

Analisa Kegagalan Baut Pengikat Pelat *Trunnion* *Linner* pada Unit *Cement Mill 1* Di PT. X

Darwin Hendri¹, Irwansyah², Herdi Susanto³, Syukarni Ali⁴

^{1,3,4}Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Teuku Umar, Indonesia
Meulaboh 23681 Aceh Barat, Indonesia

²Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala, Banda Aceh, Indonesia
Darussalam, 23111, Indonesia

*e-mail: ¹darwinhendri14@gmail.com, ²irwansyah@usk.ac.id, ³herdisusanto@utu.ac.id,
⁴syurkarni@utu.ac.id

Abstrak

Penelitian ini bertujuan mengidentifikasi penyebab patah pada baut pengikat plate trunnion pada unit cement mill 1 di PT. X. Pendekatan penelitian yang dipakai adalah kajian empiris yang terdiri dari dua fase pokok. Tahap pertama adalah mengidentifikasi penyebab patahnya baut melalui pengamatan secara makroskopis untuk melihat pola patah baut. Tahap kedua adalah melakukan analisis gaya-gaya yang bekerja pada baut dengan menghitung gaya inersial yang timbul akibat pengencangan torsi, dilanjutkan dengan mencari gaya sentrifugal yang dihasilkan oleh material yang digiling, dan menghitung momen bending yang memengaruhi baut. Hasil penelitian ini mengungkapkan bahwa penyebab utama kegagalan baut adalah adanya pola retakan yang ditandai dengan perubahan deformasi plastis yang signifikan pada badan baut, jenis patah ini dikategorikan sebagai patah ulet. Analisis gaya-gaya yang bekerja pada baut juga mengungkapkan bahwa tegangan yang diterima oleh baut melebihi kapasitas kekuatan baut. Tegangan yang terjadi mencapai 436 MPa, sedangkan kekuatan baut hanya sekitar 330 MPa (yield strength). Temuan ini diharapkan dapat menjadi informasi permulaan untuk studi berikutnya yang akan menginvestigasi aspek metalurgi sebagai pemicu kegagalan baut yang lebih komprehensif.

Kata kunci—pelat trunion, deformasi plastis, kekuatan, gaya inersial

Abstract

This study aims to determine the reasons behind the malfunction of the fastening bolts for the trunnion plate on cement mill unit 1 at PT. X. The research approach employed is an observational investigation comprising of two primary stages. The first phase involves identifying the causes of bolt fractures through macroscopic observations to examine the patterns of bolt fractures. The second phase involves analyzing the forces acting on the bolts by calculating the inertial forces generated due to torque tightening, followed by determining the centrifugal forces produced by the ground material and calculating the bending moments affecting the bolts. The findings of this study revealed that the primary reason for bolt failure is the existence of crack patterns characterized by substantial plastic deformation in the bolt body; this form of fracture is classified as ductile fracture. Analysis of the forces acting on the bolt also revealed that the stress applied to the bolt exceeds its strength capacity. The stress reached 436 MPa, whereas the bolt's strength was only around 330 MPa (yield strength). The discoveries from this study are anticipated to function as preliminary information for subsequent research that will delve into the metallurgical aspects as a more profound root cause of bolt failure.

Keywords—trunnion plate, deformation, strength, inertial forces.

1. PENDAHULUAN

Industri manufaktur memiliki peran sentral dalam pertumbuhan ekonomi suatu negara dengan menyediakan produk-produk yang penting bagi pembangunan infrastruktur dan berbagai sektor lainnya. Salah satu industri yang memiliki peran krusial adalah industri semen yang bertanggung jawab atas produksi bahan dasar untuk konstruksi. Pabrik semen adalah sektor yang amat esensial bagi masyarakat, karena semen menjadi materi inti dalam pelbagai jenis pembangunan seperti konstruksi rumah, gedung, jembatan, dan struktur lainnya[1]. Semen adalah bahan kering yang sangat halus yang pada dasarnya bukan merupakan perekat tetapi mengembangkan sifat perekat melalui hidrasi (yaitu, melalui reaksi kimia antara mineral-mineral semen dan air)[2].

