

Optimasi Kekerasan dan Ketahanan *Impact* Baja VCN 150 dengan Variasi *Tempering* untuk Aplikasi Poros *Track Roller Bearing* pada Mesin Pembelah Bambu

Radhian Krisnaputra^{1*}, Nareswari Novita Satiti¹, Inggar Septhia Irawati², Ignatius Aris Hendaryanto¹, Sugiyanto¹, Galuh Bahari¹,

¹Departemen Teknik Mesin, Sekolah Vokasi, Universitas Gadjah Mada, Kampus 1, Jl. Yacarana, Sekip Unit IV, Yogyakarta

²Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Jl. Grafika No. 2 A, Yogyakarta

*E-mail: radhian_kp@ugm.ac.id

Diajukan: 14-11-2023; Diterima: 13-12-2023; Dipublikasi: 22-12-2023

Abstrak

Penggunaan mesin pembelah bambu dalam produksi bambu laminasi adalah untuk mengubah batang bambu menjadi bilah-bilah bambu. Pada mesin pembelah bambu di Rosse Bambu Yogyakarta terjadi kerusakan komponen yaitu patahnya poros *track roller bearing*. Poros mengalami mekanisme patah getas yang disebabkan oleh ketidaksesuaian pemilihan material. Diketahui bahwa poros yang patah terbuat dari baja karbon tinggi AISI 1080 yang telah melalui proses *quenching*. Poros *track roller bearing* dari mesin pembelah bambu diharapkan memiliki ketahanan *impact* yang tinggi namun juga harus memiliki nilai kekerasan yang sesuai dengan standar nilai kekerasan poros. Dengan memilih material substitusi yang ideal untuk poros dan mengidentifikasi proses perlakuan panas yang tepat untuk mendapatkan sifat material yang diinginkan, proses yang efektif dapat diketahui untuk meningkatkan masa pakai poros *track roller bearing* dan mengurangi potensi terjadinya kegagalan serupa. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui temperatur *tempering* optimum yang dapat dilakukan terhadap baja VCN 150 sebagai material substitusi poros *track roller bearing* pada mesin pembelah bambu. Pada penelitian ini proses perlakuan panas dilakukan dengan memanaskan spesimen uji pada temperatur 850°C dalam tungku selama 1 jam kemudian dilanjutkan dengan *quenching* dengan media oli. Setelah *quenching*, dilakukan *tempering* pada temperatur 200°C, 300°C, dan 400°C selama 1 jam kemudian dilanjutkan dengan pendinginan di udara bebas. Pengujian yang dilakukan meliputi uji struktur mikro, uji kekerasan Vickers, uji *impact* Charpy, dan analisis fraktografi menggunakan *Scanning Electron Microscope* pada permukaan patahan hasil uji *impact*. Hasil pengujian menunjukkan bahwa spesimen yang melalui proses *tempering* pada temperatur 400°C memberikan hasil optimum dengan nilai kekerasan sebesar 359,92 HV dan harga *impact* sebesar 1,37 J/mm².

Kata kunci: baja VCN 150; kekerasan; ketahanan *impact*; *quenching*; *tempering*

Abstract

The use of a bamboo-splitting machine in laminated bamboo production is to turn a bamboo stem into bamboo strips. The bamboo-splitting machine at Rosse Bambu Yogyakarta occurred a component failure which the track roller bearing shaft was broken. The shaft failed with a brittle fracture mechanism caused by material selection deficiencies. The broken shaft was made from a quenched high-carbon steel AISI 1080. Track roller bearing shaft of bamboo-splitting machine is desired to have high impact resistance due to its working environment yet still having enough hardness value based on the standard hardness of shaft. By choosing an ideal material substitution for the shaft and identifying a proper heat treatment process to get the desired material properties, an effective process can be proposed to improve the service life of the track roller bearing shaft and reduce the occurrence of failure. The objective of this study is to know the optimum temperature of tempering to do toward VCN 150 steel as a substitute material for track roller bearing on the bamboo-splitting machine. In this study, the heat treatment process was carried out by heating the steel samples at 850°C in a furnace for 1 hour then followed by oil-quenching. After quenched, the samples were tempered at 200°C, 300°C, and 400°C for 1 hour then followed by air-cooling. The samples were then tested for metallographic analysis, Vickers hardness test, Charpy impact test, and Scanning Electron Microscope inspection on fracture surface of the impact test results. The experimental results showed that the steel sample tempered at 400°C achieved the optimum results with hardness value of 359.92 HV and impact strength of 1.37 J/mm².

