

## Penelitian dan Analisa Kerusakan Baut Pengikat Motor Traksi Kereta Rel Listrik (KRL)

D. N. Adnyana<sup>1)</sup> dan Suharto<sup>2)</sup>

1) UPT-Laboratorium Uji Konstruksi, BPPT

2) Direktorat Jenderal Perhubungan Darat, Departemen Perhubungan

**D.N. Adnyana dan Suharto**, Penelitian dan Analisa Kerusakan Baut Pengikat Motor Traksi Kereta Rel Listrik (KRL). Jurnal Ilmu dan Rekayasa Material. Desember 1999; 1(3): 58-69

### Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk menentukan jenis dan faktor-faktor penyebab terjadinya kerusakan pada baut pengikat motor traksi dari sebuah rangkaian kereta rel listrik (KRL). Jenis-jenis pengujian yang dilakukan dalam penelitian ini meliputi uji komposisi kimia, metalografi, fraktografi, dan uji sifat mekanis seperti uji tarik dan kekerasan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa baut tersebut mengalami patah lelah (fatigue) akibat beban lentur bolak-balik (reverse bending) yang cukup besar. Hasil penelitian juga menunjukkan bahwa baut yang patah tersebut ternyata memenuhi persyaratan spesifikasi yang direncanakan, disamping pada baut tersebut tidak dijumpai adanya cacat yang berarti.

### Abstract

The aim of this investigation was to determine the type and factors causing failure on fastening bolts of traction motor of an electric train. In this investigation various tests were carried out including chemical composition analysis, metallographic and fractographic examinations, and mechanical property tests such as tensile and hardness measurements. The results show that the bolts experienced fatigue failure due to an excessive loading of reverse bending. In addition, the results also show that the failed bolts met the intended specification, and no significant defects were found in the bolts.

### Pendahuluan

Kereta Rel Listrik (KRL) di Indonesia saat ini dikenal sebagai salah satu moda angkutan massal (Mass Rapid Transport) dari wilayah sub-urban ke wilayah urban atau sebaliknya yang beroperasi secara ulang-alik (commute) sehingga sering disebut kereta komuter. Dalam rangkaian pengoperasiannya, KRL dapat terdiri dari 1 set atau lebih dimana setiap setnya tersusun 4 unit kereta yang

terdiri dari 2 unit kereta pembawa (trailer car) dan 2 unit kereta penggerak (motor car). Untuk menggerakkan 1 set KRL tersebut diperlukan 8 unit motor traksi yang dihubungkan dengan 8 poros roda kereta penggerak. Motor traksi dapat dipasang pada rangka bogie dengan 2 kemungkinan sistem pemasangan seperti terlihat pada Gambar 1. Sistem pertama, motor traksi dikaitkan langsung dengan rangka bogie (frame suspended), sedangkan sistem kedua, motor traksi

digantung pada lengan penahan (bearing arm) yang terpasang pada rangka bogie (non frame suspended).

Beberapa waktu yang lalu telah terjadi kecelakaan yang dialami oleh sebuah rangkaian KRL yaitu lepasnya 2 motor traksi pada saat KRL sedang beroperasi. Motor traksi tersebut dipasang pada rangka bogie KRL menggunakan sistim: "non frame suspended". Lepasnya motor traksi dari dudukannya disebabkan karena ke 4 baut pengikat dengan dimensi M 20 X 65 mengalami kerusakan (putus) (lihat Gambar 2). Putusnya ke 4 baut tersebut mengakibatkan motor traksi terjatuh dan kereta keluar dari rel (derailment). Kecelakaan ini telah menimbulkan kerugian material dan moril yang cukup besar.

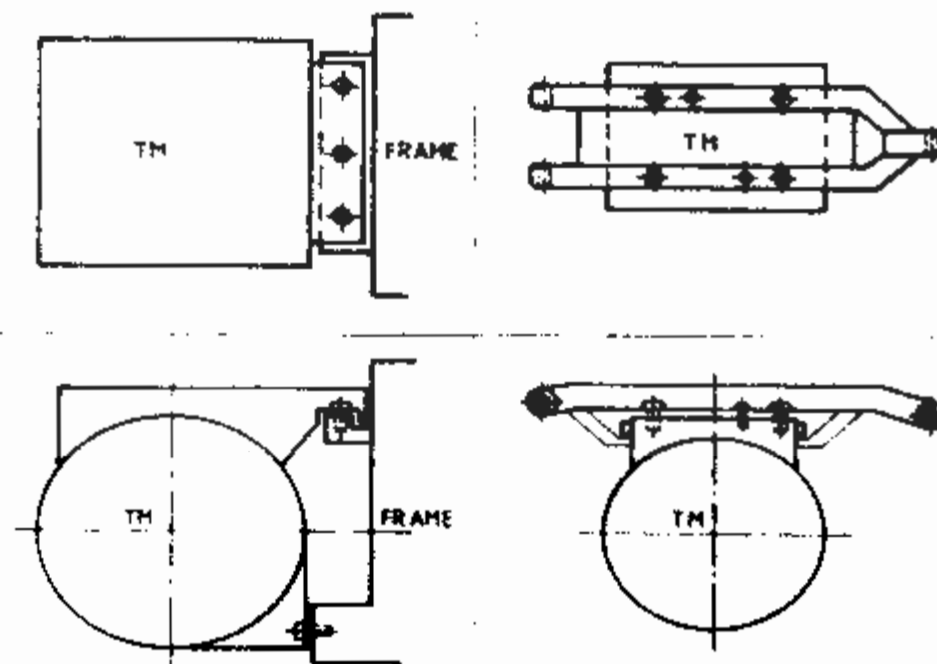
Mempertimbangkan hal tersebut diatas dan agar tidak terjadi kerusakan yang sama dikemudian hari maka perlu dilakukan penelitian dan evaluasi terhadap jenis kerusakan dan faktor-faktor penyebab putusnya baut pengikat motor traksi tersebut. Untuk itu maka dalam penelitian ini dilakukan berbagai jenis pengujian dan analisa baik terhadap baut yang telah putus maupun terhadap baut yang masih baru/utuh. Dengan

mengetahui jenis dan penyebab putusnya baut tersebut, maka tindakan atau langkah-langkah pencegahan akan dapat dilakukan agar tidak terjadi masalah yang sama dikemudian hari.

