

MENINGKATKAN KEKUATAN *FATIGUE* BAJA AISI 1020 MELALUI PROSES *PACK CARBURIZING* MENGGUNAKAN ARANG TEMPURUNG KELAPA

Joni^{1*}

¹ Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Cenderawasih, Kota Jayapura-Papua, Indonesia

*alamat e-mail : me.uncen@gmail.com

ABSTRAK

Tujuan penelitian untuk mengetahui pengaruh perlakuan panas (heat treatment) berupa pack carburizing terhadap kekerasan mikro permukaan (micro hardness of surface), distribusi kekerasan permukaan, perubahan struktur mikro dan struktur patahan spesimen sebelum dan sesudah pengerasan, serta efek pack carburizing terhadap kekuatan fatigue dalam hal ini untuk mengetahui patah lelah (fatigue failure). Spesimen terbuat dari baja karbon AISI 1020, dibentuk sesuai standar ASTM E-466, disamping perlakuan pack carburizing sebagian spesimen mendapat perlakuan panas berupa temper (tempering). Komposisi kimia spesimen dasar (raw material), dimensi spesimen, waktu penahan (holding time) saat carburizing selama 3 jam, suhu kuens (quenching temperature) 840°C suhu temper (tempering temperature) 200°C, komposisi barium karbonat 10%. Variabel berubah: kekerasan mikro, fatigue failure spesimen, pembebanan (loading) W (5, 10, 15, dan 20) kgf, suhu carburizing, T (850, 900, dan 950)°C. Hasil uji kekerasan spesimen tanpa tempering menunjukkan kekerasan mikro permukaan spesimen naik seiring naiknya suhu carburizing. Kekerasan mikro tertinggi pada spesimen perlakuan panas (carburizing) 950°C, nilai kekerasannya 809,03 HV. Sedangkan hasil uji kekerasan mikro permukaan spesimen yang diperlakukan panas carburizing 950 °C ditemper, kekerasan 705,45 HV, bila kedua hasil (tanpa dan yang di temper) dibandingkan, maka terlihat kekerasan mikro permukaan semua spesimen yang ditemper menurun. Apa bila dipersentase penurunannya 4,68%. Hasil uji fatigue, kekuatan meningkat setelah spesimen baja karbon AISI 1020 mengalami pengerasan permukaan melalui proses carburizing dilanjutkan proses quench. Harga fatigue failure tertinggi terjadi pada spesimen carburizing 950°C, yaitu 6.884.700 siklus. Akan tetapi pada spesimen yang mendapat perlakuan temper kekuatan fatigue menurun. Penurunan harga fatigue failure tertinggi terjadi pada carburizing 950°C, yaitu 6.870.200 siklus. Apabila hasil (tanpa dan yang di temper) dibandingkan terdapat persentase penurunan sebesar 14,50%. Untuk distribusi kekerasan hasil uji spesimen yang diperlakukan panaskan, bahwa semakin ke dalam (ke sumbu pusat penampang spesimen) kekerasannya semakin menurun, demikian sebaliknya.

Kata kunci: Perlakuan panas, karburasi, pendinginan, tempering, waktu, kekerasan mikro.

ABSTRACT

The aim of the study was to determine the effect of heat treatment in the form of pack carburizing on the microhardness of the surface, the distribution of surface hardness, changes in the microstructure and fracture structure of the specimen before and after hardening, as well as the effect of pack carburizing on fatigue strength in terms of This is to determine fatigue failure. The specimens were made of AISI 1020 carbon steel, shaped according to ASTM E-466 standards. Besides the pack carburizing treatment, some of the specimens received heat treatment in the form of tempering. Chemical composition of the basic specimen (raw material), specimen dimensions, holding time when carburizing for 3 hours, quenching temperature 840°C, tempering temperature 200°C, composition of 10% barium carbonate Variables changed: microhardness,

