

Penyelidikan Kegagalan pada Alat Pemisah Karet Alam Jenis LRH 410

Failure Investigation of Natural Rubber Separator Type LRH 410

Derlini¹, Achmad Jusuf Zulfikar^{2*}

¹Program Studi Teknik Industri, Universitas Pembinaan Masyarakat Indonesia, Jl. Balai Desa Pasar 12 Marendal II, Kodya Medan, Indonesia

²Program Studi Teknik Mesin, Universitas Medan Area, Jl. Kolam No. 1 Medan Estate, Kodya Medan, Indonesia

*Corresponding author: zulfikar@staff.uma.ac.id

Diterima: 05-01-2023

Disetujui: 10-01-2023

Dipublikasikan: 14-01-2023

IRAJTMA is licensed under a Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License.



Abstrak

Studi ini merupakan penyelidikan terhadap penyebab kegagalan pada bagian alat pemisah karet alam dengan air yang dikenal dengan nama Centrifuge jenis LRH 410. Adapun bagian yang mengalami kerusakan ialah pada bagian lock ring yang berfungsi sebagai pengunci utamanya. Tujuan penelitian ini ialah untuk mendapatkan perbandingan nilai kekuatan tarik, kekerasan bahan, dan komposisi unsur-unsur penyusun dari kedua jenis lock tersebut. Penyelidikan ini meliputi kunjungan lapangan ke lokasi kejadian untuk mengumpulkan data-data awal kegagalan dan mengirimkan sampel ke Laboratorium. Spesimen dibedakan atas 2 jenis, yaitu bahan lock ring yang rusak (LR-R) dan bahan lock ring yang masih baik (LR-B). Pengujian tarik dilakukan dengan menggunakan sistem metrik standar E8M-99 ASTM. Uji kekerasan menggunakan metode uji kekerasan Brinell. Pengamatan struktur mikro pada lock ring (spesimen) bertujuan untuk mengetahui struktur mikro dari spesimen. Analisis komposisi unsur-unsur bahan lock ring menggunakan spectrometer. Hasil uji tarik diperoleh bahwa kekuatan luluh bahan LR-R hanya 50% dibandingkan dengan LR-B. Berdasarkan pengujian kekerasan material terlihat bahwa nilai kekerasan LR-R lebih rendah dibandingkan LR-B. Berdasarkan hasil pengujian komposisi diperoleh bahwa kandungan unsur Carbon pada LR-R lebih rendah 50% dibandingkan dengan LR-B. Dengan demikian bahan LR-R akan lebih cepat aus ketika dioperasikan dibandingkan dengan bahan LR-B.

Kata Kunci: Analisis Kegagalan, Centrifuge, Lock Ring, Kekuatan Tarik, Mikrostruktur, Spectrometer

Abstract

This study is an investigation into the causes of failure in a part of a natural rubber separator with water known as a Centrifuge type LRH 410. The part that is damaged is the lock ring which functions as the main lock. The purpose of this study was to obtain a comparison of the values of tensile strength, material hardness, and the composition of the constituent elements of the two types of locks. This investigation includes a field visit to the incident location to collect initial failure data and send samples to the laboratory. Specimens are divided into 2 types, namely damaged lock ring material (LR-R) and good lock ring material (LR-B). Tensile testing was carried out using the standard E8M-99 ASTM metric system. The hardness test uses the Brinell hardness test method. Observation of the microstructure of the lock ring (specimen) aims to determine the microstructure of the specimen. Analysis of the composition of the elements of the lock ring material using a spectrometer. The results of the tensile test showed that the yield strength of the LR-R material was only 50% compared to LR-B. Based on the material hardness test, it can be seen that the LR-R hardness value is lower than LR-B. Based on the results of the composition test, it was found that the content of the element Carbon in LR-R was 50% lower than that of LR-B. Thus the LR-R material will wear out faster when operated compared to the LR-B material.

Keywords: Failure Analysis, Centrifuge, Lock Ring, Tensile, Microstructure, Spectrometer

1. Pendahuluan

Alat pemisah karet alam atau sering disebut dengan istilah Centrifuge adalah alat yang berfungsi sebagai pemisah antara karet alam dengan air dan kotoran lain yang terkandung dalam latex karet alami. Alat ini bekerja dengan menggunakan mekanisme perputaran tinggi (antara 6000 sampai dengan 7000 rpm) dengan memanfaatkan perbedaan inersia suatu bahan sehingga antara karet dan bahan-bahan pengotor lainnya dapat terpisah pada tinggi putaran tertentu (Salehi et al. 2022). Akan tetapi, konstruksi alat ini harus kokoh dan mampu menahan beban yang besar dalam operasi kerja putaran tinggi. Oleh karena itu, alat ini rentan mengalami kerusakan ketika apabila instalasinya tidak baik dan bahan yang digunakan tidak diperhatikan dengan baik (Ng, Othman, and Yusof 2022; Guerra et al. 2021).