## Prosedur Penelitian

### Persiapan Benda Uji

Benda uji yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari baut yang patah yang diambil dari Kereta Rel Listrik (KRL) yang mengalami kecelakaan, dan beberapa baut yang sama tetapi masih dalam keadaan utuh. Baut yang sama dan utuh ini disebut sebagai baut lama yang diambil baik dari motor yang mengalami kecelakaan maupun dari motor yang berbeda. Disamping itu dalam penelitian ini juga digunakan baut baru (M 20 X 96) yang sama sekali berbeda dari baut yang lama. Baut baru ini rencananya digunakan sebagai pengganti baut yang lama. Jenis dan jumlah baut yang digunakan dalam penelitian ini ditunjukkan pada Tabel 1. Foto baut yang patah dan baut yang masih utuh (baut lama) yang diambil dari motor KRL yang mengalami kecelakaan ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 1. Sistem pemasangan motor traksi (TM) pada rangka bogie.



Gambar 2. Motor traksi yang terlepas (terjatuh) dari dudukannya.



Gambar 3. Foto baut yang patah dan baut yang masih utuh (baut lama) diambil dari motor KRL, yang mengalami kecelakaan.

#### Jenis Pengujian/Analisa

Jenis-jenis pengujian/analisa terdiri dari:

- a). Analisa Komposisi Kimia Bahan Baut  
Pengujian ini dimaksudkan untuk menentukan kadar unsur-unsur kimia dari bahan baut, baik baut yang patah maupun baut yang masih utuh. Pengujian dilakukan dengan metode basah (wet analysis) menggunakan teknik AAS (Atomic Absorption Spectrophotometer) dan metode pembakaran (combustion technique) untuk menentukan kadar unsur karbon.
- b). Pengujian Fraktografi  
Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui karakteristik permukaan patahan (surface fracture) dari baut yang patah, sehingga dapat ditentukan

jenis dan faktor penyebab timbulnya kerusakan pada baut tersebut. Pengujian ini dilakukan secara makro dengan menggunakan Mikroskop Stereo dan secara mikro menggunakan SEM (Scanning Electron Microscope). Persiapan benda uji dilakukan dengan memotong sebagian baut yang patah menjadi lempengan kecil. Benda uji berbentuk lempengan kecil tersebut terlebih dahulu dicuci dengan metode "ultrasonic cleaning" untuk membersihkan permukaan benda uji dari debu atau kotoran lainnya. Setelah itu benda uji ditempelkan pada pemegang benda uji (specimen holder) dan selanjutnya dilakukan pengujian dengan SEM.

Tabel 1 Pemakaian baut untuk benda uji dalam penelitian

Jenis Baut	Klasifikasi/Standarisasi Baut	Kondisi Baut	Jumlah Baut Buah
Lama (*)	ISO Metric (Grade 8.8)	Patah	1
Lama (*)	ISO Metric (Grade 8.8)	Utuh	2 (Baut No. 1 dan No. 2)
Lama (**)	ISO Metric (Grade 8.8)	Utuh	4 (Baut No. 1 s/d No. 4)
Baru	ISO Metric (Grade 8.8)	Utuh	1

Keterangan : (\*) Baut dari motor yang mengalami kecelakaan.  
 (\*\*) Baut dari motor yang berbeda.

c). Pengujian Metalografi

Pengujian ini dilakukan untuk menentukan struktur dan fasa-fasa yang terdapat pada bahan baut. disamping juga untuk menentukan kemungkinan adanya retak dan cacat pada baut tersebut. Hal ini dimaksudkan untuk mengetahui kondisi proses pembuatan baut tersebut, jenis cacat yang mungkin terjadi serta kaitannya dengan timbulnya retak yang lelah mengakibatkan putusnya baut tersebut. Persiapan benda uji dilakukan melalui tahapan yaitu mounting, penggerindaan dan pengamplasan mulai dari amplas kasar sampai ke amplas halus, pemolesan untuk menghasilkan permukaan yang halus dan peng-etsaan dengan menggunakan larutan Nital 2%. Setelah itu dilakukan pemotretan dengan menggunakan mikroskop optik dengan pembesaran mulai dari 50X sampai 500X.

d). Pengujian Sifat Tarik

Uji tarik dilakukan hanya terhadap baut yang masih utuh (full size bolt) dengan menggunakan mesin uji tarik yang dilengkapi dengan alat bantu. Prosedur pengujian dilakukan dengan mengacu pada Standar BS 3692: 1967. Sifat tarik yang ditentukan adalah Kuat Tarik (Tensile Strength). Dari harga Kuat Tarik tersebut maka kualitas atau "grade" dari baut tersebut dapat ditentukan.

e). Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan dilakukan baik pada bagian kepala baut maupun pada bagian kaki baut. Pengujian ini dimaksudkan untuk memperkirakan tingkat kekerasan yang dikaitkan dengan struktur mikro dari baut. Pengujian kekerasan ini sekaligus digunakan untuk menentukan kualitas (grade) dari baut tersebut. Metode pengujian dilakukan dengan cara Brinell (HB), Rockwell C (HRC) dan Vickers (HV). Persiapan benda uji dilakukan sama seperti pada persiapan benda uji untuk pengujian metalografi.

f). Proses Laku Panas

Untuk menentukan kesesuaian struktur mikro dari baut yang diteliti maka dalam penelitian ini dilakukan proses laku panas terhadap bahan dari baut. Pembuatan benda uji ini untuk proses laku panas dilakukan pada baut No. 2 lama (yaitu baut dari motor yang mengalami kecelakaan) dengan cara memotongnya menjadi 10 bagian. Perlakuan panas yang dilakukan meliputi proses pengerasan (hardening) dan proses penemperan (tempering). Proses pengerasan dilakukan pada suhu 950°C-30 menit yang kemudian dilanjutkan dengan pencelupan ke dalam media air (water quench). Sedangkan proses penemperan dilakukan pada suhu 500°C dengan waktu penemperan yang bervariasi yaitu masing-masing: 0, 5, 15, 30, 45 dan 60 menit. Benda

uji hasil laku panas selanjutnya dipersiapkan untuk pengujian metalografi dan pengujian kekerasan dengan metode Rockwell C.

