

Analisis Kegagalan Poros *Track Roller Bearing* pada Mesin Pembelah Bambu

Nareswari Novita Satiti¹, Radhian Krisnaputra^{1*}, Sugiyanto¹, Ignatius Aris Hendaryanto¹, Inggar Septhia Irawati², Suryo Darmo¹, dan Widia Setiawan¹

¹Departemen Teknik Mesin, Sekolah Vokasi, Universitas Gadjah Mada, Kampus 1, Jl. Yacarana, Sekip Unit IV, Yogyakarta 55281, Indonesia

²Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Jl. Grafika No.2, Kampus UGM, Yogyakarta 55284, Indonesia

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

Diajukan: 30-03-2022; Diterima: 08-08-2023; Diterbitkan: 21-08-2023

Abstrak

Splitting merupakan salah satu tahapan proses produksi bambu laminasi. *Splitting* dilakukan dengan mesin pembelah bambu untuk mengubah batang bambu menjadi bilah-bilah bambu. Dalam proses *splitting*, komponen *booster* bergerak maju-mundur di sepanjang rel untuk mendorong bambu yang terletak pada bagian penopang sampai ujung bambu bertumbukan dengan pisau pembelah sehingga batang bambu terbelah menjadi bilah-bilah (*bamboo strips*). Pada mesin pembelah bambu terdapat *track roller bearing* yang berfungsi sebagai *guide roller*. Salah satu komponen penting dalam rangkaian *track roller bearing* adalah poros. Kasus kegagalan komponen berupa patahnya poros *track roller bearing* telah dijumpai pada mesin pembelah bambu yang terdapat di sentra kerajinan bambu, Rosse Bambu Yogyakarta. Kerusakan komponen mesin tentu menghambat berjalannya proses produksi bambu laminasi, oleh sebab itu dilakukan analisis kegagalan dalam penelitian ini dengan tujuan untuk mengetahui faktor penyebab kegagalan yang dialami oleh poros *track roller bearing* pada mesin pembelah bambu sekaligus sebagai upaya antisipasi untuk menghindari terjadinya kasus kegagalan yang serupa. Analisis kegagalan dilakukan dengan melakukan pengujian komposisi kimia material dengan metode *Atomic Emission Spectroscopy* (AES), pengamatan visual dan pengamatan skala makro terhadap permukaan patahan yang terbentuk, pengujian metalografi untuk mengetahui struktur mikro material poros *track roller bearing* yang patah, dan pengujian kekerasan Vickers. Permukaan patahan poros tampak terang dan berbentuk *granular* menunjukkan karakteristik patah getas. Hasil analisis menunjukkan bahwa material poros terbuat dari baja karbon tinggi AISI 1080 yang telah menerima perlakuan *quenching* dengan nilai kekerasan material sebesar 311,59 HV sehingga material bersifat keras dan getas. Sifat tersebut mengakibatkan poros tidak mampu menahan beban kejut yang diterima saat proses pembelahan bambu berlangsung. Kesimpulan yang diperoleh yaitu kegagalan yang terjadi disebabkan oleh faktor pemilihan material dan perlakuan panas yang dilakukan tidak sesuai untuk aplikasi poros *track roller bearing* pada mesin pembelah bambu.

