

The effect of thread depth on the fatigue strength of AISI 4140 bolt material as a retainer and a fastener for a screw conveyer

Alvi Hidayat^a, Dodi Sofyan Arief^b, Asral^b, Efi Afrizal^b, Rahmatsyah Maksun Ramsi^b,
Hanif Nugroho Aji^b, M. Dalil^{b1}

^aMagister Student, Department of Mechanical Engineering, Universitas Riau, Pekanbaru, 28293, Indonesia

^bDepartment of Mechanical Engineering, Universitas Riau, Pekanbaru, 28293, Indonesia

¹Email korespondensi: mdalil@lecturer.unri.ac.id

Abstract. The bolts used to retain and fasten the screw conveyor shaft, which transports wood chips to the cooking process in paper manufacturing, have failed. The failure occurred in the form of a perpendicular fracture on the threaded section of the bolt. This damage significantly disrupts wood processing operations, making it important to investigate the causes. The causes of bolt fracture and its short service life were analyzed by studying the effects of thread-pitch variations of 2.5 mm and 2 mm. The materials tested were Valmet (VME) and Valmet (VMC), which are equivalent to AISI 4140. The fatigue test was conducted using a cantilever rotating bending method on the test specimens in accordance with ASTM E466 M. The results showed that to achieve infinite life, the stress level must be below 95 MPa. Thread pitch has a significant effect: VME bolts with a thread pitch of 2 mm showed a 17% longer endurance than bolts pitch of 2.5 mm, while VMC bolts with a thread pitch of 2 mm had a 15% longer endurance than bolts pitch of 2.5 mm. Furthermore, VME bolts showed 11% higher fatigue endurance than VMC bolts. The endurance of VMC bolts decreases due to increased cracks and voids in the VMC material. This defect is related to the lower chromium (Cr) content in VMC. cracks and voids is exacerbated by the heat treatment, which reduces the effectiveness of alloying elements in delaying crack formation on the surface.

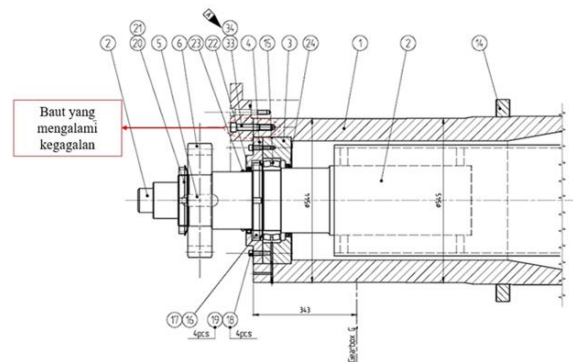
Keywords: bolts, pitch, infinite life, endurance, crack, element

Received: 30 September 2025; **Presented:** 9 October 2025; **Publication:** 9 March 2026

DOI: <https://doi.org/10.71452/x44rv532>

PENDAHULUAN

Screw conveyor merupakan salah satu perangkat mekanis yang banyak digunakan pada industri pengolahan material mentah, termasuk industri *pulp* dan kertas, semen, hingga pertambangan. Perannya sangat vital sebagai alat transportasi material dari satu proses ke proses lainnya. Dalam operasinya, *screw conveyor* menerima kombinasi beban torsi, gesekan, dan gaya normal akibat pergerakan material, sehingga seluruh komponen penyusunnya dituntut memiliki keandalan tinggi. Salah satu komponen kritis dalam sistem ini adalah baut pengikat antara *screw conveyor* dan *gearbox*. Baut tersebut mengikat dan menahan poros *screw conveyor* yang terhubung ke *gearbox* agar tidak bergeser dan meneruskan putaran dari *gearbox* ke poros *screw conveyor*. Baut pengikat tersebut ikut berputar bersamaan dengan putaran *screw conveyor* dan juga menerima beban sebagaimana beban yang dialami oleh *screw conveyor*. Oleh karena itu, kegagalan pada baut dapat menyebabkan terhentinya proses pendistribusian *chip* dari tempat penyimpanan menuju proses pemasakan sehingga dapat menimbulkan kerugian. Baut yang digunakan sejumlah 24 buah dengan ukuran M20×110 dan grade 12.9 pada posisi yang ditunjukkan pada Gambar 1 dengan bahan baut yang digunakan adalah *low alloy steel*.



