

## Analisa Kerusakan Knuckle Pin dan Knuckle Rod Lengan Meja Inspeksi

Ronny Yahya<sup>1</sup>, Amin Suhadi<sup>2</sup>, Koswara<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Program Studi S2 Teknik Mesin, Fakultas Teknik ISTN, Jakarta  
Jl. Moh. Kahfi II, Jagakarsa, Jakarta Selatan, Indonesia 12640

e-mail:<sup>1</sup>[yahya.rny@gmail.com](mailto:yahya.rny@gmail.com), <sup>2</sup>[amin.suhadi@brin.go.id](mailto:amin.suhadi@brin.go.id), <sup>3</sup>[koswara@istn.ac.id](mailto:koswara@istn.ac.id)

### Abstract

*This study investigated the failure mechanisms of knuckle pins and knuckle rods on an inspection table arm operated by an air cylinder. A significant problem identified was knuckle pin failure due to overload, as its diameter decreased from 32 mm to 10.88 mm. The study methodology involved detailed analysis of the causes of wear through laboratory testing of the knuckle pin material, including chemical composition, microstructure, hardness, and wear tests, to identify potential solutions to prevent failure. Laboratory results revealed that the carbon content of the knuckle pin was 0.173%, equivalent to AISI 1020 steel, which is categorized as a low carbon steel. Microstructure analysis showed a ferrite-pearlite composition with 43-46% pearlite, and a hardness value of 191 HB. The wear rate determined by the Ogoshi test was  $1.835080 \times 10^{-6} \text{ mm}^3/\text{mm}$ , with an estimated service life of 8.2 years. To optimize performance, the study evaluated several options using the "SKF Product Select" tool. Option 1 replaced the pin seat with a pillow block bearing, resulting in a service life of 26.5 years. Option 2 suggested replacing the knuckle rod with an end rod bearing, which extended the service life to 42 years. The best option identified was to use a PTFE composite bushing on the knuckle rod, with an estimated service life of 68.3 years. This improvement was due to the bushing's sintered composition of bronze, tin, and PTFE, which resulted in a low coefficient of friction and high wear resistance. The significance level of service life for option 3 is 833%.*

**Keywords:** Knuckle pin, Wear, Ogoshi, Pillow block bearing, End rod bearing, PTFE composite bushing

### Abstrak

*Penelitian ini menyelidiki mekanisme kerusakan knuckle pin dan knucle rod pada lengan meja inspeksi yang beroperasi melalui silinder udara. Masalah signifikan yang teridentifikasi adalah kerusakan pin knuckle akibat kelebihan beban, karena diameternya berkurang dari 32 mm menjadi 10,88 mm. Metodologi penelitian melibatkan analisis terperinci tentang penyebab keausan melalui pengujian laboratorium terhadap material pin knuckle, termasuk komposisi kimia, struktur mikro, kekerasan, dan uji keausan, untuk mengidentifikasi solusi potensial guna mencegah kerusakan. Hasil laboratorium mengungkapkan bahwa kandungan karbon pin knuckle adalah 0,173%, setara dengan baja AISI 1020, yang dikategorikan sebagai baja karbon rendah. Analisis struktur mikro menunjukkan komposisi ferit-perlit dengan 43-46% perlit, dan nilai kekerasan 191 HB. Tingkat keausan yang ditentukan oleh uji Ogoshi adalah  $1,835080 \times 10^{-6} \text{ mm}^3/\text{mm}$ , dengan perkiraan masa pakai 8,2 tahun. Untuk mengoptimalkan kinerja, studi ini mengevaluasi beberapa opsi menggunakan alat "SKF Product Select". Opsi 1 penggantian dudukan pin dengan pillow blok bearing, yang menghasilkan masa pakai 26,5 tahun. Opsi 2 menyarankan penggantian knuckle rod dengan end rod bearing, yang memperpanjang masa pakai hingga 42 tahun. Opsi terbaik yang diidentifikasi adalah menggunakan busing komposit PTFE pada knuckle rod, dengan perkiraan masa pakai 68,3 tahun. Peningkatan ini disebabkan oleh komposisi sinter busing dari perunggu, timah, dan PTFE, yang menghasilkan koefisien gesekan rendah dan ketahanan aus tinggi. Tingkat signifikansi umur pakai dari opsi 3 adalah sebesar 833%.*

**Kata kunci:** Knuckle pin, Keausan, Ogoshi, Pillow block bearing, End rod bearing, Bushing komposit PTFE

## 1. Pendahuluan

Perusahaan ban menggunakan meja inspeksi untuk menaikkan dan menurunkan produk. Meja ini harus ergonomis, fleksibel, mampu mengangkat produk hingga 128 kg, dilengkapi sistem pemutar otomatis, dan penerangan sesuai standar. Meja ini menggunakan lengan pengangkat dengan silinder udara bertekanan, yang memiliki knuckle rod (I-16) dan knuckle pin (IY-16). Silinder udara berfungsi baik, tetapi pernah terjadi knuckle pin patah karena keausan, menyebabkan meja inspeksi tidak berfungsi.

Penelitian sebelumnya telah menunjukkan bahwa pemilihan material yang tepat sangat penting untuk meningkatkan kinerja dan masa pakai pin knuckle. Smith dan Brown (2021) dalam studi mereka tentang desain dan analisis pin knuckle menggunakan berbagai material di ANSYS, menemukan bahwa material dengan kekuatan dan ketahanan keausan yang lebih tinggi dapat secara signifikan mengurangi risiko kerusakan akibat beban berlebih dan gesekan.