Kata kunci: analisis kegagalan; getas; patah; poros

Abstract

Splitting is one of the stages of the laminated-bamboo production process. In the *splitting* process, the *booster* on the bamboo-splitting machine moves back and forth along the rail to push the bamboo stem placed on the support until the ends of the bamboo collide with the splitter so that the bamboo stem becomes strips. The bamboo-splitting machine use *track roller bearings* as its *guide roller*. One of the essential components in a *track roller bearing* is the shaft. A fractured *track roller bearing* shaft was found in the bamboo-splitting machine located at Rosse Bambu Yogyakarta. Failure of a machine component certainly hinders the production process, so this study aims to know the causes of fractured *track roller bearing* shaft on the bamboo splitting machine as well as an effort to avoid similar failure cases in the future. Failure analysis was carried out by conducting a chemical composition test of the material using the *Atomic Emission Spectroscopy* (AES), visual and macro examination of the fracture surface, metallography test to determine the microstructure of the fractured shaft, and Vickers hardness test. The fracture surface has a bright and granular appearance which shows brittle fracture characteristics. The results showed that the shaft material was made from a high-carbon steel AISI 1080 that has been quenched and with a hardness value of 311.59 HV. The material is hard and brittle so the shaft couldn't withstand the impact loads received during the bamboo splitting process. It can be concluded that the failure was caused by deficiencies in material selection and improper heat treatment process for the *track roller bearing* shaft of bamboo splitting machines.

Keywords: brittle; failure analysis; fracture; shaft

1. Pendahuluan

Bambu laminasi merupakan produk rekayasa struktur bambu [1]. Alur produksi bambu laminasi meliputi beberapa tahapan proses, salah satunya yaitu proses *splitting* [2]. Proses *splitting* merupakan proses untuk mengubah batang bambu menjadi bilah-bilah bambu melalui pembelahan yang dilakukan dengan mesin pembelah bambu (*bamboo-splitting machine*). Dalam proses *splitting*, komponen *booster* bergerak maju-mundur di sepanjang rel mendorong bambu yang terletak pada bagian penopang sampai ujung bambu bertumbukan dengan pisau pembelah sehingga batang bambu terbelah menjadi bilah-bilah bambu (*bamboo strips*) [3]. Pergerakan *booster* memanfaatkan komponen *track roller bearing* sebagai *guide roller* yang berjalan pada bagian samping kanan dan kiri rel. Komponen penting yang terpasang pada *track roller bearing* adalah poros. Material poros *track roller bearing* sangat penting untuk memiliki ketangguhan *impact* yang tinggi untuk menahan beban kejut akibat tumbukan yang terjadi selama proses pembelahan bambu berlangsung.

Banyak peristiwa kerusakan yang terjadi sebelum komponen *engineering* mencapai umur pakai yang direncanakan. Kegagalan komponen *engineering* dapat diartikan sebagai ketidakmampuan komponen untuk menjalankan fungsi perancangannya secara andal. Kegagalan komponen tentu dapat menyebabkan kerugian dalam berbagai aspek seperti biaya, risiko ketersediaan produk dan layanan, hingga menimbulkan bahaya yang berujung pada kecelakaan kerja. Oleh sebab itu, analisis kegagalan sangat penting dilakukan untuk mengetahui akar permasalahan serta menentukan langkah perbaikan yang dapat dilakukan [4, 5].

Analisis kegagalan merupakan analisis ilmiah objektif yang dilakukan terhadap kegagalan komponen atau peralatan untuk mengidentifikasi faktor penyebabnya. Penyebab kegagalan komponen yang paling mendasar ada beberapa hal, diantaranya yaitu ketidaksesuaian dalam perancangan, kesalahan pemilihan material, ketidaksesuaian proses manufaktur/pemasangan/*quality control*, kondisi operasi yang tak terduga serta *maintenance* yang kurang tepat. Kegagalan patah atau *fracture* merupakan peristiwa kegagalan pada sebuah komponen yang terpisah menjadi dua bagian atau lebih yang dapat disebabkan oleh sifat getas maupun ulet, tergantung pada kemampuan material untuk mengalami deformasi plastis [6].

Patah ulet atau *ductile fracture* memiliki karakteristik yang berbeda dengan patah getas. Karakteristik utama dari patah ulet adalah terjadinya deformasi plastis dan mulur yang membentuk *necking*. Akibat deformasi yang terjadi, permukaan patahan material ulet tidak memantulkan cahaya dan tampak berserat (*fibrous*). Baja yang mengalami patah getas atau *brittle fracture*, permukaan patahannya memiliki tampilan yang terang, memantulkan cahaya, dan berbentuk *granular*. Getas dapat diartikan sedikit atau tidak adanya deformasi permanen pada material yang disebabkan oleh kegagalan patah, hal tersebut biasanya dipengaruhi oleh nilai kekerasan material yang tergolong tinggi namun ketangguhannya rendah [7].