Gambar 1 Posisi Baut yang Mengalami Kegagalan pada Posisi Pembebanan *Rotating Bending* dengan Tumpuan *Cantilever*

Baut yang mengalami kegagalan menunjukkan *interface* patahan *fatigue* [1], karena tidak ditemukan adanya *necking*, sebagian patahan terlihat tegak lurus penampang baut. Baut yang mengalami patah terjadi pada posisi adanya ulir dari seluruh kegagalan yang terjadi pada baut pengikat *screw conveyor* dan *gearbox*. Oleh karena itu dapat dipastikan bahwa kegagalan *fatigue* dimulai dan disebabkan oleh adanya ulir [2]. Diketahui bahwa pada ulir terjadi konsentrasi tegangan. Dari beberapa penelitian diketahui bahwa semakin tinggi konsentrasi tegangan, maka semakin cepat patah [3] dan semakin tinggi nilai konsentrasi tegangan, maka laju retakan akan semakin tinggi [4]. Permulaan dari kegagalan *fatigue* terjadi di daerah konsentrasi tegangan dan permukaan yang lemah [5].

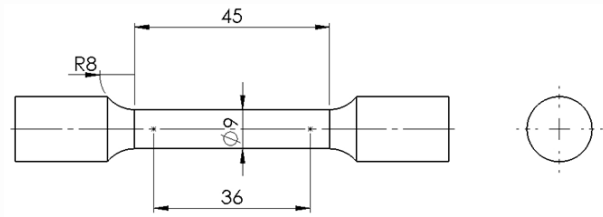
Dan beban yang berfluktuasi secara lama (*high cycle*) di bawah tegangan luluh yang menyebabkan baut mengalami kegagalan *fatigue* [6].

Sejumlah penelitian telah dilakukan untuk mengetahui pengaruh ulir terhadap ketahanan *fatigue* pada suatu material. Yudiono [7] telah melakukan penelitian karakterisasi ketahanan leleh ulir metris akibat pembebanan puntir lentur pada material baja karbon rendah dengan melakukan pengujian *fatigue* terhadap spesimen tanpa ulir *metris*, dan dengan variasi kedalaman 0,33 mm, 0,67 mm, dan 1 mm. Selain itu Atho'ullah & Yudiono [8] telah melakukan penelitian karakterisasi ketahanan leleh takik ulir *whitworth* akibat pembebanan puntir dinamis pada baja karbon rendah dengan melakukan pengujian *fatigue* terhadap variasi kedalaman takik ulir *whitworth* 0,67 mm, 0,81 mm, dan 1,16 mm. Hasil dari kedua pengujian menunjukkan semakin dalam ulir maka semakin besar penurunan siklus lelehnya. Konsentrasi tegangan yang terjadi pada ujung takik akan meningkatkan tegangan maksimal yang dialami material dan semakin besar seiring dengan meningkatnya kedalaman ulir.

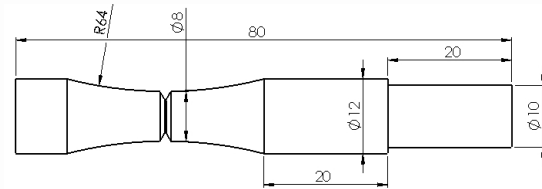
Berdasarkan kegagalan yang terjadi pada baut *screw conveyor* dan informasi dari penelitian terdahulu yang telah dilakukan dengan kemungkinan terbesar terjadinya kegagalan disebabkan oleh konsentrasi tegangan pada ulir dan akibat pembebanan *fatigue*. Maka dilakukan penelitian terhadap ulir dengan pengujian *fatigue* pembebanan *cantilever rotating bending* untuk mendapatkan sejauh mana ulir dalam mempengaruhi umur *fatigue* dari baut. Diharapkan hasil penelitian ini akan memberikan informasi mengenai ketahanan *fatigue* baut serta alternatif penggunaan jenis ulir yang sesuai untuk baut pengikat antara *screw conveyor* dan *gearbox*.