specimen fatigue failure, loading W (5, 10, 15, and 20) kgf, carburizing temperature, T (850, 900, and 950)°C. The results of the specimen hardness test without tempering showed that the surface microhardness of the specimen increased with increasing carburizing temperatures. The highest microhardness was found in carburizing specimens at 950°C, with a hardness value of 809.03 HV. While the results of the surface microhardness test of the specimens heat-treated with carburizing at 950°C were tempered, the hardness was 705.45 HV. When the two results (those without and those that were tempered) were compared, it was seen that the surface microhardness of all tempered specimens decreased. What if the percentage decrease is 4.68%? The results of the fatigue test showed that the strength increased after the AISI 1020 carbon steel specimens underwent surface hardening through the carburizing process followed by the quenching process. The highest fatigue failure rate occurred in carburizing specimens at 950°C, namely 6,884,700 cycles. However, the fatigue strength of the specimens that were subjected to tempering treatment decreased. The highest decline in fatigue failure occurred at carburizing 950°C, namely 6,870,200 cycles. When the results (without and tempered) are compared, there is a percentage decrease of 14.50%. For the distribution of hardness test results of heat-treated specimens, the deeper (towards the center axis of the specimen cross section), the harder the specimen, and vice versa.

Keywords: Heat treatment, carburizing, quenching, tempering, time, micro hardness.

PENDAHULUAN

Baja merupakan logam yang paling banyak digunakan sebagai bahan teknik dan *manufacturing* (Selcuk, dkk. 2002). Baja memiliki beberapa sifat diantaranya keuletan dan kekerasan (Yasa, 2000). Sifat keras dan ulet merupakan faktor yang perlu dipertimbangkan dalam setiap perencanaan konstruksi mesin, khususnya pada bagian komponen yang berkontak, bergesekan dan sekaligus menahan beban (Yasa, 2000).

Permasalahan suatu komponen bukan hanya kekerasan dan keuletan, tetapi juga kegagalan lelah karena tegangan bolak-balik akibat dari beban berulang (*cyclic load*), dan umumnya kerusakan pada bagian konstruksi dan struktur disebabkan kegagalan Lelah (Genel & Demirkol, 1999). Hal ini sangat berbahaya karena tanpa menunjukkan tanda-tanda awal. Hal ini dapat berpengaruh bukan hanya terhadap keselamatan tetapi juga berpengaruh secara ekonomis.

Untuk mengatasi permasalahan tersebut, dapat dilakukan pemberian kekerasan pada permukaan struktur atau komponen. Salah satu metode yang dapat digunakan adalah pengarbonan, penitritan, atau arus frekuensi tinggi. Dalam proses pengarbonan padat dalam kotak, arang dicampur dengan larutan seperti NaCO₃, CaCO₃, atau BaCO₃ yang berfungsi sebagai aktivator dan energizer. Baja spesimen yang akan dikeraskan dimasukkan ke dalam campuran tersebut. Kotak kemudian ditutup rapat untuk mencegah masuknya udara

dari luar, lalu dipanaskan pada suhu 850-950°C (Asi, dkk. 2006).

Untuk memperoleh sifat keras pada bagian permukaan dan bagian inti tetap ulet baja karbon AISI 1020, maka perlu melakukan pengerasan permukaan melalui proses *pack carburizing* (Suryanto, dkk. 2003). Setelah perlakuan, sampel diuji kekerasan dan kelelahannya kemudian dibandingkan dengan bahan aslinya untuk mengetahui perilaku kekerasan dan umur lelahnya (*tool life*) (Fuchs, 1980).

Perlakuan panas adalah suatu proses pemanasan dan pendinginan logam dalam keadaan padat untuk mengubah sifat-sifat fisis dan mekanis logam tersebut (Smallman & Bishop, 1999). Melalui perlakuan panas yang tepat, tegangan dalam dapat dikurangi, besar butir diperbesar atau diperkecil, ketangguhan ditingkatkan atau dihasilkan suatu permukaan yang keras dan di sekeliling inti yang ulet (Collins, 1992).