Penelitian pendahuluan mengenai kegagalan *gearbox shaft* menunjukkan terjadinya mekanisme patahan getas dengan adanya *cleavage*. Struktur mikro material adalah *tempered martensite* sehingga material tersebut bersifat kuat, keras, namun rapuh. Disimpulkan bahwa komponen *gearbox shaft* mengalami patah akibat proses perlakuan panas yang diberikan terhadap material tidak sesuai serta adanya beban berlebih yang diterima oleh material selama operasi [8].

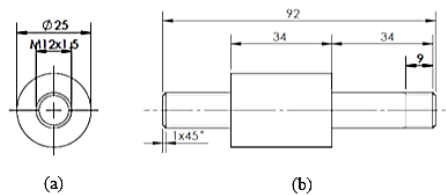
Penelitian yang dilakukan oleh Praditya terhadap menunjukkan bahwa komponen *axle shaft* yang mengalami kegagalan terbuat dari baja AISI 1045, padahal komponen tersebut memiliki permukaan kontak langsung dengan roda gigi yang terbuat dari material AISI 4340 yang sudah melalui proses *hardening* dan *quenching* sehingga lebih kuat dan lebih keras. Tentu saja *axle shaft* tidak mampu menahan beban dan gesekan roda gigi. Dalam penelitian tersebut dilakukan penggantian material komponen yang gagal dengan material standar baja AISI 4340 serta melakukan perlakuan *heat treatment* untuk meningkatkan keunggulan sifat material baja AISI 4340 untuk aplikasi *axle shaft luffing crane* [9].

Mesin pembelah bambu yang terdapat di sentra kerajinan bambu, Rosse Bambu Yogyakarta mengalami permasalahan yaitu kasus kegagalan komponen berupa patahnya poros *track roller bearing* saat mesin sedang beroperasi. Kerusakan komponen mesin tentu menghambat berjalannya proses produksi bambu laminasi, maka tujuan dilakukannya analisis kegagalan dalam penelitian ini adalah untuk mengetahui faktor penyebab kegagalan yang dialami oleh poros *track roller bearing* pada mesin pembelah bambu sekaligus sebagai upaya antisipasi untuk menghindari terjadinya kasus kegagalan yang serupa di masa mendatang.

2. Material dan metodologi

2.1 Material

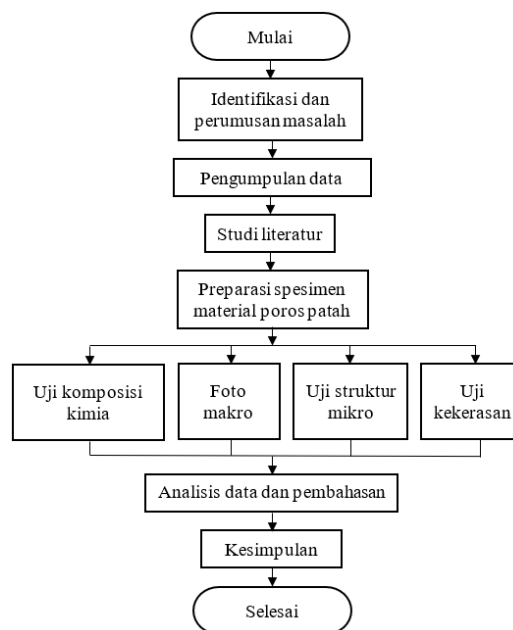
Poros *track roller bearing* yang mengalami patah, yang dijadikan sebagai spesimen uji yang diteliti, diperoleh dari mesin pembelah bambu yang terdapat di Rosse Bambu Yogyakarta. Poros tersebut merupakan poros bertingkat dengan skema yang ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Skema komponen poros *track roller bearing* (a) tampak atas dan (b) tampak samping

