

## ANALISIS KEGAGALAN PADA PERMUKAAN KONTAK RAIL DAN WHEEL PADA *OVERHEAD TRAVELLING CRANE*

\*Mochamad Iqbal Rokhim, Deni Fajar Fitriyana

Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Diponegoro  
Jl. Prof. Sudharto, SH., Tembalang-Semarang 50275, Telp. +62247460059  
\*E-Mail: iqbalrokhim96@gmail.com

### Abstrak

Demi kelancaran proses produksi semen, perlu adanya pemeliharaan tiap komponen produksi. Salah satu alat yang berperan penting dalam perawatan dan produksi semen adalah *Overhead Travelling Crane*, merupakan gabungan mekanisme pengangkat secara terpisah dengan rangka untuk mengangkat sekaligus memindahkan muatan yang dapat digantungkan secara bebas atau dikaitkan pada *crane* itu sendiri. Permasalahan yang timbul pada *Overhead Travelling Crane* diantaranya adalah arah putaran motor yang terbalik akibat kesalahan pada koneksi motor, motor yang tidak dapat start akibat power supply terputus, terjadinya *bending* (melengkung) pada *girder* karena operasi pengangkatan yang melebihi kapasitas maksimum yang juga dapat mempercepat usia pemakaian dari *girder*, aus pada *wheel* akibat beban kerja yang tinggi saat beroperasi. Dikarenakan kebutuhan pemakaian yang sangat panjang maka dibutuhkan perawatan berkala agar dapat berada dalam kondisi normal dalam waktu yang lama. Bagian utama yang menopang berat *crane* secara keseluruhan adalah *rail* dan *wheel*. Jurnal ini membahas tentang analisis kegagalan yang terjadi akibat kontak antara rel dan roda yang terjadi di pabrik semen. Analisis kegagalan dilakukan dengan cara menguji kekerasan baik roda maupun rel yang sudah dianggap gagal atau tidak layak pakai lagi. Lalu meninjau hasil pengamatan lapangan secara langsung dengan data hasil uji kekerasan serta studi literatur yang berhubungan dengan roda dan rel. Setelah itu didapatkan kesimpulan untuk dijadikan pertimbangan perusahaan untuk pengadaan rel dan roda. Kesimpulan yang didapat berupa nilai kekerasan yang ada pada rel lebih rendah dari pada roda. Mengakibatkan kegagalan pada rel sehingga rel harus diganti.