Reaksi pengarbonan

$2C + O_2 \rightarrow 2CO$, kemudian CO berdisosiasi menjadi C, atom $2CO \rightarrow CO_2 + C$ atom, dimana C atom ini adalah atom karbon aktif yang dapat berdifusi ke dalam baja. Gas-gas yang dihasilkan oleh energizer dengan persamaan reaksi: $BaCO_3 + \text{panas} \rightarrow BaO + CO_2$, kemudian gas karbon dioksida (CO₂) bereaksi dengan carburizer padat membentuk gas karbon monoksida (CO) dengan

persamaan reaksi: $\text{CO}_2 + \text{C}(\text{arang}) \rightarrow 2\text{CO}$ dimana C larut ke dalam baja (Tokaji, 2004). Aliran difusi atom dan gradien konsentrasi atom karbon di dalam baja yang terkarburasi dapat dinyatakan dengan hukum I Fick (steady) (Abbaschian & Robert, 1994):

$$J_x = -D \frac{\partial c}{\partial x} \left(\frac{\text{atom}}{\text{m}^2 \text{ s}} \right) \quad (1)$$

dengan hukum II Fick (unsteady) :

$$\frac{c_x - c_0}{c_s - c_0} = 1 - \text{erf} \left(\frac{x}{2\sqrt{Dt}} \right) \quad (2)$$

dengan:

J_x = fluks atau aliran atom netto

D = koefisien difusi (m^2/detik)

c_s = konsentrasi permukaan

c_0 = konsentrasi awal dari elemen

c_x = konsentrasi elemen pada jarak x dari permukaan

t = lamanya proses perlakuan (*detik*)

x = jarak dari permukaan

erf = Gaussian error function dan

$$\frac{\partial c_x}{\partial x} = \text{gradien konsentrasi} \left(\frac{\text{atom}}{\text{m}^4} \right)$$

Case of depth

Beberapa variabel yang berpengaruh terhadap *case depth* yaitu waktu, temperatur, komposisi media karburisasi dan kandungan karbon di dalam baja tersebut. Penentuan kedalaman lapisan karburisasi dapat dirujuk dengan persamaan Harris, yaitu: (Collins, 1992)

$$\text{Case depth} = \frac{31,6 \cdot \sqrt{t}}{10^{(6700/T)}} \text{ (inch)} \quad (3)$$

dengan:

T = suhu *carburizing* (Rankine)

t = waktu (*jam*)

Persamaan tersebut menunjukkan bahwa semakin tinggi temperatur, maka lapisan *carburizing* akan semakin dalam, dimana semakin ke inti akan semakin rendah kandungan karbonnya.

Pengukuran Kekerasan

Pengukuran kekerasan menggunakan metode Vickers dengan skala mikro. Pada pengujian Vickers, pembebanan diberikan secara perlahan tanpa adanya beban kejut dan ditahan 10-15 detik. Setelah indenter terangkat, kedua diagonal bekas injakan diukur dan diambil rata-ratanya, kemudian kekerasan indentasi Vickers

(VHN) dihitung dengan menggunakan persamaan: (Fuchs, 1980)

$$V_{HN} = \frac{1,854P}{d^2} \left(\frac{\text{kg}}{\text{mm}^2} \right) \quad (4)$$

dengan :

P = beban indentasi (*kg*)

d = diagonal rata-rata bekas injakan (*mm*)

θ = sudut puncak = 136°

Kegagalan Lelah

Kegagalan lelah dapat ditentukan dengan persamaan:

$$\sigma_b = \frac{\text{Momen bending}(Mb)}{\text{Momen tahanan bending}(Wb)} \quad (5)$$

dengan: $Mb = \frac{W \cdot L}{2}$ an $Wb = \frac{\pi}{32} \cdot (df)^3$

sehingga $\sigma_b = \frac{Mb}{Wb} = \frac{(WL/2)}{(\pi/32)(df)^3}$

Jarak tumpuan (L) pengujian ini = 200 mm, maka:

$$\sigma_b = \frac{100 \cdot W}{\pi/32(d^3)} = \frac{3200 \cdot W}{\pi \cdot (df)^3}$$

Sehingga beban bending maksimum (W_{maks}) diperoleh:

$$W_{maks} = \frac{\pi \cdot (df)^3}{3200} \cdot \sigma_b$$

dengan:

W_{maks} = tegangan bending (kg/mm^2);

$\sigma_b W$ = beban bending (*kg*);

df = diameter benda uji (*mm*).