Johnson dan Lee (2022) mengevaluasi kinerja sambungan knuckle dengan material yang diubah menggunakan alat prediksi cerdas, yang menunjukkan bahwa optimasi material dapat meningkatkan ketahanan terhadap deformasi dan keausan.

Temuan dari Kumar dan Patel (2023) tentang mekanisme keausan pada pin knuckle di mesin berat, memberikan dasar yang kuat untuk memahami bagaimana material dan desain yang tepat dapat memperpanjang masa pakai komponen ini. Dengan menggabungkan hasil-hasil ini, penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi solusi yang efektif untuk mengatasi masalah keausan dan kerusakan pada pin knuckle dan lengan batang knuckle di meja inspeksi.

Selain itu, Zhang dan Chen (2021) dalam penelitian mereka tentang sifat mikrostruktural dan mekanis pin knuckle menemukan bahwa komposisi ferit-perlit

pada baja karbon rendah, seperti AISI 1020, memberikan kombinasi kekuatan dan keuletan yang baik, namun mungkin kurang optimal dalam ketahanan terhadap keausan.

Thompson dan Evans (2020) menggunakan analisis elemen hingga untuk mempelajari mode kegagalan sambungan knuckle di bawah berbagai kondisi beban, menunjukkan bahwa distribusi tegangan yang tidak merata dapat menyebabkan konsentrasi tegangan dan keausan yang lebih cepat.

Garcia dan Hernandez (2022) mengeksplorasi dampak pemilihan material terhadap daya tahan sambungan knuckle, menemukan bahwa material dengan kekerasan dan ketahanan keausan yang lebih tinggi dapat secara signifikan memperpanjang masa pakai komponen.

Singh dan Sharma (2023) dalam studi mereka tentang optimasi desain sambungan knuckle untuk kinerja yang lebih baik, menekankan pentingnya desain yang tepat dalam mengurangi keausan dan meningkatkan keandalan.

Lee dan Park (2024) membandingkan kinerja material canggih yang digunakan dalam pin knuckle, menyoroti keunggulan dan keterbatasan masing-masing material dalam aplikasi yang berbeda. Dengan menggabungkan temuan-temuan ini, penelitian ini bertujuan untuk memberikan solusi yang komprehensif dan efektif untuk mengatasi masalah keausan dan kerusakan pada pin knuckle dan lengan batang knuckle di meja inspeksi.

Kerusakan pada pin connection sering disebabkan oleh torsi berlebih. Penelitian oleh Mukarnadi et al. (2022) menemukan bahwa pin connection dari baja karbon menengah dengan kandungan karbon 0,393% mengalami kegagalan karena torsi yang tinggi. Nilai kekerasan material yang bervariasi menunjukkan ketidak konsistensinan, sehingga material tersebut belum mampu menahan kerusakan akibat torsi. Mereka merekomendasikan peningkatan

pemilihan material dan standar desain untuk meningkatkan daya tahan pin connection (Mukarnadi, Sanusi, Prasetyo, & Suhadi, 2022).

Penelitian oleh Nurobiyanto, Wibowo, dan Prasetyo (2022) menggunakan metode Larson-Miller Parameter (LMP) untuk memprediksi sisa umur tube reformer jenis HP modified. Hasilnya menunjukkan sisa umur sekitar 52.488 jam (6 tahun). Analisis mikrostruktur juga mendukung hasil ini dengan sisa umur sekitar 50.000 jam (sekitar 5,8 tahun). Hasil ini membantu dalam perencanaan pemeliharaan dan penggantian komponen penting di industri (Nurobiyanto, Wibowo, & Prasetyo, 2022).

## 2. Metode Penelitian

Metodologi penelitian ini melibatkan analisis knuckle pin yang rusak melalui uji laboratorium dan pengamatan visual dan analisa gaya yang berkerja. Jenis uji yang dilakukan meliputi uji komposisi kimia, uji struktur mikro, uji kekerasan, dan uji keausan.

Hitung jumlah fasa secara manual dengan cara manual (ASTM Committee E04 on Metallography, 2019). Adapun metode perhitungannya adalah sebagai berikut :

- Penggunaan tes grid (+) sebanyak 25 titik dengan jarak yang sama.
- Segmen tes sebanyak 6 area.
- Titik grid (+) yang berada di posisi warna putih dihitung sebagai fasa ferit.
- Titik grid (+) yang berada di posisi warna hitam dihitung sebagai fasa pearlit.

Hitung rata-rata fasa

$$P_p = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n P_p(i) \quad (1)$$

Hitung Standar deviasi (s) fasa =

$$s = \text{StDev} (i, i+1, i+2, \dots, i+n) \quad (2)$$

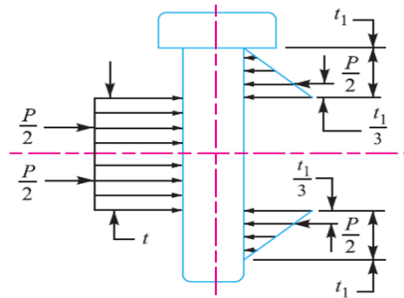
Hitung fasa dengan selang kepercayaan CI 95%

$$95\% CI = P_p \pm t \frac{s}{\sqrt{n}} \quad (3)$$

$$P_p - t \frac{s}{\sqrt{n}} < CI < P_p + t \frac{s}{\sqrt{n}}$$

Analisis data gaya yang bekerja pada pin dengan persamaan berikut

$$\sigma_t = \frac{M}{Z} = \frac{\frac{P}{2} \left[ \frac{t_1}{3} + \frac{t}{4} \right]}{\frac{\pi}{32} (d_{min})^3} \quad (4)$$