Studi ini adalah suatu kegiatan penyelidikan terhadap penyebab kegagalan pada alat Centrifuge di sebuah Pabrik Pengolahan Karet (PPK) yang terletak di wilayah Kabupaten Asahan, Sumatera Utara, Indonesia. Dalam studi ini, beberapa parameter dugaan penyebab kerusakan akan diteliti, antara lain kesalahan prosedur operasional, komposisi material, cacat produk, dll. Analisis dikerjakan dengan mengukur kekuatan alat melalui serangkaian pengujian mekanik bahan. Sebagai pembanding akan dilakukan simulasi secara numeric dengan menggunakan bantuan software Msc. Nastran.

Lateks pekat dapat dibuat dalam beberapa teknik, termasuk sentrifugasi, creaming, evaporasi, dan elektrodekantasi (Maddalozzo et al. 2022). Saat ini, hanya sentrifugasi dan pendidihan yang digunakan untuk menghasilkan lateks karena pertimbangan kemudahan teknis dan konsistensi kualitas (Hema et al. 2021; Iswandi, Sahari, and Sulong 2011). Biaya investasi peralatan untuk proses sentrifugasi berkisar antara Rp 800 juta hingga Rp 1 miliar. Merek termasuk Alfal de Laval, Westphalia, dan Titan sering digunakan. Namun, karena setiap peralatan ini buatan luar negeri, hanya industri besar yang dapat memproduksi lateks pekat menggunakan sentrifugasi.

Sektor farmasi, makanan kesehatan, minuman, dan kimia semuanya telah menggunakan centrifuge lateks secara ekstensif untuk memisahkan komponen cair-padat atau cair-cair-padat (Raketh et al. 2021; Iswandi, Sulong, and Husaini 2019). Ukuran butiran minimal untuk centrifuge ini adalah 1 um, membuatnya sempurna untuk menggunakan proses sentrifugal untuk menyaring, memadatkan, dan mengklarifikasi bahan dengan sedikit perbedaan gravitasi, sedikit butiran padat, dan tingkat erosi yang tinggi (Yao, Xu, and Xu 2022).

Mikroskop metalografi khusus digunakan untuk analisis mikro, yang memeriksa struktur mikro logam di bawah perbesaran optik (Zhang et al. 2022; Iswandi et al. 2016). Penelitian ini memungkinkan untuk mengamati dengan benar ukuran dan bentuk kristal logam. Pengamatan pola kerusakan logam yang lebih baik yang disebabkan oleh operasi deformasi, proses perlakuan panas, dan variasi komposisi juga dimungkinkan. Selain itu, kualitas logam, terutama sifat mekanik dan fisiknya, dipengaruhi oleh struktur mikro logam dan paduannya (Romano et al. 2019). Selain itu, pemeriksaan ini dapat digunakan untuk menentukan susunan kimia dari bagian-bagian komponen suatu bahan. Perlakuan panas atau deformasi logam yang diuji keduanya berpotensi mengubah struktur mikro logam (Saranarayanan, Lakshminarayanan, and Venkatraman 2019; Zulfikar and Siahaan 2021).

Uji komposisi adalah prosedur yang digunakan untuk menentukan jumlah suatu zat yang ada dalam logam besi dan non-ferro. Dengan memanfaatkan spektrometer untuk menganalisis komposisi penyusun material, pengujian ini mengidentifikasi jenis material lock ring (Zhu and Shen 2021; Mohd Radzuan, Sulong, and Iswandi 2021).

Kekuatan dan keuletan material di bawah tekanan tarik uniaksial dapat ditentukan dengan uji tarik. Dalam kondisi tertentu, data ini mungkin berguna untuk perbandingan material, pengembangan paduan, kontrol kualitas, dan desain. Kualitas kekuatan dan keuletan seluruh produk jadi atau perilaku dalam layanannya dalam berbagai kondisi mungkin tidak sepenuhnya terwakili oleh hasil uji tarik spesimen yang dikerjakan dengan dimensi yang ditentukan dari bagian atau material tertentu. Untuk pengujian penerimaan pengiriman komersial, metodologi pengujian ini dianggap memadai. Untuk ini, metodologi pengujian telah banyak digunakan di industri (Siregar and Zulfikar 2022; Yuhazri, Zulfikar, and Ginting 2020). Kekuatan tarik bahan σ akibat beban F dan luas penampang pembebanan A dihitung dengan menggunakan persamaan 1.

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (1)$$

Ukuran lekukan daun indentor diukur dalam uji kekerasan optik Brinell. Metode Brinell (BHN) menggunakan indentor bola sebagai kebalikan dari metode Vickers optik, yang menekan indentor berbentuk piramida ke dalam spesimen. Semakin jelas lekukan yang dibuat pada permukaan benda kerja (spesimen) oleh indentor Brinell dengan diameter bola tertentu dan di bawah gaya uji tertentu, semakin lunak material yang akan diuji (Kharchenko et al. 2022; Zulfikar 2020).