2.2 Metodologi

Metode penelitian ditunjukkan melalui diagram alir pada Gambar 2. Penelitian diawali dengan melakukan studi lapangan di Rosse Bambu Yogyakarta untuk melakukan observasi mesin pembelah bambu secara langsung dan pengumpulan informasi kegagalan yang terjadi. Selanjutnya, dilakukan studi literatur untuk mencari data pendukung penelitian. Analisis kegagalan yang dilakukan dalam penelitian ini diawali dengan preparasi spesimen uji, uji komposisi kimia, pengamatan visual dan foto makro, uji struktur mikro, uji kekerasan, dan evaluasi hasil pengujian.



Gambar 2. Diagram alir penelitian

Pengujian komposisi kimia material dalam penelitian ini dilakukan dengan metode *Atomic Emission Spectroscopy* (AES) dengan standar ASTM E415-08. Pengamatan visual dan pengamatan skala makro dilakukan pada permukaan

patahan poros untuk mengetahui pola patahan yang terbentuk. Pengamatan pada skala makro dilakukan melalui foto makro permukaan patahan menggunakan *stereo zoom microscope* untuk dapat mengamati pola patahan yang terjadi dengan lebih jelas [10]. Pengujian metalografi dilakukan untuk mengetahui struktur mikro material dengan mengacu pada standar ASTM E3 dan ASTM E407. Sebelum pelaksanaan pengujian struktur mikro, dilakukan preparasi spesimen uji yang meliputi pemotongan spesimen uji, *mounting*, *grinding*, *polishing*, dan *etching*. Pemilihan etsa dan metode digunakan perlu menyesuaikan jenis material yang akan diamati struktur mikronya [11]. Etsa yang digunakan dalam penelitian ini yaitu etsa nital. Pengujian kekerasan dalam penelitian ini dilakukan dengan metode Vickers pada 5 titik indentasi berdasar acuan standar ASTM E92-82.

3. Hasil dan pembahasan

Berdasarkan hasil uji komposisi kimia yang dilakukan dengan metode *Atomic Emission Spectroscopy* (AES), material dasar poros *track roller bearing* yang patah dapat digolongkan ke dalam kategori baja karbon tinggi karena memiliki kadar karbon sebesar 0,879 wt.% [12]. Perbandingan komposisi kimia spesimen uji dengan komposisi kimia baja standar AISI 1080 ditunjukkan pada Tabel 1. Komposisi unsur lain yang terkandung dalam material poros menunjukkan bahwa poros yang patah memiliki kandungan unsur-unsur kimia dengan persentase yang sesuai dengan komposisi kimia baja AISI 1080 yang memiliki sifat material keras dan getas [13].

Tabel 1. Perbandingan komposisi kimia spesimen uji dengan komposisi kimia baja standar AISI 1080

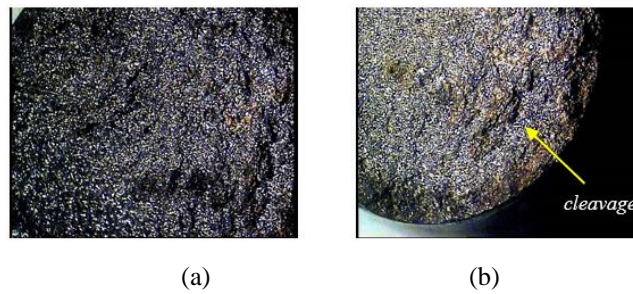
Unsur	C	Mn	P	S	Fe
Hasil Uji (%)	0,879	0,802	0,045	0,017	balance
Standar AISI 1080 (%)	0,75 – 0,88	0,60 – 0,90	0,04 max.	0,05 max.	balance

Hasil pengamatan visual terhadap permukaan patahan poros *track roller bearing* yang ditampilkan pada Gambar 3 (a) dan Gambar 3 (b) menunjukkan bahwa permukaan patahan poros bagian patahan atas dan patahan bawah memiliki tampilan *granular*, memantulkan cahaya, dan tampak terang. Berdasarkan hasil pengamatan visual, diketahui bahwa poros tidak mengalami penyempitan ukuran diameter maupun perubahan bentuk yang signifikan.