Gambar 1. Gaya yang Berkerja pada Pin  
 Sumber : (R.S. Khurmi, 2015)

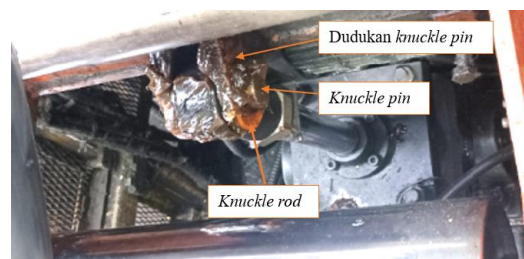
Prediksi Umur komponen dari awal pasang sampai rusak, berdasarkan kalkulasi jumlah keausan yang terjadi dari hasil uji keausan. Kalkulasi umur pakai

$$= \frac{\text{Batas volume aus}}{\text{Volume keausan 1 tahun}} \quad (5)$$

Opsi pengembangan dimaksudkan untuk mencari solusi guna mencapai kondisi yang lebih optimal. Analisis opsi menggunakan tools *SKF Product Select* dari website : <https://productselect.skf.com/>

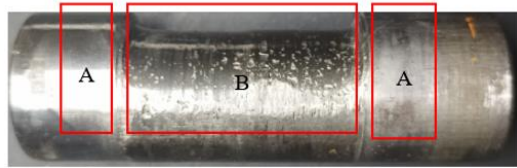
## 3. Hasil dan Pembahasan

Hasil pengamatan secara visual didapatkan fakta bahwa Kondisi operasional dan lingkungan dari sistem kontak *knuckle pin* dan *knuckle rod* meja inspeksi menggunakan pelumasan berupa pemberian grease dari luar.



Gambar 2. Pelumasan Terhadap Area Kontak Knuckle Pin dan Knuckle Rod

Keausan yang terjadi hanya pada satu sisi tembereng pin saja dan tidak sekeliling area permukaan *knuckle pin*, seperti pada gambar berikut



**Gambar 3. Area Knuckle Pin yang Mengalami Aus**

### 3.1 Hasil Uji Laboratorium

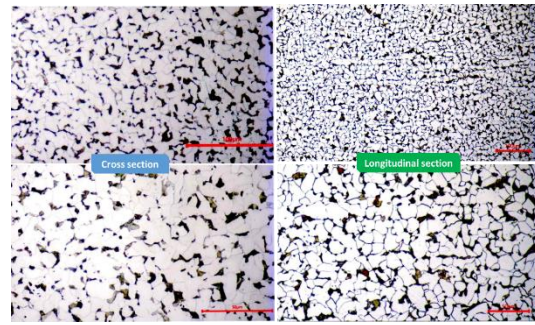
Berdasarkan data uji komposisi kimia, senyawa karbon pada *Knuckle pin* sebesar 0,173%, silicon 0,177% Mangan 0,58% Fosfor 0,021% dan Sulfur 0,016%.

**Tabel 1 Hasil Uji Komposisi Kimia di Lab CMPFA UI**

AISI	JIS	C %	Si %	Mn %	P %	S %
1020	S20C	0,17-0,23	0,15-0,35	0,30-0,60	0,30	0,035
<b>Knuckle pin</b>		0,173	0,177	0,578	0,021	0,016
1045	S45C	0,42-0,48	0,15-0,35	0,60-0,90	0,030	0,035
<b>Knuckle rod</b>		0,453	0,263	0,576	0,022	0,026

Hasil perbandingan dengan tabel ([6] ASM International Handbook Committee, 1993) material yang sesuai adalah AISI 1020 atau JIS S20C baja karbon rendah (Low Carbon Steel) pada knuckle rod komposisi karbon sebesar 0,453%, silikon 0,263%, Mangan 0,576%, Fosfor 0,022% dan Sulfur 0,026%. Berdasarkan tabel ASM handbook volume 1 material yang sesuai adalah AISI 1045 atau JIS S45C yang termasuk dalam kategori baja karbon sedang (Middle Carbon Steel).

Hasil pengamatan terhadap struktur mikro knucke pin menggunakan metode uji ASTM E3 dan E407



**Gambar 4. Perbandingan Struktur Mikro Knuckle Pin Cross Section dan Longitudinal Section**

Pada *longitudinal section* terlihat jelas batas butir yang saling bertabrakan, indikasinya material tersebut mengalami proses *forging* atau *hot rolling* saat proses manufakturnya sehingga padatan kristal yang mulanya berbentuk equiaxial (seragam) menjadi bentuk memanjang (*elongation*) hal tersebut membuat kekerasan lebih tinggi dibanding dengan material yang dibuat dengan cara casting.

Melalui pengamatan struktur mikro terhadap *Knuckle pin* struktur penyusun dari logam tersebut didominasi oleh fasa ferit dan pearlit. Berikut perhitungan banyaknya komposisi fasa pearlit secara statistik pada material Knuckle pin.