Gaya uji F (dalam newton N) dan luas permukaan lekukan yang tersisa pada spesimen (proyeksi lekukan) setelah gaya uji dihilangkan dibagi satu sama lain untuk menentukan kekerasan Brinell (Zulfikar et al. 2022; Zulfikar and Iswandi 2022). Karena alas lekukan Brinell seringkali tidak tepat berbentuk bola, rata-rata aritmatika d dari dua diagonal tegak lurus d_1 dan d_2 (dalam mm) digunakan untuk menghitung luas permukaan yang tersisa dari lekukan berbentuk bola. Pada kenyataannya, rumus tersebut tidak dihitung untuk setiap pengujian untuk menentukan nilai kekerasan (Alamsyah, Zulfikar, and Siahaan 2022). Metode alternatif untuk menentukan nilai kekerasan meliputi tabel, khususnya perangkat lunak pengujian kekerasan yang telah dibuat khusus untuk menampilkan nilai kekerasan sebagai fungsi dari diameter lekukan rata-rata (d) untuk semua ukuran bola standar dan beban uji (Hidayat, Zulfikar, and Siahaan 2022). Nilai kekerasan Brinell HBW dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 2.

$$HBW = 0,102 \times \frac{2F}{\pi D^2 \left(1 - \sqrt{1 - d^2/D^2}\right)} \quad (2)$$

Studi ini merupakan kegiatan penyelidikan terhadap kerusakan yang terjadi pada alat pengunci Centrifuge yang disebut dengan istilah lock ring. Dalam studi ini, lock ring yang mengalami kerusakan diberi kode LR-R (Lock ring rusak) dan lock ring pembanding diambil dari yang masih berfungsi dengan baik diberi kode LR-B (lock ring baik). Tujuan penelitian ini ialah untuk mendapatkan perbandingan nilai kekuatan tarik, kekerasan bahan, dan komposisi unsur-unsur penyusun dari kedua jenis lock tersebut. Hasilnya ini selanjutnya akan dijadikan sebagai dasar kuat terhadap dugaan terjadinya kerusakan tersebut.

2. Metode

Penyelidikan ini dilaksanakan di Pabrik Pengolahan Karet (PPK) yang berlokasi di Kebun Membang Muda, Kabupaten Asahan, Sumatera Utara, Indonesia. Susunan peralatan yang diselidiki diperlihatkan pada Gambar 1. Bagian alat yang mengalami kerusakan diperlihatkan pada Gambar 2.



Gambar 1. Susunan alat pemisah karet alam



Gambar 2. Lock ring: (a) tampak keseluruhan, (b) bagian dalam

Proses penyelidikan diawali dengan inspeksi secara visual. Proses ini dilakukan dengan visit langsung ke lokasi kejadian dengan mendokumentasikan kondisi di lapangan seperti diperlihatkan pada gambar 1 dan 2. Proses ini bertujuan untuk mendapatkan gambaran yang lebih akurat kronologi kejadian di lapangan sehingga memberi kemudahan dalam proses simulasi numerik. Dalam proses ini, kondisi cacat pada bagian alat diperiksa untuk dapat menentukan parameter-parameter pengujian yang diperlukan, seperti diperlihatkan pada Gambar 2b.

Pengujian tarik bahan menggunakan standar uji ASTM E8M-99 dengan standar satuan metrik. Bentuk spesimen uji tarik diperlihatkan pada gambar 3. Bahan untuk pengujian tarik diambil langsung dari bagian lock ring yang berasal dari PPK Kebun Mambang Muda, dan dipotong sesuai standar yang diperlukan untuk proses pengujian. Lebih lanjut, terdapat 2 (dua) lock ring yang telah diambil spesimennya yaitu lock ring rusak (LR-R) sebagai spesimen 1 dan lock ring pembanding (LR-B) sebagai spesimen 2. Setiap lock ring mempunyai 3 (tiga) spesimen seperti ditunjukkan pada gambar 3. Pengujian dilakukan menggunakan system metric dengan standar ASTM E8M-99. Pengujian tarik dilakukan menggunakan mesin uji Tarnotest UPH 100 kN. Sampel uji diambil sebanyak tiga buah dan hasilnya akan ditabulasikan.

Dalam studi ini, uji kekerasan spesimen menggunakan standar uji kekerasan Brinell yang menghasilkan data nilai kekerasan (BHN). Spesimen diambil langsung dari bagian lock ring dan dipotong sesuai standar yang diperlukan untuk proses pengujian. Sama seperti uji tarik, spesimen uji dibedakan atas LR-R dan yang masih berfungsi dengan baik (LR-B). Ukuran Spesimen adalah 20 mm x 20 mm x 10 mm (panjang x lebar x tebal). Bentuk specimen sebelum dan setelah pengujian seperti ditunjuk pada Gambar 4.