Keywords: hardness; impact toughness; quenching; tempering; VCN 150 steel

1. Pendahuluan

Mesin pembelah bambu (*bamboo-splitting machine*) merupakan salah satu mesin yang digunakan dalam proses produksi bambu laminasi yang berfungsi untuk mengubah batang bambu menjadi bilah-bilah bambu (*bamboo strips*) [1]. Pada mesin pembelah bambu, komponen pendorong bergerak bolak-balik di sepanjang rel, mendorong ujung bambu agar bertumbukan dengan pisau pembelah sehingga satu batang bambu dapat terbelah seluruhnya menjadi bilah-bilah bambu. Ketika dioperasikan, mesin pembelah bambu yang terdapat di Rosse Bambu Yogyakarta mendapati permasalahan kegagalan komponen berupa patahnya poros *track roller bearing* yang terdapat pada sistem pendorong.

Pada penelitian pendahuluan, telah diketahui bahwa kegagalan patah yang dialami oleh poros terjadi dengan mekanisme patah getas akibat adanya ketidaksesuaian dalam pemilihan material. Poros *track roller bearing* yang patah terbuat dari material baja AISI 1080 yang telah menerima proses perlakuan panas berupa *quenching*. Oleh karena itu, poros yang patah memiliki sifat material yang keras dan getas sehingga poros patah karena tidak mampu menahan beban *impact* yang terjadi ketika proses pembelahan bambu berlangsung [2]. Material standar yang digunakan untuk pembuatan poros semestinya adalah baja ASSAB 705 atau baja setaranya yaitu baja AISI 4340 dan baja BOHLER VCN 150. Material poros seharusnya memiliki nilai kekerasan yang sesuai dengan standar yaitu antara 341 – 415 HV [3]. Penelitian ini dilakukan sebagai upaya perbaikan untuk kasus kegagalan yang dialami oleh poros *track roller bearing* pada mesin pembelah bambu. *Heat treatment* berupa *tempering* yang dilakukan terhadap material poros bertujuan untuk memperbaiki sifat mekanis material agar dapat memenuhi sifat yang dibutuhkan.

2. Material dan metodologi

2.1. Material

Penelitian dilakukan di 2 tempat, yaitu di Laboratorium Bahan Teknik Departemen Teknik Mesin dan Gedung Teaching Industry Learning Center (TILC), Sekolah Vokasi Universitas Gadjah Mada Yogyakarta. Akibat terjadinya kegagalan yang dialami oleh poros *track roller bearing*, maka dilakukan pemilihan baja VCN 150 sebagai material substitusi. Baja VCN 150 merupakan jenis baja paduan rendah yang sudah banyak digunakan sebagai material poros [4]. Komposisi kimia baja VCN 150 yang digunakan dalam penelitian ini ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Komposisi kimia (wt%) baja VCN 150 yang digunakan dalam penelitian

Baja	Komposisi Kimia (wt%)						
	C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni	Fe
VCN 150	0,20	0,23	0,76	0,80	0,18	1,63	Balance