PT. X ialah Industri yang aktif di sektor manufaktur semen yang terletak di wilayah Aceh Besar, daerah Aceh. Perusahaan tersebut menghasilkan dua tipe semen yakni *Ordinary Portland Cement (OPC)* dan *Poetland Composite Cement (PCC)*. *Cement mill* merupakan unit paling penting pada proses akhir dalam pembuatan semen dimana *clinker* yang dicampur dengan gypsum digiling pada unit ini[3]. Sebuah elemen krusial di dalam bagian ini adalah mur pengunci *plate trunnion*. *Plate trunnion* berperan dalam menjaga bagian dalam pada lempeng dudukan yang berfungsi sebagai jalur masuk dari benturan bola penggiling dan material yang masuk. Liner trunnion terhubung dengan kepala penggilingan satuan selubung pabrik semen 1 menggunakan sekrup pengikat *plate trunnion*[4].

Pada Juli 2019, baut pengunci *plate trunnion* yang dipergunakan pada *trunnion liner* di unit pabrik *cement mill* I di PT. X ditemukan mengalami pecah/ patah pada bagian tubuh baut, sehingga kegagalan baut ini mengakibatkan terhentinya kegiatan produksi di unit *cement mill* 1, tentu saja hal ini akan berdampak kerugian pabrik dengan hanya beroperasinya unit *cement mill* 2 dan tentu akan mengakibatkan berkurangnya produksi semen.

Kegagalan atau retak pada baut umumnya terjadi karena keausan ulir pada baut, kelelahan struktural pada baut, serta kerusakan juga mungkin muncul jika mur dipaksa menopang beban melebihi daya tampungnya[5]. Tekanan berulang pada sambungan baut dapat menimbulkan retakan pada baut, yang akhirnya bisa mengakibatkan kegagalan baut[6]. Hipotesis sejalan dengan hipotesis fluktuasi dan teori beban kejut yang mengindikasikan jika beban yang diterapkan melebihi batas tegangan ijin, maka baut tersebut dianggap bermasalah[7].

Masalah kegagalan pada baut telah banyak dikaji oleh para akademisi. Seperti penelitian Valles Gonzales dkk, menganalisis kegagalan baut disebabkan oleh mekanisme kelelahan tekuk bilateral dan patah akibat beban berlebih statis[8]. Khaeroman dkk, menyatakan bahwa akar masalah kegagalan baut adalah karena suhu yang terlalu tinggi dan tekanan tarik yang ada[9]. Kegagalan pada baut dapat terjadi dalam beberapa bentuk, salah satunya adalah patah ulet. Rizal Pranomo menguraikan bahwa retak lentur terjadi karena beban diam yang diberikan pada bahan; apabila beban dihilangkan, penyebaran keretakan akan berhenti. Fraktur fleksibel dikenali dengan penyerapan daya dan perubahan bentuk permanen yang ketara di sekitar bahagian yang patah, menjadikan permukaan retakan kelihatan tak sekata, berstruktur, dan berwarna kelabu. [10]. Keretakan fleksibel juga dapat dikenali dengan penampilan lebih kabur sehingga pecahannya terlihat berwarna keabu-abuan dan tampak berantakan atau disebut sebagai patah serabut[11].

Maka, riset ini bertujuan untuk mengidentifikasi penyebab kegagalan baut M36x90 dengan menganalisa secara makro dan gaya-gaya yang bekerja menggoyangkan baut pada saat bekerja. Lewat peninjauan empiris, riset ini bermaksud mengenal penyebab kegagalan baut berdasarkan informasi yang berasal dari hasil pengawasan dan pengalaman. Hasil dari kajian ini diharapkan mampu memberi wawasan tentang kemungkinan penyebab kegagalan mur M36x90 Grade 8.8 pada mengunci *plate trunnion* di *cement mill* 1 kepada manajemen pabrik PT. X.