Gambar 3. Spesimen uji tarik ASTM E8M-99

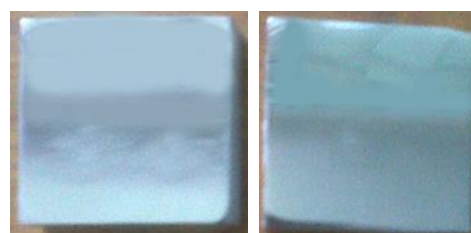


(a)

(b)

Gambar 4. Spesimen uji kekerasan BHN: (a) LR-R, (b) LR-B

Analisa mikrostruktur pada spesimen bertujuan untuk mengetahui struktur mikro dari spesimen. Penampang spesimen dihaluskan dengan kertas amplas dari nomor 200, 400, 600, 800 dan 1000 secara berturut-turut dengan bantuan mesin polishing table unit dan kemudian dipoles. Langkah ini bertujuan untuk mengkilapkan permukaan spesimen agar selama pengamatan dapat diperoleh pantulan sinar yang baik. Selain itu, selama langkah pemolesan ini diharapkan bahwa partikel abrasif dari kertas amplas sebelumnya dapat hilang. Pemolesan yang dilakukan dengan bantuan mesin polishing table unit dengan autosol sebagai bahan poles. Hasil dari persiapan bahan spesimen seperti ditunjukkan pada Gambar 5.



(a)

(b)

Gambar 5. Spesimen uji mikrostruktur: (a) lock ring rusak, (b) lock ring berfungsi baik

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Pengamatan Secara Visual

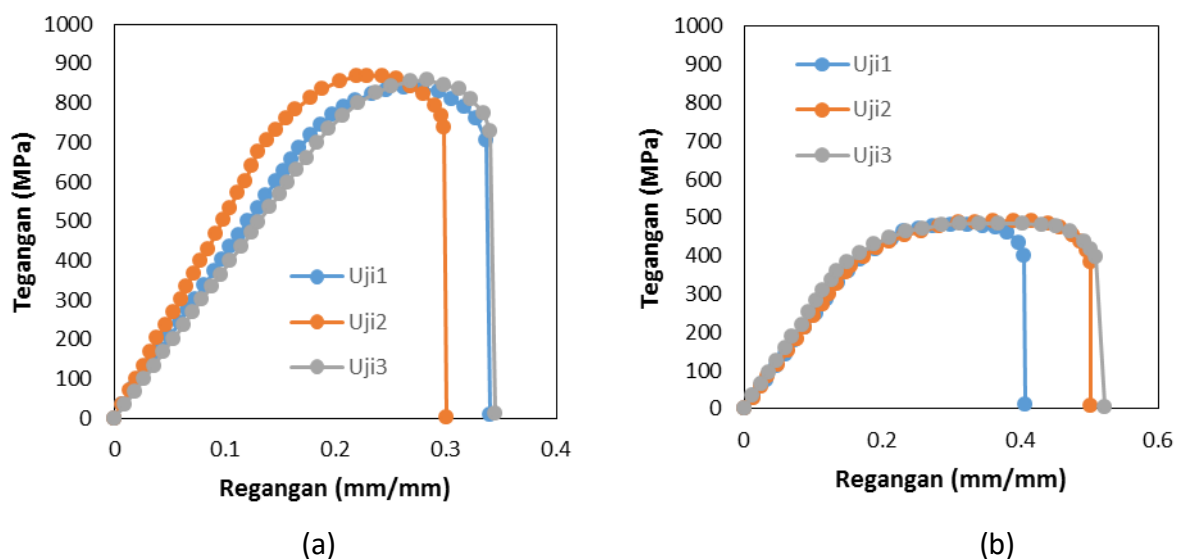
Hasil inspeksi secara visual pada ulir LR-R menunjukkan bahwa terjadi perubahan bentuk pada jalur ulir tersebut seperti diperlihatkan gambar 6. Perubahan bentuk itu diperkirakan yang mengakibatkan terjadinya konsentrasi tegangan pada dasar ulir dan akhirnya merusak ulir (Myneni, Benjamin, and Rajagopal 2021). Akhirnya, ulir akan rusak dan menyebabkan terjadinya kelonggaran pada sambungan sehingga kerja Centrifuge menjadi tidak efektif. Oleh karena itu, sangat beralasan untuk dilakukan pengujian uji mekanik komponen lock ring untuk mendapatkan antara lain: Kekuatan yield dan ultimate, modulus elastisitas, dan kekerasan, serta fraktografi permukaan.



