ANALISIS LAJU KEAUSAN DAN KEKERASAN RING ROTUNDA PADA BOARDING BRIDGE

Aditya Apry Nugroho, Jenni Ria Rajagukguk, Bilhan Gamaliel

Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Krisnadwipayana, Bekasi, Indonesia
Email: aditya.apry.nugroho@gmail.com

Abstrak. Boarding bridge merupakan fasilitas yang menghubungkan terminal bandara dengan pintu pesawat. Ring rotunda menjadi salah satu komponen penting karena berfungsi sebagai tumpuan putar dan mengalami kontak gesek serta pembebanan berulang selama operasi. Penelitian ini menganalisis karakteristik keausan dan kekerasan material Bronze SAE 430B (C86300) yang digunakan pada ring rotunda. Pengujian keausan dilakukan dengan metode Ogoshi di Laboratorium Center for Materials Processing and Failure Analysis (CMPFA), Fakultas Teknik, Universitas Indonesia, sedangkan pengujian kekerasan dilakukan dengan metode Leeb di PT Bukaka Teknik Utama. Data pengujian keausan mencantumkan volume keausan sebesar 0,175 mm^3 dan laju keausan sebesar $1{,}750 \times 10^{-6}$ mm^3/mm; nilai keausan spesifik yang dilaporkan pada naskah sumber adalah $8{,}31 \times 10^{-7}$, tetapi satuan dan konsistensi perhitungannya masih perlu diverifikasi terhadap laporan laboratorium. Pengujian kekerasan menghasilkan rerata tiap sampel sebesar 531, 499, dan 524 HLD, dengan rerata gabungan 518,6 HLD berdasarkan 15 pembacaan. Hasil ini memberikan gambaran awal sifat material, tetapi pengujian lanjutan diperlukan sebelum menarik kesimpulan kuantitatif mengenai hubungan kekerasan dan ketahanan aus.

Kata kunci keausan, kekerasan, Bronze SAE 430B, ring rotunda, boarding bridge

1 Pendahuluan

Judul Pemilihan material berpengaruh terhadap kualitas, kinerja, keandalan, dan umur pakai komponen manufaktur. Material harus dipilih dengan mempertimbangkan karakteristik mekanik, proses manufaktur, biaya, serta kondisi operasional [1], [2]. Pada fasilitas bandar udara, boarding bridge atau garbarata menghubungkan terminal dengan pintu pesawat dan mendukung mobilitas penumpang [3].

Ring rotunda berfungsi sebagai penghubung sekaligus tumpuan putar antara terminal dan telescopic tunnel. Pergerakan putar dan pembebanan berulang menghasilkan kontak gesek yang berpotensi menimbulkan keausan, mengurangi ketepatan gerak, serta memperpendek umur pakai komponen. Karena itu, karakteristik tribologi material perlu dievaluasi dalam kaitannya dengan kondisi kerja aktual.

Material Bronze SAE 430B (C86300) digunakan pada ring rotunda yang diteliti. Kekerasan merupakan salah satu sifat mekanik yang relevan karena menunjukkan ketahanan terhadap penetrasi dan deformasi lokal, tetapi tidak dapat digunakan sebagai satu-satunya prediktor ketahanan aus. Keausan juga dipengaruhi oleh beban, kecepatan gesek, kondisi permukaan, pelumasan, pasangan kontak, dan lingkungan operasi [8], [9].

Penelitian ini bertujuan untuk (1) mengukur karakteristik keausan Bronze SAE 430B menggunakan metode Ogoshi, (2) mengukur kekerasan material menggunakan metode Leeb, dan (3) membahas keterkaitan kedua hasil tersebut secara terbatas. Kontribusi penelitian adalah menyediakan data awal hasil pengujian untuk evaluasi material ring rotunda; penelitian ini tidak mengukur umur pakai aktual komponen selama operasi.

