

KEGAGALAN ROUND STEEL LINK CHAIN PADA UNDERTOW SYSTEM PT. HINDOLI MILL SUNGAI LILIN

Teguh Setiawan¹⁾, Fenoria Putri^{2)*}, Karmin²⁾

¹⁾Program Studi Teknik Mesin Produksi dan Perawatan, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Sriwijaya.

Jl. Srijaya Negara, Bukit Besar Palembang 30139, Indonesia

²⁾Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Sriwijaya

Jl. Srijaya Negara, Bukit Besar Palembang 30139, Indonesia

*email korespondensi: putripolsri@gmail.com

INFORMASI ARTIKEL

Received:
27/09/23

Received in revised:
16/11/23

Accepted:
20/11/23

Online-Published:
30/06/24

ABSTRAK

Penggunaan tali tambang pada capstan telah digantikan dengan round link chain pada undertow system di PT. Hindoli MSL dengan kepentingan safety. Namun dalam operasionalnya seringkali terjadi kegagalan berupa putusnya chain dengan frekuensi tinggi. Dalam investigasi yang dilakukan, pola patahan chain menunjukkan patah akibat beban fatik. Penggunaan operasional secara SOP tidak mengindikasikan terjadi overload dimana beban tersebut memiliki asumsi life time 7,1 tahun. Namun pada praktiknya, kegagalan telah terjadi sebelum life time berakhir. Hasil peninjauan lapangan, terdapat faktor eksternal yang mempengaruhi kegagalan yaitu roda lori yang abnormal. Roda lori tidak berputar pada rel melainkan hanya menggesek pada rel yang berakibat nilai koefisien gesek gelinding 0,001-0,002 menjadi 0,74 yang berimbas pada meningkatnya tegangan hingga overload. Selain itu terdapat pembebanan melebihi SOP di bawah tegangan overload yang berdampak pada life time yang lebih singkat. Pada faktor internal, terdapat komposisi kimia dengan jumlah persentase lebih rendah dibanding persentase standar.

Kata Kunci : Analisa Kegagalan, Investigasi, Rantai, Round Chain

© 2024 The Authors. Published by
Machinery: Jurnal Teknologi Terapan
(Indexed in SINTA)

doi:
<http://doi.org/10.5281/zenodo.12738651>

ABSTRACT

The use of mining rope on capstan has been replaced with round link chain on undertow system at PT. Hindoli MSL with safety interests. However, in its operations, there are often failures in the form of chain breaks with high frequency. In the investigations carried out, the chain fracture pattern showed fractures due to fatigue loads. The use of SOP operations does not indicate overload where the burden has an assumed life time of 7.1 years. But in practice, failure has occurred before life time ends. The results of the field review, there are external factors that affect the failure, namely abnormal lorry wheels. The lorry wheel does not rotate on the rail but only rubs on the rail which results in a rolling coefficient value of 0.001-0.002 to 0.74 which has an impact on increasing voltage to overload. In addition, there is a load exceeding the SOP under overload voltage which has an impact on shorter life time. In internal factors, there is a chemical composition with a percentage lower than the standard percentage

Keywords : Failure analysis, Investigation, Chain, Round Chain

1 PENDAHULUAN

Analisis kegagalan merupakan suatu kegiatan yang ditunjukkan untuk mengetahui penyebab terjadinya kerusakan yang bersifat spesifik dari peralatan utama, peralatan pendukung, dan perlengkapan instalasi industri [1]. Jenis kegagalan material dapat berupa patahan, retakan, atau korosi. Kegagalan yang terjadi dapat berasal dari tahap manufaktur, pembuatan, perakitan, atau pengoperasian yang tidak sesuai dengan

desain [2]. Analisa kerusakan yang komprehensif yang bisa dimanfaatkan sebagai umpan balik dalam perbaikan desain, material, perlakuan panas, dan sebagainya terhadap sistem atau komponen. Suatu peralatan dinyatakan gagal apabila peralatan tersebut sudah tidak dapat digunakan sama sekali. Selain itu pengoperasian yang tidak efisien dan menimbulkan kerugian atau masalah *safety*. Masa *life-time* telah berakhir juga menjadi faktor peralatan dinyatakan gagal [3].