METODOLOGI

Metode yang dilakukan dalam penelitian ini merupakan metode eksperimental untuk dilakukan pengujian material. Sehingga baut akan dibentuk sesuai dengan standar pengujian. Spesimen uji tarik dipersiapkan tanpa adanya perlakuan, hanya baut yang dibentuk sesuai dengan standar pengujian tarik ASTM E8M [9] yang bisa dilihat pada Gambar 2. Spesimen uji *fatigue* dipersiapkan dengan adanya variasi dari ukuran *pitch* yaitu 2,5 mm (kedalaman 1,35 mm) dan 2 mm (kedalaman 1,08 mm) dengan standar ulir *metris*. Spesimen uji *fatigue* dibentuk sesuai standar pengujian *fatigue* ASTM E466M [10] yang bisa dilihat pada Gambar 3. Bahan penelitian yang akan digunakan berasal dari 2 manufaktur yang berbeda yaitu VME dan VMC serta 1 bahan standar AISI 4140 sebagai perbandingan.



Gambar 2 Ukuran Spesimen Pengujian Tarik Sesuai Standar ASTM E8M



Gambar 3 Ukuran Spesimen Pengujian *Fatigue* Sesuai Standar ASTM E466M

Selain dilakukan pengujian mekanis, penelitian ini juga dilengkapi dengan pengujian komposisi kimia menggunakan spektrometer untuk mengetahui kandungan unsur dan klasifikasi material dari masing-masing baut. Informasi mengenai komposisi kimia diperlukan untuk memastikan kesesuaian material terhadap standar yang berlaku serta menilai keterkaitannya dengan sifat mekanis yang dihasilkan. Selain itu, dilakukan pengujian menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM). Pengujian ini bertujuan untuk mengamati morfologi permukaan patahan, karakteristik retakan, serta pola kegagalan yang terjadi pada spesimen setelah pengujian *fatigue*. Dengan kombinasi pengujian mekanis, komposisi kimia, dan SEM diharapkan diperoleh analisis yang lebih komprehensif mengenai ketahanan *fatigue* dengan pengaruh ulir yang diteliti.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bagian ini disajikan hasil dan pembahasan dari serangkaian pengujian yang telah dilakukan meliputi pengujian komposisi kimia, pengujian tarik, pengujian *fatigue* serta analisis menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM). Setiap pengujian memberikan informasi yang saling melengkapi, dari karakteristik dasar material hingga morfologi patahan. Data hasil dari masing-masing pengujian dapat dilihat pada tabel di bawah.

Tabel 1 Hasil Pengujian Komposisi Kimia, Tarik, dan Fatigue Material Baut VME dan VMC

Spesifikasi Material	VME	VMC
Carbon (C)	0.650 %	0.550 %
Mangan (Mn)	0.779 %	0.688 %
Chrome (Cr)	1.140 %	1.130 %
Molybdenum (Mo)	0.190 %	0.152 %
Zinc (Zn)	0.300 %	2.740 %
Titanium (Ti)	0.160 %	-
Nickel (Ni)	-	-
Yield Strength (Mean)	1262.23 MPa	1272.58 MPa
Tensile Strength (Mean)	1295.76 MPa	1292.23 MPa
Tensile Strength (HRC)	1441.22 MPa	1370.62 MPa
Tensile Strength (HV)	1475.79 MPa	1450.19 MPa
Strain	11.00 %	10.23 %
Fatigue Strength dan Number of Cycles (pitch 2.5 mm, 80 N)	103.197 MPa 531960 cycles	103.194 MPa 274560 Cycles
Fatigue Strength dan Number of Cycles (Pitch 2 mm, 80 N)	107.565 MPa 640640 Cycles	107.562 MPa 323180 Cycles

Sifat Kimia dan Mekanis Material

Berdasarkan hasil pengujian yang ditunjukkan pada Tabel 1 diperoleh gambaran bahwa material Baut VME, dan VMC, tergolong sebagai material baja karbon sedang dengan persentase karbon 0,55 sampai dengan 0,65%. Dan ditinjau dari unsur-unsur paduan, material Baut Valmet VME dan VMC merupakan material produksi khusus yang mengutamakan kekerasan dan ketahanan korosi yang ditunjukkan dengan adanya unsur Ti, Zn, dan Cr. Tetapi tidak ditemukan adanya nikel (Ni) yang dapat meningkatkan ketahanan atau menstabilkan kekuatan.