## Hasil Penelitian

### *Hasil Analisa Komposisi Kimia*

Hasil analisa komposisi kimia bahan baut ditunjukkan pada Tabel 2. Dari Tabel 2 terlihat bahwa bahan baut yang patah mengandung kadar C sedikit lebih rendah dari baut yang lainnya. Sedangkan baut yang baru dibuat dari baja karbon dengan kadar Si yang relatif tinggi.

### *Hasil Pengujian Metalografi*

Permukaan patahan baut yang patah ditunjukkan pada Gambar 4. Terlihat pada permukaan patahan adanya 2 sisi yang halus, sedangkan bagian tengahnya menunjukkan permukaan yang agak kasar dan bahkan ada sebagian yang telah mengalami deformasi atau tergores yang kemungkinan terjadi ketika baut tersebut dilepaskan dari dudukannya. Bagian sisi yang halus tersebut merupakan bagian dari daerah "beach marks", sedangkan bagian yang kasar merupakan daerah dari patahan akhir.

Bagian baut yang patah selanjutnya dipotong memanjang pada bagian kakinya dan diuji metalografi dengan struktur-mikro seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5. Struktur mikro baut yang patah terdiri dari campuran Bainit dan

Martensit disertai dengan sejumlah inklusi. Sedangkan bagian baut yang dekat dengan permukaan patahan memperlihatkan adanya lubang-lubang kecil.

Pengujian metalografi juga dilakukan terhadap baut yang utuh. Pada Gambar 6 ditunjukkan struktur mikro untuk baut yang lama yang diambil dari motor yang tidak mengalami kerusakan. Sedangkan pada Gambar 7 ditunjukkan struktur mikro untuk baut yang baru. Terlihat dari Gambar 6 dan 7 bahwa baut yang lama menunjukkan struktur mikro yang sama dengan baut yang patah, yaitu terdiri dari campuran Bainit dan Martensit, sedangkan baut yang baru menunjukkan struktur Martensit temper yang lebih halus. Akan tetapi, pada baut yang baru terlihat adanya bagian yang sedikit mengalami dekarburisasi disekitar ulir dari baut.

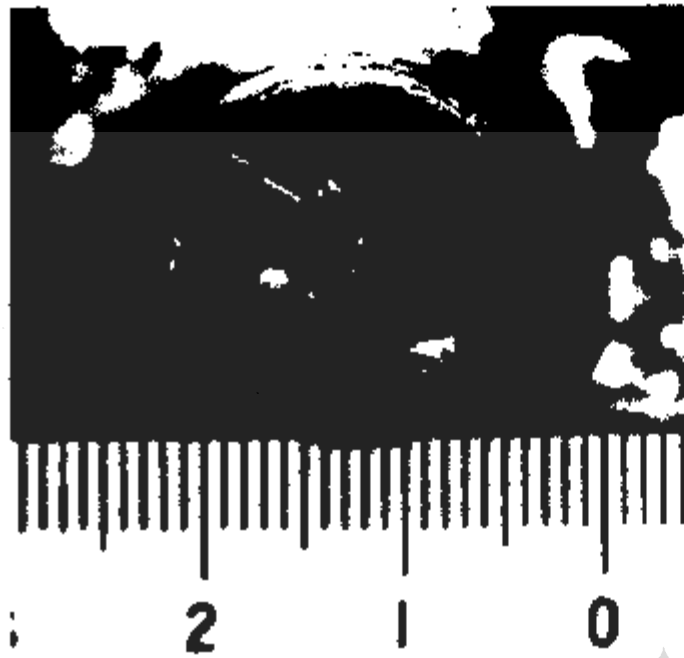
### *Hasil Pengujian Fraktografi dengan SEM*

Hasil pengujian fraktografi dengan SEM pada suatu lokasi dipermukaan patahan dari baut yang patah akibat kecelakaan diberikan pada Gambar 8. Pengambilan foto SEM tersebut dilakukan pada daerah disekitar awal retakan (crack initiation). Sedangkan pada Gambar 9 ditunjukkan hasil pengujian fraktografi dengan SEM pada suatu lokasi dipermukaan patahan dari baut yang patah akibat uji tarik (baut lama No. 4, diambil dari motor yang tidak mengalami kecelakaan).

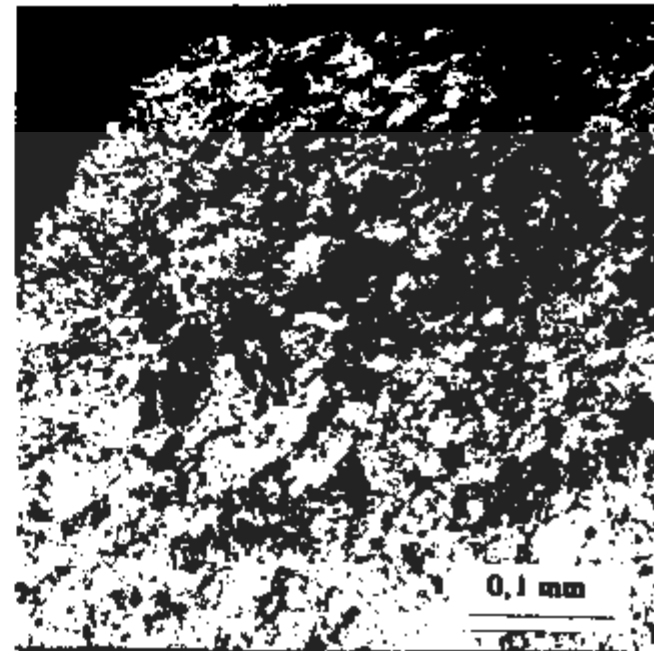
Tabel 2 Hasil analisa komposisi kimia bahan baut

No.	Benda Uji	Kadar Unsur (% Berat)		
		C	Mn	Si
1.	Baut yang patah	0,23	0,232	1,057
2.	Baut yang utuh (No. 1 lama) (*)	0,35	0,26	1,035
3.	Baut yang utuh (baru)	0,33	0,376	1,463