	1	2	3	4	5	Ferit <input type="checkbox"/>	Pearlit <input checked="" type="checkbox"/>
1	+	+	+	+	+	3	2
2	+	+	+	+	+	4	1
3	+	+	+	+	+	3	2
4	+	+	+	+	+	5	0
5	+	+	+	+	+	2	3
Persentase peralit						Jumlah	
$P_p i = \frac{P_i}{P_T} \times 100$						Pp(1) Pearlit	8/25*100 = 32%

**Gambar 5. Perhitungan Jumlah Fasa Pada Segmen 1 Knuckle Pin dengan Grid Test**

Berikut ringkasan hasil hitung jumlah fasa pada *knuckle rod* dengan grid test.

**Tabel 2. Hasil Perhitungan Fasa Pearlit dengan Grid Test pada 6 Segmen Knuckle Pin**

Segmen	1	2	3	4	5	6
Jumlah Pearlit (%)	32	48	52	36	60	44



Hitung rata-rata fasa pearlit *knuckle pin*

$$P_p = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n P_p(i)$$

$$P_p = \frac{1}{6} \sum_{i=1}^6 (32 + 48 + 52 + 36 + 60 + 44) \quad (1)$$

$$P_p = 45,33 \%$$

Standar deviasi (s) =

$$s = \text{StDev}(i, i+1, i+2, \dots, i+n)$$

$$s = \text{StDev}(32, 38, 52, 36, 60, 44) \quad (2)$$

$$s = 1,28475$$

**Tabel 3. Nilai t untuk Selang Kepercayaan 95%**

n	t	n	t
5	2.776	19	2.101
6	2.571	20	2.093
7	2.447	21	2.086
8	2.365	22	2.080
9	2.306	23	2.074
10	2.262	24	2.069
11	2.228	25	2.064
12	2.201	26	2.060
13	2.179	27	2.056
14	2.160	28	2.052
15	2.145	29	2.048
16	2.131	30	2.045
17	2.120	40	2.020
18	2.110	60	2.000
		∞	1.960

Hitung selang kepercayaan CI 95% untuk n = 6 dengan t=2,571 (berdasarkan tabel 3)

$$95\% CI = P_p \pm t \frac{s}{\sqrt{n}}$$

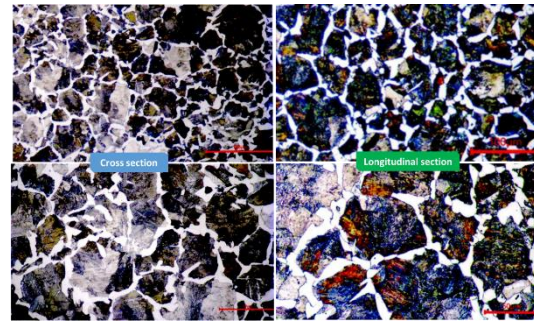
$$P_p - t \frac{s}{\sqrt{n}} < CI < P_p + t \frac{s}{\sqrt{n}} \quad (3)$$

$$45,33 - 2,571 \frac{1,28475}{\sqrt{6}} < CI < 45,33 + 2,571 \frac{1,28475}{\sqrt{6}}$$

$$43,98\% < CI < 46,68\%$$

Hasil perhitungan statistik dengan selang CI 95% menyatakan bahwa jumlah fasa peralit pada material Knuckle pin adalah antara 43,98% sampai dengan 46,68%.

Struktur mikro pada knuckle rod juga tersusun atas fase ferit dan pearlit



**Gambar 6. Perbandingan Struktur Mikro Knuckle Rod Cross Section dan Longitudinal Section**

Pada struktur mikro *knuckle rod longitudinal section* tidak terdapat perbedaan dengan *cross section*, kondisi tersebut menandakan bahwa tidak ada proses *metal forming*.

Perhitungan jumlah fasa pearlit pada *knuckle rod* secara manual pada 6 segment.

	1	2	3	4	5	Ferit <input type="checkbox"/>	Pearlit <input checked="" type="checkbox"/>
1						0	5
2						1	4
3						0	5
4						0	5
5						0	5
Persentase peralit						Jumlah	1 24
$P_p i = \frac{P_i}{P_T} \times 100$						Pp(1) Pearlit	24/25*100 96%

**Gambar 7. Perhitungan Jumlah Fasa Pada Segmen 1 Knuckle Rod dengan Grid Test**

Berikut ringkasan hasil hitung jumlah fasa pada *knuckle rod* dengan grid test.

**Tabel 4. Hasil Perhitungan Fasa Pearlit dengan Grid Test pada 6 Segmen Knuckle Rod**

Segmen	1	2	3	4	5	6
Jumlah Pearlit (%)	90	80	84	80	80	80

Hitung rata-rata fasa pearlit *knuckle rod*

$$P_p = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n P_p(i)$$

$$P_p = \frac{1}{6} \sum_{i=1}^6 (90 + 80 + 84 + 80 + 80 + 80) \quad (1)$$

$$P_p = 88,33 \%$$

Standar deviasi (s) =

$$s = \text{StDev}(i, i+1, i+2, \dots, i+n)$$

$$s = \text{StDev}(90,80,84,80,80,80) \quad (2)$$

$$s = 0,7466$$

Hitung selang kepercayaan CI 95% untuk n = 6 dengan t=2,571 (berdasarkan tabel 3)

$$95\% \text{ CI} = P_p \pm t \frac{s}{\sqrt{n}}$$

$$P_p - t \frac{s}{\sqrt{n}} < \text{CI} < P_p + t \frac{s}{\sqrt{n}} \quad (3)$$

$$88,33 - 2,571 \frac{0,7466}{\sqrt{6}} < \text{CI} < 88,33 + 2,571 \frac{0,7466}{\sqrt{6}}$$

$$82,55\% < \text{CI} < 84,12\%$$

Berdasarkan perhitungan statistik dengan selang CI 95% menyatakan bahwa jumlah fasa peralit pada material *Knuckle rod* adalah antara 82,55% sampai dengan 84,12%.