2 Material dan Metode Penelitian

2.1. Alat dan Bahan

Peralatan yang digunakan meliputi Ogoshi High Speed Universal Wear Testing Machine tipe OAT-U, Leeb Hardness Tester Benkwell, gerinda potong, jangka sorong, serta perlengkapan keselamatan kerja. Bahan uji berupa ring Bronze SAE 430B. Naskah sumber tidak mencantumkan komposisi kimia hasil uji atau sertifikat material dari spesimen yang diuji; oleh karena itu, komposisi nominal tidak diperlakukan sebagai hasil pengukuran penelitian ini.

2.2. Tempat Pengujian Penelitian

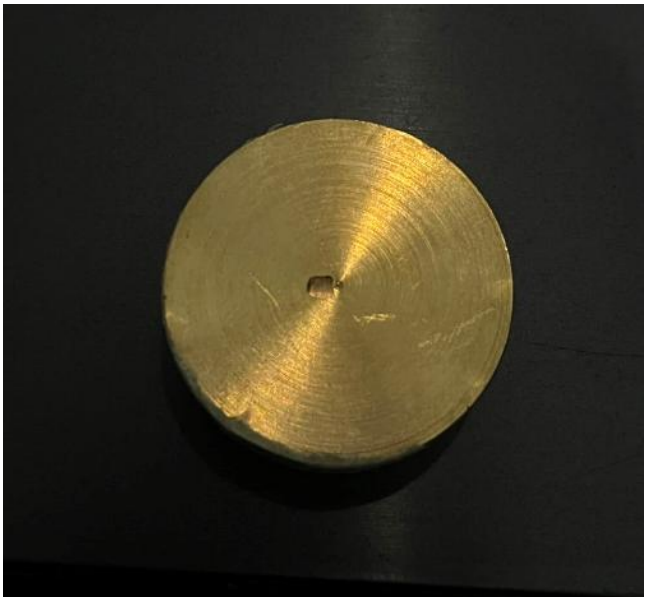
Pengujian kekerasan dilakukan di PT Bukaka Teknik Utama, sedangkan pengujian keausan dilakukan di Laboratorium Center for Materials Processing and Failure Analysis (CMPFA), Fakultas Teknik, Universitas Indonesia. Penelitian dan penyusunan laporan dilaksanakan pada April hingga Juni 2026.

2.3. Prosedur Pengujian Keausan

Pengujian keausan menggunakan Ogoshi High Speed Universal Wear Testing Machine tipe OAT-U. Spesimen dipersiapkan sesuai kebutuhan alat, kemudian dipasang dan dikencangkan. Parameter yang dicatat pada naskah sumber adalah beban 3,16 kg, kecepatan 1,97 m/s, jarak luncur 100 m, tebal cincin 3 mm, diameter cincin 30 mm, serta lebar jejak rata-rata 2,19 mm. Setelah pengujian, jejak gerusan diamati dan diukur menggunakan mikroskop.

Data lebar jejak dan parameter pengujian digunakan untuk menghitung volume keausan dan besaran keausan spesifik sesuai metode pengolahan laboratorium. Namun, naskah sumber tidak menampilkan persamaan yang digunakan, rincian geometri kontak, maupun lembar perhitungan asli. Oleh sebab itu, nilai turunan yang dicantumkan pada

artikel ini diperlakukan sebagai nilai yang dilaporkan, bukan hasil hitung ulang yang telah tervalidasi.



Gambar 1. Spesimen setelah pengujian keausan metode Ogoshi. Sumber: Laboratorium CMPFA

2.4. Prosedur Pengujian Kekerasan

Kekerasan diukur menggunakan Benkwell Portable Hardness Tester BPH-D dengan metode Leeb. Permukaan benda uji dibersihkan sebelum pengukuran. Alat dinyalakan dan diperiksa menggunakan blok standar, lalu skala dan parameter pengukuran disesuaikan dengan kebutuhan. Probe ditempatkan tegak lurus terhadap permukaan dan pengukuran dilakukan pada lima titik di setiap sampel. Tiga sampel ring diuji sehingga terdapat 15 pembacaan kekerasan yang dianalisis.