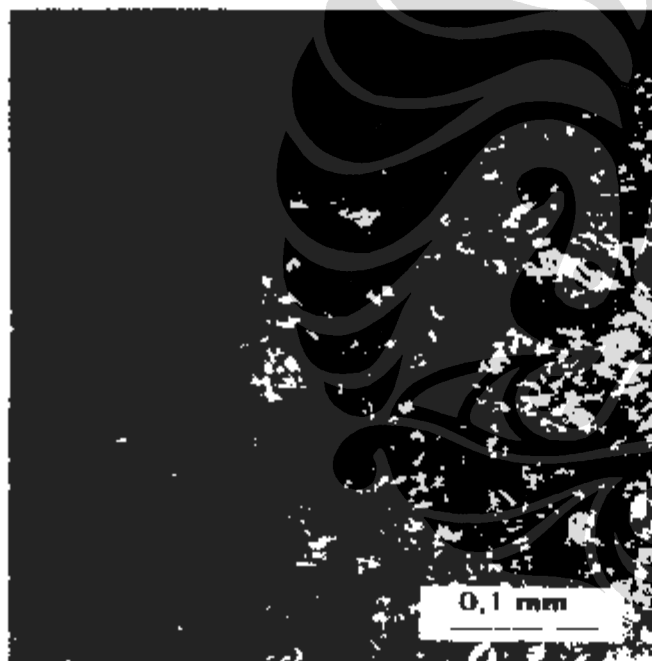
Keterangan (\*): Baut dari motor yang mengalami kerusakan.



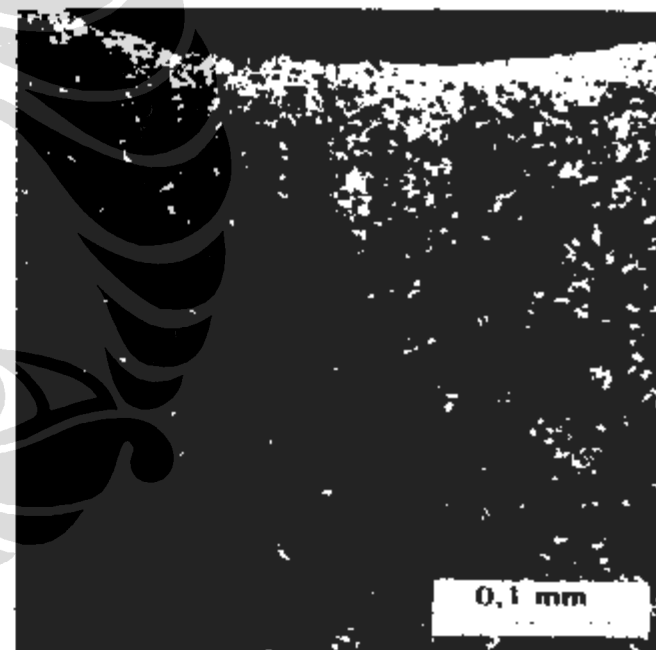
Gambar 4. Permukaan patahan baut dari motor traksi KRL yang mengalami kecelakaan.



Gambar 5. Struktur mikro pada bagian baut yang patah



Gambar 6. Struktur mikro pada bagian baut lama dari motor yang tidak mengalami kecelakaan.



Gambar 7. Struktur mikro pada bagian baut baru (baut baru ini direncanakan untuk menggantikan baut lama)

#### *Hasil Pengujian Kekerasan*

Pada Tabel 3 ditunjukkan hasil pengujian kekerasan bahan baut yang diambil dari motor KRL yang mengalami kerusakan. Sedangkan Tabel 4 menunjukkan hasil pengujian kekerasan untuk bahan baut lama dari motor yang berbeda dan bahan baut yang baru.

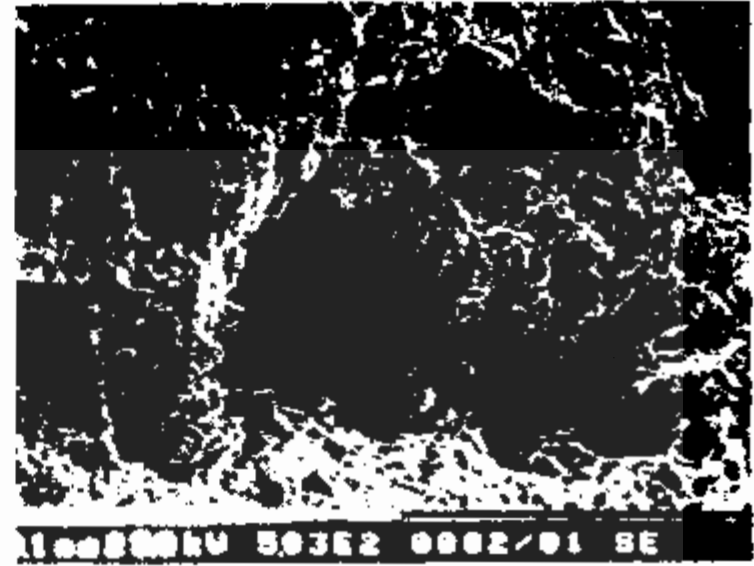
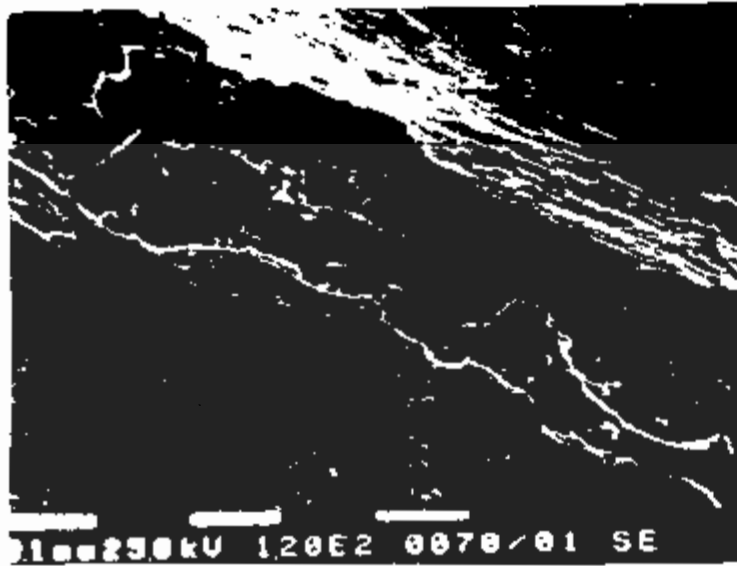
#### *Hasil Uji Tarik*

Hasil uji tarik baut secara skala penuh ditunjukkan pada Tabel 5. Terlihat

dari Tabel 5 bahwa harga kuat tarik semua baut menunjukkan harga yang hampir sama. Bentuk permukaan patahan dari baut yang diuji tarik ditunjukkan pada Gambar 10.