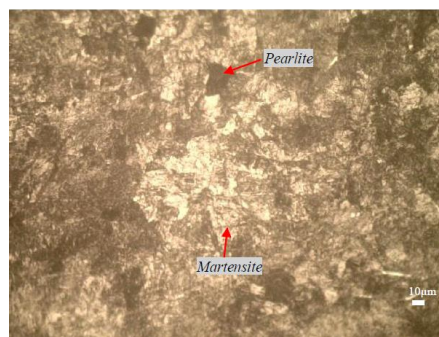
Gambar 3. Tampilan permukaan patahan poros bagian (a) patahan atas dan (b) patahan bawah

Tampilan permukaan patahan yang tampak lebih jelas diperoleh melalui hasil foto makro pada perbesaran lensa 10x menggunakan alat *stereo zoom microscope* yang ditunjukkan pada Gambar 4. Gambar 4 (a) menunjukkan tampilan permukaan patahan poros terbentuk dari susunan butiran-butiran kecil. Gambar 4 (b) menunjukkan adanya *cleavage* yang terbentuk pada permukaan patahan. Mekanisme *cleavage* pada butir-butir material logam menyebabkan terjadinya perpatahan *granular* pada material logam yang bersifat getas (*brittle*). Permukaan patahan memiliki tampilan yang terang atau memantulkan cahaya dan permukaannya datar [11]. Karakteristik patahan tersebut mengindikasikan bahwa poros *track roller bearing* mengalami patah getas atau yang sering disebut sebagai *brittle fracture* [3, 7, 14].



Gambar 4. Foto makro permukaan patahan bawah yang diamati menggunakan *stereo zoom microscope* dengan perbesaran lensa 10x pada (a) bagian tengah dan (b) bagian tepi

Uji metalografi dilakukan untuk mengamati struktur mikro spesimen uji dengan menggunakan mikroskop optik pada perbesaran lensa 200x. Pengamatan struktur mikro dilakukan terhadap material poros yang patah dengan etsa yang digunakan adalah etsa nital. Hasil uji struktur mikro material poros *track roller bearing* yang patah ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Struktur mikro material poros *track roller bearing* yang patah pada perbesaran lensa 200x dengan etsa nital

Secara teoritis, struktur mikro baja AISI 1080 terdiri atas fasa *pearlite* sebagai fasa utamanya, namun hasil uji struktur mikro material poros *track roller bearing* menunjukkan hal yang berbeda. Struktur mikro poros *track roller bearing* yang patah terdiri atas fasa *martensite* dan *pearlite* sehingga dapat diasumsikan bahwa material poros telah menerima perlakuan panas sebelum proses fabrikasinya. Pernyataan tersebut didukung oleh hasil penelitian pendahuluan yang menyatakan bahwa struktur mikro yang terbentuk pada baja AISI 1080 hasil proses *quenching* dengan media pendingin oli adalah *martensite* dan *pearlite* dengan nilai kekerasan spesimen uji sebesar 334 HV [13]. Hasil uji kekerasan yang dilakukan terhadap patahan poros *track roller bearing* mendukung hasil uji struktur mikronya. Pengujian kekerasan metode Vickers dilakukan pada poros *track roller bearing* dengan jumlah pengambilan data sebanyak 5 titik indentasi. Hasil dari pengujian kekerasan material poros *track roller bearing* yang patah ditunjukkan pada Tabel 2. Rata-rata nilai kekerasan material poros tersebut yaitu 311,59 HV.