Nilai kekerasan disimpan dari pembacaan alat. Analisis statistik meliputi rerata dan simpangan baku sampel. Untuk simpangan baku sampel digunakan penyebut $n-1$, dengan $n = 5$ pembacaan per sampel. Prosedur ini menggambarkan variasi lokal pada titik ukur yang diuji, bukan variasi antar-batch material atau keseluruhan populasi komponen.

3 Hasil dan Pembahasan

3.1. Hasil Pengujian Keausan

Hasil pengujian Ogoshi yang tersedia dirangkum pada Tabel 1. Nilai lebar jejak rata-rata yang dilaporkan adalah 2,19 mm, dengan beban 3,16 kg dan jarak luncur 100 m. Data tersebut menjadi dasar pembahasan awal mengenai respons material terhadap kontak gesek pada kondisi pengujian yang digunakan.

Tabel 1. Parameter dan hasil pengujian keausan Bronze SAE 430B.

Parameter	Nilai	Satuan
Lebar jejak rata-rata, b	2,19	mm
Tebal cincin, B	3	mm
Diameter cincin, d	30	mm
Beban, P	3,16	kg
Jarak luncur, x	100	m
Kecepatan	1,97	m/s
Volume keausan yang dilaporkan	0,175	mm^3
Laju keausan yang dilaporkan	$1{,}750 \times 10^{-6}$	mm^3/mm
Keausan spesifik yang dilaporkan	$8{,}31 \times 10^{-7}$	satuan perlu verifikasi

Terdapat ketidakkonsistenan satuan pada naskah sumber. Abstrak mencantumkan satuan $mm^3/(kg \cdot m)$, sedangkan pembahasan menggunakan mm^2/kg; tabel hasil menampilkan "mm^3/Mm" dan angka 1,7505765. Ketiga bentuk tersebut tidak dapat dianggap setara tanpa persamaan dan data perhitungan asli. Karena itu, nilai $8{,}31 \times 10^{-7}$ tidak dapat dipastikan sebagai keausan spesifik yang tervalidasi, dan satuan hasil wajib dikonfirmasi kepada laboratorium sebelum publikasi.

Volume keausan 0,175 mm^3 dan laju keausan $1{,}750 \times 10^{-6}$ mm^3/mm dipertahankan sebagai angka yang dilaporkan dalam naskah sumber. Akan tetapi, kategori "keausan rendah" tidak dapat disimpulkan hanya dari angka tersebut tanpa definisi kategori pembanding, kondisi uji yang sepadan, dan validasi satuan. Perbandingan dengan material lain perlu dilakukan pada beban, jarak luncur, kecepatan, pasangan kontak, dan pelumasan yang sebanding.

3.2. Hasil Pengujian Kekerasan

Pengujian Leeb menghasilkan lima pembacaan pada masing-masing dari tiga sampel ring Bronze SAE 430B. Data mentah dan rerata aritmetika dihimpun pada Tabel 2. Rerata dihitung dari lima pembacaan pada tiap sampel; nilai rerata ditampilkan dengan satu angka desimal agar perbedaan antarsampel tetap terlihat.

Tabel 2. Hasil pengujian kekerasan Leeb (HLD).

No. titik	Sampel 1	Sampel 2	Sampel 3
1	528	486	537
2	524	505	519
3	528	492	523
4	543	502	527
5	532	508	516
Rerata	531,0	498,6	524,4

Rerata Sampel 1 adalah 531,0 HLD, Sampel 2 sebesar 498,6 HLD, dan Sampel 3 sebesar 524,4 HLD. Rerata gabungan dari seluruh 15 pembacaan adalah 518,6 HLD. Dengan demikian, angka 530 HLD yang disebut sebagai rerata pada abstrak dan pembahasan naskah sumber tidak sama dengan rerata aritmetika data mentah yang tersedia. Pada versi revisi ini, angka 518,6 HLD digunakan sebagai rerata gabungan yang dapat direproduksi dari Tabel 2.