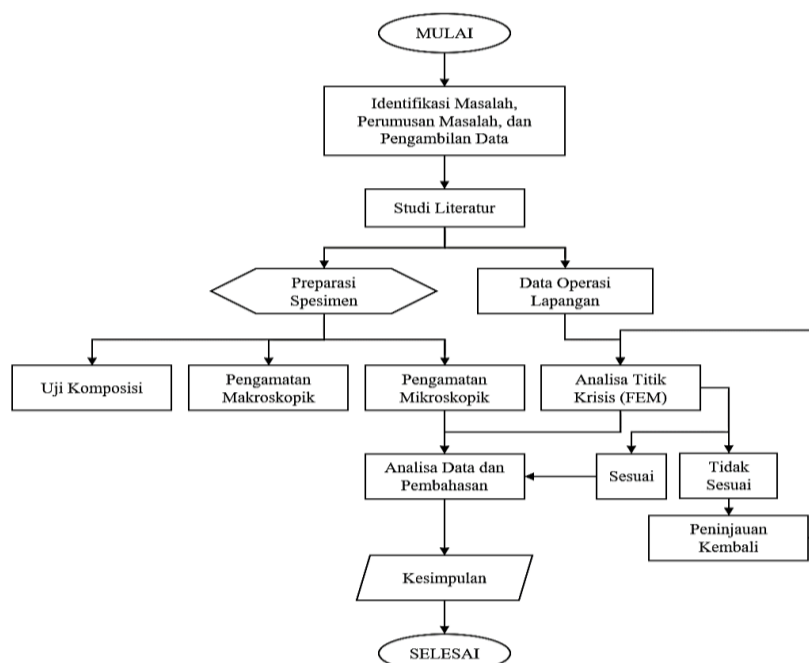
Dalam suatu kasus kegagalan, timbul tanda-tanda retakan yang menjalar hingga berujung patah yang dapat diidentifikasi. Patah ulet terjadi akibat beban statis, jika beban dihilangkan maka retakan akan berhenti. Patahan ini ditandai dengan deformasi plastis. Patah getas adalah patahan dengan rambatan retaknya lebih cepat dan hampir tidak ada deformasi plastis yang terjadi. Patah lelah adalah patahan akibat pembebanan secara berulang di bawah beban maksimal. Jenis perambatan retaknya relatif lama dan tidak terlihat. Kemudian terdapat kegagalan yang diakibatkan oleh korosi. Retakan pada material ini terjadi pada bagian yang mengalami karat. Kegagalan ini merupakan kombinasi dari tegangan tarik dan pengaruh lingkungan. Kegagalan akibat mulur biasa terjadi pada konstruksi yang ditandai dengan deformasi plastis yang besar. Kondisi ini terjadi pada material yang bersuhu tinggi di atas 0,4 – 0,5° kelvin pada titik cair material tersebut [4].

Dalam kasus ini, kegagalan yang terjadi adalah *round link chain* yang digunakan pada *undertow system*. Kegagalan ini berupa putusnya *chain* pada saat beroperasi. Material yang digunakan adalah baja paduan rendah. Baja terbentuk dari paduan antara karbon dengan bahan dasar besi. Sifat dari besi murni itu sendiri adalah mempunyai tingkat keuletan yang tinggi, namun kekuatan yang rendah dan mudah berkarat [5]. Secara umum terdapat beberapa unsur yang dijadikan paduan adalah aluminium, nikel, bismut, dan manganase. Sedangkan elemen unsur yang lebih jarang digunakan antara lain vanadium, kromium, boron, titanium, molibdenum, tungsten, dan niobium. Persentase unsur elemen dalam paduan baja akan mempengaruhi pada karakteristik dan sifat material itu sendiri. *Round link chain* atau rantai tautan baja merupakan serangkaian *link* atau cincin yang saling terhubung atau terpasang satu dengan yang lainnya, sehingga terbentuk hingga memanjang [6].

Round link chain terpasang pada *undertow system* yang digunakan untuk menarik beban (lori) sebagai pengganti tali *capstan*. *Undertow system* dinilai lebih efisien dan *safety* dari segi operasional. Namun seiring dengan penggunaannya, terjadi kegagalan dengan frekuensi meningkat membuat peralatan ini justru lebih berbahaya. Kegagalan ini belum pernah dikaji sebelumnya terkait penyebab kegagalan secara teoritis. Oleh karena itu dalam penelitian ini diharapkan mampu menemukan faktor-faktor penyebab kegagalan dan memberikan evaluasi.

2. BAHAN DAN METODE

Diagram alir penelitian ditunjukkan pada Gambar 1:



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

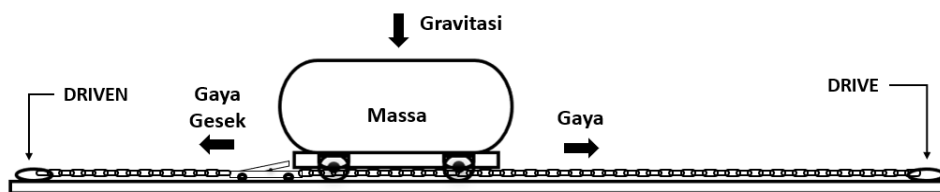
2.1 Data Operasi

Penggunaan *undertow system* bergantung pada siklus perebusan *sterilizer*. Dalam operasionalnya, *sterilizer* beroperasi selama 24 jam, dimana dengan jumlah siklus perebusan sebanyak 16 kali. Nilai tegangan yang terjadi pada *chain* yaitu mencakup dari totalnya beban yang diterima *chain* ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Data Operasi Operasional