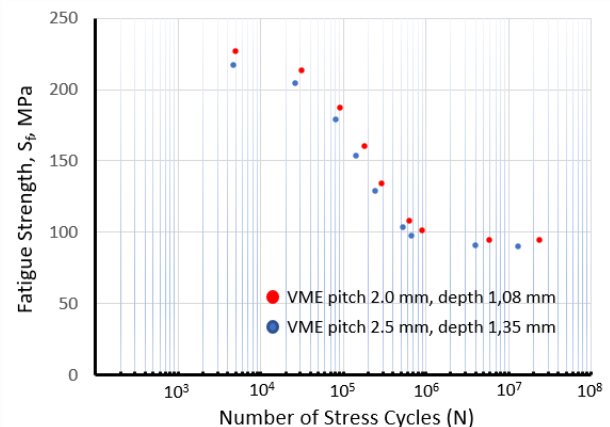
Tabel 1 di atas juga memperlihatkan hasil pengujian tarik material baut Valmet VME dan VMC menggunakan *Universal Testing Machine*. Secara umum, nilai *yield strength* dan *tensile strength* yang diperoleh menunjukkan bahwa kedua material tersebut termasuk dalam kategori baja dengan kekuatan tinggi. Baut VME memiliki *tensile strength* lebih tinggi, yaitu 1295,76 MPa. Selain itu, nilai regangan (*strain*) dan persentase reduksi penampang (*%reduction in area*) pada kedua material berkisar antara 9,60% - 11,97% dengan reduksi penampang sekitar 49–54%. Data ini mengindikasikan bahwa meskipun keduanya memiliki kekuatan tarik yang tinggi, Baut VME menunjukkan nilai regangan rata-rata lebih tinggi dibandingkan VMC, sehingga cenderung lebih ulet jika ditinjau dari parameter regangan. Namun, pada parameter reduksi luas penampang, baut VMC memiliki nilai lebih tinggi sehingga memperlihatkan kemampuan deformasi plastis yang lebih baik sebelum patah. Hal ini menandakan bahwa keduanya memiliki karakter keuletan yang relatif seimbang, dengan kecenderungan berbeda bergantung pada parameter yang dijadikan acuan.

Data hasil pengujian tarik ini selaras dengan data hasil pengujian kekerasan yang ditunjukkan pada Tabel 1 dengan *tensile strength* rata-rata 1441,22 MPa, sedangkan baut VMC berada pada kisaran *tensile strength* rata-rata 1370,62 MPa. Perbedaan ini menunjukkan bahwa material baut Valmet, baik itu VME maupun VMC, telah melalui proses perlakuan panas (*heat treatment*) tertentu yang meningkatkan kekuatan tarik. VME memiliki kekerasan dan *tensile strength* lebih tinggi, namun tetap memiliki regangan yang lebih tinggi dibandingkan dengan VMC, sehingga menawarkan keseimbangan yang lebih baik antara kekuatan dan keuletan.

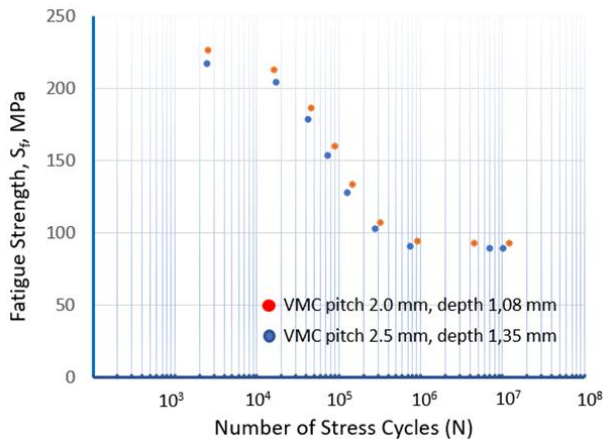
Meskipun kekuatan tarik yang tinggi memberikan keunggulan dalam menahan beban terdapat kekurangan bahwa material dengan *tensile strength* yang tinggi umumnya lebih rentan terhadap sifat getas [11]. Hal ini berpotensi menimbulkan kegagalan mendadak tanpa deformasi plastis yang signifikan sebagai tanda peringatan. Oleh karena itu, dalam aplikasi seperti baut pada *screw conveyor* yang bekerja di bawah beban dinamis, pemilihan material harus mempertimbangkan tidak hanya kekuatan tarik tinggi, tetapi juga kombinasi dengan keuletan sehingga performanya tetap terjaga.