**Kata kunci:** *Failure Analysis, Flaking, Hardness Test, Overhead traveling crane, Rail, Rail Material*

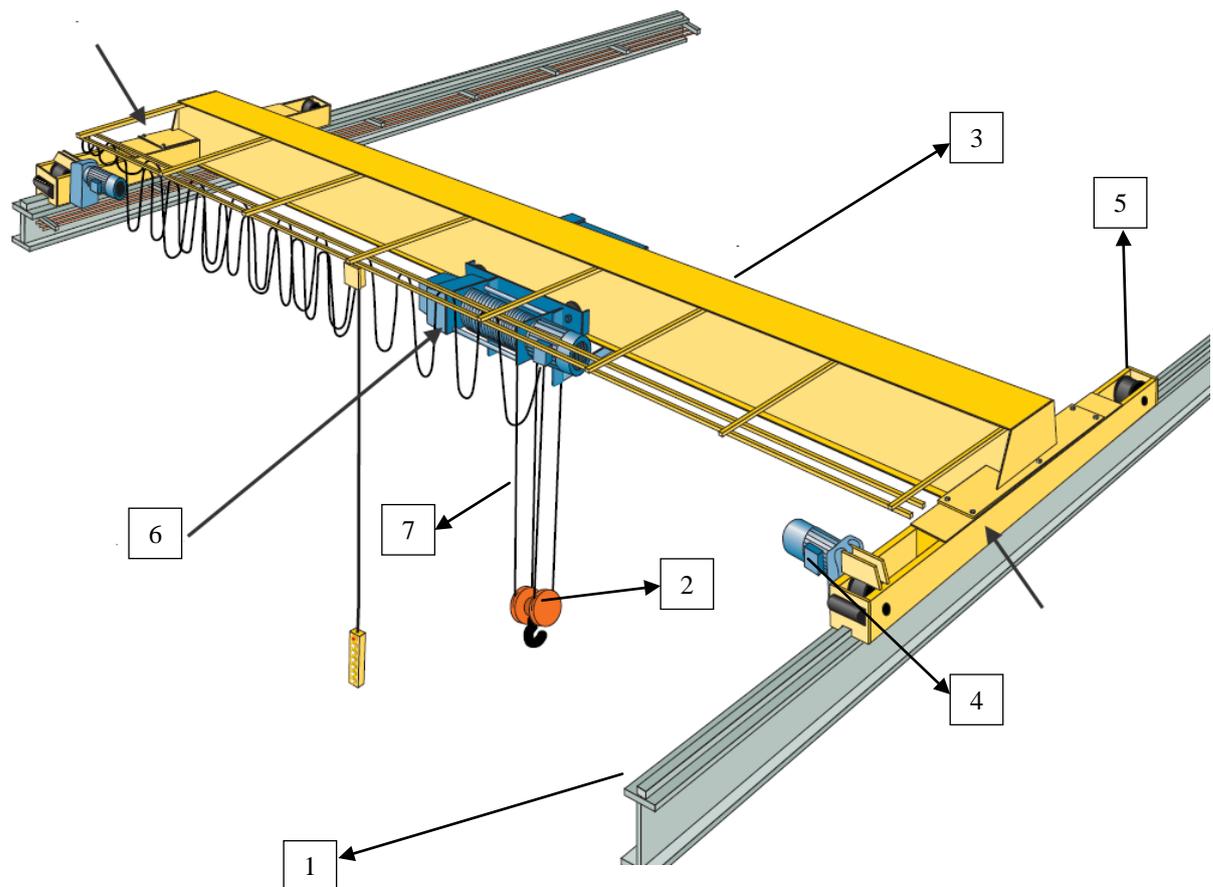
### 1. Pendahuluan

Pabrik semen mampu menghasilkan produksi semen dengan kapasitas total 20,5 juta ton semen. Pada setiap plant di pabrik semen memiliki berbagai macam alat berat yang digunakan untuk memproduksi semen dalam skala besar. Alat-alat berat tersebut harus di *maintenance* secara berkala agar produksi semen dapat dilakukan secara terus menerus. Salah satu alat bantu untuk melakukan *maintenance* alat-alat berat tersebut adalah *Overhead Travelling Crane* yang berfungsi untuk memindahkan dan mengangkat alat berat. *Overhead Crane* merupakan gabungan mekanisme pengangkat secara terpisah dengan rangka untuk mengangkat sekaligus memindahkan muatan yang dapat digantungkan secara bebas atau dikaitkan pada *crane* itu sendiri. *Overhead travelling crane* selain berfungsi sebagai alat pengangkat, juga berfungsi sebagai alat pemindah barang walaupun barang yang dipindahkan terbatas hanya pada lingkungan yang tidak terlalu luas (dalam ruangan). Tetapi *overhead travelling crane* sangat efektif bekerjanya karena gerakannya dapat maju-mundur dan ke kiri-ke kanan. Permasalahan pada *Overhead Travelling Crane* yang terjadi pada saat ini adalah aus pada *rail* dan *wheel* akibat beban kerja yang tinggi saat beroperasi. Kapasitas material yang di angkut oleh *crane* adalah sebesar sekitar 5 ton, bila diakumulasikan dengan *bucket* berat total dapat mencapai 10 ton. Berat dari *crane* seluruhnya ditanggung oleh *wheel* yang permukaannya memiliki kontak langsung dengan *rail*, dan apabila diamati, terdapat banyak partikel pengotor (bahan baku semen putih seperti *limestone*, kaolin, *feldspar* dan *clinker*) pada permukaan *rail*. Akibatnya pada permukaan *rail* terlihat bagian-bagian yang mengelupas. Hasil yang berupa *flakes* atau *spalls* ini terus ada di sepanjang *rail*. Terutama pada tempat *crane* berdiam pada saat kondisi tidak sedang bekerja. Dalam hal ini diperlukan kajian lebih lanjut mengenai permasalahan yang timbul dari rail pada *overhead travelling crane* di pabrik semen.

### 2. Material dan metodologi

#### 2.1. *Overhead travelling crane*

Gambar *overhead travelling crane* di tunjukan pada Gambar 1.