Faktor	Nilai	Satuan
Berat Lori	4.000	Kg
Kapasitas Lori	7.000	Kg
Berat Chain	3,83	Kg/m
Panjang Kontruksi (l)	73,3	m
Koefisien Gesek Statis (μ_s) <i>Steel – Steel</i>	0,74	
Koefisien Gesek Gelinding (μ)	0,001 – 0,002	

Skema gaya yang diaplikasikan dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Skema Gaya yang Teraplikasikan

Pengumpulan informasi dari *round chain* yaitu meliputi *mechanical properties* sebagai berikut:

2.1.1 Mechanical Drawing Round Chain

Mechanical drawing round link chains dalam penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 3 [12].

link size (opp. Weld) d (mm)		pitch t (mm)		link width (mm)		link weld size (mm)		unit weight kg/m (~)
nominal	tolerance	nominal	tolerance	inner b1 (min.)	outer b2 (max.)	diameter d1 (max.)	length e	
14	± 0.4	50	± 0.5	17	48	15	10	4.0

Gambar 3. Mechanical Drawing Round Link Chains

2.1.2 Spesifikasi Properties Round Link Chain

Spesifikasi dari *round chain* DIN 22252 dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Spesifikasi Round Link Chain

Spesifikasi	Nilai	Satuan
Diameter penampang	14	mm
Pitch	50	mm
Proof stress	650	N/mm ²
Breaking stress	800	N/mm ²
Inner width	17	mm
Outer width	48	mm

Round chain memiliki standarisasi komposisi kimia 23MnNiMoCr5-4 dengan penjabaran ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Komposisi Kimia *Round Chain*

<i>Chemical Composition</i>	Persentase %
C	0,23
Si	0,20
Mn	1,33
Cr	0,55
Ni	1,05
Mo	0,55
Al	0,35

Kandungan Ferros 96% dan *Karbon* 0,20% menandakan material ini tergolong *Low Steel Carbon*. Unsur Silikon berperan untuk meningkatkan kekuatan. Mangan 1,33% berperan dalam meningkatkan *hardenability* dengan menurunkan titik transformasi dan menyebabkan transformasi menjadi lambat. Unsur *Cromium* 0,55% berperan penting dalam meningkatkan kemampuan mengeras [7], [8]. Unsur Nikel yang cukup tinggi yaitu 1,05% adalah sebagai unsur penguat. *Molydenum* 0,55% berperan sebagai karbida stabil yang menghambat pertumbuhan biji dan meningkatkan ketangguhan baja sehingga membuat molibdenum menjadi logam paduan yang sangat berharga. *Molydenum* sendiri biasa digunakan juga untuk membuat bagian pemotongan peralatan mesin bilah turbin mesin turbojet dan digunakan dalam motor roket. Unsur aluminium 0,035% adalah sebagai elemen paduan dalam baja *nitriding* [9], [10].

2.2 Alat

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah

1. Mesin Gerinda
2. Ampelas *Sic Grade* 80 hingga 2000
3. Kamera DSLR
4. Mesin SEM-EDX

2.3 Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah struktur patahan *round chain* yang mengalami *fracture* secara alami bukan dari pengelasan kembali. Sampel kegagalan *round chain* dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Sampel Kegagalan *Round Chain*

2.4 Preparasi Sampel

Menyiapkan sampel patahan *round chain* yang patah alami dari struktur itu sendiri (bukan dari pengelasan kembali).

1. Sampel Pengamatan Makro
Memotong bagian sampel yang terjadi *fracture*.
2. Sampel Pengujian SEM-EDX
Memotong bagian sampel yang tidak terdeteksi kecacatan.

2.5 Analisa Titik Krisis (FEM)

Digunakan dua *software* yaitu Autodesk Inventor dan Ansys Workbench. Autodesk Inventor digunakan untuk mendesain *round chain* secara 3D yang kemudian dilakukan *assembly*. Selanjutnya Ansys Workbench digunakan untuk menganalisis titik tegangan, besarnya gaya yang bekerja serta *life time* dari *round chain* yang telah didesain [11]. Langkah-langkah dalam analisa titik krisis sebagai berikut:

1. Mendesain geometri 3D *round chain* beserta *assembly* pada *software* Autodesk Inventor.
2. Mengimpor *desain 3D* ke dalam *software* Ansys Workbench.
3. *Input engineering data* material yang ada dan disesuaikan dengan *mechanical properties round chain*.
4. Melakukan *meshing* guna membagi struktur menjadi elemen-elemen kecil atau distrik.
5. Melakukan *input force* dan *fixed* disesuaikan dengan arah gaya yang bekerja. Nilai gaya *force* yang di input adalah hasil dari perhitungan gaya total.
6. Melakukan *input solution simulation* yang dibutuhkan yaitu *equevalent stress*, *equevalent strain* dan *fatigue tool*.
7. Melakukan *solve simulation* untuk *running* hasil.