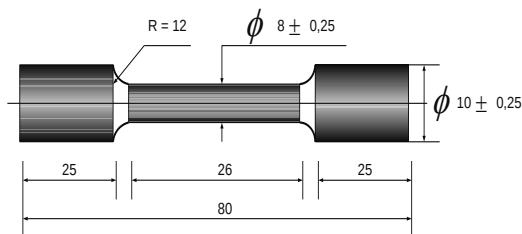
METODE PENELITIAN

Spesimen dibentuk dengan proses potong dan bubut, sehingga didapat dimensi atau ukuran yang dimaksud dan jumlah spesimen 64 buah. Setelah dibentuk, dihaluskan kemudian mendapat perlakuan panas (*heat treatment*) berupa *pack carburizing*.

Spesimen dibagi 4 kelompok, masing-masing kelompok terdiri 16 buah. Kelompok pertama tidak perlakuan pemanasan hanya di uji fatigue dengan variasi beban $W = (5, 10, 15, 20)$ kgf. Kelompok dua diperlakukan pemanasan dengan terlebih dahulu mengubur spesimen ini kedalam kotak baja (*steel-packing*) yang berisi serbuk arang tempurung kelapa (C) dan $\text{BaCO}_3 = 10\%$, lalu dimasukkan ke dalam dapur pemanas dan dipanaskan sampai 850°C dipertahankan pada suhu tersebut (*holding time*) selama 3 jam, kemudian dikeluarkan dari

dapur, dan pada 840°C di quench sampai suhu kamar. Spesimen kelompok tiga diperlakukan sama seperti kelompok dua, akan tetapi dipanaskan sampai 900°C dipertahankan selama 3 jam, kemudian dikeluarkan dan pada 840°C di quench sampai suhu kamar. Kelompok empat diperlakukan sama seperti kelompok dua dan tiga, tetapi diperlakukan dipanaskan pada 950°C dan juga dipertahankan selama 3 jam, kemudian dikeluarkan dan pada 840°C di quench sampai suhu kamar.

Spesimen kelompok dua, tiga dan empat masing-masing diambil sebanyak 8 buah, kemudian secara sama-sama diperlakukan dipanaskan dengan proses temper (*tempering*) pada suhu temper 200°C, selanjutnya semua spesimen didinginkan perlahan sampai suhu kamar. Kemudian semua spesimen di uji *fatigue* untuk mendapatkan nilai kelelahan *fatigue* atau patah lelah (*fatigue failure*).



Gambar 1. Spesimen uji *fatigue* (ASTM E-466)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari grafik hasil pengujian seperti diperlihatkan Gambar 2, bahwa kekerasan mikro permukaan spesimen naik seiring naiknya suhu perlakuan panas (*carburizing*), baik untuk pengerasan pada suhu 850°C, suhu quench 840°C. Pada perlakuan panas suhu 900°C, suhu quench 840°C, kekerasan mikro permukaan spesimen naik lebih tinggi dari perlakuan 850°C.

Hal ini disebabkan oleh adanya peningkatan distribusi atom-atom karbon (C) ke dalam baja (atom-atom Fe) untuk membentuk ikatan pada fase austenit seiring dengan adanya penambahan suhu perlakuan panas, sehingga pada saat akhir proses quench struktur spesimen pada bagian permukaan lebih banyak berupa *martensit* yang sifatnya keras kuat, namun getas.

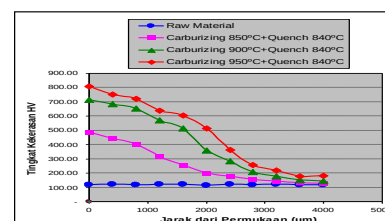
Kekerasan mikro permukaan tertinggi terjadi pada spesimen dengan perlakuan panas (*carburizing*) dengan suhu 950°C dan quench 840°C, nilai kekerasan bernilai sebesar 809,03 HV. Gambar 3, menunjukkan hasil pengujian kekerasan mikro permukaan spesimen setelah

dilakukan proses temper pada setiap spesimen dan bila hasil tersebut dibandingkan hasil yang di Gambar 2 (tanpa proses temper), maka terlihat kekerasan mikro permukaan semua spesimen menurun seiring diterapkannya perlakuan temper 200°C, baik untuk carburizing (850, 900, dan 950°C), suhu quench 840°C.