2.2. Metodologi

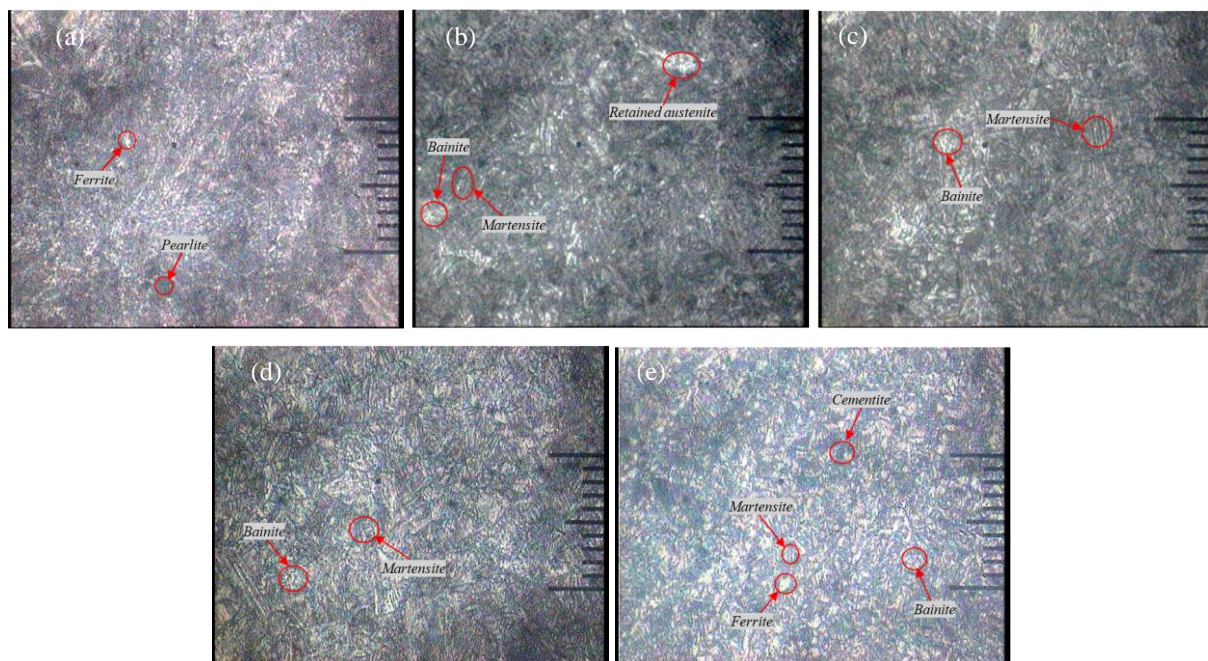
Metode *heat treatment* yang dilakukan yaitu spesimen uji dipanaskan pada temperatur 850°C dengan *holding time* selama 1 jam dilanjutkan *quenching* dengan media oli. Kemudian dilakukan *tempering* pada variasi temperatur 200°C, 300°C, dan 400°C dengan *holding time* selama 1 jam dan dilanjutkan *air cooling* hingga spesimen uji mencapai temperatur ruang. Pengujian yang dilakukan meliputi pengujian struktur mikro material, pengujian kekerasan, pengujian *impact*, dan analisis fraktografi menggunakan *Scanning Electron Microscope* pada permukaan patahan hasil uji *impact*. Uji struktur mikro dilakukan dengan mengacu standar ASTM E3 dan ASTM E407. Etsa yang digunakan adalah etsa nital. Uji kekerasan dengan metode Vickers mengacu pada standar uji ASTM E92-82. Uji *impact* metode Charpy dilakukan dengan mengacu pada standar ASTM E23-12c *type A*.

3. Hasil dan pembahasan

3.1. Pengujian struktur mikro

Uji metalografi dilakukan untuk mengamati struktur mikro spesimen uji dengan menggunakan *metallurgical microscope* pada perbesaran lensa 200x. Struktur mikro material baja VCN 150 tanpa *heat treatment* yang ditampilkan pada Gambar 1 (a) menunjukkan fasa *ferrite* dan *pearlite* di mana fasa *pearlite* lebih mendominasi [4, 5].

Struktur mikro baja VCN 150 yang telah melalui proses *quenching* pada temperatur 850°C dengan media pendingin oli ditunjukkan pada Gambar 1 (b). Akibat proses pendinginan yang terjadi sangat cepat dan mencapai temperatur *martensite start* (Ms), karbon yang semula larut dalam *austenite* tidak memiliki cukup waktu untuk berdifusi keluar, akibatnya fasa *austenite* bertransformasi menjadi *martensite* yang merupakan fasa yang sangat keras dan getas. Gambar 1 (b) juga menunjukkan adanya *retained austenite* yang terbentuk. *Retained austenite* terbentuk karena proses transformasi *austenite* menjadi *martensite* belum selesai sepenuhnya. Selain fasa *martensite* dan *retained austenite*, struktur mikro material baja VCN 150 hasil *quenching* menunjukkan terbentuknya fasa *bainite* [6].