Perbedaan rerata antarsampel menunjukkan adanya variasi hasil ukur. Variasi tersebut dapat berkaitan dengan heterogenitas lokal material, kondisi permukaan, ketebalan dan dukungan benda uji, posisi pengukuran, serta faktor operasional alat. Karena data hanya berasal dari tiga sampel dan lima titik per sampel, hasil ini sebaiknya ditafsirkan sebagai evaluasi awal, bukan sertifikasi kesesuaian seluruh komponen terhadap standar material.

3.3. Perhitungan Simpangan Baku

Simpangan baku digunakan untuk menggambarkan sebaran pembacaan pada tiap sampel. Untuk data sampel, simpangan baku dihitung menggunakan akar dari jumlah kuadrat selisih terhadap rerata dibagi $n-1$. Nilai simpangan baku yang lebih kecil menunjukkan pembacaan yang lebih rapat pada sampel tersebut, tetapi tidak otomatis membuktikan bahwa material secara keseluruhan lebih baik.

Tabel 3. Ringkasan perhitungan simpangan baku tiap sampel.

Sampel	Rerata (HLD)	Jumlah kuadrat deviasi	Simpangan baku (HLD)
Sampel 1	531,0	212,00	7,28
Sampel 2	498,6	343,20	9,26
Sampel 3	524,4	267,20	8,17

Untuk Sampel 1, jumlah kuadrat deviasi adalah 212,00 dan simpangan baku sampel sebesar 7,28 HLD. Untuk Sampel 2, jumlah kuadrat deviasi 343,20 menghasilkan simpangan baku 9,26 HLD. Untuk Sampel 3, jumlah kuadrat deviasi 267,20 menghasilkan simpangan baku sekitar 8,17 HLD. Hasil ini konsisten dengan perhitungan simpangan baku sampel atas data mentah, setelah nilai rerata Sampel 3 dihitung menjadi 524,4 HLD.

Sampel 1 memiliki sebaran pembacaan terkecil, sedangkan Sampel 2 memiliki sebaran terbesar. Perbedaan tersebut hanya menggambarkan konsistensi lima titik ukur pada setiap sampel. Untuk menilai keseragaman komponen dengan lebih kuat, penelitian berikutnya perlu menambah jumlah sampel, mendokumentasikan lokasi titik ukur, memastikan kondisi permukaan dan ketebalan, serta melaporkan kalibrasi alat dan ketidakpastian pengukuran.

3.4. Perbandingan dengan Nilai Acuan

Naskah sumber membandingkan hasil pengukuran dengan nilai acuan 510 HLD dan menyatakan bahwa nilai pengukuran berbeda kurang dari 10%. Namun, sumber atau spesifikasi teknis yang mendasari angka 510 HLD tidak diuraikan secara memadai. Selain itu, pengujian Leeb merupakan pengujian pantul dinamis, sehingga interpretasi nilai perlu memperhatikan material, massa dan ketebalan benda uji, kekasaran permukaan, orientasi pengujian, serta validitas konversi skala bila ada.

Karena informasi standar material dan prosedur konversi tidak tersedia pada data yang diserahkan, perbandingan terhadap 510 HLD harus diperlakukan sebagai perbandingan indikatif, bukan bukti definitif bahwa material telah memenuhi spesifikasi. Verifikasi melalui sertifikat material atau standar yang relevan diperlukan untuk mendukung klaim kesesuaian.

3.5. Keterkaitan Kekerasan dan Ketahanan Aus

Secara umum, kekerasan dapat berkontribusi terhadap ketahanan permukaan dari penetrasi dan deformasi plastis. Namun, hubungan antara kekerasan dan keausan tidak selalu linear karena mekanisme keausan juga dipengaruhi oleh struktur mikro, komposisi, kekasaran permukaan, beban kontak, kecepatan relatif, kondisi pelumasan, dan material pasangan kontak [8], [9]. Oleh karena itu, pengukuran kekerasan dan pengujian keausan perlu dianalisis sebagai dua indikator yang saling melengkapi, bukan sebagai bukti sebab-akibat secara langsung.