Gambar 6. Lokasi kerusakan pada ulir lock ring

3.2. Kekuatan Tarik

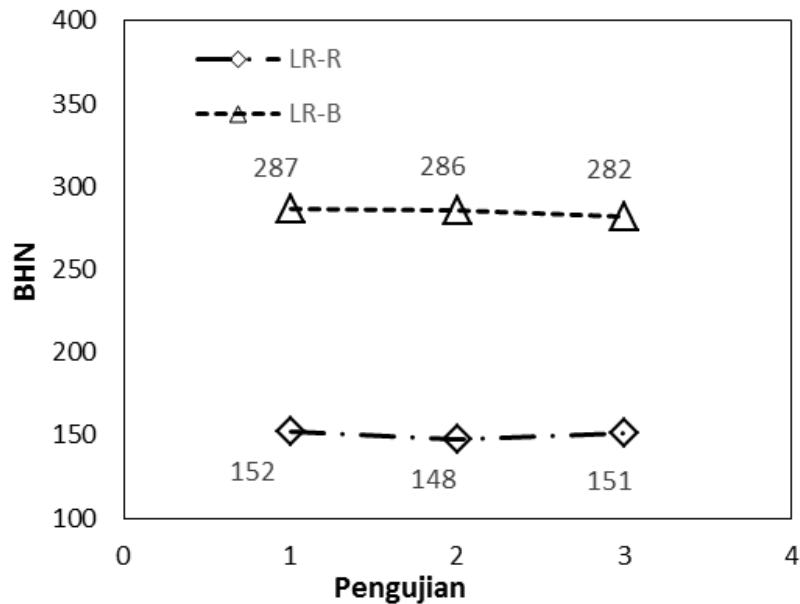
Hasil pengujian tarik terhadap kedua bahan LR-R diperlihatkan pada gambar 7. Kekuatan tarik rata-rata LR-R ialah 488,4 MPa dan LR-B yang berfungsi baik ialah 856,83 MPa. Berdasarkan hasil pengujian tersebut terlihat bahwa kekuatan LR-R lebih rendah sekitar 50 % dari yang LR-B. Dengan demikian, kekuatan mekanik bahan LR-R ternyata tidak sesuai dengan kekuatan mekanik LR-B yang masih berfungsi dengan baik (Hou et al. 2022).



Gambar 7. Kekuatan tarik lock ring: (a) rusak, (b) berfungsi dengan baik.

3.3. Kekerasan Bahan

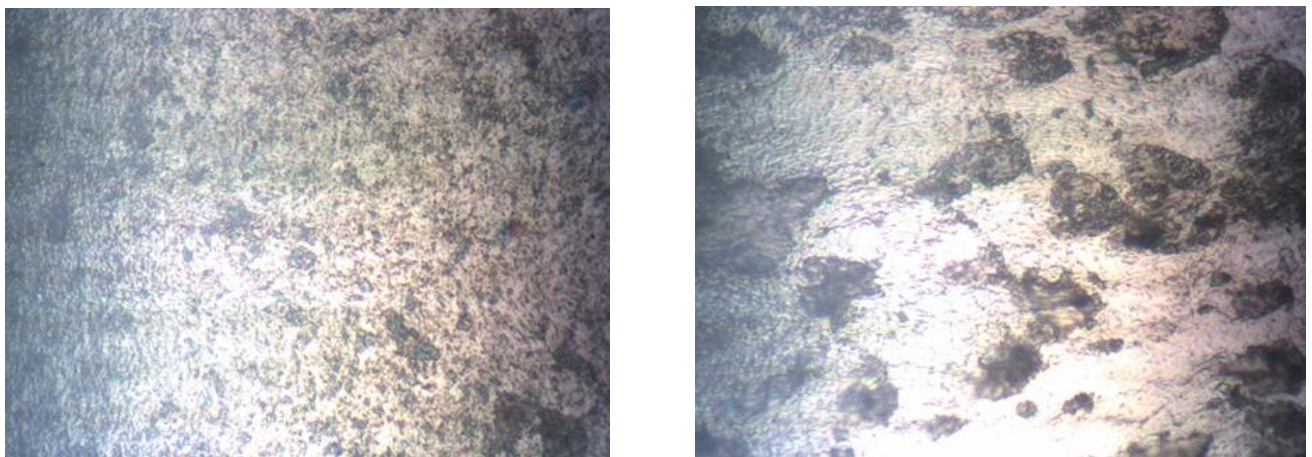
Hasil pengujian kekerasan metode Brinell pada kedua jenis lock ring diperlihatkan pada Gambar 8. Kekerasan LR-R rata-rata ialah 285 BHN dan LR-B ialah 150 BHN. Berdasarkan hasil uji ini, kekerasan bahan LR-B lebih tinggi hingga hampir mencapai 90 % dibandingkan dengan LR-R. Hal ini menunjukkan bahwa bahan yang digunakan untuk LR-R ternyata lebih lunak dibandingkan dengan lock ring yang masih berfungsi dengan baik (LR-B) (Cubillas et al. 2022). Oleh karena itu, untuk memperkuat hasil uji ini maka diperlukan hasil uji mikrostruktur dan komposisi bahan-bahan penyusunnya.



Gambar 8. Grafik hasil uji kekerasan metode Brinell.

3.4. Mikrostruktur

Hasil pengujian mikrostruktur diperlihatkan pada gambar 9 untuk kedua spesimen lock ring tersebut. Berdasarkan gambar 9.a, kandungan karbon pada permukaan LR-R terlihat lebih sedikit dan jarang. Hal ini mengindikasikan bahwa material LR-R mempunyai nilai kekerasan dan kekuatan fatik yang lebih rendah jika dibandingkan dengan material LR-B pembanding (bagus) yang diperlihatkan pada Gambar 9.b.