2.6 Peninjauan Kembali

Peninjauan kembali dilakukan bila terdapat ketidaksesuaian dari hasil analisa. Peninjauan ini dilakukan dengan terjun secara langsung kelapangan guna membandingkan kondisi operasi yang sebenarnya dengan hasil dari analisa yang telah dilakukan berdasarkan informasi.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

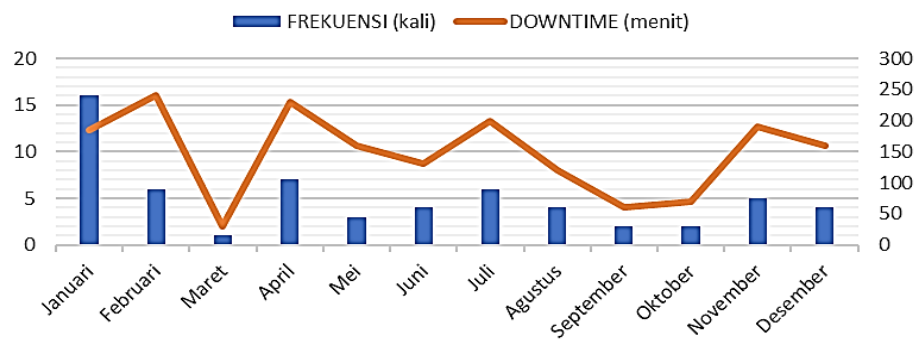
3.1 Analisa Data Kegagalan

Analisa data kegagalan mencakup laporan kegagalan *round link chain* pada *undertow system* dalam kurung waktu Januari – Desember 2022. Selain itu dilakukan pengumpulan sampel kegagalan *round chain* untuk mengidentifikasi jenis kegagalan. Dari pengumpulan sampel yang dilakukan, terdapat 2 jenis kegagalan pada *chain*. Kegagalan *chain* paling banyak yaitu dari *chain* yang pernah putus dan dilas kembali. Sedangkan kegagalan yang sedikit yaitu dari *chain* yang mengalami kegagalan untuk pertama kalinya atau belum pernah mengalami kegagalan [12].



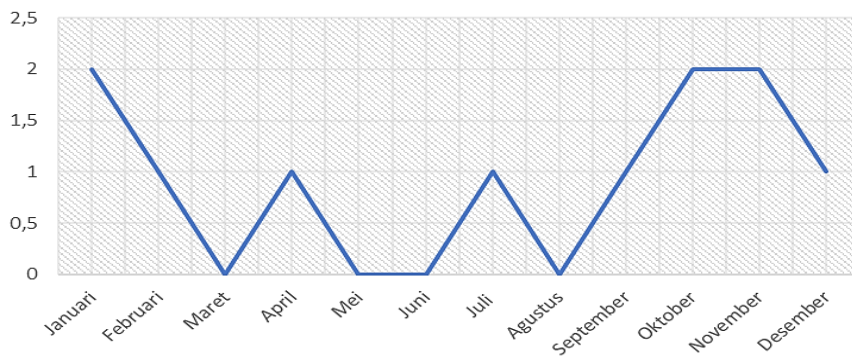
Gambar 5. Sampel Kegagalan Round Chain

Gambar 5 menunjukkan sampel-sampel yang mengalami kegagalan. Dari 8 sampel yang dikumpulkan, hanya terdapat 1 sampel yang menunjukkan kegagalan *chain* untuk pertama kalinya yang ditunjukkan pada nomor 8. Sedangkan sampel nomor 1-7 menunjukkan kegagalan yang pernah terjadi dan terulang kembali yang dibuktikan dari bekas pengelasan. Sedangkan pada frekuensi kegagalan, terdapat sebanyak 60 kali dengan total waktu *downtime* selama 1.775 menit atau 29 jam 35 menit. Dapat dilihat juga pada grafik di bawah.