**Gambar 1.** *Overhead Crane*

Komponen *overhead crane* ini antara lain :

1. Lintasan ( *runway rail* )  
 Berfungsi sebagai jalan bagi *crane* untuk gerakan maju dan mundur.
2. *Drum*  
*Drum* penggulung tali baja untuk penggerak daya, dilengkapi dengan alur agar tali baja dapat digulung dengan teratur sehingga keausan baja dapat dikurangi.
3. Jembatan palang  
 Jembatan palang berfungsi sebagai lintasan bagi *crane* untuk bisa bergerak ke kiri dan kanan.
4. Motor penggerak roda  
 Motor penggerak roda berfungsi untuk menggerakkan roda yang ada pada lintasan Sehingga memungkinkan *crane* untuk bergerak maju dan mundur.
5. Roda penggerak  
 Roda pengerak berfungsi sebagai roda dari palang *crane* tersebut.
6. Motor penggerak naik/turun (*hoist*)  
 Berfungsi untuk menaikkan dan menurunkan benda yang di kaitkan pada pengait.
7. Tali baja  
 Tali baja digunakan secara luas pada mesin-mesin pengangkut sebagai perabot pengangkat.

Prinsip kerja pesawat angkat ini adalah untuk mengangkat menurunkan bahan baku semen putih seperti *limestone*, kaolin, *feldspar* dan *clinker* yang ada di *storage*. Dalam pengoperasiannya, benda yang akan diangkat harus bebas dari segala rintangan agar dapat dengan mudah diletakan sesuai dengan posisinya.

## 2.2. *Wheel & Rel*

Dua buah atau lebih benda yang mengalami kontak dan bergerak relatif satu sama lain akan menimbulkan gaya gesek. Bentuk dan arah gesekan yang ditimbulkan tergantung bagaimana profil, dimensi dan arah gerak dari masing-masing benda [1]. Jika ditinjau dari arah geseknya, gesekan dapat berupa gesekan satu arah (*one-directional friction*), dua arah (*bi-directional friction*) ataupun banyak arah (*multidirectional friction*). Rel yang digunakan pada perusahaan

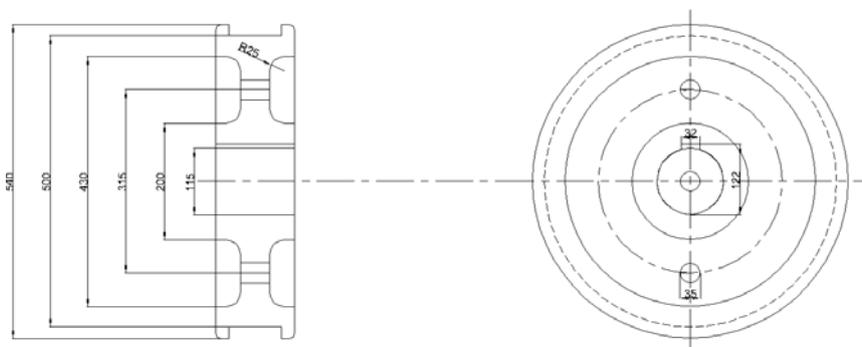
semen mengacu pada JIS E 1101 seberat 30 kg, sedangkan wheel yang digunakan mengacu pada JIS G 5111. Gambar 2 adalah gambar rel dan roda aktual di pabrik semen yang masih digunakan.



**Gambar 2** Rel dan *Wheel* di pabrik semen [2].

### 2.3. JIS G 5111

Di bawah ini merupakan gambar desain wheel serta komposisi kimia dengan spesifikasi JIS G 5111. Pada gambar 3 diperlihatkan standar dimensi dari *wheel* pada *Overhead Travelling Crane*. Material yang digunakan wheel pada *Overhead Travelling Crane* adalah SCMn2. Pada tabel 1 merupakan komposisi dari masing-masing unsur paduan SCMn2.



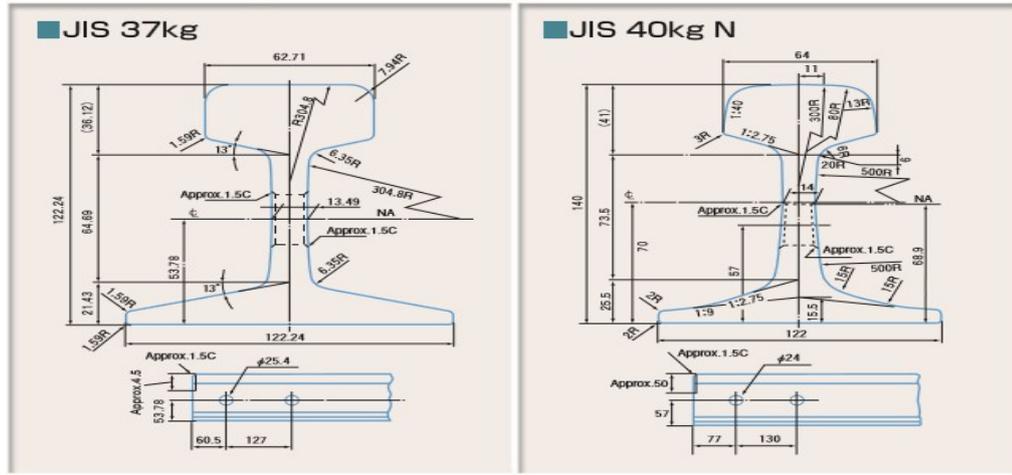
**Gambar 3** Desain *wheel* menurut Standar JIS G 5111