(a)

(b)

Gambar 9. Foto mikrostruktur bahan lock ring: (a) rusak, (b) berfungsi baik.

3.5. Komposisi

Hasil pengujian komposisi yang telah dilakukan dengan menggunakan alat spectrometer diperlihatkan pada tabel 1 dan 2. Berdasarkan hasil pengujian tersebut terlihat bahwa bahan lock ring yang mengalami kegagalan mengandung unsur carbon sebesar 0,2236 %. Dengan demikian, bahan ini tergolong sebagai bahan baja karbon rendah atau baja lunak dimana unsur utama paduannya ialah Mn sebesar 0,6359 %. Di lain hal, bahan lock ring pembanding (masih berfungsi baik) mengandung unsur carbon sebesar 0,4095% yang berarti masuk ke dalam golongan baja karbon sedang, dengan unsur utama alloy Cr sebesar 0.9902%.

3.6. Pembahasan

Berdasarkan serangkaian hasil pengujian yang telah dilakukan terlihat bahwa bahan lock ring yang mengalami kegagalan memiliki sifat mekanik mekanik yang lebih rendah dari bahan lock ring lain yang berfungsi dengan baik. Hal ini didukung juga dari hasil uji kekerasan bahan dengan metode Brinell dimana kekerasan bahan lock ring yang rusak lebih rendah 50 % dari jenis yang bagus. Lebih lanjut, berdasarkan pengamatan mikrostruktur terlihat bahwa jenis bahan lock ring yang rusak digolongkan sebagai baja lunak sebab memiliki kadar carbon yang rendah. Akhirnya, berdasarkan uji spectrometer terbukti bahwa kadar unsur carbon lebih kecil dibandingkan dengan lock ring yang bagus. Dengan demikian, pada kasus kerusakan ini diduga diakibatkan oleh spesifikasi bahan yang dipakai untuk Centrifuge tidak memenuhi standar yang operasionalnya.

Tabel 1. Hasil uji komposisi pada bahan lock ring yang mengalami kegagalan

Penembakan pertama									
Unsur	C	Si	S	P	Mn	Ni	Cr	Mo	V
Jumlah	0,2231	0,3237	0,0013	0,0162	0,6340	0,0514	0,0457	0,0157	0,0054
Unsur	Cu	W	Ti	Sn	Al	Pb	Fe		
Jumlah	0,074	0,0023	0,0061	0,0051	0,0111	0,0004	98,58		
Penembakan Kedua									
Unsur	C	Si	S	P	Mn	Ni	Cr	Mo	V
Jumlah	0,2236	0,3246	0,0010	0,0156	0,6360	0,0512	0,0459	0,0157	0,0052
Unsur	Cu	W	Ti	Sn	Al	Pb	Fe		
Jumlah	0,074	0,0021	0,0061	0,0051	0,0110	0,0003	98,58		
Penembakan Ketiga									
Unsur	C	Si	S	P	Mn	Ni	Cr	Mo	V
Jumlah	0,2242	0,3260	0,0013	0,0152	0,6377	0,0511	0,0459	0,0158	0,0054
Unsur	Cu	W	Ti	Sn	Al	Pb	Fe		
Jumlah	0,074	0,0027	0,0058	0,0051	0,0112	0,0003	98,58		
Rata-Rata	0,2236	0,3248	0,0012	0,0156	0,6359	0,0512	0,0459	0,0158	0,0053
	0,074	0,0024	0,0060	0,0051	0,0111	0,0003	98,58		

Tabel 2. Hasil uji komposisi pada bahan lock ring yang masih berfungsi baik

Penembakan pertama									
Unsur	C	Si	S	P	Mn	Ni	Cr	Mo	V
Jumlah	0,4140	0,3278	0,0121	0,0376	0,6670	0,1052	0,9871	0,0502	0,0073
Unsur	Cu	W	Ti	Sn	Al	Pb	Fe		
Jumlah	0,224	0,0381	0,0027	0,0295	0,0581	0,0009	97,04		
Penembakan Kedua									
Unsur	C	Si	S	P	Mn	Ni	Cr	Mo	V
Jumlah	0,4071	0,3236	0,0090	0,0361	0,6360	0,1051	0,9912	0,0491	0,0072
Unsur	Cu	W	Ti	Sn	Al	Pb	Fe		
Jumlah	0,226	0,0367	0,0025	0,0296	0,0570	0,0007	97,05		
Penembakan Ketiga									
Unsur	C	Si	S	P	Mn	Ni	Cr	Mo	V
Jumlah	0,4073	0,3238	0,0063	0,0352	0,6700	0,1052	0,9923	0,0488	0,0072
Unsur	Cu	W	Ti	Sn	Al	Pb	Fe		
Jumlah	0,227	0,0365	0,0024	0,0298	0,0564	0,0009	97,05		
Rata-Rata	0,4095	0,3251	0,0092	0,0363	0,6690	0,1052	0,9902	0,0494	0,0073
	0,226	0,0371	0,0025	0,0296	0,0571	0,0008	97,05		