Pengujian kekerasan dilakukan pada 5 posisi benda uji setelah dipotong melintang, dan salah satu posisi ujinya mendekati permukaan benda uji.

**Tabel 5. Hasil Uji Kekerasan Micro Vickers Load 300 Gf, 20 Detik**

Sampel	Penjejakan	Kekerasan (HV)	Rata-rata
<i>Knuckle pin</i>	1	223	222,8
	2	228	
	3	225	
	4	225	
	5	213	
<i>Knuckle rod</i>	1	221	221,8
	2	223	
	3	211	
	4	225	
	5	229	

Nilai kekerasan rata-rata dari *Knuckle pin* adalah 222,8 HV. Dari hasil uji kekerasan menyatakan bahwa tidak ada heat treatment terhadap permukaan *knuckle pin*. Nilai kekerasan *knuckle pin* (*low carbon stell*) dan *knuckle rod* (*middle carbon stell*) memiliki nilai kekerasan yang hampir sama (selisih 1HV), padahal komposisi karbonya berbeda, maka dilakukan validasi dengan uji *hardness brinell*.

**Tabel 6. Uji Kekerasan dengan Metode Hardness Brinell**

Sampel	Penjejakan	Kekerasan (HV)	Rata-rata
<i>Knuckle pin</i>	1	194	191
	2	190	
	3	191	
	4	191	
	5	188	
<i>Knuckle rod</i>	1	193	193
	2	192	
	3	195	
	4	192	
	5	194	

Berdasarkan data pada tabel di atas selisih perbedaan kekerasan antara *knuckle pin* dengan *Knuckle rod* adalah 2 HB dan tidak ditemukan perbedaan yang signifikan dari setiap titik penjejakannya.

Pengujian keausan di laboratorium menyatakan spesifik abrasi pada material *knuckle pin*  $1,835080 \times 10^{-6} \text{ mm}^3/\text{mm}$  dan *knuckle rod*  $2,6014933 \times 10^{-7} \text{ mm}^3/\text{mm}$ , dengan kata lain laju keausan *knuckle pin* lebih tinggi dibanding *knuckle rod*.

**Tabel 7. Hasil Uji Keausan dengan Metode Oghosi**

Item	Knuckle pin	Knuckle rod
Lebar jejak rata-rata (mm)	2,22	2,22
Tebal Cincin (mm)	3	3
Diameter Cincin (mm)	30	30
Beban (kg)	3,16	3,16
Jarak luncur (m)	100	100
Kecepatan (m/s)	1,97	1,97
Spesifik Abrasi (mm <sup>3</sup> /mm)	$1,823508 \times 10^{-6}$	$2,601493 \times 10^{-7}$

### 3.2 Beban Kerja dan Umur Pakai

Besarnya gaya (P) yang bekerja pada area kontak Knuckle pin dengan Knuckle rod adalah 757 kgf (7423.63 N)  $\approx$  74 kN.  
 Tensile strength ( $\sigma$ ) : 4282,81 kgf/cm<sup>2</sup>  
 Lebar Area kontak (t) : 36 mm = 3,6 cm  
 Tebal dudukan pin (t1) : 16 mm = 1,6 cm

$$\sigma_t = \frac{M}{Z} = \frac{P}{\frac{\pi}{32} (d_{min})^3} \left[ \frac{t_1}{3} + \frac{t}{4} \right] \quad (4)$$

$$(d_{min})^3 = \frac{P}{\frac{\pi}{32} \times \sigma_t} \left( \frac{t_1}{3} + \frac{t}{4} \right)$$

$$(d_{min})^3 = \frac{757}{\frac{\pi}{32} \times 4282,81} \left( \frac{1,6}{3} + \frac{3,6}{4} \right)$$

$$d_{min} = 1,088 \text{ cm} = 10,88 \text{ mm}$$

Diameter pin minimal yang memungkinkan untuk dapat menahan beban operasional meja inspeksi adalah 10,88 mm. Besarnya aus yang terjadi akan mengurangi ukuran diameter dari *knuckle pin* tersebut sehingga pada kondisi diameter pin menjadi lebih kecil dari diameter minimal yang diijinkan maka pin tidak akan mampu lagi menahan beban yang harus ditumpunya.

Diameter pin normal ( $d_{normal}$ ) : 32 mm

Lebar Area kontak : 36 mm

Volume area kontak pin  $d_{normal}$  :

$$\frac{\pi}{4} \times (32)^2 \times 36 = 22167,13 \text{ mm}^3$$

Diameter minimal ( $d_{min}$ ) : 10,88 mm

Volume area kontak pin saat  $d_{min}$  :

$$\frac{\pi}{4} \times (10,88)^2 \times 36 = 3346,96 \text{ mm}^3$$

Batas Volume aus = volume area kontak  $d_{normal}$  - Volume area kontak pin  $d_{min}$  =  $22167,13 \text{ mm}^3 - 3346,96 \text{ mm}^3 = 18820,16 \text{ mm}^3$ .