Fatigue Strength Material

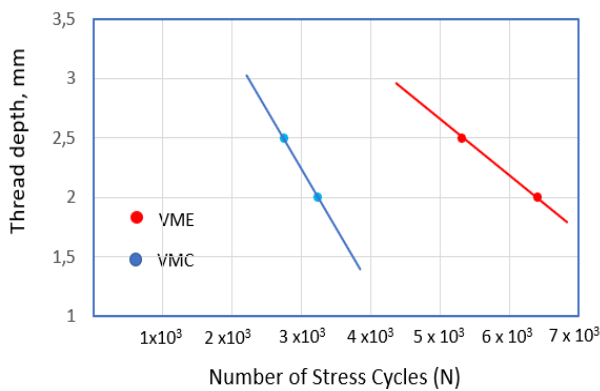
Hasil pengujian fatigue material baut VME dan VMC ditunjukkan pada Gambar 4 dan Gambar 5.



Gambar 4 Kurva S-N Hasil Pengujian *Fatigue* material baut VME



Gambar 5 Kurva S-N Hasil Pengujian *Fatigue* material baut VMC

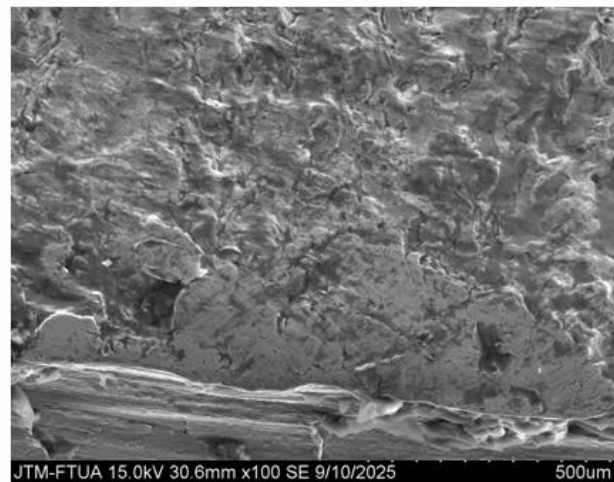


Gambar 6 Pengaruh Kedalaman ulir terhadap Number of Cycle baut VME dan VMC

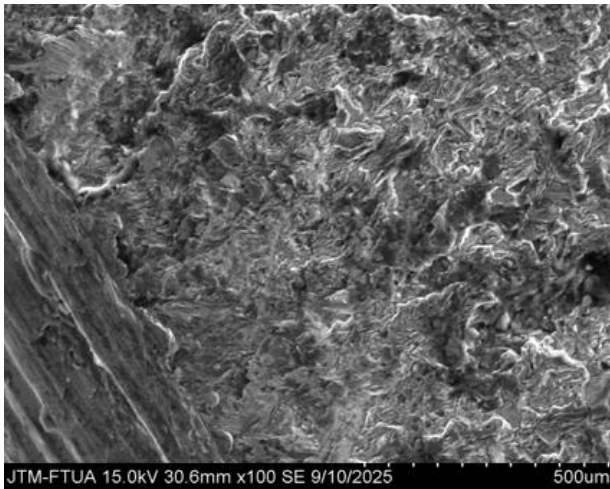
Pada Gambar 4 ditunjukkan hasil pengujian *fatigue* pada material baut VME dengan variasi *pitch* 2,0 mm (kedalaman 1,08 mm) dan 2,5 mm (kedalaman 1,35 mm). Secara umum, kurva menunjukkan trend penurunan ketahanan *fatigue* (*fatigue strength*) seiring bertambahnya siklus. Baut dengan *pitch* 2,0 mm memperlihatkan nilai *fatigue strength* yang lebih tinggi dibandingkan dengan *pitch* 2,5 mm pada hampir semua rentang siklus. Hal ini mengindikasikan bahwa semakin besar kedalaman ulir, maka konsentrasi tegangan yang timbul pada dasar ulir semakin besar sehingga mempercepat proses inisiasi retakan. Sedangkan pada Gambar 5 menampilkan hasil pengujian *fatigue* untuk material baut VMC dengan kondisi geometri ulir yang sama dengan baut VME. Jika dibandingkan dengan material VME, nilai *fatigue strength* pada VMC cenderung lebih rendah pada siklus yang sama. Hal ini menunjukkan bahwa meskipun faktor geometri ulir menjadi penyebab utama perbedaan ketahanan, kualitas material atau perlakuan panas pada VMC dan VME juga turut memengaruhi performa *fatigue*.