Dalam data yang tersedia, nilai kekerasan tiap sampel adalah 531,0; 498,6; dan 524,4 HLD, sedangkan pengujian keausan hanya dilaporkan untuk satu spesimen atau satu kondisi pengujian. Tidak tersedia pasangan data keausan untuk masing-masing sampel kekerasan. Dengan demikian, korelasi statistik antara kekerasan dan laju keausan tidak dapat dihitung dari data ini. Pernyataan bahwa kenaikan kekerasan diikuti penurunan laju keausan hanya dapat disampaikan sebagai kecenderungan teoritis yang perlu diuji, bukan sebagai hasil kuantitatif penelitian ini.

Data yang tersedia tetap memberi indikasi awal bahwa spesimen Bronze SAE 430B memiliki pembacaan kekerasan pada rentang 486–543 HLD dan menghasilkan jejak keausan pada kondisi pengujian Ogoshi yang dilaporkan. Akan tetapi, penilaian apakah kombinasi tersebut “baik” harus didasarkan pada kriteria penerimaan, material pembanding, atau batas desain yang dinyatakan secara eksplisit. Tanpa kriteria tersebut,

simpulan yang lebih tepat adalah bahwa karakteristik awal material telah terukur, sedangkan kelayakan operasional dan umur pakainya belum dibuktikan secara langsung.

3.6. Implikasi untuk Ring Rotunda

Ring rotunda menerima kontak dan gerakan berulang selama pengoperasian boarding bridge. Oleh sebab itu, pemantauan kondisi permukaan, pelumasan sesuai spesifikasi pabrikan, inspeksi keausan, dan pemeriksaan kekerasan berkala merupakan langkah pemeliharaan yang relevan. Rekomendasi ini merupakan implikasi teknis umum dan perlu disesuaikan dengan manual pemeliharaan komponen serta kondisi operasi di lapangan.

3.7. Keterbatasan Penelitian dan Perbaikan Data

Beberapa keterbatasan perlu dinyatakan agar hasil penelitian tidak ditafsirkan melampaui bukti yang tersedia. Pertama, hasil keausan hanya dilaporkan untuk satu set parameter dan naskah sumber tidak menyertakan data mentah pengukuran mikroskop atau lembar hitung. Kedua, satuan keausan spesifik berbeda antara abstrak, tabel, dan pembahasan. Ketiga, data kekerasan hanya mencakup tiga sampel dengan lima titik ukur per sampel. Keempat, data tidak menyediakan pengujian keausan terpisah untuk setiap sampel kekerasan, sehingga korelasi langsung kedua variabel belum dapat diuji.

Penelitian lanjutan perlu memverifikasi lembar hasil laboratorium asli, memastikan konsistensi satuan keausan, dan menguji beberapa spesimen pada kondisi kontak yang terkontrol. Pengukuran berpasangan antara kekerasan dan keausan diperlukan untuk menguji hubungan kedua parameter secara kuantitatif.

Penelitian lanjutan dapat menguji beberapa spesimen pada variasi beban dan jarak luncur yang terkontrol, melakukan pengukuran kekerasan pada lokasi yang terdokumentasi, serta menghubungkan hasil keausan dan kekerasan pada sampel yang sama. Pengamatan mikroskopis permukaan sebelum dan sesudah pengujian juga dapat membantu mengidentifikasi mekanisme keausan. Data tambahan tersebut memungkinkan evaluasi yang lebih kuat mengenai kesesuaian material dan prediksi umur pakai, dibandingkan hanya mengandalkan satu nilai uji keausan.