Gambar 6. Grafik Downtime History Report

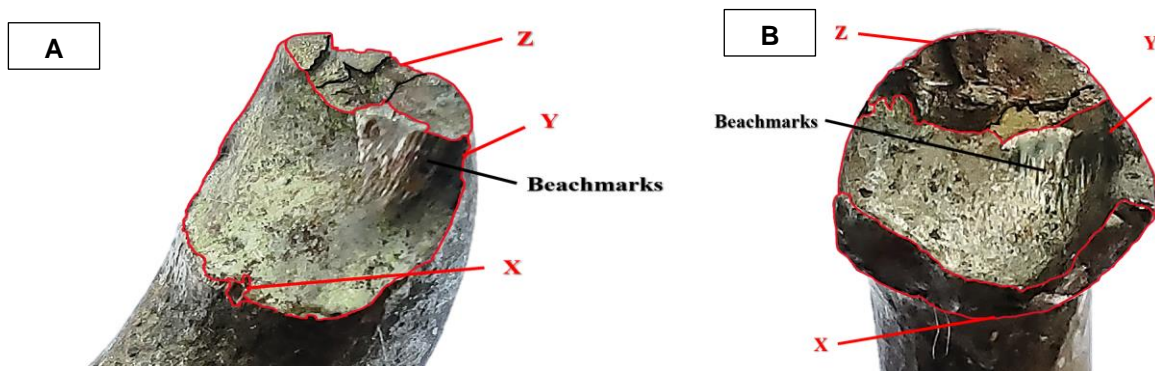
Sedangkan frekuensi kegagalan pada *chain* yang pertama kalinya berjumlah 11 kali yang ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Kegagalan Struktur Round Chain

3.2 Hasil Pengamatan Makro

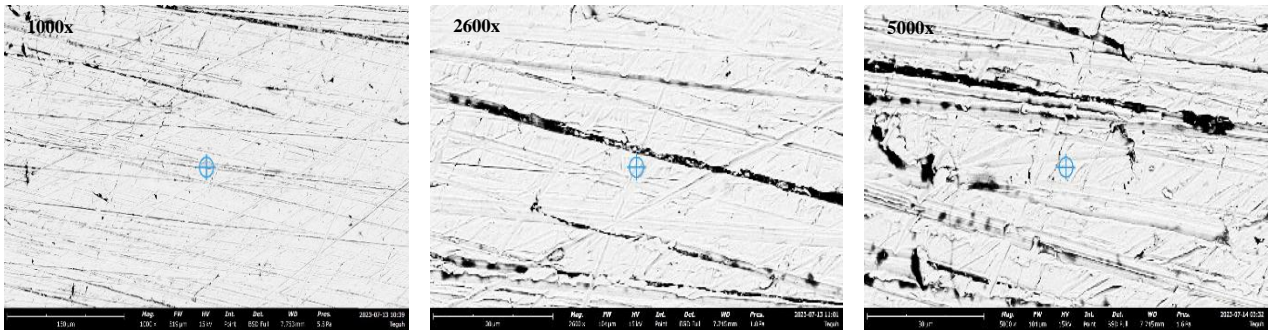
Dapat dilihat bahwa *initial crack* berada pada sisi lengkungan bagian dalam yang ditunjukkan pada daerah X. Kemudian retakan merambat pada permukaan *chain* (*crack propagation*) yang dapat dilihat pada daerah Y. Dan terjadi *final fracture* yang dapat dilihat pada bagian Z. Pada bagian *initial crack* terjadi pemisahan struktur kecil, dimana terdapat bagian luas yang berbeda antara gambar A dan B. Bagian struktur yang hilang diduga adalah bagian dari *initial crack*. Karena pada bagian ini adalah struktur yang bersentuhan langsung dengan *chain* lain. Hal ini memungkinkan terjadinya titik krisis atau tegangan terutama pada bagian lengkungan dalam yang diawali oleh *initial crack* [13]. Identifikasi pola patahan yang terjadi pada *chain* dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Identifikasi Pola Patahan

3.3 Hasil Pengamatan Mikro

Pembesaran dilakukan pada tiga titik yang berbeda yaitu 1000x, 2600x dan 5000x.



Gambar 9. Struktur Mikro Round Chain

Hasil pengamatan mikro terdapat beberapa bagian *crack* pada permukaan struktur yang diduga hasil dari reaksi gaya tarik yang bekerja pada *round chain*.

3.4 Hasil Komposisi Kimia

Hasil Komposisi Kimia menunjukkan perbedaan persentase elemen unsur, dimana nilai persentase di bawah standar kecuali *silicon* yang memiliki persentase sama.

Tabel 4. Hasil Komposisi Kimia

Col. El	Element Number	Element Symbol	Element Name	Atomic Coc.
	6	C	Carbon	0.22
	13	Al	Aluminum	0.032
	14	Si	Silicon	0.20
	24	Cr	Chromium	0.52
	25	Mn	Manganese	1.21
	26	Fe	Iron	96.278
	28	Ini	Nickel	1.00
	42	Mo	Molybdenum	0.54

3.5 Analisa Titik Krisis

Dalam mencari titik tegangan dominan, dibutuhkan beberapa informasi data spesifikasi terkait peralatan untuk dilakukan perhitungan gaya yang akan di *input* ke dalam simulasi.