#### *Hasil Pengaruh Proses Laku Panas Terhadap Sifat Kekerasan dan Struktur Mikro Bahan Baut*

Gambar 11 menunjukkan harga kekerasan bahan baut yang telah mengalami proses laku panas pengerasan



Gambar 8. Hasil pengujian fraktografi dengan SEM pada permukaan patahan baut yang mengalami kerusakan.

Gambar 9. Hasil pengujian fraktografi dengan SEM pada permukaan patahan baut hasil uji tarik.

Tabel 3. Harga kekerasan baut yang lama (dari motor KRL yang mengalami kerusakan)

No.	Jenis Baut	Bagian Kepala Baut (HB, P=187,5Kg)			
		Rata-rata			
1.	Lama (No.1)	301	293	305	299,6
2.	Lama (No.2)	328	318	309	318,3
3.	Lama (baut yang patah)	313	338	323	324,6
		Bagian Kaki Baut (HV, P=5Kg)			
4.	Lama (baut yang patah)	HV		HB ekuivalen	
				286	272
				295	280
				295	280
				293	278

Tabel 4. Harga kekerasan baut yang lama (dari motor yang berbeda) dan baut yang baru

No.	Jenis Baut	Bagian Kepala Baut (HB, P=187,5Kg)					
		Rata-rata					
1.	Lama (No.1)	285	301	301	295,7		
2.	Lama (No.4)	279	277	293	283		
3.	Baru	285	293	299	292,3		
		Bagian Kaki Baut (HV, P=5Kg)					
				Rata-rata			
				HV	HB ekuivalen		
4.	Lama (No.1)	306	299	299	286	297,5	282,5
5.	Lama (No.4)	293	299	299	299	297,5	282,5
6.	Baru	286	286	286	280	284,5	271

(hardening) pada 950°C – 30 menit (dicelup di air) dan proses penemperan (tempering) pada suhu 500°C dengan variasi waktu temper.

Hasil yang diberikan pada Gambar 11 menunjukkan bahwa harga kekerasan tertinggi bahan baut yang dihasilkan dari proses pengerasan di dalam air (sebelum penemperan) adalah 50.7 HRC atau sekitar 495 HB. Selanjutnya harga kekerasan menurun dengan cepat sesuai dengan penambahan waktu temper. Harga kekerasannya mencapai tingkat yang kurang lebih konstan yaitu antara 28-29 HRC atau sekitar 285-295 HB ketika waktu temper berada antara 30-60 menit. Tingkat kekerasan yang dicapai oleh bahan baut untuk waktu temper antara 30-60 menit ini merupakan tingkat kekerasan rata-rata dari baut yang dipakai pada

motor KRL yang mengalami kecelakaan (baut lama).

Hasil pengujian metalografi bahan baut yang telah mengalami proses pengerasan dan penemperan tersebut ditunjukkan pada Gambar 12. Struktur mikro bahan baut lama sebelum mengalami proses laku panas terdiri dari martensit temper dan karbida. Sedangkan setelah proses pengerasan dan penemperan memperlihatkan struktur martensit temper (tanpa karbida), dengan struktur pelat martensitnya sedikit lebih besar akibat proses pemanasan yang kedua kalinya. Disamping itu perubahan struktur mikro yang ditunjukkan pada Gambar 12 adalah sesuai dengan perubahan harga kekerasan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 11.

Tabel 5. Hasil uji tarik baut

No	Jenis Baut	Diameter Baut	Luas Penampang Melintang (mm <sup>2</sup> )	Gaya Tarik Maximum kN	Kuat Tarik	
					kg f	(kg f/mm <sup>2</sup> )
1.	Lama(*) No.1	M20X60 (D=20; d=17)	269	213,5	21785,7	81
2.	Lama (**) No.1	M20X60 (D=19,88; d=17,48)	273,9	225	22959,2	83,8
3.	Lama (**) No.4	M20X60 (D=19,88; d=17,48)	273,9	222,5	22704	82,9
4.	Baru	M20X96 (D=19,7; d=17,49)	270,7	217	22142,86	81,8

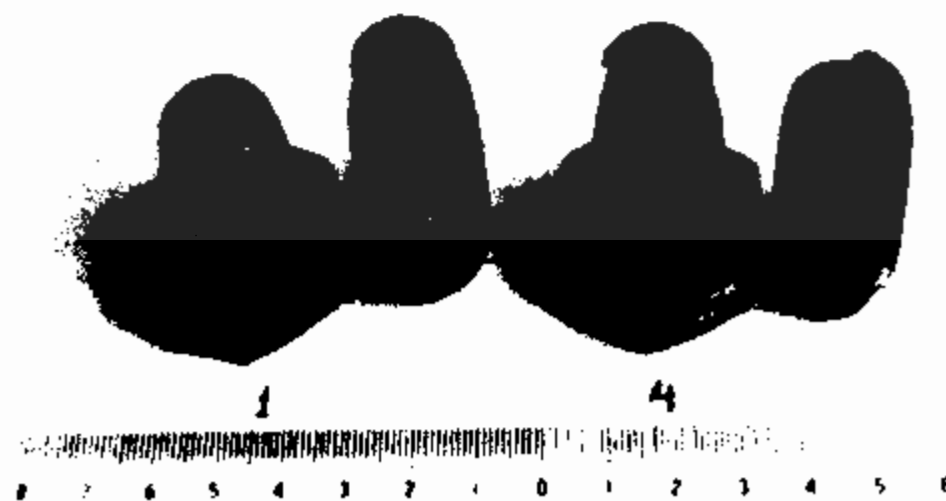
Keterangan :