2. METODE PENELITIAN

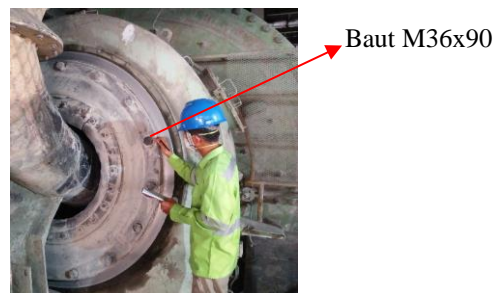
Penelitian ini mengadopsi pendekatan studi empiris untuk memahami konteks kegagalan baut baik dari pengamatan visual/ makro dan analisis gaya-gaya serta tegangan yang bekerja pada baut. Metode penelitian yang digunakan melibatkan langkah-langkah sebagai berikut:

2.1 Pengumpulan Data

Penghimpunan data dilakukan untuk memperoleh informasi awal tentang kerusakan. Akan diperoleh informasi tentang bagian-bagian yang mengalami kegagalan serta informasi tentang timbulnya kegagalan.

2.2 Pengamatan Makro

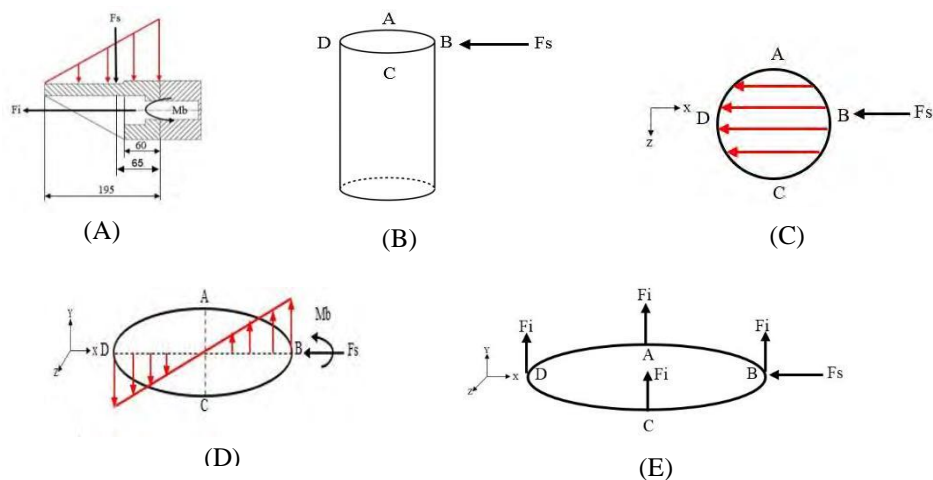
Baut yang mengalami kegagalan akan dianalisis secara visual untuk mengidentifikasi tanda-tanda fisik yang mungkin menunjukkan penyebab kegagalan, seperti retakan, deformasi, dengan menggunakan kamera digital.



Gambar 1. Letak posisi baut pada pengikat *trunnion liner* pada unit *cement mill*

2.3 Analisa Gaya-gaya dan tegangan yang bekerja pada baut

Analisa ini bertujuan untuk mengetahui penyebab kegagalan baut berdasarkan gaya-gaya apa saja yang diterima baut serta berapa besar tegangan yang diterima baut hingga mengalami kegagalan. Berikut pemikiran gambaran variasi yang beroperasi pada baut:



Gambar 2. [a] Gambaran model gaya yang operasional pada mur [b] model gaya wajah mur [c] penyebaran kekuatan tarik lateral [d] penyebaran tekanan hasil regangan [e] efek tampak awal gaya yang tampak atas dari mur.[12]

Dimana :

F_i : Gaya inisial yang bekerja akibat pengencangan torsi

F_s : Gaya sentrifugal

M_b : Momen bending

F_i disebut Gaya pertama disebut momen awal yang muncul karena torsi pada baut tersebut. Gaya ini kemudian berubah menjadi tegangan tarik yang dilambangkan dengan σf_i . F_s disebut gaya sentrifugal yang timbul dari perputaran massa clinker dan seakan dilemparkan keluar jalurnya. F_s Kemudian berubah menjadi tegangan geser dengan simbol τxy . M_b merupakan waktu kelengkungan yang muncul akibat gaya geser yang dialihkan. M_b menimbulkan tegangan tarik dan tegangan tekan, dengan notasi σM_b .