Tabel 5. Spesifikasi *Equipment*

Spesifikasi	Nilai	Satuan
Berat <i>chain</i>	3,83	Kg/m
Berat lori	4000	Kg
Panjang kontruksi (l)	73,3	m
Kapasitas lori	7000	Kg
Berat <i>dolly</i>	30	Kg
Material <i>rail track</i>	Steel alloy	
Koefisien gesek statis (baja-baja)	0,74	
Koefisien gesek gelinding roda lori dengan <i>rail track</i> (baja-baja)	0,001 – 0,002	

3.5.1 Perhitungan Aktual

- 1) Perhitungan Gaya Total
 - a) Perhitungan Gaya Lori

$$F = m_{lori} \cdot g \cdot \mu \cdot n$$

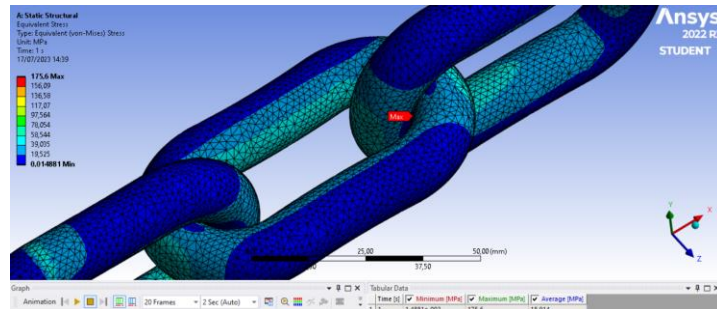
$$= 1.294,92 \text{ N}$$
 - b) Perhitungan Gaya *Chain*

$$F = m_{chain} \cdot l \cdot g \cdot \mu_s$$

- = 3.976 N
- c) Perhitungan Gaya Dolly
 $F = m_{dolly} \cdot g \cdot \mu_s$
 = 0,58 N
- d) Perhitungan Total
 $\Sigma F = m_{lori} + m_{chain} + m_{dolly}$
 = 5.271,5 N
- 2) Perhitungan Tegangan pada Chain
- a) Perhitungan Luas Penampang
 $A = \frac{\pi}{4} \cdot d^2$
 = 153,86 mm²
- b) Perhitungan Tegangan
 $\sigma = \frac{F}{A}$
 = 34,26 N/mm²

3.5.2 Equevalent Stress

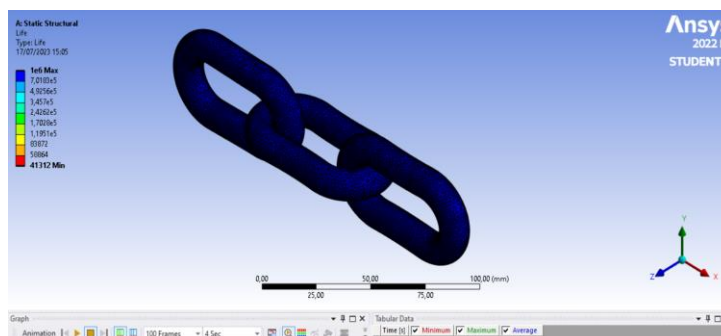
Hasil simulasi dari *equevalent stress* dengan nilai terbesar adalah 175,6 MPa dengan titik tegangan terbesar berada pada bagian lengkungan *inner* sesuai dengan lokasi *initial crack*.



Gambar 10. Equevalent Stress Round Chain

3.5.3 Umur Tegangan Lelah (Fatigue)

Hasil dari *life simulation* dengan nilai minimum adalah sebanyak 41.312 cycle.



Gambar 11. Life Simulation Round Chain

Maka *life time* dapat dicari dengan perhitungan berikut:

- a) *Life simulation* = $\frac{\text{cycle}}{\text{operasional/hari}}$
 = $\frac{41.312}{16} = 2.582$ hari
- b) 2.582 hari = 368,9 minggu = 84,8 bulan = 7,1 tahun

Bila penggunaan *round chain* mengacu menurut standar SOP yaitu 6 gerbong untuk sekali tarik yang menghasilkan gaya sebesar 4623,76 N, maka diasumsikan *chain* memiliki umur *fatigue* selama 7 tahun 1,2 bulan. Namun pada kenyataannya pada tahun ke-5 operasional, telah ditemukan bentuk-bentuk kegagalan

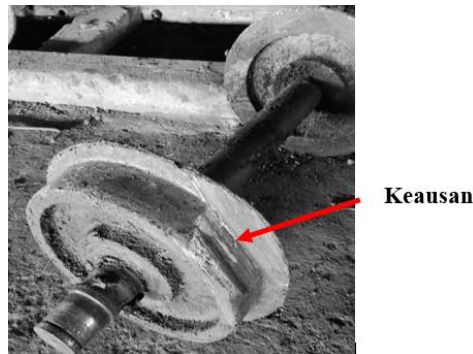
pada *round chain* yaitu putus. Maka dari itu, adanya faktor eksternal di luar perhitungan yang perlu ditinjau kembali kondisi aktual operasi di lapangan.