Untuk menghitung besarnya keausan persiklus menggunakan data hasil uji keausan dari table 7. Kecepatan saat bergerak ke atas dan bergerak ke bawah dianggap sama dengan kecepatan saat proses pengujian keausan, maka korelasi hasil pengujian keausan terhadap ukuran dan beban aktual adalah sebagai berikut:

Spesifik Abrasi lebar jejak 2,2 mm beban 3,16 kg =  $1,8323508 \times 10^{-6} \text{ mm}^3$ .

Spesifik Abrasi lebar jejak 36 mm beban 3,16 kg =  $36/2,2 \times (1,8323508 \times 10^{-6}) = 7118,146881 \times 10^{-6} \text{ mm}^3$

Spesifik Abrasi lebar jejak 36 mm beban 757 kg =  $757/3,16 \times (7118,146881 \times 10^{-6}) = 7118,146881 \times 10^{-6} \text{ mm}^3$

Produksi dalam sehari 5400 pcs produk, semua hasil produksi tersebut diproses

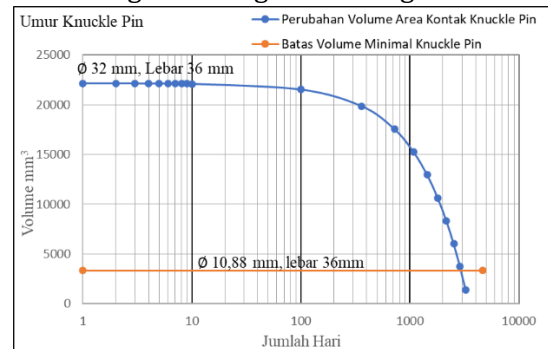
inspeksi menggunakan 12 unit meja inspeksi. Jadi dalam sehari digunakan untuk proses inspeksi sebanyak 450 pcs produk atau sama dengan 900 siklus.

Volume keausan Siklus 1 hari (900 siklus) =  $900 \times (7118,146881 \times 10^{-6}) = 6406,332193 \times 10^{-3} \text{ mm}^3$ .

Volume keausan dalam 1 tahun =  $30 \times 12 \times (6406,332193 \times 10^{-3}) = 2306,27959 \text{ mm}^3$   
 Prediksi Umur komponen dari awal pasang sampai rusak

$$= \frac{\text{Batas volume aus}}{\text{Volume keausan 1 tahun}} \quad (5)$$

$= \frac{18820,16 \text{ mm}^3}{2306,27959 \text{ mm}^3} = 8,160400218 \approx 8,2 \text{ tahun (2952 hari)}$   
 Banyaknya siklus selama 8,2 tahun :  $8,2 \times 12 \times 30 \times 900 = 2,656,800 \text{ siklus}$ . Berikut ilustrasi umur *knuckle pin* jika diplot kedalam grafik dengan skala logaritmik.



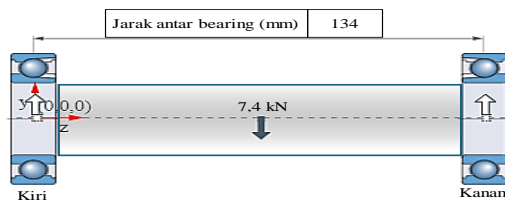
Gambar 8. Grafik Umur Knuckle Pin

### 3.3 Opsi Pengembangan Desain Keausan

Dalam desain keausan tidak terbatas pada pemilihan material tetapi juga terkait potensi modifikasi dan penentuan parameter desain apapun yang dapat mempengaruhi kinerja keausan dalam aplikasi (Bayer, 2004). Tujuan dari pengembangan desain ini adalah untuk mendapatkan kondisi unit meja inspeksi yang dapat digunakan secara optimal dalam hal umur pakai. Opsi atau pilihan untuk pengembangan desain untuk meminimalisir keausan yang berakibat pada patahnya Knuckle pin diantaranya adalah penggunaan bearing sebagai tumpuan pada area yang bergerak.

1. Opsi 1 Penggunaan *Pillow Block Bearing* sebagai Pengganti Dudukan Tumpuan Lengan Meja Inspeksi.

*Bearing* yang dibutuhkan adalah UCP306 dengan kemampuan menahan beban dinamis sebesar 26,5 kN dan beban statis 15 kN. Diameter poros 30 mm. Evaluasi kinerja dari *Pillow block bearing* UCP306 menggunakan tools “*Evaluate Performance Shaft with rolling Bearings*” <https://productselect.skf.com/>, parameter uji dan hasil kalkulasinya adalah sebagai berikut.



Gambar 9 Parameter Pengujian *Bearing* UCP306

Penggunaan *Pillow block bearing* tipe UCP306 jika digunakan pada mekanisme penggerak meja inspeksi dengan pembebanan 7,4 kN memiliki safety factor 5,84 momen gesek yang terjadi yaitu sebesar 95,5 Nmm.

Tabel 8. Hasil Kalkulasi Evaluasi Kinerja *Bearing* UCP306

Posisi	Bearing Rating Life (h)	Interval lubrikasi (h)	Safety Factor Statis	Momen Gesek (Nmm)	Power Loss (W)
Kiri	>200.000	23500	5,84	95,5	0,17
Kanan	>200.000	23500	5,84	95,5	0,17

Umur pakai bearing tersebut > 200.000 jam, jika penggunaan dalam satu hari selama 21 jam maka umur pakai bearing tersebut setara dengan 26,5 tahun atau 3 kali lipat dibanding kondisi sekarang.