Hasilnya menunjukkan bahwa untuk mencapai umur tak terbatas (*infinite life*), tingkat tegangan harus di bawah 95 MPa. Pengaruh kedalaman *Pitch* ulir memberikan efek yang signifikan dimana baut VME dengan *pitch* ulir 2 mm menunjukkan daya tahan 17% lebih lama daripada baut *pitch* 2,5 mm, sedangkan baut VMC dengan *pitch* ulir 2 mm memiliki daya tahan 15% lebih lama daripada baut *pitch* 2,5 mm. Lebih lanjut, baut VME menunjukkan daya tahan lelah 11% lebih tinggi daripada baut VMC. Daya tahan baut VMC menurun karena adanya lebih banyak retakan dan rongga pada material VMC. Cacat ini terkait dengan kandungan kromium (Cr) yang lebih rendah di VMC. Retakan dan rongga diperburuk oleh perlakuan panas, yang mengurangi efektivitas elemen paduan dalam menunda pembentukan retakan pada permukaan.

Jika ditinjau dari hasil analisis komposisi kimia pada Tabel 1 mengandung unsur paduan tambahan seperti Mo, Ti, dan Cr dengan kadar yang relatif lebih tinggi dibandingkan dengan VME. Unsur Ti dan Mo pada material baut VME berperan penting dalam meningkatkan ketahanan terhadap pertumbuhan retak (*fatigue crack growth*) karena mampu memperhalus butir serta meningkatkan kekuatan batas butir [12] [13]. Seperti yang telah dibahas sebelumnya, baut VME memiliki kombinasi kekuatan dan keuletan yang lebih seimbang. Keuletan yang lebih baik ini memungkinkan material VME menyerap energi lebih besar sebelum retakan merambat, sehingga memperpanjang umur *fatigue*. Sebaliknya, keuletan yang lebih rendah pada VMC membuat material lebih cepat mengalami inisiasi dan propagasi retak di daerah ulir yang memiliki konsentrasi tegangan tinggi, sehingga siklus *fatigue*-nya relatif lebih pendek.



Gambar 7. Interface patahan *fatigue* material baut Screw Conveyor VME dengan Perbesaran SEM 500x



Gambar 8. Interface patahan fatigue material baut Screw Conveyor VMC dengan Perbesaran SEM 500x

Dari hasil pengamatan patahan pada bagian interface, diketahui bahwa pada material baut VMC pada Gambar 8, terlihat lebih banyak void dan retak. Sedangkan pada material baut VME, void dan retak lebih sedikit, dan ini memberikan gambaran bahwa ketahanan baut VMC lebih rendah 11% dari baut VME.