**Tabel 1.** Komposisi Kimia Paduan SCMn2 pada Wheel

o.	Unsur	Komposisi (%)
1.	C	0.29
2.	Si	0.46
3.	Mn	1.36
4.	P	0.02
5.	S	0.01

### 2.4. JIS E 1101

Berikut merupakan gambar dari desain *rail* serta komposisi kimia dan sifat mekanis *rail* dengan spesifikasi JIS E 1101. Pada gambar dijelaskan secara detil standar ukuran pada sebuah rel untuk crane dengan bobot tertentu. Serta pada table 2 juga dijelaskan kandungan material rel standar JIS E1101 yang dapat kita jadikan acuan untuk menganalisis kegagalan yang terjadi pada rel.



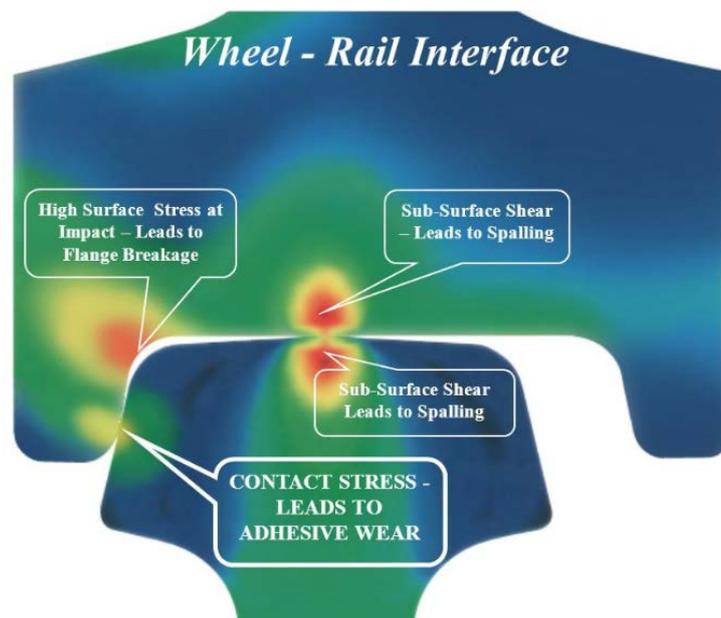
Gambar 3 Desain Rail menurut Standar JIS 37kg, 40kgN, 50kgN dan 60kg[4].

Tabel 2 Komposisi Kimia dan Sifat Mekanis Carbon Rails dengan Spesifikasi JIS E 1101[4].

Komposisi (%)					Tensile Properties			Hardness Properties	
C	Si	Mn	P	S	Tensile strength	Elongation	Test piece	Surface Rail Head	Cross Section Rail Head
0.55-0.70	0.15-0.35	0.60-0.90	0.045 max	0.050 max	690 (70) min	9%	Dia=14 mm G.L=50 mm	-	235 HB

Menurut table 2 rel kerta merupakan baja paduan karena mengandung mangan sekitar 0.8%. Dalam keadaan *annealed*, kekuatan dan keuletannya rendah, tetapi bila di *quench* dari sekitar 1000oC, kekuatan, keuletan dan kekerasannya cukup tinggi. Dan ini akan naik lebih tinggi lagi bila mengalami *impact* berulang-ulang. Hal ini berpengaruh dengan pembebanan crane yang besar.

## 2.5. Mekanisme Kontak Wheel Dan Rail



Gambar 4. Ilustrasi kontak antara rel dan roda [7].