Gambar 1. Struktur mikro spesimen (a) RM, (b) Q850, (c) Q850-T200, (d) Q850-T300, dan (e) Q850-T400 pada perbesaran lensa 200x

Struktur mikro baja VCN 150 yang telah melalui *tempering* pada temperatur 200°C ditunjukkan pada Gambar 1 (c). Dapat terlihat bahwa terbentuk fasa *martensite* dan *bainite* pada spesimen tersebut. Temperatur 200°C termasuk tahap *tempering* temperatur rendah yang selama prosesnya hanya ada sedikit karbon yang bisa keluar dan membentuk karbida. Karbida yang terbentuk masih berupa karbida *submicroscopic*. Temperatur *tempering* pada 200°C masih tergolong rendah sehingga pada tahap ini penurunan nilai kekerasan material dari nilai kekerasan spesimen hasil *quenching* masih rendah pula [7].

Perlakuan *tempering* pada temperatur 300°C mengubah *epsilon carbide* menjadi *cementite*, mulai terbentuk *ferrite* yang bertransformasi dari *martensite*, dan sebagian *retained austenite* bertransformasi menjadi *bainite* [8]. Gambar 1 (d) menunjukkan bahwa pada struktur mikro baja VCN 150 hasil *tempering* pada temperatur 300°C jarum-jarum

martensite tampak lebih kecil dan tersebar lebih merata, selain itu juga tampak lebih banyak struktur *bainite* yang terbentuk daripada spesimen hasil *tempering* pada temperatur 200°C.

Gambar 1 (e) menunjukkan struktur mikro spesimen hasil *tempering* pada temperatur 400°C. Pada temperatur *tempering* 400°C, karbon yang berdifusi keluar lebih banyak. *Martensite* sudah tampak sangat kecil dan pertumbuhan partikel-partikel *cementite* semakin terlihat berbentuk seperti bulatan-bulatan, *ferrite* yang ditunjukkan dengan area terang juga dapat terlihat lebih jelas.

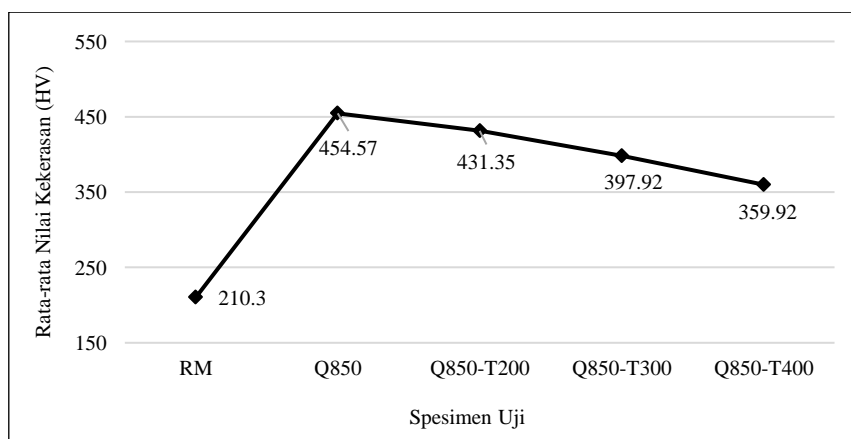
3.2. Pengujian kekerasan

Uji kekerasan Vickers dilakukan terhadap masing-masing spesimen uji pada 5 titik indentasi dengan lokasi acak. Hasil uji kekerasan yang dilakukan terhadap baja VCN 150 ditampilkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil uji kekerasan baja VCN 150 dengan variasi perlakuan