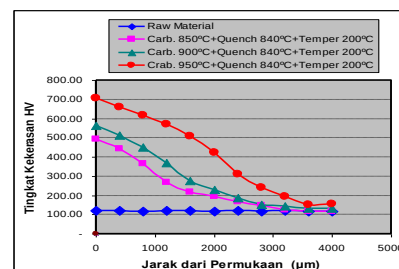
Hal ini disebabkan oleh tereduksinya atau hilangnya tegangan dalam (*internal stress*) pada spesimen atau istilah lain hilangnya tegangan sisa (*residual stress*) saat diterapkan proses penemperan (*tempering*), sehingga sifat keras, kuat dan getas pada akhir proses menunjukkan adanya atau terjadi sedikit penurunan. Adapun penurunan kekerasan mikro permukaan tertinggi terjadi pada spesimen yang mendapat perlakuan panas *carburizing* 950°C, *tempering* 200°C dari nilai kekerasan 809,03 HV turun menjadi 705,45 HV (Malau, 2003).

Kekuatan *fatigue* meningkat setelah spesimen baja karbon AISI 1020 mengalami pengerasan permukaan melalui proses *carburizing* dilanjutkan proses quench seperti ditunjukkan Gambar 4.

Hal ini disebabkan distribusi atom karbon (C) masuk lebih banyak kesela-sela (*interstitial*) atom besi (Fe) dan membentuk ikatan seiring naiknya suhu *carburizing* dan pada akhir proses quench terbentuk struktur martensit lebih banyak. Harga *fatigue* tertinggi terjadi pada suhu *carburizing* 950°C, suhu quench 840°C yaitu 6.884.700 siklus.

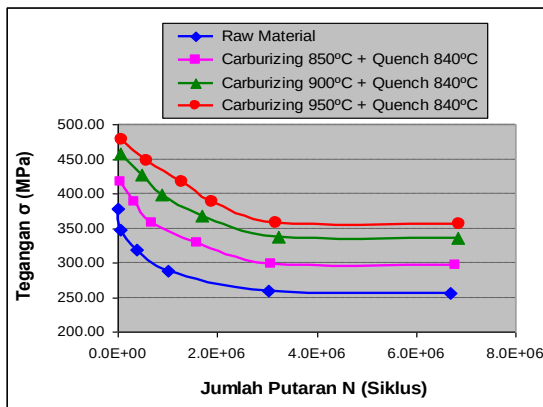


Gambar 2. Kekerasan mikro, perlakuan (850, 900, dan 950°C), quench 840°C

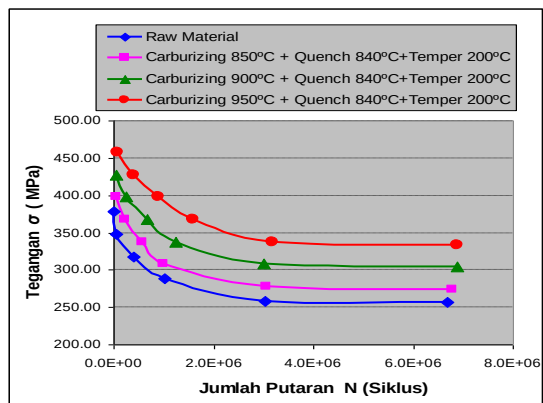


Gambar 3. Kekerasan mikro, perlakuan (850°C, 900°C, dan 950°C), quench 840°C, temper 200°C