Kontak permukaan yang terjadi antara rel dengan roda dapat dilihat pada ilustrasi di atas. Berdasarkan ilustrasi di atas terlihat permukaan kontak antara rel dan roda berada di tiga titik krusial yaitu pada bagian dua sisi dan atas rel. Kontak antara rel dan roda dapat menyebabkan beberapa kerusakan yang menyebabkan kegagalan seperti flange, spalling maupun keausan pada bagian-bagian tertentu pada rel.

## 2.6. Permasalahan Yang Terjadi Pada Kontak Wheel Dan Rail

Permasalahan-permasalahan yang terjadi pada rel di antaranya yaitu:

### a. Keausan

Berbagai faktor yang mempengaruhi keausan adalah kecepatan gerak, besarnya beban, profil permukaan serta kekerasan (*hardness*) dari material itu sendiri. Gesekan antar permukaan juga akan menimbulkan panas yang juga mempengaruhi keausan, karena dalam kajian material disebutkan bahwa kekerasan material akan berkurang seiring meningkatnya temperatur. Dampak dari gesekan antara dua material bisa dikurangi dengan memberikan pelumasan pada permukaan benda yang mengalami kontak[3]. Berikut adalah gambar keausan yang terjadi berupa kegagalan di bagian pinggir rel.



Gambar 5. Keausan yang terjadi pada rel [7]

### b. Flaking

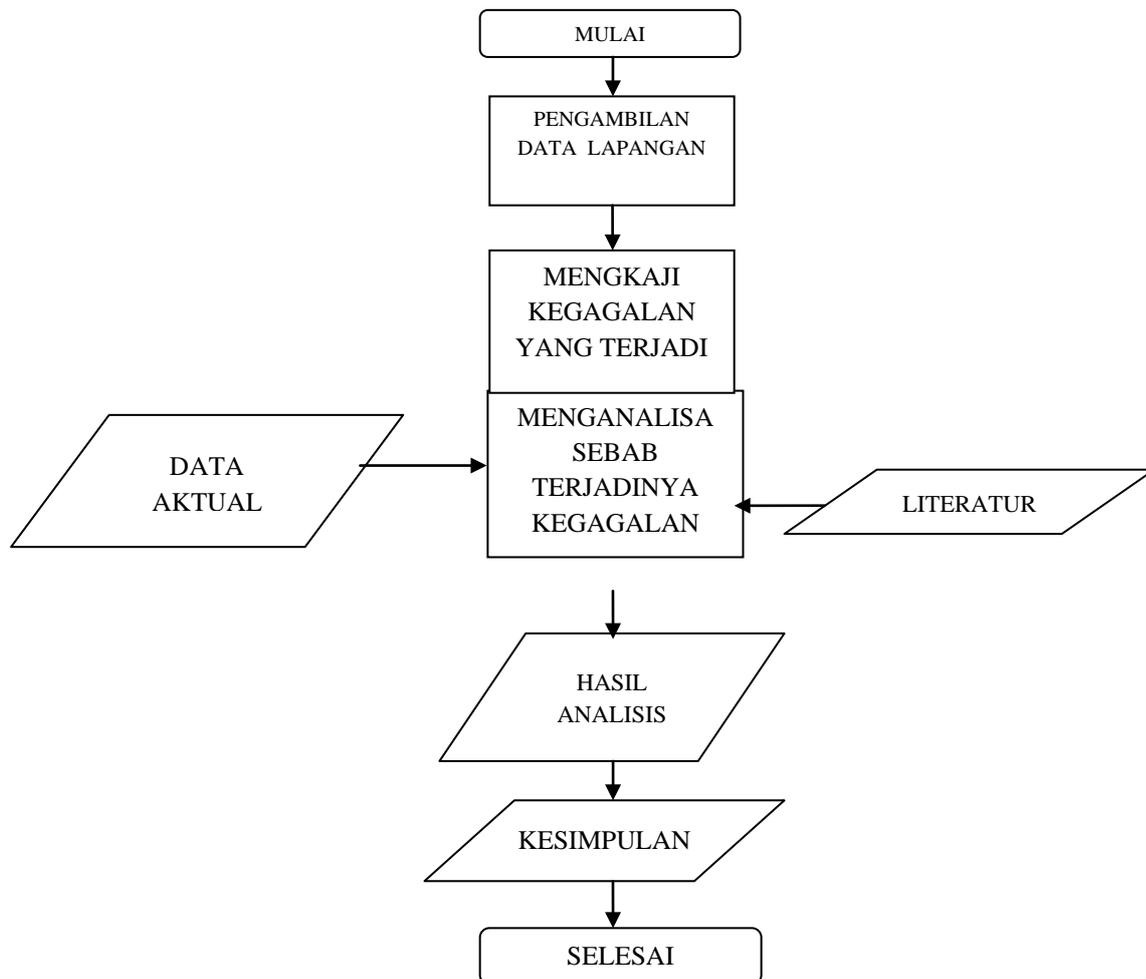
*Flaking* atau *Running Surface Checking* merupakan salah satu jenis lain dari *RCF* (*Rolling Contact Fatigue*). Ini juga merupakan sebuah kondisi pada permukaan yang terjadi pada *running surface* dari low atau high rail. Cacat jenis ini muncul seperti sebuah mosaik atau pola seperti kulit ular pada *rail head*. Pada tahap pertumbuhan *crack* selanjutnya akan menghasilkan "*spalls*" yang ukurannya dapat mencapai sekitar lebar 10-15 mm, serta kedalaman mencapai 3 mm, dan dapat terus ada sepanjang rel[5]. Berikut adalah gambar flaking yang terjadi pada rel.