4. Kesimpulan

Sifat mekanik dan fisik bahan lock ring yang mengalami kegagalan memiliki nilai yang lebih rendah 50% dibandingkan dengan jenis yang berfungsi dengan baik, baik dari kekuatan tarik maupun nilai kekerasan bahannya. Hal ini didukung juga dari hasil uji mikrostruktur dan komposisinya, dimana kandungan unsur Carbon dalam bahan lock ring yang mengalami kegagalan memiliki lebih rendah 50 % dibandingkan dengan jenis yang berfungsi dengan baik. Dengan demikian, bahan lock ring yang mengalami kegagalan digolongkan sebagai bahan baja lunak. Oleh karena itu, kegagalan yang terjadi pada Centrifuge diduga kuat disebabkan oleh pemakaian bahan lock ring yang tidak sesuai dengan kondisi operasinya di lapangan.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Universitas Medan Area dan Universitas Pembangunan Masyarakat Indonesia yang telah memfasilitasi dan mendukung penelitian ini.

Daftar Pustaka

- Alamsyah, Diko, Achmad Jusuf Zulfikar, and M Yusuf Rahmansyah Siahaan. 2022. "Optimasi Kekuatan Tekan Beton Kolom Silinder Diperkuat Selubung Komposit Laminat Jute Dengan Metode Anova." *JCEBT (Journal of Civil Engineering, Building and Transportation)* 6 (1): 30–36
- Cubillas, D., M. Olave, I. Llavori, I. Ulacia, and J. Larrañaga. 2022. "A Novel Formulation for Radial Fretting Wear: Application to False Brinelling in Thrust Bearings." *Wear* 488–489 (1): 204–18.

- Guerra, Nayrim Brizuela, Giovana Sant'Ana Pegorin, Natan Roberto de Barros, and Carlos Frederico de Oliveira Graeff. 2021. "Biomedical Applications of Natural Rubber Latex from the Rubber Tree *Hevea Brasiliensis*." *Materials Science and Engineering: C* 126 (1): 112–26.
- Hema, S., Amrutha Krishnan, Sreedha Sambhudevan, and Athira Suresh. 2021. "Green Nanocomposites Based on Natural Rubber Latex Containing Xylan from Sugarcane Bagasse – Synthesis, Characterization and Dye Absorption Studies." In *International Conference on Advances in Material Science and Chemistry – 2020 (ICAMSC-2020)*, 2895–3164.
- Hidayat, Nurul, Achmad Jusuf Zulfikar, and M. Yusuf R Siahaan. 2022. "Analisis Kekuatan Tekan Struktur Beton Kolom Silinder Diperkuat Komposit Laminat Hibrid Jute E-Glass Epoksi Eksperimental Dan ANOVA." *JCEBT (Journal of Civil Engineering, Building and Transportation)* 6 (1): 37–44.
- Hou, Cheng, Xiaochao Jin, Litao Zhao, Pan Li, and Xueling Fan. 2022. "Analysis of Tensile Strength and Fracture Toughness of ZrB₂–SiC Ceramic from Three-Point Bending Samples with Edge Cracks." *Ceramics International* 48 (20): 30078–85.
- Iswandi, Jaafar Sahari, and Abu Bakar Sulong. 2011. "Effects of Different Particles Sizes of Graphite on the Engineering Properties of Graphites/Polypropylene Composites on Injection Molding Application." *Key Engineering Materials* 471–472: 109–14. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.471-472.109>.
- Iswandi, Jaafar Sahari, Abu Bakar Sulong, and Teuku Husaini. 2016. "Critical Powder Loading and Rheological Properties of Polypropylene/Graphite Composite Feedstock for Bipolar Plate Application." *Malaysian Journal of Analytical Sciences* 20 (3): 687–96. <https://doi.org/10.17576/mjas-2016-2003-30>.
- Iswandi, Abu Bakar Sulong, and Teuku Husaini. 2019. "Effects of Graphite/Polypropylene on the Electrical Conductivity of Manufactured Bipolar Plate." *Malaysian Journal of Analytical Sciences* 23 (2): 1–7.
- Kharchenko, V., O. Katok, A. Sereda, M. Rudnitskyi, and R. Kravchuk. 2022. "Determination of Strength Characteristics of High-Strength Sheet Steels by Hardness and Instrumented Indentation." *Procedia Structural Integrity* 36 (1): 277–83.
- Maddalozzo, Ana Elisa Dotta, Janaina da Silva Crespo, Rafael Frassini, and Cristian Padilha Fontoura. 2022. "Development and Characterization of Natural Rubber Latex Wound Dressings Enriched with Hydroxyapatite and Silver Nanoparticles for Biomedical Uses." *Reactive and Functional Polymers* 177 (1): 105–16.
- Mohd Radzuan, Nabilah Afiqah, Abu Bakar Sulong, and Iswandi. 2021. "Effect of Multi-Sized Fontoura. 2022. "Development and Characterization of Natural Rubber Latex Wound Dressings Enriched with Hydroxyapatite and Silver Nanoparticles for Biomedical Uses." *Reactive and Functional Polymers* 177 (1): 105–16.
- Graphite Filler on the Mechanical Properties and Electrical Conductivity." *Sains Malaysiana* 50 (7): 2025–34. <https://doi.org/10.17576/jsm-2021-5007-17>.
- Myneni, Manoj, Chandler C. Benjamin, and K.R. Rajagopal. 2021. "Stress Concentration Factors around a Circular Hole in Two Fiber Reinforced Materials under Large Deformations." *Mechanics of Materials* 163 (1): 104–15.
- Ng, Jing Wei, Nadras Othman, and Nurul Hayati Yusof. 2022. "Various Coagulation Techniques and Their Impacts towards the Properties of Natural Rubber Latex from *Hevea Brasiliensis* – a Comprehensive Review Related to Tyre Application." *Industrial Crops and Products* 181 (1): 48–58.
- Raketh, Marisa, Rattana Jariyaboon, Prawit Kongjan, and Eric Trably. 2021. "Sulfate Removal Using Rubber Wood Ash to Enhance Biogas Production from Sulfate-Rich Wastewater Generated from a Concentrated Latex Factory." *Biochemical Engineering Journal* 173 (1):