(\*) : Baut dari motor yang mengalami kerusakan

(\*\*) : Baut dari motor yang berbeda

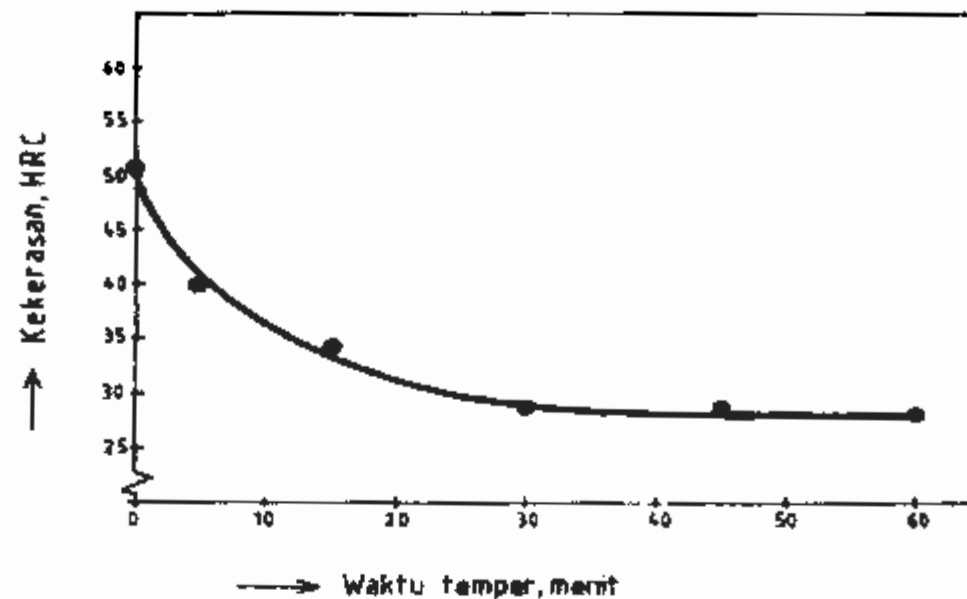
D : diameter luar baut

d : diameter dalam baut



Gambar 10. Bentuk patahan baut lama hasil uji tarik





Gambar 11. Harga kekerasan bahan baut (baut no.2 lama) yang telah dikeraskan ( $950^{\circ}\text{C}$ -30 menit) sebagai fungsi waktu temper  $500^{\circ}\text{C}$ .

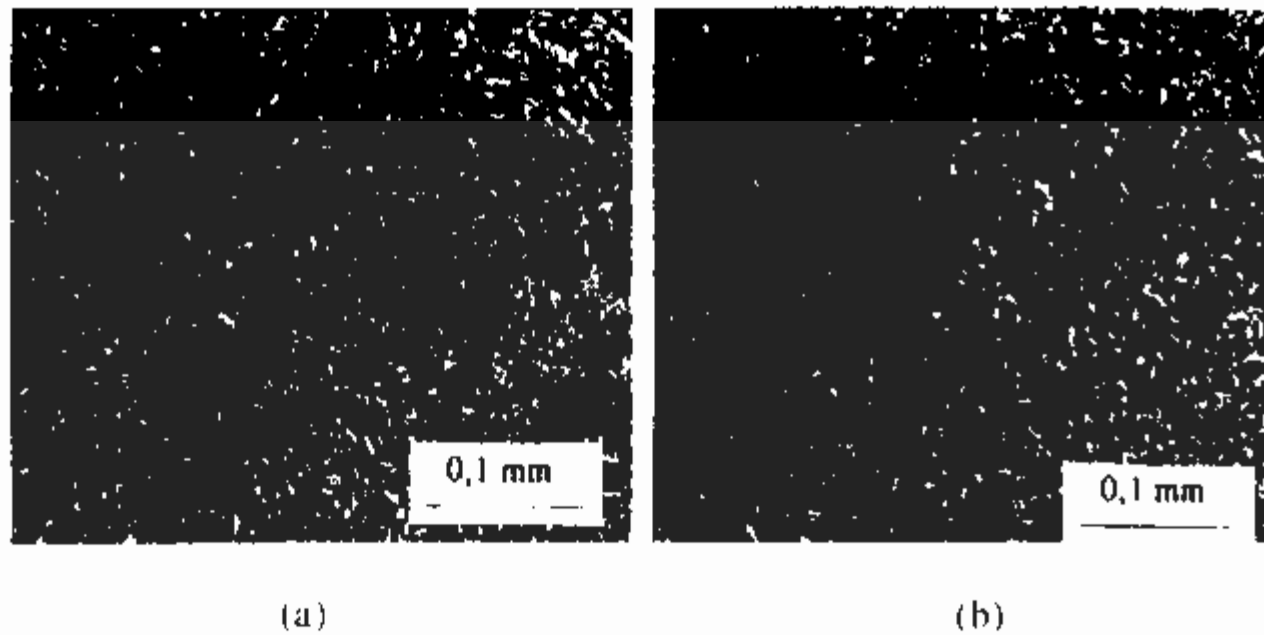
## Pembahasan

Dari permukaan patahan baut seperti pada Gambar 4 menunjukkan bahwa jenis kerusakan yang terjadi pada baut tersebut adalah berupa patah lelah akibat beban berfluktuasi (dinamis)<sup>1</sup>. Hal ini didukung oleh bentuk permukaan patahan baut yang menunjukkan 3 daerah yang berbeda, yaitu :

- Daerah 1 merupakan daerah pengintian (awal) retak (crack initiation) yang diberi tanda panah
- Daerah 2 merupakan daerah penjaralan atau perambatan retak (crack propagation) yang ditunjukkan oleh pola berbentuk garis pantai atau beach marks. Dalam hal ini garis pantai terlihat sebagai daerah yang halus (smooth) akibat adanya efek gesekan (rubbing effect) ketika retakan menjalar.
- Daerah 3 merupakan daerah patah akhir (final fracture) yang terjadi pada akhir siklus tegangan yaitu pada saat sisa penampang baut tidak bisa lagi menahan beban operasi sehingga terjadi kondisi "overload". Daerah patah akhir ini ditandai oleh permukaan patahan yang relatif kasar.

Dari Gambar 4 juga terlihat bahwa pada permukaan patahan baut terdapat 2 daerah beach marks. Ini berarti bahwa awal retakan (crack initiation) berasal dari 2 arah, yaitu masing-masing pada arah yang tegak lurus terhadap garis beach marks.