Gambar 6. Spalls yang terjadi pada rel [2]

## 2.7. Diagram Alir

Berikut ini adalah diagram alir analisis kegagalan pada rel dan *wheel* di pabrik semen secara keseluruhan.



Gambar 7. Diagram alir analisis kegagalan

## 3. Hasil dan pembahasan

### 3.1. Uji kekerasan

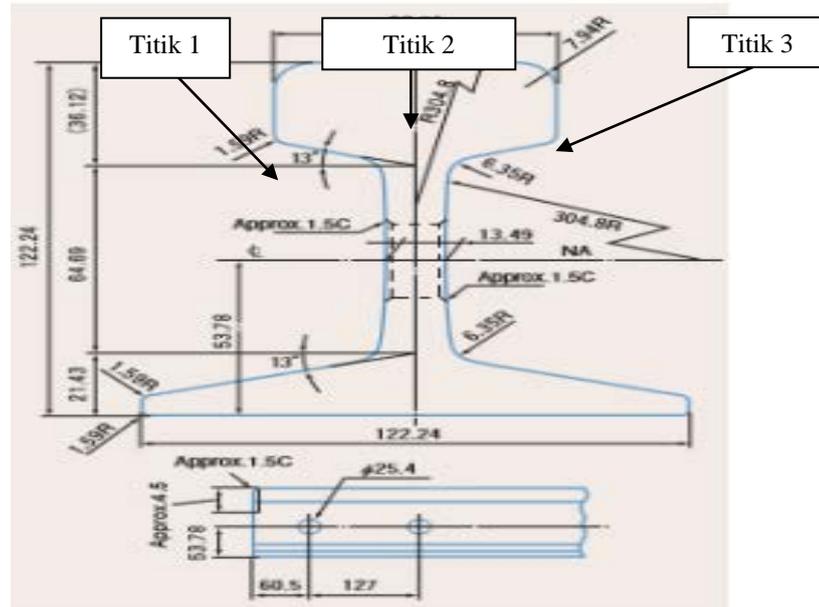
Kekerasan logam didefinisikan sebagai ketahanan terhadap penetrasi, dan memberikan indikasi cepat mengenai perilaku deformasi. Alat uji kekerasan menekankan bola kecil, piramida atau kerucut ke permukaan logam dengan beban tertentu, dan bilangan kekerasan (Brinell atau piramida Vickers) diperoleh dari diameter jejak. Kekerasan dapat dihubungkan dengan kekuatan luluh atau kekuatan tarik logam, Karena sewaktu indentasi, material di sekitar jejak mengalami deformasi plastis mencapai beberapa persen regangan tertentu. Bilangan kekerasan Brinell (BHN) diberikan oleh persamaan (1). Dimana bilangan Brinell didefinisikan sebagai tegangan  $P/A$ , dalam satuan  $\text{kgf/mm}^2$ , dimana  $P$  adalah beban dan  $A$  adalah luas permukaan kutub bola yang membentuk indentasi. Jadi

$$\text{BHN} = \frac{2P}{\pi D - \sqrt{D^2 - d^2}} \dots\dots\dots(1)$$

dimana  $d$  adalah diameter jejak dan  $D$  adalah diameter indenter.