Tabel 2. Hasil pengujian kekerasan material poros yang patah

Titik Indentasi	1	2	3	4	5	Rata-rata
Nilai kekerasan (HV)	315,27	296,64	308,87	321,88	315,27	311,59

4. Kesimpulan

Berdasarkan pengujian dan analisis yang telah dilakukan, kegagalan yang dialami oleh komponen poros *track roller bearing* pada mesin pembelah bambu merupakan kegagalan patah getas (*brittle fracture*). Faktor penyebab kegagalan poros tersebut yaitu pemilihan material dan perlakuan panas yang tidak sesuai untuk aplikasi poros *track roller bearing* pada

mesin pembelah bambu. Baja karbon tinggi AISI 1080 memiliki sifat material yang keras dan getas, perlakuan *quenching* yang diberikan meningkatkan nilai kekerasan material namun tingkat ketangguhannya menurun. Sifat material yang keras dan getas mengakibatkan material poros hanya mampu menyerap energi *impact* dalam jumlah yang kecil, dengan kata lain material poros yang patah tidak memiliki ketangguhan yang cukup untuk menahan beban kejut yang terjadi ketika proses pembelahan bambu berlangsung sehingga poros patah. Pemilihan baja AISI 1080 yang digunakan sebagai material poros *track roller bearing* tidaklah sesuai dengan ketentuan perancangan. Material standar yang sesuai untuk digunakan sebagai bahan pembuatan poros adalah baja ASSAB 705. Baja tersebut setara dengan baja AISI 4340 dan baja BOHLER VCN 150 [15, 16]. Perbaikan yang dapat dilakukan untuk menghindari terjadinya kasus kegagalan serupa sekaligus untuk meningkatkan kualitas poros *track roller bearing* adalah dengan melakukan pemilihan material substitusi dan perlakuan panas yang sesuai untuk material tersebut sehingga diperoleh sifat material yang memiliki nilai kekerasan dan ketangguhan yang baik supaya komponen poros *track roller bearing* memiliki umur pakai yang lebih lama.

Daftar pustaka

- [1] Setyo, N. I., Satyarno, I., Sulisty, D., Prayitno, T. A. Sifat mekanika bambu petung laminasi. *Dinamika Rekayasa*. 2014; 10(1): p. 6-13.
- [2] Sukmono, B. *Studi Proses Produksi Bambu Laminasi Sebagai Alternatif Bahan Baku Kapal*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember; 2006.
- [3] Satiti, N.N. *Analisis Kegagalan Poros Track Roller Bearing Dan Optimasi Sifat Mekanis Material Substitusi Pada Mesin Pembelah Bambu*. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada; 2023.
- [4] Becker, W.T., Shipley, R.J. (ed), *Failure analysis and prevention*. United States: ASM International; 2002. p 18.
- [5] Callister, W. D., Rethwisch, D. G., *Materials science and engineering: an introduction*. 7th edition. United States: John Wiley & Sons; 2007.
- [6] Qua, H.C. et al. *Applied engineering failure analysis: theory and practice*. New York: CRC Press; 2015.
- [7] Champbell, F. C. *Fatigue and fracture: understanding the basics*. United States: ASM International; 2012.
- [8] Rocha, V. S. et al. Fracture failure analysis of gearbox shaft. *Ciência & Tecnologia dos Materiais*. 2012; 24(1/2): p. 19-24.
- [9] 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.
- [10] Syahril, M. Analisa kegagalan poros roda belakang kendaraan. *Majalah Metalurgi*. 2013; 28(2): p. 139-148.
- [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] Schwartz, M. *Encyclopedia of materials, parts, and finishes*. 2nd edition. United States: CRC Press; 2002.
- [13] Mishra, A., Saha, A., Maity, J., *Microstructure evolution in AISI 1080 eutectoid steel under cyclic quenching treatment*. *Metallography, Microstructure, and Analysis*. 2015; 4: p. 355-370.
- [14] McCall, J.L., French, P.M. (ed), *Metallography in failure analysis*. New York: Plenum Press; 1978. p 51.
- [15] Azizi, M.J.A., Jatimurti, W., 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.
- [16] Lumintang, M. *Analisa Sifat Fisik dan Mekanik Poros VCN 150 Mesin Spinning PT Wijaya Karya Beton Tbk PPB Boyolali*. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada; 2017.