Untuk membandingkan keadaan pembebanan dikaitkan dengan bentuk patahan yang terjadi, Gambar 13 menunjukkan secara sketsa beberapa kondisi pembebanan (high nominal atau low nominal stress untuk berbagai tingkat pemusatan tegangan<sup>2</sup>. Mengacu kepada Gambar 4 dan 13 nampaknya jenis beban dinamis yang diterima oleh baut tersebut dalam pengoperasiannya adalah "reverse bending" (tegangan lentur bolak-balik). Mengingat baut tersebut mempunyai ulir dengan tingkat pemusatan tegangan sedang (mild stress concentration), dan sesuai dengan Gambar 4, maka berarti kerusakan baut tersebut disebabkan oleh tegangan kerja yang besar (high nominal stress). Hal ini nampaknya ada kesesuaian dengan jumlah baut yang digunakan untuk mengikat motor KRL yaitu hanya 4 buah. Kondisi tegangan kerja yang besar yang dialami oleh baut tersebut juga didukung oleh hasil pengujian metalografi pada Gambar 5 yang menunjukkan terbentuknya pori-pori kecil



Gambar 12. Struktur mikro baut lama setelah diberi proses laku panas (pengelasan:950°C-30 menit), a. Tanpa Temper b. Temper : 500°C-60 menit.

di daerah dekat dengan permukaan patahan. Pembentukan pori-pori atau voids tersebut biasanya dikaitkan dengan pelepasan ikatan atom akibat tegangan geser di lokasi tersebut mengecil sehingga dislokasi tidak terjadi lagi. Pada saat tegangan gesernya menurun, maka terjadi peningkatan tegangan tarik utama yang sangat besar<sup>3</sup>.

Tingginya tingkat tegangan yang bekerja pada baut tersebut juga ditunjang oleh kenyataan bahwa baut tersebut tidak menunjukkan cacat yang berarti seperti yang diperlihatkan dari hasil pengujian metalografi pada Gambar 5 dan 6. Ini berarti kerusakan pada baut tersebut tidak disebabkan oleh cacat maupun oleh kondisi struktur mikro yang terdapat pada baut tersebut. Hal yang sama juga ditunjukkan dari hasil pengujian fraktografi dengan SEM yang memperlihatkan bahwa pada daerah awal retakan tidak dijumpai adanya cacat yang berarti. Disamping itu dari hasil pengujian SEM menunjukkan bahwa karakteristik bentuk patahan akibat kelelahan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 8 berbeda dengan karakteristik bentuk patahan akibat heban berlebih hasil dari uji tarik pada Gambar 9 dan 10. Pada uji tarik, awal retak terjadi dibagian tengah dari baut yaitu berawal dari daerah yang mengandung inklusi dengan

bentuk patahannya seperti "dimples" sebagai indikasi patah ulet. Hal ini sangat sesuai dengan bentuk patahan baut secara makro seperti yang ditunjukkan pada Gambar 10 yang memperlihatkan bentuk cup and cone. Sedangkan penampang patahan akibat fatigue pada umumnya sangat menyerupai bentuk patah getas seperti yang terlihat pada Gambar 4.

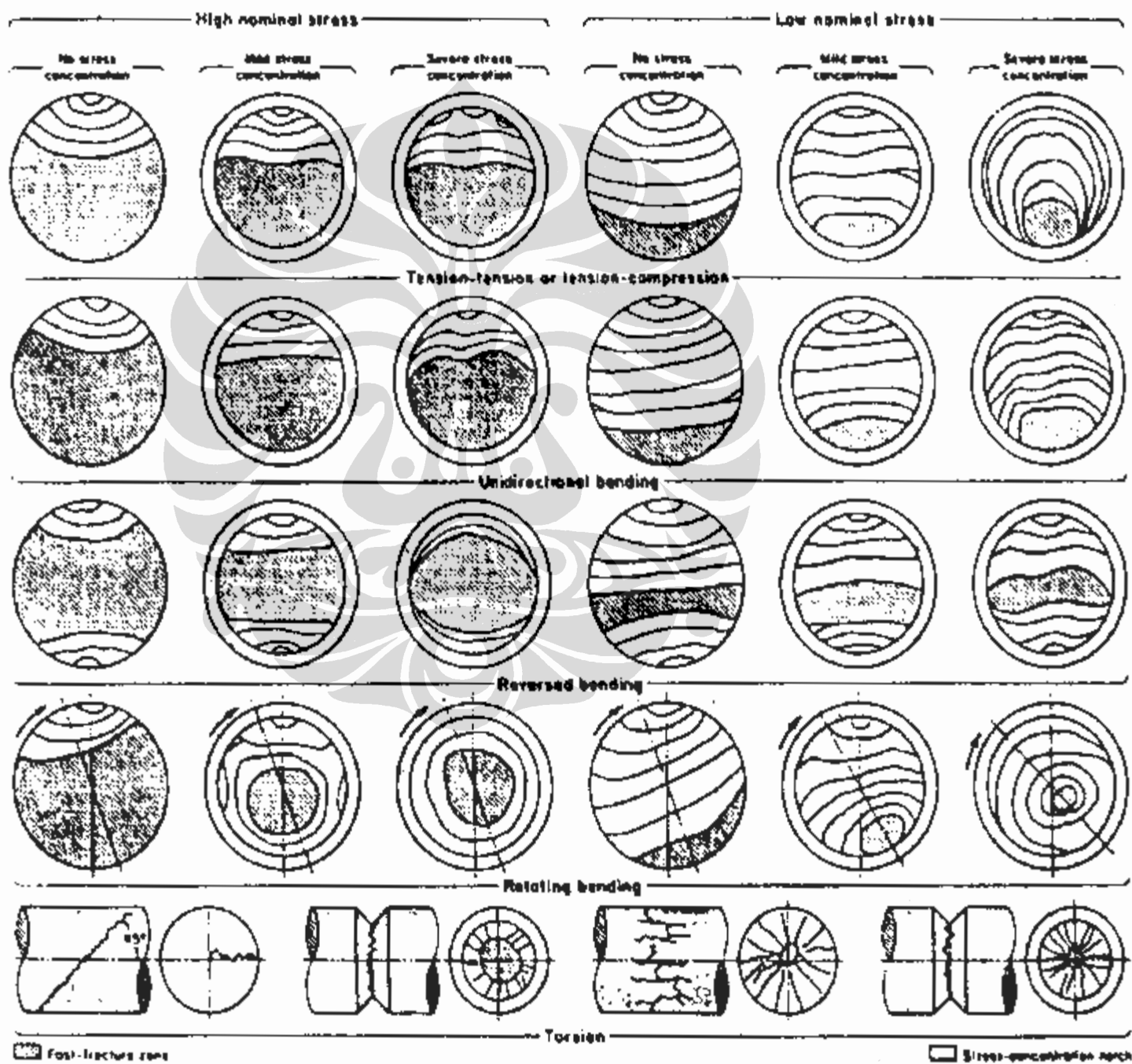
Dari hasil uji tarik pada Tabel 5 terlihat bahwa baut yang digunakan dalam penelitian ini memiliki kuat tarik antara 81-83,8 kg/mm<sup>2</sup>. Ini berarti kuat tarik baut tersebut masih memenuhi syarat/standar yang ditentukan yaitu untuk baut dengan grade 8.8 harga kuat tarik minimnya adalah 80 kg/mm<sup>2</sup> (lihat standar baut pada Tabel 6)<sup>4</sup>.