#### 3.1.1. Titik Uji Kekerasan Rail

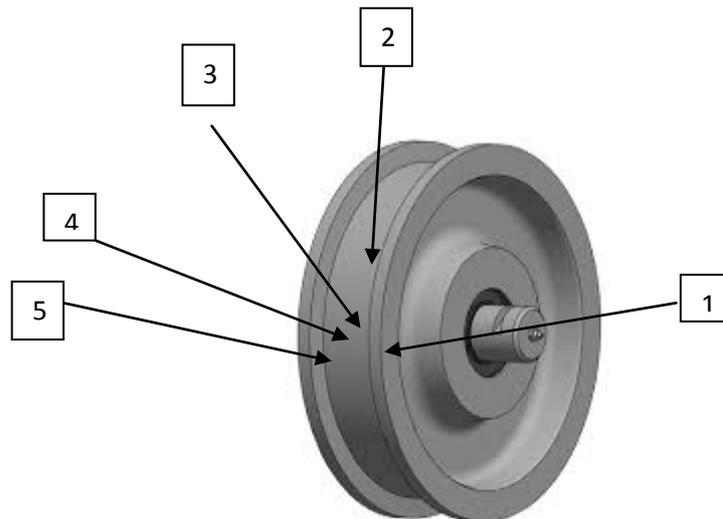
Nilai ini diperoleh dari pengujian dibagian ujung, dan ditengah rel, pada setiap bagian dilakukan dua kali *test* pada titik 1 yaitu pada bagian pinggir rel, titik 2 pada bagian tengah rel, dan titik 3 pada bagian pinggir lainnya. Dikarenakan permukaan yang bersentuhan antara roda dan rel ada di tiga titik tersebut seperti yang ditunjukkan oleh gambar berikut.



Gambar 8. Titik uji kekerasan pada rel

### 3.1.2. Titik Uji Kekerasan Wheel

Pengujian dilakukan pada beberapa titik yaitu pada permukaan, pada 2 cm dari permukaan luar, hingga 8 cm dari permukaan luar.



Gambar 9. Titik uji kekerasan pada wheel

### 3.1.3. HASIL UJI KEKERASAN PADA REL

Berikut ini merupakan table hasil uji kekerasan pada rel di tiga titik yang berbeda dan diperoleh nilai kekerasan rata-rata sebesar 175,2083 HB.

Table 3. Tabel hasil uji kekerasan rel

No.	Bagian Rail	Lokasi Uji	Test 1 (HB)	Test 2 (HB)	Rata - Rata (HB)
1.	Ujung	Titik 1	150	164,5	157,5
2.		Titik 2	190	215	202,5
3.		Titik 3	183	94	138,5
4.	Tengah	Titik 1	147	183	165
5.		Titik 2	213	218	215,5
6.		Titik 3	158	187	172,5
			Rata-rata		175,2

### 3.1.4. Hasil Uji Kekerasan Wheel

Pada data hasil uji kekerasan pada *wheel* (tabel 4.) diperoleh kekerasan permukaan sebesar 286,5 HB.

**Tabel 4.** Data uji kekerasan pada *wheel*

No.	Kedalaman dari Permukaan Luar (Cm)	Test 1 (HB)	Test 2 (HB)	Rata - Rata (HB)
1.	0 (Permukaan)	287	286	286,5
2.	2	204	216	210
3.	4	147	196	171,5
4.	6	143,5	195	195
5.	8	138	142	140
			Rata-rata =	181.67

### 3.2 Pembahasan Hasil Analisis Kegagalan Rel Dan Roda

Pada data hasil uji kekerasan didapatkan nilai kekerasan rel sebesar 175.2 HB. Apabila dibandingkan dengan standar JIS E1101 kekerasannya bernilai 235 HB ini menunjukkan bahwa kekerasan yang dimiliki oleh rel dibawah standar. Dan bila dibandingkan lagi dengan nilai kekerasan roda nilai ini masih lebih rendah dari roda. Hal ini menyebabkan terjadinya *abrasive wear*. *Abrasive wear* Terjadi bila suatu partikel keras ( asperity ) dari material tertentu meluncur pada permukaan material lain yang lebih lunak sehingga terjadi penetrasi atau pemotongan material yang lebih lunak.