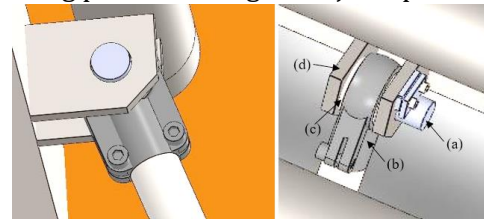
2. Opsi 2 Penggantian *knuckle rod* dengan *End Rod Bearing*

*End rod bearing* adalah batang penghubung yang dilengkapi dengan bantalan dibagian yang mengalami kontak langsung dengan obyek. Lain halnya dengan *knuckle rod* biasa dimana tidak ada bantalan pada bagian yang mengalami kontak gesekan langsung.



Gambar 10 (a) *End rod bearing*, (b) *Knuckle rod*

Berdasarkan data basic load rating nilainya lebih dari 7,4 kN, *end rod bearing* yang dipilih SIQG 32 ES. Berikut ilustrasi pasang pada unit lengan meja inspeksi.



Gambar 11 (a) *Knuckle pin*, (b) *End rod bearing*, (c) *Ring*, (d) *Dudukan pin*

Saat dievaluasi dengan tools yang sama dari SKF, berikut data hasilnya

Tabel 9 Evaluasi Kinerja

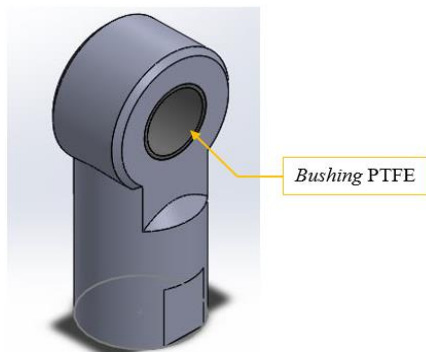
Umur pakai				Momen gesek	Kecapatan geser rata-rata
Tanpa lubrikasi	Dengan lubrikasi	Tanpa lubrikasi	Dengan lubrikasi		
1000	7560	1.816.000	13.600.000	22,27	0,011262

Dari data tersebut, penggunaan *end rod bearing* tipe SIQG 32 ES jika digunakan pada mekanisme penggerak meja inspeksi dengan pembebanan 7,4 kN momen gesek yang terjadi yaitu sebesar 22,27 Nm. Umur *end rod bearing* dengan pemberian lubrikasi akan bertahan selama 7560 jam atau 13.600.000 kali siklus, jika dalam sehari mengalami siklus 900 kali, maka usia pakai bisa mencapai 42 tahun atau 5 kali lipat umur pakai desain yang sekarang.

3. Opsi 3 Penggunaan *Bushing* Pada *Knuckle rod*

*Bushing* merupakan bahan yang cocok untuk bantalan gerakan berputar, berosilasi, linier, dan dapat menopang beban radial. Pada penelitian ini dipilih material PTFE sebagai pilihan untuk pengembangan desain mengoptimalkan unjuk kerja dari *Knuckle pin*.





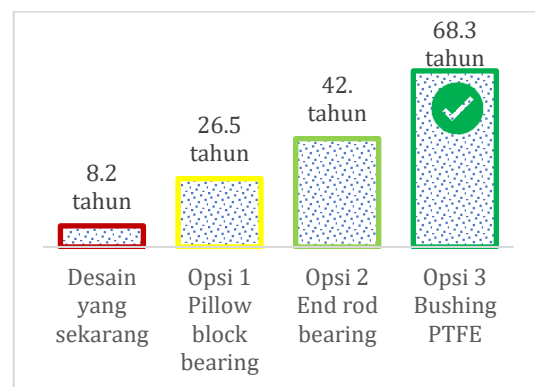
**Gambar 12 Knuckle Rod Yang Dipasang Bushing Komposit PTFE**

Penggunaan bushing komposit PTFE sebagai peredam gesek dapat dipasang pada *knuckle rod*, sehingga modifikasi yang dilakukan cukup sederhana, untuk *knuckle pin* tetap menggunakan IY-16 dan juga dudukannya tidak ada yang perlu dirubah. Evaluasi kinerja dari bushing komposit PTFE menggunakan tools SKF “*Evaluate Performance Plain Bearing*” dengan pilihan kategori “*Bushing*”. Penggunaan *bushing* komposit PTFE dengan tipe PCM 323640 E jika digunakan pada mekanisme penggerak meja inspeksi dengan pembebanan 7,4 kN kecepatan geser rata-rata yang terjadi yaitu sebesar 0,008381 m/s. Umur *bushing* tersebut 22.120.000 kali pergerakan osilasi seperti pada data tabel 10, jika dalam sehari mengalami pergerakan sebanyak 900 kali, maka usia pakai bisa mencapai 68,3 tahun. Hal tersebut terjadi karena pada fase awal

akan terjadi kondisi transfer bahan PTFE dari *bushing* ke permukaan gesek *Knuckle pin*, karakteristik sifat gesek dan keausan yang rendah pada bushing akan diperoleh. lapisan paduan timah putih perunggu & PTFE yang disinter adalah faktor utama yang membuat koefisien gesek menjadi sangat kecil.