Mencari gaya inisial akibat pengencangan baut

$$F_i = \frac{T}{C \cdot D_b} \quad [7] \quad (1)$$

Dimana T adalah ukuran torsi [Nm], sedangkan C koefisien torsi [0,2 for *unlubricated* baut], dan D_b adalah diameter baut [0,036m].

Mencari tegangan normal baut

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (2)$$

Dimana σ adalah tegangan normal yang timbul, sedangkan A merupakan luas penampang melintang yang didasari pada diameter kaki ulir.

Ulir pada baut akan mengalami tegangan geser dan tegangan kompresi (*bearing stress*).

- Pada ulir baut : $\tau_b = \frac{F}{\pi \cdot d_r \cdot (h/2)}$ (3)

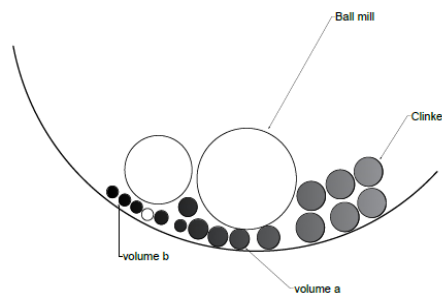
Analisis tersebut mengandalkan dugaan bahwa setiap spiral menerima beban distribusi serupa. Dimana τ_b adalah Tegangan geser pada ulir baut di daerah kaki ulir baut, d_r adalah diameter kaki ulir baut, sedangkan d adalah diameter kaki ulir mur, h yaitu tinggi atau tebal mur, τ_b : tegangan bearing (kompresi) pada ulir baut dan mur.

Mencari gaya Sentrifugal akibat material yang digiling

F_s dapat kita tentukan dengan persamaan berikut:

$$F_s = M_m \times \omega^2 \times R_t \quad (4)$$

Dimana M adalah massa *clinker* yang di giling (kg), sedangkan ω adalah percepatan sudut sentrifugal (rad/s), dan R_t adalah radius gerinding mill (2 m).



Gambar 3. Volume a diasumsikan identik dengan volume b. Volume a adalah terak (clinker) yang tengah digiling, sementara volume b adalah terak (clinker) yang telah melalui proses penggilingan.

$$M_m = \rho \times V_b \quad (5)$$

$$V_a = V_b = A_f \times h$$

$$A_f = A_s \times 0,25$$

$$A_s = (2\pi R_r(t_r + R_r)) - (2(\pi R_r^2))$$

Dimana M_m adalah massa *clinker* yang terdapat pada volume b (kg), $V_a = V_b$ adalah volume *clinker*, ρ adalah massa jenis dari *clinker* (1.833 kg/m^3), A_f adalah luas tapak tekan pada grinding (m^2), h adalah bed depth (kedalaman material)(0,060 m), A_s adalah luas selimut yang berguna menggiling *clinker* (m^2), t_t adalah tebal grinding (1,5 m), adalah R_r adalah radius grinding tube mill (2 m)

Mencari luasan selimut gerinding ball

$$A_s = (2\pi R_r(t_r + R_r)) - (2(\pi R_r^2)) \quad (6)$$

Mencari luas tapak tekang ball mill

$$A_f = A_s \times 0,25 \quad (7)$$

Mencari volume clinker yang digiling

$$V_a = V_b = A_f \times h \quad (8)$$

Mencari massa clinker

$$M_m = \rho \times V_b \quad (9)$$

Mencari kecepatan sudut ω

$$1 \text{ rpm} = 0,1047 \text{ rad/s} \quad (10)$$

$$16,4 \text{ rpm} = 1,71 \text{ rad/s}$$

$$\omega = 1,71 \text{ rad/s}$$

Mencari gaya sentrifugal ditinjau dari volume yang digiling

$$F_s = M_m \times \omega^2 \times R_t \quad (11)$$

Diameter *trunnion liner* berdiameter 1860 mm sementara panjangnya 1500 mm pelat *trunnion* diikat oleh 16 baut. Diasumsikan gaya pusat yang beroperasi secara berpusat menanggung beban seragam dari 16 baut.

