kekuatan Impact Bahan St-60 Pada Berbagai Temperatur. *Jurnal Mesin Sains Terapan*, 3(1), 18-21.
- [12] Wijaya, I. N. S., Subagia, I. D. A., & Septiadi, W. N. (2016). Charpy impact test pada kampas rem hybrid komposit phenolic resin matrik dengan penguat serbuk basalt-Alumina-kulit kerang. *Jurnal Energi dan Manufaktur Vol*, 9(2), 180-185.
- [13] Thomas, R. J., & Sorensen, A. D. (2018). Charpy Impact Test Methods For Cementitious Composites: Review And Commentary. *Journal of Testing and Evaluation*, 46(6), 2422.
- [14] Wahyu, M., & Irwan, A. 2020. Analisa Uji Impak Baja Carbon Steel 1045 Dengan Menggunakan Metode Charpy. *Jurnal Simetri Rekayasa Vol*, 2(01).
- [15] Erizal, E. 2017. Uji Kekerasan Pada Pegas Daun Mobil Pick-up Suhu Pemanasan 800°C Di Quenching Air Laut. *Majalah Teknik Simes*, 11(1), 16-22.
- [16] Soedarmadji, W. 2019. Pengujian Impact Dan Mikrostruktur Terhadap Baja Per Daun Dengan Media Pendingin Oli Dan Air. *Cyber-Techn*, 13(02), 9-9.
- [17] Kosasih, D. P., & Nugraha, H. D. 2020. Analisa Pengaruh Temperatur terhadap Impact Al 20xx dan Baja AISI. *MESA (Teknik Mesin, Teknik Elektro, Teknik Sipil, Arsitektur)*, 4(2), 31-40.