No.	Kode Spesimen	Nilai Kekerasan (HV)					Rata-rata (HV)
		Titik Indentasi					
		1	2	3	4	5	
1.	RM	220,45	206,00	206,00	213,04	206,00	210,30
2.	Q850	463,50	463,50	463,50	441,17	441,17	454,57
3.	Q850-T200	430,60	401,08	463,50	441,17	420,41	431,35
4.	Q850-T300	374,50	420,41	410,57	401,08	383,06	397,92
5.	Q850-T400	366,22	366,22	350,47	350,47	366,22	359,92

Rata-rata nilai kekerasan dari nilai tertinggi hingga terendah secara berurutan dimiliki oleh spesimen hasil *quenching* dengan nilai kekerasan sebesar 454,57 HV, spesimen hasil *tempering* pada temperatur 200°C dengan nilai kekerasan sebesar 431,35 HV, spesimen hasil *tempering* pada temperatur 300°C dengan nilai kekerasan sebesar 397,92 HV, spesimen hasil *tempering* pada temperatur 400°C dengan nilai kekerasan sebesar 359,92 HV, dan spesimen tanpa *heat treatment* dengan nilai kekerasan sebesar 210,30 HV. Untuk nilai kekerasan spesimen tanpa *heat treatment*, menunjukkan nilai yang mendekati hasil penelitian pendahuluan yang menyatakan bahwa nilai kekerasan baja VCN 150 tanpa *heat treatment* adalah 236 HV [9]. Hasil uji kekerasan terhadap baja VCN 150 tiap variasi perlakuan tersebut dapat dilihat lebih jelas dalam bentuk grafik yang ditampilkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Grafik nilai kekerasan baja VCN 150 dengan variasi perlakuan

Hasil uji kekerasan yang diperoleh sesuai dengan teori yang menyatakan bahwa proses *hardening* yang diikuti dengan proses *quenching* terhadap material baja VCN 150 akan menaikkan nilai kekerasannya. Nilai kekerasan akan turun apabila material hasil *quenching* diproses *tempering*. Semakin tinggi temperatur *tempering* akan semakin menurunkan nilai kekerasan material baja VCN 150 [10].

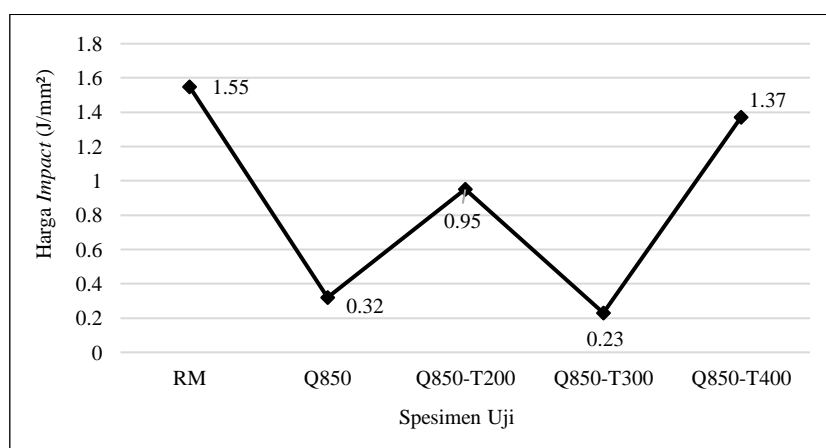
3.3. Pengujian *impact*

Pengujian *impact* metode Charpy dilakukan terhadap baja VCN 150 dengan variasi perlakuan. Hasil uji *impact* baja VCN 150 ditunjukkan pada Tabel 3 dan ditunjukkan dalam bentuk grafik pada Gambar 3.