Kekerasan pada rail lebih rendah daripada daripada standar JIS E1101, dan kekerasan hasil uji yang dilakukan rail lebih rendah nilainya daripada wheel. Pada permukaan rail terlihat bagian-bagian yang mengelupas. Hasil yang berupa flakes atau spalls ini terus ada di sepanjang rail. Terutama pada tempat crane berdiam pada saat kondisi tidak sedang bekerja. Flaking dapat terjadi karena adanya inisiasi dari tegangan geser yang tinggi, yang dapat berkembang pada daerah kontak roda / rel ketika tekanan seperti melebihi batas yang diijinkan untuk bahan rel. Sejumlah faktor dapat mempengaruhi tegangan geser, diantaranya:

1. Nominal, beban, dynamic, dan impact dari beban pada roda dan berbagai faktor yang mempengaruhi seperti beban, geometri track, karakteristik bogie roda dan ketidak vertikalannya rail, superelevasi track dan lain-lain
2. Slip, apabila terjadi slip maka akan menyebabkan rel scratch. Untuk itu rel harus dijaga agar tetap bersih
3. Jari-jari masing-masing roda dan rel di wilayah kontak, dan berakibat pada karakteristik roda dan profil rel.
4. Diameter roda (diameter lebih kecil menghasilkan tegangan yang lebih tinggi)
5. Gaya traksi/creep

Dengan tekanan roda/ tegangan pada kontak rel, inisiasi dari shelling crack juga bisa sangat diperburuk oleh inklusi oksida atau silikat atau 'stringers' dari inklusi yang ada pada baja rel. Pada keadaan deformasi plastic yang terjadi pada baja dekat permukaan kontak roda/rel, inklusi ini dapat mengalami retak karena sifat getas dari baja dan akibatnya menghasilkan keadaan ideal untuk terjadinya shelling fatigue cracks atau transverse defects[3].

Struktur martensit terbentuk akibat panas yang timbul saat gesekan roda dengan blok rem komposit dan saat roda gelincir pada rel yang dilanjutkan dengan pendinginan yang terjadi secara berulang-ulang. Struktur martensit membuat permukaan rel menjadi getas sehingga mudah terkelupas, dan lebih rentan terhadap retakan karena turunnya keuletan[5]. Cacat keropos yang terjadi pada rel Retakan yang terjadi pada tepi rel disebabkan oleh efek pemanasan yang dialami rel

## 4. Kesimpulan Dan Saran

### 4.1. Kesimpulan

Kesimpulan yang didapatkan adalah bahwa penyebab kegagalan pada kontak antara rel dan roda adalah nilai kekerasan rel yang ada di perusahaan semen lebih kecil dari JIS. Dari keausan dan retakan yang terjadi pada rel yang menopang overhead travelling crane dapat diketahui bahwa telah terjadi keausan abrasif dan terjadi flaking yang berupa spalls. Dari hasil uji literature dan data uji kekerasan di rel ditemukan bahwa nilai kekerasan rel yang lebih lunak daripada roda menyebabkan terjadinya keausan abrasif. Sedangkan spalls yang terjadi dikarenakan panas akibat pengereman dan gesekan yang terjadi pada antara rel dan roda disertai dengan pendinginan secara terus menerus mengakibatkan permukaan rel menjadi getas dan mudah terkelupas, menimbulkan beberapa kerutan-kerutan yang nantinya menjadi terkelupas dan gagal.

### 4.2. Saran

Perlu adanya pengujian lebih lanjut tentang kegagalan pada rel yang terjadi pada perusahaan semen. Karena penulis hanya berdasarkan uji kekerasan dan studi literature sesuai dengan kemampuan penulis. Pengujian komposisi sangat disarankan karena dapat memberikan hasil yang sangat valid dalam menentukan penyebab kegagalan. Dan pengujian Tarik juga sangat disarankan untuk dilakukan karena analisis kegagalan lebih baik bila memiliki data hasil pengujian kekerasan, uji Tarik, elongasi, dan uji komposisi.

### Referensi

- [1] Australian Rail Track Corporation, Ltd., 2006, "*Rail Defects Handbook, Some Rail Defects, their Characteristics, Causes and Control.*"
- [2] PT. indocment tunggal prakasa .Tbk
- [3] Harsy, Muhammad., 2014, "*Studi Eksperimental Keausan Permukaan Material Akibat Adanya Multi Directional Contact Friction,*"Surabaya : ITS.
- [4] RAIL. 20 Agustus 2016. <http://www.jfe-steel.co.jp/en/products/shapes/catalog/d1e-001.pdf>.
- [5] Liu, R., Li, D. Y., 2001, "*Modification of Archard's Equation by Taking Account of Elastic/Pseudoelastic Properties of Materials Wear,*" 251: 956-964.