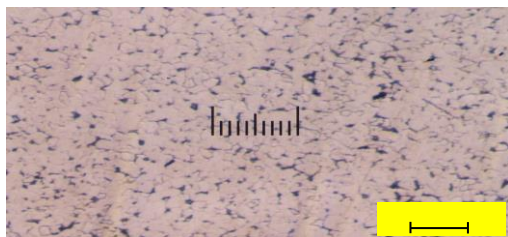
Gambar 5 menunjukkan hasil kekuatan *fatigue* setelah dilakukan proses temper pada setiap spesimen dan bila hasil ini dibandingkan hasil pada Gambar 4 (tanpa proses temper), maka terlihat kekuatan *fatigue* menurun seiring diterapkannya perlakuan temper 200°C, baik untuk suhu *carburizing* yang digunakan, yaitu 850, 900, dan 950°C, dan *quench* 840°C. Hal ini disebabkan oleh tereduksinya atau hilangnya tegangan sisa (*residual stress*) saat proses penempuran. Penurunan kekuatan *fatigue* tertinggi terjadi pada *carburizing* 950°C, dari 6.884.700 siklus turun menjadi 6.870.200 siklus.



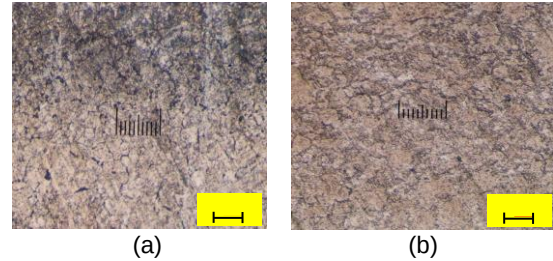
Gambar 4. Kekuatan *fatigue*, perlakuan (850°C, 900°C dan 950°C), *quench* 840°C



Gambar 5. Kekuatan *fatigue*, perlakuan (850°C, 900°C, 950°C), *quench* 840°C, *temper* 200°C

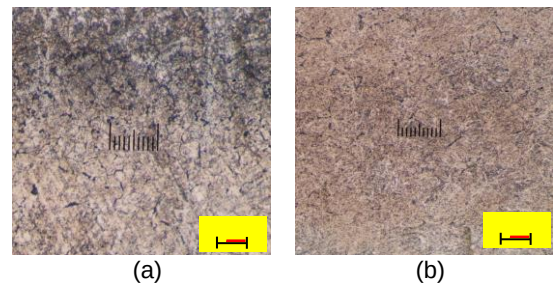


Gambar 6. Struktur permukaan raw material



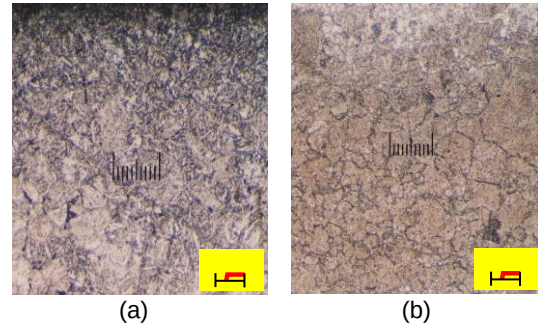
(a) *quench* pada 840°C
(b) *quench* 840°C, *temper* 200°C

Gambar 7. Struktur permukaan spesimen di carburizing 850°C



(a) *quench* pada 840°C
(b) *quench* 840°C, *temper* 200°C

Gambar 8. Struktur permukaan spesimen di carburizing 900°C



(a) *quench* pada 840°C
(b) *quench* 840°C, *temper* 200°C

Gambar 9. Struktur permukaan spesimen di carburizing 950°C



Gambar 10. Struktur patahan raw material



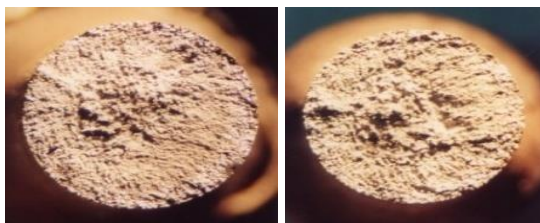
(a) quench 840°C
(b) quench 840°C, temper 200°C