Tabel 3. Hasil uji *impact* baja VCN 150 dengan variasi perlakuan

No.	Kode Spesimen	Luas Penampang (mm ²)	E Terserap (J)	Harga <i>Impact</i> (J/mm ²)
1.	RM	86,01	133,5	1,55
2.	Q850	86,43	28	0,32
3.	Q850-T200	86,11	82	0,95
4.	Q850-T300	86,40	19,8	0,23
5.	Q850-T400	89,04	122	1,37

Berdasarkan grafik hasil uji *impact* yang ditunjukkan pada Gambar 3, harga *impact* spesimen tanpa *heat treatment* menunjukkan nilai sebesar 1,55 J/mm². Spesimen hasil *quenching* menunjukkan harga *impact* yang lebih rendah yaitu sebesar 0,32 J/mm². Spesimen yang melalui proses *tempering* pada temperatur 200°C menunjukkan harga *impact* sebesar 0,95 J/mm², spesimen hasil *tempering* pada temperatur 300°C menunjukkan harga *impact* sebesar 0,23 J/mm², dan spesimen hasil *tempering* pada temperatur 400°C menunjukkan harga *impact* sebesar 1,37 J/mm². Besarnya energi *impact* yang mampu diserap oleh material menunjukkan tingkat ketangguhan material tersebut sehingga semakin besar harga *impact* yang dimiliki oleh suatu material maka material tersebut memiliki ketangguhan (ketahanan *impact*) yang semakin tinggi [11].



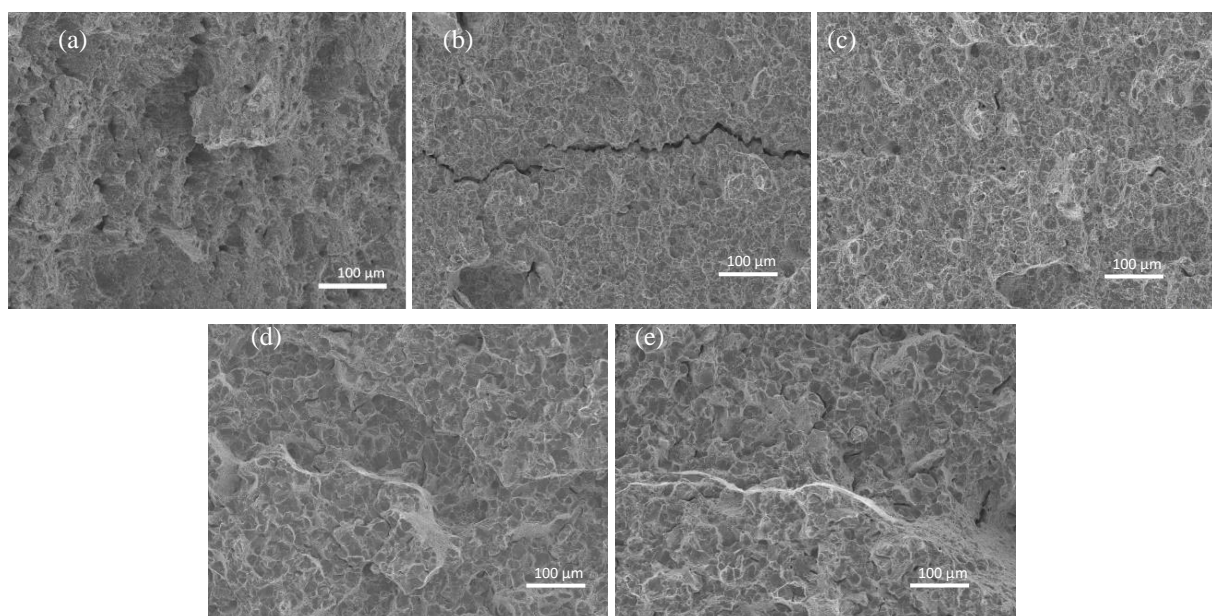
Gambar 3. Grafik harga *impact* baja VCN 150 dengan variasi perlakuan

3.4. Analisis fraktografi

Pada penelitian ini, analisis fraktografi untuk mengamati morfologi permukaan patahan uji *impact* dilakukan dengan *Scanning Electron Microscope* (SEM). Hasil pengamatan ditunjukkan pada Gambar 4 (a-e). Gambar 4 (a) menunjukkan