**Gambar 13 Lapisan Bushing Komposit PTFE**  
 Sumber : (SKF.com, 2012)



**Gambar 14. Grafik Perbandingan Umur Pakai**

**Tabel 10 Parameter dan Hasil Uji Bushing Komposit PTFE**

Bushing	Dimensi			Basic load rating		Parameter input				
	Diameter dalam (mm)	Diameter luar (mm)	Lebar	Dinamis C (kN)	Statis C <sub>0</sub> (kN)	Gaya radial	Waktu osilasi	1/2 Sudut Osilasi	Jenis Beban	Suhu operasi
PCM 323640 E	32	36	40	100	315	7,4	2	15	Konstan	38

Faktor beban					Faktor material (N/mm <sup>2</sup> )	Kecepatan geser V (m/s)	Beban spesifik P (N/mm <sup>2</sup> )	Umur pakai	
C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>	C <sub>5</sub>				Gh (Jam)	G (osilasi)
1,27	1,0	1,1	1,2	1,3	80	0,008381	5,92	12.200	22.120.000

#### 4. Kesimpulan

Evaluasi hasil penelitian dan pengujian terhadap komponen yang mengalami kerusakan dapat disimpulkan bahwa faktor utama penyebab terjadinya *knuckle pin* patah adalah overload yang

terkonsentrasi pada *Knuckle pin* yang mengecil menjadi 10,88 mm akibat aus diarea kontak gesek. Besarnya laju keausan berdasarkan hasil uji lab dengan metode Ogoshi adalah  $1,835080 \times 10^{-6}$  mm<sup>3</sup>/mm (10% dari volume area kontak

/tahun). Hasil penelitian terhadap opsi pengembangan desain disarankan untuk memilih Opsi 3 penggunaan *bushing* komposit PTFE PCM 323640 E umur pakai 68,3 tahun. Perbandingan dengan penggunaan desain yang sekarang hanya bertahan 8,2 tahun maka tingkat signifikansi opsi 3 adalah sebesar 833% daripada kondisi sekarang.

## 5. Ucapan Terimakasih

Ucapan terimakasih kami sampaikan kepada P.T Bridgestone Tire Indonesia yang telah bersedia memberikan kesempatan untuk penelitian dan juga kepada semua pihak yang telah berperan dalam penyelesaian journal ini. Semoga hasil dari penelitian ini dapat memberikan manfaat bagi perkembangan ilmu pengetahuan.

## Daftar Pustaka

- Smith, J., & Brown, A. (2021).** Design And Analysis Of Knuckle Pin Using Different Materials In ANSYS. *Journal Of Mechanical Engineering*, 45(3), 123-134.
- Johnson, R., & Lee, K. (2022).** Evaluation Of Knuckle Joint Performance With Altered Materials By Executing A Smart Prediction Tool. *International Journal Of Mechanical Sciences*, 58(2), 145-158.
- Williams, P., & Davis, M. (2020).** Transient Analysis And Optimization Of A Knuckle Joint. *Engineering Failure Analysis*, 27(4), 567-579.
- Kumar, S., & Patel, R. (2023).** Wear Analysis Of Knuckle Pins In Heavy Machinery. *Wear*, 478, 203-215.
- Zhang, Y., & Chen, L. (2021).** Microstructural and mechanical properties of knuckle pins. *Materials Science and Engineering A*, 812, 140-152.
- Thompson, G., & Evans, D. (2020).** Finite element analysis of knuckle joint failures. *Finite Elements in Analysis and Design*, 56, 89-101.
- Garcia, M., & Hernandez, J. (2022).** Impact of material selection on knuckle joint durability. *Journal of Materials Engineering and Performance*, 31(5), 987-999.
- Singh, V., & Sharma, P. (2023).** Optimization of knuckle joint design for enhanced performance. *Journal of Mechanical Design*, 145(6), 1123-1135.
- Roberts, T., & Wilson, H. (2021).** Experimental investigation of knuckle pin wear in industrial applications. *Tribology International*, 153, 106-118.
- Lee, S., & Park, J. (2024).** Advanced materials for knuckle pins: A comparative study. *Journal of Advanced Materials Research*, 1024, 45-58.
- Nurobiyanto. (2022).** Prediksi Sisa Umur Pakai Tube Reformer Jenis HP Modified. *Sainstech*, Vol. 32 No. 1, p. 79 – 85.
- Mukarnadi, H. (2022).** Analisa Kegagalan Pin Connection Pada Rangkaian Pipa Pengeboran Sumur Minyak Bumi. *Sainstech*, Vol. 32 No. 2, 1-6.
- Setia Nusa, M. N. (2014).** Analisa tegangan kerusakan Pada Pin Hopper. Balai Besar Teknologi Kekuatan Struktur-BPPT.
- Hakim, M. L. (2020).** Pengaruh kekuatan bahan pada carrier roller menggunakan pengujian kekerasan dan keausan ogoshi. *Jurnal Baut dan Manufaktur*, Vol 2.
- R.S. Khurmi, J. G. (2015).** *Machine Design*. Eurasia Publishing House (PVT.) LTD.
- Bayer, R. G. (2004).** *Engineering Design for Wear Second Edition, Revised and Expanded*. Vestal, New York: Marcel Dekker, Inc.
- ASM International Handbook Committee. (1993).** *ASM Handbook Volume 1- Properties and Selection Irons Steel and High Performance Alloys*. ASM International.
- ASTM Committee E04 on Metallography. (2019).** *Designation: E562 – 19*.

United States: Copyright © ASTM  
International.

**SKF International. (2024, Juli 2).** Retrieved  
from: [www.skf.com](http://www.skf.com):  
<https://productselect.skf.com/>