4 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis dan pengujian terhadap material Bronze SAE 430B sebagai material ring rotunda boarding bridge, diperoleh nilai keausan spesifik sebesar $8{,}31 \times 10^{-7}$ mm²/kg yang termasuk dalam kategori keausan rendah. Hasil pengujian Leeb Hardness Test menunjukkan nilai kekerasan rata-rata sebesar 530 HLD, yang relatif mendekati nilai standar material. Hasil tersebut menunjukkan bahwa Bronze SAE 430B memiliki kekerasan dan ketahanan aus yang baik dalam menahan beban serta gesekan berulang selama operasional ring rotunda. Nilai kekerasan yang baik berkontribusi terhadap rendahnya keausan karena mampu meningkatkan ketahanan

permukaan terhadap deformasi dan pelepasan material akibat gesekan. Dengan demikian, Bronze SAE 430B berpotensi digunakan sebagai material ring rotunda boarding bridge.

Untuk penerapan lebih lanjut, pemeliharaan dan pelumasan secara berkala pada area kontak gesek perlu dilakukan untuk meminimalkan keausan dan memperpanjang umur pakai komponen. Selain itu, pengujian kekerasan dan evaluasi laju keausan secara berkala disarankan untuk memantau kondisi material serta memastikan sifat mekaniknya tetap terjaga selama masa operasi. Kondisi permukaan dan kekerasan Bronze SAE 430B juga perlu dipertahankan agar ketahanan aus tetap optimal dan risiko penurunan kinerja komponen dapat diminimalkan.

Referensi

[1] S. N. Sianipar, K. Nasution, and T. Haramaini, "Perancangan Aplikasi Sistem Pendukung Keputusan Rekomendasi Material Bubut Terbaik Menggunakan Metode AHP," *J. Tek.*, vol. 3, no. 1, 2024, doi: https://doi.org/10.56211/blendsains.v3i1.595.

[2] N. Nelfiyanti, S. A. Yudistirani, Y. Bakar, A. Setiawan, and R. Pangestu, "Penerapan Metode AHP dalam Pemilihan Material Pembuatan Alat Bantu Kerja Proses Pengukuran," *J. Integr. Sist. Ind.*, vol. 11, no. 1, 2024.

[3] L. O. F. E. Fahmi and S. Fauziah, "Pengaruh Penggunaan Fasilitas Garbarata (Aviobridge) Terhadap Kenyamanan Penumpang Di Bandar Udara Halu Oleo Kendari," *J. Gr. Handl. Dirgant.*, vol. 6, no. 2, pp. 1–11, 2024.

[4] S. Handoyo and D. Sudibyo, *Aviapedia: ensiklopedia umum penerbangan (Vol. 1).* Jakarta: PT Kompas Media Nusantara, 2011. [Online]. Available: https://books.google.co.id/books?id=MgG22qh4OK0C&printsec=frontcover#v=onepage&q=garbarata&f=false

[5] Firdaus Lazuardi, "Pemeliharaan Garbarata Menggunakan Media Garbacheck Di Bandar Udara Internasional Hang Nadim – Batam," Politeknik Penerbangan Palembang, 2024. [Online]. Available: http://repository.poltekbangplg.ac.id/id/eprint/343/1/COVER-BAB II.pdf

[6] A. Abbas and A. A. Saputra, *Material Teknik*, 1st ed. Padang: Gemilang Press Indonesia, 2025.

[7] C. Pramono and A. Pustaka, *Material Teknik.* Yogyakarta: Anom Pustaka, 2020. [Online]. Available: https://caturpramono.wordpress.com/wp-content/uploads/2020/10/catur-pramono-buku-ajar-material-teknik.pdf

[8] A. Rif'an, T. Hidayat, and R. Winarso, "Pengaruh Pelumasan Terhadap Keausan Aluminium Menggunakan Mesin Two Disk Tribometer Pada 1000 RPM," vol. 8, no. 1, pp. 273–282, 2021.

[9] N. M. Lohan *et al.*, “The Effect Of Casting Parameters On The Microstructure And Corrosion Behavior Of Sae 430b Alloys For Transportation Industry,” *Int. J. Mod. Manuf. Technol.*, vol. XV, no. 2, pp. 111–116, 2023.

[10] M. Kompatscher, “Equotip Rebound Hardness Testing After D . Leeb,” vol. 1975, 2004.