morfologi permukaan patahan *raw material* didominasi oleh *dimples* dengan ukuran beragam yang menjadi karakteristik patah ulet (*ductile fracture*) [12]. Hasil SEM pada Gambar 4 mendukung hasil uji *impact* yang menunjukkan bahwa *raw material* memiliki tingkat ketahanan *impact* tertinggi sehingga dapat dikatakan materialnya lebih ulet daripada spesimen uji yang lain. Pada Gambar 4 (b), dapat dilihat bahwa pada area permukaan patahan spesimen hasil *quenching* terbentuk *crack*. Fenomena tersebut tidak dijumpai pada spesimen hasil *tempering* temperatur 200°C, 300°C, maupun 400°C. *Crack* dapat terbentuk akibat dari proses *quenching* yang meningkatkan kegetasan material [13]. Hal ini sesuai dengan hasil uji kekerasan yang menunjukkan spesimen hasil *quenching* memiliki nilai kekerasan paling tinggi dibandingkan dengan spesimen uji lainnya. Morfologi patahan spesimen hasil *tempering* temperatur 200°C menunjukkan *dimple-type ductile fracture* yang terlihat pada Gambar 4 (c). Untuk spesimen yang telah melalui *tempering* pada temperatur 300°C, terbentuk morfologi patahan yang ditunjukkan pada Gambar 4 (d). *Dimples* yang terlihat pada spesimen hasil *tempering* temperatur 300°C lebih sedikit dibandingkan dengan spesimen hasil *tempering* temperatur 200°C maupun 400°C. Morfologi patahan spesimen yang telah melalui *tempering* pada temperatur 300°C didominasi oleh *quasi-cleavage fracture* sehingga permukaannya tampak lebih rata [14].

Hasil yang diperoleh menjelaskan bahwa spesimen yang telah di-*temper* pada 300°C getas (*brittle*) daripada 200°C dan 400°C [15]. Hal ini sesuai dengan perolehan harga *impact* yang ditampilkan pada Gambar 3. Hal tersebut dapat terjadi akibat adanya *temper embrittlement* yang dialami oleh material pada temperatur *tempering* 300°C [15, 16, 17]. Untuk spesimen hasil *tempering* 400°C, morfologi patahan yang terbentuk ditunjukkan pada Gambar 4 (e). Pada gambar tersebut dapat diamati bahwa terbentuk *dimple-type ductile fracture* pada permukaan patahan spesimen [14]. Selain itu, *dimple size* tampak lebih besar dan lebih dalam dibandingkan dengan spesimen yang di-*temper* pada temperatur 200°C, sehingga spesimen hasil *tempering* pada temperatur 400°C memiliki ketangguhan *impact* yang lebih tinggi dan sifat material yang lebih ulet [18].



Gambar 4. Foto SEM permukaan patahan spesimen uji *impact* a) RM, (b) Q850, (c) Q850-T200, (d) Q850-T300, dan (e) Q850-T400 pada perbesaran lensa 200x

4. Kesimpulan

Standar nilai kekerasan untuk poros yaitu berkisar antara 341 – 415 HV [3]. Besarnya standar nilai kekerasan poros tersebut dapat dicapai oleh baja VCN 150 hasil *quench-tempering* pada temperatur 300°C (397,92 HV) dan 400°C (359,92 HV). Sifat material dengan tingkat ketahanan *impact* yang tinggi sangat penting untuk dimiliki oleh komponen poros *track roller bearing* pada mesin pembelahan bambu agar poros mampu bertahan terhadap adanya beban *impact* yang harus diterima saat proses pembelahan bambu berlangsung. Oleh sebab itu, pertimbangan selanjutnya dalam pemilihan material poros *track roller bearing* yaitu harga *impact* yang paling tinggi di antara spesimen hasil *tempering* pada temperatur 300°C dan 400°C. Hasil pengujian *impact* menunjukkan bahwa spesimen hasil *tempering* pada temperatur 400°C memiliki harga *impact* yang lebih tinggi yaitu sebesar 1,37 J/mm². Dengan hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa temperatur 400°C merupakan temperatur *tempering* yang paling sesuai untuk dilakukan terhadap baja VCN 150 sebagai material substitusi poros *track roller bearing* pada mesin pembelahan bambu.