108–20.

- Romano, S., A. Abel, J. Gumpinger, A.D. Brandão, and S. Beretta. 2019. "Quality Control of AlSi10Mg Produced by SLM: Metallography versus CT Scans for Critical Defect Size Assessment." *Additive Manufacturing* 28 (1): 394–405.
- Salehi, Maryam, Moslem Bahmankar, Mohammad Reza Naghavi, and Katrina Cornish. 2022. "Rubber and Latex Extraction Processes for Taraxacum Kok-Saghyz." *Industrial Crops and Products* 178 (1): 45–62.
- Saranarayanan, R., A.K. Lakshminarayanan, and B. Venkatraman. 2019. "A Combined Full-Field Imaging and Metallography Approach to Assess the Local Properties of Gas Tungsten Arc Welded Copper–Stainless Steel Joints." *Archives of Civil and Mechanical Engineering* 19 (1): 251–67.
- Siregar, Doni Alfiah, and Achmad Jusuf Zulfikar. 2022. "Analisis Kekuatan Tekan Selubung Komposit Laminat E-Glass Pada Beton Kolom Silinder Dengan Metode Vacuum Bagging." *Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur Dan Energi* 5 (1): 20–25.
- Yao, Xiaoguang, Huiyu Xu, and Tao Xu. 2022. "Mechanical Properties and Enhancement Mechanisms of Cold Recycled Mixture Using Waterborne Epoxy Resin/Styrene Butadiene Rubber Latex Modified Emulsified Asphalt." *Construction and Building Materials* 352 (1): 129–39.
- Yuhazri, M. Y., A. J. Zulfikar, and A. Ginting. 2020. "Fiber Reinforced Polymer Composite as a Strengthening of Concrete Structures: A Review." *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* 1003 (1): 1–12. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1003/1/012135>.
- Zhang, Yuelin, Xuchen Liu, Yi Zhou, and Yanlong Shi. 2022. "Influence of Welding Method on Residual Stress and Metallography of a Mild Steel Welded Butt-Joint Plate." *Journal of Constructional Steel Research* 199 (1): 76–89.
- Zhu, Jiacheng, and Weimin Shen. 2021. "Design and Manufacture of Compact Long-Slit Spectrometer for Hyperspectral Remote Sensing." *Optik* 247 (1): 167–79.
- Zulfikar, Achmad Jusuf. 2020. "The Flexural Strength of Artificial Laminate Composite Boards Made from Banana Stems." *Budapest International Research in Exact Sciences (BirEx) Journal* 2 (3): 334–40.
- Zulfikar, Achmad Jusuf, and Iswandi Iswandi. 2022. "Analisis Kekuatan Tarik Belah Komposit Laminat Jute Sebagai Penguat Beton Kolom Silinder Berdasarkan Metode Penyerapan Energi Bahan." *IRA Jurnal Teknik Mesin Dan Aplikasinya (IRAJTMA)* 1 (2): 55–64.
- Zulfikar, Achmad Jusuf, M. Yusuf R. Siahaan, Ade Irwan, Fadly A. Kurniawan Nasution, and Din Aswan A. Ritonga. 2022. "Analisis Kekuatan Mekanik Pipa Air Dari Bahan Komposit Serbuk Kulit Kerang." *Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur Dan Energi* 5 (2): 83–93.
- Zulfikar, Achmad Jusuf, and M Y R Siahaan. 2021. "Analisis Signifikansi Roda Skateboard Berbahan Komposit Serbuk Batang Pisang Terhadap Perfoma Kecepatan Dengan Metode Anova." *Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur Dan Energi* 4 (2): 83–90. <http://jurnal.umsu.ac.id/index.php/RMME/article/view/8068>.