3.6 Tinjauan Kembali

Ditemukan peralatan dan kondisi operasional yang mempengaruhi kinerja dari *round chain* yaitu sebagai berikut:

1) Roda Lori Abnormal

Tidak berputarnya roda membuat terjadi gesekan yang disebabkan oleh mengeringnya *bearing*.



Gambar 12. Keausan pada Roda Lori

Pengaruh dari gesekan ini akan membuat nilai koefisien gesek gelinding menjadi koefisien gesek statis dengan persamaan berikut:

a) Perhitungan Gaya Lori *Abnormal*

$$\begin{aligned}
 F &= \text{Berat } \frac{1}{2} \text{ lori normal} + \text{Berat } \frac{1}{2} \text{ lori abnormal} \\
 &= \frac{m_{lori} \cdot g \cdot \mu \cdot n}{2} + \frac{m_{lori\ ab} \cdot g \cdot \mu_s \cdot n}{2} \\
 &= \frac{11.000 \cdot 9,81 \cdot 0,002 \cdot 1}{2} + \frac{11.000 \cdot 9,81 \cdot 0,74 \cdot 1}{2} \\
 &= 40.034,61 \text{ N}
 \end{aligned}$$

b) Perhitungan Gaya Lori Normal

$$\begin{aligned}
 F &= m_{lori} \cdot g \cdot \mu \cdot n \\
 &= 1079,1 \text{ N}
 \end{aligned}$$

c) Perhitungan Gaya *Chain*

$$\begin{aligned}
 F &= m_{chain} \cdot l \cdot g \cdot \mu_s \\
 &= 3.976 \text{ N}
 \end{aligned}$$

d) Perhitungan Berat *Dolly*

$$\begin{aligned}
 F &= m_{dolly} \cdot g \cdot \mu_s \\
 &= 0,58 \text{ N}
 \end{aligned}$$

e) Perhitungan Total

$$\begin{aligned}
 \Sigma F &= m_{lori.ab} + m_{lori} + m_{chain} + m_{dolly} \\
 &= 45.090,29 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Hasil simulasi dari *equevalent strees* dengan nilai terbesar adalah 1689,9 MPa, dimana tegangan ini melebihi batas kemampuan yaitu 650 N/mm² yang mengindikasikan terjadinya *overload*.

2) Jumlah Lori di atas SOP

Terjadinya penarikan beban di atas SOP yaitu 14 gerbong. Menurut operator, hal ini dilakukan guna mendorong keluar 6 gerbong lori dari dalam *sterilizer* untuk digantikan 6 lori yang akan bergantian direbus. Sedangkan pada 2 lori yang tersisa hanya digunakan untuk melewati jembatan *sterilizer* dan akan ditarik kembali [14]. Berikut perhitungan yang terjadi:

a) Perhitungan Gaya Lori

$$\begin{aligned}
 F &= m_{lori} \cdot g \cdot \mu \cdot n \\
 &= 3.021,48 \text{ N}
 \end{aligned}$$

b) Perhitungan Gaya *Chain*

$$F = m_{chain} \cdot I \cdot g \cdot \mu_s \\ = 3.976 \text{ N}$$

c) Perhitungan Gaya Dolly

$$F = m_{dolly} \cdot g \cdot \mu \\ = 0,58 \text{ N}$$

d) Perhitungan Total

$$\Sigma F = m_{lori} + m_{chain} + m_{dolly} \\ = 6.998,04 \text{ N}$$

Hasil simulasi dari *equevalent strees* dengan nilai terbesar adalah 208,4 MPa. Tidak terjadi *overload* dari hasil tegangan ini, namun hasil dari *life simulation* didapat nilai minimum yaitu 22.043 *life* yang dijabarkan dengan persamaan berikut:

$$\text{Life simulation} = \frac{\text{cycle}}{\text{operasional/hari}} \\ = \frac{22.043}{12} = 1.836,9 \text{ hari} \\ = 1.836,9 \text{ hari} = 262,4 \text{ minggu} = 60,3 \text{ bulan} = 5 \text{ tahun}$$