Gambar 11. Struktur patahan spesimen di carburizing 850°C



(a) quench pada 840°C
(b) quench 840°C, temper 200°C

Gambar 12. Struktur patahan spesimen di carburizing 900°C



(a) quench pada 840°C
(b) quench 840°C, temper 200°C

Gambar 13. Struktur patahan spesimen di carburizing 950°C

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Kekerasan mikro permukaan spesimen baja karbon AISI 1020 meningkat seiring variasi suhu perlakuan panas yang diterapkan (850, 900, 950°C). Peningkatan kekerasan yang signifikan terjadi pada suhu perlakuan panas carburizing 950°C dan quenching 840°C. Kekerasan mikro permukaan tertinggi terjadi pada permukaan spesimen, mencapai 809,03 HV. Setelah proses temper pada suhu 200°C, kekerasan mikro permukaan menurun menjadi 705,45 HV (setelah carburizing 950°C dan quenching 840°C).

Kekuatan fatigue spesimen baja karbon AISI 1020 meningkat setelah mengalami pengerasan permukaan melalui proses carburizing dan quenching. Harga kekuatan fatigue tertinggi terjadi pada spesimen yang mengalami perlakuan panas carburizing 950°C dan quenching 840°C, yaitu 6.884.700 siklus. Namun, kekuatan fatigue menurun setelah proses temper pada suhu 200°C, baik setelah carburizing 950°C maupun quenching 840°C, menjadi 6.870.200 siklus.

Saran

Karburasi memiliki keterbatasan yang perlu diperhatikan, waktu dan jenis material yang diaplikasikan untuk mendapatkan peningkatan kekerasan, sehingga penelitian yang komprehensif perlu dilakukan

UCAPAN TERIMAKASIH

Saya mengucapkan banyak terima kasih kepada Pimpinan Fakultas Teknik Universitas Cenderawasih atas dukungan Dana Hibah Penelitian PNPB Tahun Anggaran 2021, sehingga tulisan ini dapat terbit.

REFERENSI

- Abbaschian, R. and Robert, E. (1994). *Physical Metallurgy Principles*. University of Florida, Boston: PWS Publishing Company, Third Edition.
- Asi, O., Can, A.C., Pineault, J. and Belassel, M. (2006). *The Relationship Between Case Depth and Bending Fatigue Strength of Carburized SAE 8620 Steel, Surface and Coatings Technology*, 201: 5979-5987.
- Collins, J.A. (1992). *Failure of Materials in Mechanical Design*. New York: A. Wiley Interscience Publication, Second Edition.
- Fuchs, H.O. (1980). *Metal Fatigue in Engineering*. New York: A. Wiley Interscience Publication.
- Genel, K. and Demirkol, M. (1999). Effect of Case Depth on Fatigue Performance of AISI 8620 Carburized Steel. *International Journal of Fatigue*, 21:207-212.
- Malau, V. (2003). *Perlakuan Permukaan dan Kerusakan Struktur Mikro*. Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Smallman, R.E. dan Bishop, R.J. (1999). *Metalurgi Fisik Modern dan Rekayasa Material* (Alih Bahasa: Sriati Djaprie). Jakarta: Erlangga, Edisi Keenam.
- Selcuk, B., Ipek, R. and Karamis M.B. (2002). A Study on Friction and Wear Behaviour of Carburized, Carbonitrided and 8. Borided AISI 1020 and 5115 Steel. *Journal of*

- Materials Processing Technology*, 141 (2003) 189-196).
- Suryanto, H., Malau, V. dan Samsudin. (2003). *Pengaruh Penambahan Barium Karbonat pada Media Karburasi Terhadap Karakteristik Kekerasan Lapisan Karburasi Baja Karbon Rendah*. Unibraw, Malang : Proceeding Seminar Nasional Teknik Mesin.
- Tokaji, K., Kohyama, K. and Akita, M. (2004). Fatigue Behaviour and Fracture Mechanism of a 316 Stainless Steel Hardened by Carburizing. Yanagido, Gifu 501-1193, Japan: *International Journal of Fatigue* 26 (2004) 543-551.
- Yasa, I Nyoman. (2000). *Efek Proses Pack Carburizing Terhadap Kelelahan Baja ST 60*. Universitas Udayana, Bali: Tugas Sarjana, Program Studi Teknik Mesin.