KESIMPULAN

Baut VME dan VMC yang digunakan pada screw conveyor pemindah chip kayu, supaya tidak terjadi kegagalan, maka tegangan pada masing-masing baut harus lebih rendah dari 95 MPa untuk mencapai umur tak terbatas (*infinite life*). Pengaruh kedalaman pitch

DAFTAR PUSTAKA

- [1] ASM International Handbook Committee, *Fatigue and Fracture*, ASM Handbook 19, 1996.
- [2] Er. S. M. Er. Shuhaib Mushtaq, "Experimental Evaluation of the Effect of Thread Angle on the Fatigue Life of Bolts," *IOSR J. Mech. Civ. Eng.*, vol. 7, no. 1, hlm. 12–19, 2013, doi: 10.9790/1684-0711219.
- [3] R. Agrawal, R. Uddanwadiker, dan P. Padole, "Effect of Stress Concentration in Low Cycle Fatigue Life Prediction at High Temperature," vol. 1, no. 2, 2014.
- [4] J. Liu, J. Li, dan Z. Zhang, "A Three-Parameter Model for Predicting Fatigue Life of Ductile Metals Under Constant Amplitude Multiaxial Loading," *J. Mater. Eng. Perform.*, vol. 22, Apr 2012, doi: 10.1007/s11665-012-0197-0.
- [5] M. Kuroda, T. J. Marrow, dan A. H. Sherry, "Effects of Surface Finish on Fatigue in Austenitic Stainless Steels," 2008.
- [6] W. S. Aji dan S. Nugroho, "Analisis Kegagalan Baut Pengikat Gearbox Pada Lokomotif Kereta Rel Diesel Elektrik (KRDE)," vol. 2, no. 4, 2014.
- [7] H. Yudiono, "Karakterisasi Ketahanan Lelah Ulir Metris Akibat Pembebanan Puntir Lentur Pada Material Baja Karbon Rendah," *Momentum*, vol. 5, no. 2, hlm. 37–40, 2009.
- [8] A. H. Atho'ullah dan H. Yudiono, "Karakterisasi Ketahanan Lelah Takik Ulir Whitworth Akibat Pembebanan Puntir Dinamis pada Baja Karbon Rendah," *J. Din. Vokasional Tek. Mesin*, vol. 5, no. 2, hlm. 154–162, Sep 2020, doi: 10.21831/dinamika.v5i2.34796.
- [9] ASTM E8M Committee, *Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials*, 2013. doi: 10.1520/E0008_E0008M-13A.
- [10] ASTM E466M Committee, 2002.
- [11] W. D. Callister, *Materials Science and Engineering*. New York: Wiley, 2019.

ulir terhadap terjadinya kegagalan cukup besar. Dimana untuk baut VME dengan pitch ulir 2 mm menunjukkan daya tahan 17% lebih lama daripada baut pitch 2,5 mm, sedangkan baut VMC dengan pitch ulir 2 mm memiliki daya tahan 15% lebih lama daripada baut pitch 2,5 mm. Perbandingan ketahanan fatigue antara baut VME dan VMC menunjukkan bahwa ketahanan baut VME 11% lebih tinggi daripada baut VMC. Daya tahan baut VMC lebih rendah karena adanya lebih banyak retakan dan rongga pada material VMC. Cacat ini terkait dengan kandungan kromium (Cr) yang lebih rendah di VMC. Retakan dan rongga diperburuk oleh perlakuan panas, yang mengurangi efektivitas elemen paduan dalam menunda pembentukan retakan pada permukaan.

Penelitian Lanjutan

Untuk peningkatan kekuatan fatigue dari baut, sebaiknya menggunakan bahan baja karbon sedang dengan komposisi kimia sesuai standar ASTM yang mempunyai Ni, Cr, dan Mo yang diberikan perlakuan hardening. Dan untuk mengetahui peningkatan kekuatan fatigue dan fatigue life, sebaiknya dilakukan penelitian lanjutan dengan bahan AISI 4140 atau ekuivalen yang dapat menjadi solusi dalam mengatasi kegagalan baut screw conveyor di pabrik kertas.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terimakasih kepada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Riau yang telah membantu fasilitas pengujian fatigue, tarik dan komposisi kimia.