Menghitung momen bending

$$Mb = Fsl \cdot \ell \quad (12)$$

Gambar 2. (a) Terlihat sebaran gaya pusat. Saat sebuah tenaga dipindah, muncul gaya dengan jangka yang tegak dengan tenaga itu. Lokasi b adalah zona yang terkena regangan paling tinggi karena adanya gaya yang positif, sementara lokasi a dan c adalah zona tanpa gaya dari tekukan, sedangkan lokasi d mempunyai gaya tekukan namun bernilai negatif.

Berdasarkan standar ISO 898 bagian 1, nilai luas penampang silang baik untuk tegangan tarik maupun tegangan geser pada mur M36x90 ialah seperti yang tercantum di bawah ini.

$$A_{ts} = 817 \text{ mm}^2$$

$$A_{ss} = 1121,1744$$

Menghitung σ_{fi}

$$\sigma_{fi} = \frac{F_i}{A_{ts}} \quad (13)$$

Menghitung τ_{xy}

$$\tau_{xy} = \frac{F_{s1}}{A_{ss}} \quad (14)$$

Menghitung σ_{Mb}

$$\sigma_{Mb} = \frac{M.c}{I} \quad (15)$$

Dimana σ_{Mb} adalah tegangan principal akibat momen bending (MPa), c adalah lengan yang tegak lurus (jari – jari baut) (m), dan I adalah *momen inersia* [m^4]

Pada beban *fatigue* terdapat tegangan maksimum dan tegangan minimum, sehingga

$$\sigma_{max} = \sigma_{fi} + \sigma_{Mb} \quad (16)$$

$$\sigma_{min} = \sigma_{fi} = 322,99 \text{ MPa}$$

Menentukan kesesuaian baut dengan *Fluctuating and Shock Load Theory*

Menurut teori berfluktuasi dan beban tiba-tiba, ketika tekanan yang beroperasi lebih rendah dari batas material yang diizinkan, maka sekrup tersebut dianggap **aman**.

$$= \frac{s_{yp}}{N} \geq \sqrt{K_{sb}(\sigma_{avg} + \frac{s_{yp}}{s_e}\sigma_r)^2 + 3K_{st}(\tau_{avg} + \frac{s_{syp}}{s_{es}}\tau_r)^2} [7] \quad (17)$$

Dimana s_{yp} adalah *stress yield point* (MPa), s_{syp} yaitu *shear stress yield point* (MPa), selanjutnya N merupakan angka keamanan (2), serta K_{sb} adalah *shock factor for bending, tension or compression*, K_{st} keterangan dari *shock factor for torsion*, σ_{avg} adalah tegangan principal rata – rata (MPa), σ_r keterangan dari *range* tegangan principal (MPa), τ_{avg} adalah tegangan geser rata – rata (MPa), τ_r yaitu *range* tegangan geser (MPa), selanjutnya s_e adalah *corrected endurance limit*, dan s_{es} merupakan *corrected endurance limit for shear* .

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Data Awal Kerusakan

Pada akhir Juni 2019 terjadi perputusan baut pengikat *Pelat trunion* pada *trunion liner*. Kejadian ini sudah sering terjadi dalam 3 bulan terakhir ini, setiap sebulan sekali pasti ada baut yang putus atau patah pada *pelat trunion*. Patahan ini terjadi di antarmuka (*interface*) antara sambungan *pelat trunion* dan sambungan *trunion liner*. Baut pengikat *pelat trunion* ini dikencangkan dengan torsi pengencangan awal 1900 Nm.



Gambar 4. Baut M36x90 yang mengalami kegagalan, sisa baut masih menempel pada baut lain karena proses pengeluaran baut.

3. 2 Hasil Pengamatan Makro

Dari observasi visual secara kasat mata terhadap kegagalan baut, kita bisa melihat tanda-tanda patah atau perubahan bentuk, seperti pada gambar 5.