Hasil uji tarik seperti tersebut diatas juga sangat sesuai dengan hasil uji kekerasan seperti yang ditunjukkan pada Tabel 3 dan Tabel 4, dimana harga kekerasan rata-rata adalah sekitar 272-295 HB. Harga kekerasan baut (lihat Tabel 6) ekuivalen dengan grade 8.8 (menurut standar) adalah 225-300 HB.

Dari hasil kedua pengujian tarik dan kekerasan tersebut diatas menunjukkan bahwa baut yang digunakan dalam penelitian ini memenuhi persyaratan standar yang berlaku. Dan hal ini juga didukung dari hasil pengujian metalografi seperti yang dibahas sebelumnya bahwa

Tabel 6. Sifat mekanis baut baja menurut Standard British.

Sifat Mekanis	Klasifikasi Baut (Strength grade designation)					
	5.6	5.8	6.6	6.8	8.8	10.9
Kuat Tarik:						
Min ( $\text{kgf/mm}^2$ )	50		60		80	100
Maks ( $\text{kgf/mm}^2$ )	70		80		100	120
Kekerasan Brinell:						
Min (HB)	140		170		225	280
Maks (HB)	215		245		300	365



Gambar 13. Perbedaan bentuk permukaan patahan karena fatigue untuk berbagai kondisi pembebanan.

struktur mikro bahan baut pada umumnya terdiri dari campuran ferit+perlit·bainit atau martensit temper yang halus yang cukup memadai dan tanpa adanya cacat yang berarti.

Demikian juga dari hasil penelitian terhadap pengaruh proses laku panas

terhadap kekerasan baut seperti pada Gambar 11 menunjukkan bahwa proses laku panas yang dilakukan pada proses pembuatan baut dari pabrik pembuat baut tersebut sudah cukup memadai dimana struktur mikronya adalah martensit temper dengan harga kekerasannya

mencapai 288-294 HB (untuk waktu temper 30-60 menit pada suhu 500°C).

Demikian juga halnya dari hasil pengujian komposisi kimia (lihat Tabel 2) yang menunjukkan bahwa bahan baut termasuk baja karbon rendah ke medium, nampaknya mendukung terhadap hasil uji sifat mekanis dan struktur mikro.

Sedangkan untuk baut baru yang rencananya akan digunakan menggantikan baut yang lama dari hasil pengujian tarik, kekerasan dan metalografi memberikan hasil yang cukup memadai. Hanya saja permasalahannya adalah bahwa pada baut yang baru tersebut terdapat sedikit bagian baut yang mengalami dekarburisasi (lihat Gambar 7). Sebagian dari baut (bagian kaki ulir) kehilangan kadar karbon yang dalam hal ini mungkin disebabkan oleh proses oksidasi ketika dilakukan proses laku panas. Pembentukan terjadinya dekarburisasi tersebut dapat ditunjukkan dari hasil uji kekerasan, dimana harga kekerasan dibagian yang mengalami dekarburisasi menunjukkan harga yang lebih rendah yaitu 219 HV dibandingkan dibagian yang tidak mengalami dekarburisasi (285-300 HV).

### Kesimpulan

- a. Baut yang digunakan dalam penelitian ini, baik baut yang mengalami kerusakan maupun baut lama atau baru yang utuh seluruhnya memenuhi standar yang berlaku.
- b. Jenis kerusakan yang terjadi pada baut motor traksi KRL adalah kerusakan karena kelelahan (fatigue)

akibat beban dinamis reverse bending. Namun demikian terjadinya beban dinamis berupa tegangan lentur bolak balik (reverse bending) pada baut tersebut perlu dikaji lebih lanjut (diperkirakan terjadi pergerakan antara baut pengikat dengan bidang kontak lengan penahan). Umur kelelahan yang relatif sangat pendek yang terjadi pada baut tersebut kemungkinan disebabkan oleh tegangan kerja yang besar sehingga baut yang digunakan berjumlah 4 buah tidak mampu menerima beban yang bekerja tersebut.

- c. Rencana pemakaian baut baru untuk menggantikan baut yang lama perlu mendapat perhatian, terutama akibat adanya masalah dekarburisasi pada baut tersebut.

### Daftar Pustaka

1. Stanly and J.M. Barson. *Fracture and Fatigue Control in Structures*, Prentic Hall Inc Englewood Cliffs, New Jersey. 1977.
2. A. Esakhul (Editor). *Handbook of Case Histories in Failure Analysis*, ASM International Failure Analysis Committee. 1994.
3. H. Van Vlack. *Elements of Materials Science and Engineering*, 5th Edition, Addison-Wesley Publishing Co, Reading, Mass, USA. 1985.
4. D. N. Adnyana dan I. Hatta. *Kerusakan Baut Karena Cacat Manufaktur*, Seminar Pemrosesan dan Manufaktur Material, Permasalahan dan Pengembangan, Jurusan Metalurgi, UI, Depok, 26-27 Pebruari.1990.