Daftar Pustaka

- [1] Sukmono, B. Studi Proses Produksi Bambu Laminasi Sebagai Alternatif Bahan Baku Kapal. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember; 2016.
- [2] Satiti, N.N. Analisis Kegagalan Poros *Track Roller Bearing* Dan Optimasi Sifat Mekanis Material Substitusi Pada Mesin Pembelahan Bambu. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada; 2023.
- [3] Azizi, M.J.A., Jatimurti, W., dan Rochiem, R., Analisis pengaruh variasi temperatur dan waktu tahan tempering terhadap kekerasan baja ASSAB 705 yang di-hardening untuk aplikasi poros pompa multistage. Jurnal Teknik ITS. 2019; 8(1): p. F1-F6.
- [4] Lumintang, M. Analisa Sifat Fisik dan Mekanik Poros VCN 150 Mesin Spinning PT Wijaya Karya Beton Tbk PPB Boyolali. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada; 2017.
- [5] Yoga, A. The Effect of Quench-Temper on The Hardness, Tensile Strength and Micro Structure of V155 VCN 150 Steel Alloys. Yogyakarta: Universitas Sanata Dharma; 2002.
- [6] Praditya, J. Analisis Pengaruh Temperatur Dan Waktu Tahan Pada Proses Hardening Material 4340 Terhadap Kekerasan Dan Struktur Mikro Untuk Komponen Axle Shaft. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember; 2018.
- [7] Suryana, I.A. Analisa Pengaruh Temperatur Tempering terhadap Struktur Mikro dan Sifat Mekanik Baja AAR-M201 Grade E. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember; 2016.
- [8] Avner, S.H., Introduction to physical metallurgy. Vol. 2. New York: McGraw-Hill. 1974. p 481-497.
- [9] Inam, A., Ishtiaq, M., Hafeez, A., Nawaz, M., Rizwan, M., Hassan, M.H., Quenching and partitioning of AISI 4340 steel. Journal Of Faculty Of Engineering & Technology. 2017; 24(2): p. 47-56.
- [10] Sihombing, L.H. Pengaruh Perlakuan Panas (Quenching dan Variasi Suhu Tempering) terhadap Ketangguhan Impact, Kekerasan, dan Struktur Mikro pada Baja VCN 150. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada; 2020.
- [11] Juliaptini, D. Analisis Sifat Mekanik dan Metalografi Baja Karbon Rendah Untuk Aplikasi Tabung Gas 3 Kg. Jakarta: Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah Jakarta; 2010.
- [12] Zhao, D., Zhang, S., Zhang, H., Li, S., Xiao, H., Wang, Y., Wang, X., Effects of Tempering Temperature on the Microstructure and Mechanical Properties of T92 Heat-Resistant Steel. Metals. 2019; 9(194): p. 1-13.
- [13] Liu, X.Y., McMahon, C.J., Quench cracking in steel as a case of hydrogen embrittlement. Materials Science and Engineering A. 2009; 499: p. 540-541.

- [14] Mohrbacher, Morris, J.W., Krauss, G. Fundamentals And Practical Approaches Of Optimizing Martensitic Steels For Use Under Severe Operating Conditions. Proceedings of the International Symposium on Wear Resistant Alloys for the Mining and Processing Industry CBMM. 2018; p. 93-157.
- [15] Hassan, M., Overfelt, R.A. Microstructurally Mediated Changes in Fracture Characteristics for Electrochemically Hydrogenated 4340 Steel. Materials Performance and Characterization. 2015; 4(2): p. 68-83.
- [16] Lee, W.S., dan Su, T.T. Mechanical properties and microstructural features of AISI 4340 high-strength alloy steel under quenched and tempered conditions. Journal of Materials Processing Technology. 1999; 87: p. 198-206.
- [17] Brandes, E.A. (ed), dan Brook, G.B. (ed). Smithells Metals Reference Book. 7th edition. Oxford: Butterworth-Heinemann; 1992. p. 29-9.
- [18] Sun, C., Fu, P.X., Liu, H.W., Liu, H.H., Du, N.Y., Effect of Tempering Temperature on the Low Temperature Impact Toughness of 42CrMo4-V Steel. Metals. 2018; 8(4): p. 1-12.