Gambar 5. Permukaan Patahan Baut

3.3 Hasil Perhitungan

Tabel 1. Hasil Perhitungan gaya-gaya yang bekerja pada baut

No	Variabel Perhitungan	Hasil
1	Mencari gaya inisial akibat pengencangan baut	$F_t = 263.888 \text{ N}$
2	Mencari tegangan normal baut	$\sigma = 8.332 \text{ N/m}^2$
3	Mencari luasan selimut gerinding ball	$A_s = 18,84 \text{ m}^2$
4	Mencari luas tapak tekang <i>ball mill</i>	$A_f = 4,71 \text{ m}^2$
5	Mencari volume clinker yang digiling	$V_a = V_b = 0,2826 \text{ m}^3$
6	Mencari massa <i>clinker</i>	$M_m = 518,58 \text{ kg}$
7	Mencari gaya sentrifugal ditinjau dari volume yang digiling	$F_s = 3.032,759 \text{ N}$
8	Menghitung momen bending	$M_b = 12,3 \text{ Nm}$
10	Menghitung σ_{Mb}	$\sigma_{Mb} = 5,67 \text{ MPa}$
11	Menentukan kesesuaian baut dengan <i>Fluctuating and Shock Load Theory</i>	$330 \geq 439$

Luaran kalkulasi pada situasi pekerjaan serupa menunjukkan bahwa mur baja karbon 8.8 **gagal** dan tak memenuhi persyaratan keamanan.

3.4 Pembahasan

Dari pengamatan secara kasat mata dengan memakai kamera digital pada foto 5, tampak sekrup M36x90 yang mengalami kegagalan. Di permukaan patahannya, terlihat petunjuk titik mula retakan yang terletak di luaran baut yang mengalami fokus kekuatan. Selanjutnya, retakan ini merambat ke arah berlawanan dengan arah jarum jam hingga terjadi patah akhir. Analisis pola patahan mengungkapkan bahwa jenis kegagalan ini dapat diklasifikasikan sebagai patah ulet. Hal ini dapat diamati dari adanya deformasi plastis yang cukup besar pada material, yang menyebabkan permukaan patahannya memiliki karakteristik yang kasar dan berserabut[13]. Fenomena ini menunjukkan bahwa baut mengalami pembebanan hingga melebihi batas elastisitasnya, mengalami deformasi plastis, dan akhirnya patah secara bertahap. Tambahan elemen-elemen di atas, lokasi sekrup juga bisa memengaruhi ketangguhan sekrup dan tekanan sentrifugal yang dialaminya. Pada analisis letak sekrup yang ideal menerima tekanan sentrifugal pada bangunan sambungan sekrup adalah di posisi khusus. Maka dari itu, sangat krusial untuk memperhatikan elemen-elemen tersebut agar sekrup tidak mengalami kegagalan struktural[14].

Menurut evaluasi style yang berlaku pada sekrup M36x90, riset ini terlibat dalam serangkaian kalkulasi yang menyeluruh. Rangkaian perhitungan dimulai dengan mengidentifikasi gaya awal yang timbul dari penyetelan torsional, dilanjutkan dengan mencari gaya sentripetal yang dihasilkan oleh bahan yang digiling, serta menghitung momen lentur yang mempengaruhi sekrup tersebut. Hasil analisis menunjukkan bahwa tegangan yang bekerja pada baut M36x90 mencapai 436 MPa. Penting untuk dicatat bahwa angka ini secara signifikan melebihi batas izin (*yield strength*) baut yang hanya sebesar 330 MPa. Temuan ini menggambarkan bahwa baut telah melampaui kapasitasnya dalam menahan tegangan yang diterapkan padanya, yang pada akhirnya menjelaskan penyebab kegagalan pada baut tersebut. Dengan demikian, analisis ini memberikan dasar ilmiah yang kuat dalam memahami penyebab kegagalan baut M36x90 yang disebabkan oleh tegangan yang melebihi batas izinnya. Ungkapan ini juga didukung dengan konsep fluktuasi dan teori beban tiba-tiba yang mengatakan bahwa ketika tekanan yang bekerja melebihi batas tekanan ijin, maka baut tersebut dianggap tidak berhasil[7]. Tegangan yang diizinkan pada baut merupakan batas aman dalam perencanaan konstruksi. Pada pelaksanaan sesungguhnya, tegangan pada baut harus dijaga agar tidak melebihi batas izin untuk memastikan keamanan dan kenyamanan struktur[15] Jika tegangan yang diterima baut melebihi batas izin, maka baut dapat mengalami patah ulet akibat tegangan uniaksial yang menyebabkan reduksi luas penampang patahan[16]

4. KESIMPULAN

Menurut analisa di atas, dapat disarikan bahwa akar kegagalan baut berdasarkan pengamatan dengan mata telanjang/makro adalah fraktur plastis, dengan perubahan bentuk yang signifikan pada bahan. Dari evaluasi gaya-gaya yang beroperasi pada baut, beban yang diterima baut lebih tinggi dari batas tegangan yang diijinkan, sehingga baut M36x70 dinyatakan tidak memenuhi ketentuan keamanan.