- [12] Y. Okazaki, "Comparison of Fatigue Properties and Fatigue Crack Growth Rates of Various Implantable Metals," *Materials*, vol. 5, no. 12, hlm. 2981–3005, Des 2012, doi: 10.3390/ma5122981.
- [13] X. Guo, L. Zhao, X. Liu, dan F. Lu, "Investigation on the resistance to fatigue crack growth for weld metals with different Ti addition in near-threshold regime," *Int. J. Fatigue*, vol. 120, hlm. 1–11, Mar 2019, doi: 10.1016/j.ijfatigue.2018.10.018.
- [14] Zamanzadeh, M., Larkin, E., & Mirshams, R. (2015). Fatigue Failure Analysis Case Studies. *Journal of Failure Analysis and Prevention*, 15(6), 803–809. <https://doi.org/10.1007/s11668-015-0044->
- [15] Hendri, D., Susanto, H., & Ali, S. (2024). Analisa Kegagalan Baut Pengikat Pelat Trunnion Linner pada Unit Cement Mill 1 Di PT. X. 10(1).
- [16] Haohui Xin, Xiao-Ling Zhao, Gao Liu, Youyou Zhang, Milan Veljkovic, 2025, "Fatigue behavior analysis of high-strength Bolt materials with diverse grades: An experimental approach", *Journal of Constructional Steel Research*, Vol. 234, 109716
- [17] Wenyuan Zhang, Jingyi Xie, Shuaiyu Li, 2025, "Low-cycle fatigue behavior of high-strength bolts under combined tension-shear loading", *Engineering Structures*, Vol. 340. 120799
- [18] Jingyi Xie, Wenyuan Zhang, Haifeng Yu, 2025, "Fracture simulation and constitutive model of shear connections with bolt failure under low-cycle fatigue loading", *Structures*, Vol. 76, 108937
- [19] M.Dalil, 2023, " Karakteristik Bahan Komposit High Density Polyethylene yang Diperkuat Serat Pendek Fiberglass untuk Pipa Air Dingin Ocean Thermal Energy Conversion (OTEC), USU, https://scholar.google.com/citations?view_op=view_citation&hl=id&user=P0ar-FMAAAAJ&sortby=pubdate&citation_for_view=P0ar-FMAAAAJ:ZeXyd9-uunAC
- [20] M. Dalil, 2023, " Effect of Sea Current to composites cold water pipeline of Oceann Thermal energy Conversion in Indonesia", *Journal of Advanced Research in Fluid Mechanics and Thermal Sciences*. Jilid 107, pp. 27-40
- [21] ISO 898-1. (2013). Mechanical properties of fasteners made of carbon steel and alloy steel (International Standard Organization (ISO) No. ISO 898-1:2013; Versi ISO 898-1:2013). International Standard Organization (ISO).
- [22] Person, G. (1982). Influence of Surface Finishing on Fatigue Properties of Valve Steel.
- [23] Smoothy, L. (2024). M20 Metric Thread Dimensions and Pitch. <https://get-it-made.co.uk/>
- [24] Stephens, R. I. S., Fatemi, A., Stephens, R. R., & Fuchs, H. O. (2001). *Metal Fatigue in Engineering*. John Wiley & Sons, inc.
- [25] Mustaqim, A. R. (2017). Analisa Kegagalan Baut Joint Riding Gear Pada Mesin Granulator (Studi Kasus: PT. Petrokimia Gresik) [Skripsi]. Institut Teknologi Sepuluh November (ITS).
- [26] Hudgins, A., & James, B. (2014). Fatigue of Threaded Fasteners. *AM&P Technical Articles*, 172(8), 18–22. <https://doi.org/10.31399/asm.amp.2014-08.p018>
- [27] Hanidya, I. (t.t.). Analisis Kegagalan Baut Pengunci Pelat Trunnion Pada Kompartmen 1 Ball Mill VI Tuban III PT. Semen Indonesia TBK. Institut Teknologi Sepuluh November (ITS).
- [28] E28 Committee. (t.t.-a). Test Methods for Rockwell Hardness of Metallic Materials. ASTM International. <https://doi.org/10.1520/E0018-15>
- [29] E28 Committee. (t.t.-b). Test Methods for Vickers Hardness and Knoop Hardness of Metallic Materials. ASTM International. <https://doi.org/10.1520/E0092-17>
- [30] E28 Committee. (2013). Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials. ASTM International. https://doi.org/10.1520/E0008_E0008M-13A
- [31] ASM International Handbook Committee. (1996). *Fatigue and Fracture (ASM Handbook No. 19; Versi Vol. 19)*. ASM Handbook.