4. KESIMPULAN

Berdasarkan investigasi analisa kegagalan dalam penelitian ini, maka dapat diambil kesimpulan bahwa jenis kegagalan yang terjadi merupakan jenis kegagalan *fatigue*. Pada permukaan pola patahan terdapat *beachmark* pada *crack propagation* yang merambat hingga menuju *final fracture*. faktor yang menyebabkan kegagalan dibagi menjadi dua yaitu faktor internal dan faktor eksternal, yaitu: (a) Faktor Internal: Terdapat perbedaan persentase dari jumlah unsur komposisi kimia. Dimana hal tersebut membuat perbedaan sifat dan karakteristik dari material standar. (b) Faktor Eksternal: Roda abnormal lori turut menyumbang kegagalan terbesar. Dengan kemungkinan terparah yaitu roda tidak berputar, namun hanya menggesek rel menyebabkan tegangan *overload* yaitu 1689,9 MPa melebihi batas kemampuan yaitu 650 N/mm². Kemudian terdapat pembebanan di atas SOP yaitu 14 lori yang menyebabkan tegangan sebesar 208,4 MPa. Tidak terjadi *overload* dari tegangan tersebut, namun mengurangi *life time* menjadi 5 tahun. Mekanisme kegagalan *round chain* diawali dari *initial crack* yang dikarenakan adanya tegangan berulang. *Initial crack* terjadi pada bagian lengkungan dalam, dimana pada bagian ini adalah struktur yang secara langsung berhubungan dengan link chain lain. Berdasarkan simulasi yang dilakukan, titik tegangan terbesar berada dilokasi yang sama dengan *fracture* pada *round chain*. Kemudian retakan merambat ke permukaan struktur dalam *round chain* sebelum terjadinya *final fracture* dikarenakan *round chain* tidak mampu menahan tegangan yang terjadi, sehingga menyebabkan *fatigue failure*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Dan, I., Dan, I., & Co, P. (n.d.). (2016) *Dipersembahkan Oleh Clay Anselmo*, RAC.
- [2] Akuan, A. (2007). Kelelahan logam. *Jurusan Teknik Metalurgi Fakultas Teknik*
- [3] Aliya, D. (2022). The Failure Analysis Process—An Overview. *Journal of Failure Analysis and Prevention*, 22(1), 42–57. <https://doi.org/10.1007/s11668-021-01328-y>
- [4] Korda, A. [Akhmad A. Korda]. (2020). Mekanika Retakan Modul 2 Segmen 4: Konsentrasi Tegangan, Kasus Jendela Pesawat [Video]. Youtube. <https://www.youtube.com/watch?v=4XXzZdDyBeQ>
- [5] Callister, W. D. (1991). Materials science and engineering: An introduction (2nd edition). *Materials & Design*, 12(1). [https://doi.org/10.1016/0261-3069\(91\)90101-9](https://doi.org/10.1016/0261-3069(91)90101-9)
- [6] Matanari, A. (2019). Analisa Kekuatan Rantai Pada Mini Crane Portable Kapasitas 1 Ton. *News.Ge*.
- [7] Danuputro Sebastianus, Witantyo. (2015) Investigasi Penyebab Kerusakan Chain Bucket Elevator pada 7 th Finish Mill Transport System Area di Tuban IV PT. Semen Gresik (Skripsi Sarjana). Instuntut Teknologi Sepuluh November, Surabaya.
- [8] Kurtus, R. (2022). Coefficient of Rolling Friction. School for Champions. https://www.school-for-champions.com/science/friction_rolling_coefficient.htm
- [9] Malinda, M. (2016). Investigasi Kegagalan U-Bolt Chain Bucket Elevator M4135 PT. Petrokimia Gresik (Skripsi Sarjana). Instuntut Teknologi Sepuluh November, Surabaya.
- [10] Maulana, A. (2022). Analisis Fatigue Menggunakan Autodesk Inventor Terhadap Kontruksi Mesin Pencacah Sabut Kelapa. *MACHINERY: Jurnal Teknologi Terapan*, 3 (1), 17–22.

- [11] Helmi, I. (2021). Analisa Kegagalan Pada Chain FFB Conveyor di PT. LBP Dengan Menggunakan Simulasi CAE. *MACHINERY: Jurnal Teknologi Terapan*, 2 (2), 73–81.
- [12] PT Hindoli. (2022). Data Sheet Downtime Undertow System PT. Hindoli Mill Sungai Lilin, Musi Banyuasin, Sumatera Selatan. Diakses pada tanggal 5 Maret 2023 pukul 09:00 WIB
- [13] PT Hindoli. (2022). Dokumen Perusahaan PT Hindoli Mill Sungai Lilin, Musi Banyuasin, Sumatera Selatan. Diakses pada tanggal 5 September 2022 pukul 08:00 WIB
- [14] Wasi, Ibnu A. (2021). Analisa Kekerasan Baja AISI 4130 Dengan Metode Pack. *MACHINERY: Jurnal Teknologi Terapan*, 2 (3), 133–139.
<https://jurnal.polsri.ac.id/index.php/machinery/article/view/3914/1826>