5. SARAN

Temuan ini diinginkan bisa menjadi landasan bagi penelitian selanjutnya untuk mengeksplorasi dari sudut pandang metalurgi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] I. B. Fadhilillah and A. Susanty, "Analisis Pemilihan Supplier Pengadaan Peralatan Safety Proyek Indarung Vi Pt Semen Padang Menggunakan Metode Analytical Hierarchy Process (AHP)."
- [2] P. Kumar Mehta and Paulo J. M Monteiro, *Concrete: Microstructure, Properties, and Materials. McGraw-Hill Education*, Fourth Edition., vol. 1.0. New York: Publisher Services, 2006.
- [3] M. Sri Wahyuni and S. Elia Sastri, "Copyrights @ Analisis Sistem Perawatan Bucket Elevator Pada Cement Mill 1 Berdasarkan Penentuan Komponen Kritis di PT. LCI".
- [4] Inggil Hanidya, "Analisis Kegagalan Baut Pengunci Pelat Trunnion Pada Kompartmen 1 Ball Mill Vi Tuban Iii Pt. Semen Indonesia Tbk," Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, 2017.
- [5] Robert C. Juvinall And Kurt M. Marshek, *Fundamentals of Machine Component Design*. Don Fowley, 2006.
- [6] W. Setia Aji and S. Nugroho, "Analisis Kegagalan Baut Pengikat Gearbox Pada Lokomotif Kereta Rel Diesel Elektrik (KRDE)," 2014.
- [7] A. D. Deutschman, W. J. Michels, and C. F. Wilson, *Machine Design Theory and Practice*. New York: Macmillan Publishing Co., Inc., 1975.
- [8] P. Valles González, A. Pastor Muro, and M. García-Martínez, "Failure analysis study on a fractured bolt," *Eng Fail Anal*, vol. 109, Jan. 2020, doi: 10.1016/j.engfailanal.2019.104355.
- [9] W. A. P. Khaeroman, "Studi Kasus Analisis Kegagalan Baut Connecting Rod Mesin Diesel Generator Kapal," vol. 11, no. 1.
- [10] Rizal Pramono, "Analisa Kekuatan Impak Dengan Variasi Sudut Bandul Pada Material Logam Baja ST37," Universitas Medan Area, Medan, 2016.
- [11] Z. T. R. Saifuddin A.Jalil, "Analisa Kekuatan Impak Pada Penyambungan Pengelasan Smaw Material Assab 705 Dengan Variasi Arus Pengelasan," *Jurnal Polimesin*, vol. 15, no. 2, pp. 58–63, 2017.
- [12] Refki Despratama M, "Analisa Kegagalan Baut Dam Ring M30 Pada Ok Mill Flsmidth 42-4 Ditinjau Dari Aspek Metalurgi," Institute Sepuluh Nopember, Surabaya, 2016.
- [13] A. Suprpto and R. Ismanto, "Mekanisme Kegagalan Roda Gigi," 2010.
- [14] N. Handra, "Pengaruh Posisi Terhadap Kekuatan Baut dan Gaya Geser Ditinjau dari Morfologi Fracture Surface pada Sambungan Plat," 2011.
- [15] S. Suharto, S. P. Budio, and E. Arifi, "Pengaruh Pengencangan Baut Terhadap Lendutan Pada Model Jembatan Rangka Baja."
- [16] Mulyati, "Materi Pertemuan I II III - Bahan Ajar Mekanika Bahan," coursehero. Accessed: Oct. 01, 2023. [Online]. Available: [https://www.coursehero.com/file/10748193/Materi-Pertemuan-III/](https://www.coursehero.com/file/10748193/Materi-Pertemuan-III/III/)