

# ANALISIS KERUSAKAN BOUT PENGIKAT RUMAH RODA GIGI RANGKAIAN KERETA API

**Budhi Martana<sup>1</sup>, Muhamad As'adi\*, dan Bambang Sudjasta\*\***

<sup>\*)</sup> Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik UPN "Veteran" Jakarta

<sup>\*\*)</sup> Program Studi Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik UPN "Veteran" Jakarta

Jl. R.S. Fatmawati Pondok Labu Jakarta Selatan – 12450

Telp. 021 7656971

---

## Abstract

*This study is to analyse the damage fastener bolts of gears circuit house of a train chain. This study focuses on determining the types and the factors that may cause the damage. There are several tests done in this research which includes the tests on chemical composition, macroscopic, metallurgical, and mechanical properties such as hardness and tensile tests. The results show that such bolts had undergone fatigue fracture in low nominal voltage conditions.*

**Key Words:** *fracture, bolt, gears circuit house, train*

---

## PENDAHULUAN

Sejarah peradaban manusia dapat dibagi menjadi 3 (tiga) zaman, yaitu zaman batu, zaman perunggu dan zaman besi. Batu, perunggu dan besi ternyata merupakan bahan yang melambangkan penggunaan populer di zaman-zaman tersebut. Bahan-bahan tersebut terdapat di sekitar kita; dan telah menjadi bagian dari kebudayaan dan pola berpikir manusia bahkan telah menyatu dengan keberadaan kita. Bahan berasal dari alam dan bahan buatan yang telah merupakan bagian integral dari hidup manusia, kita seringkali disepelekan, meski bahan, termasuk makanan, pemukiman, energi dan informasi merupakan sumber daya yang mendasar bagi kehidupan manusia dan tidak saja merupakan bagian gaya hidup melainkan turut memegang peran penting dalam kesejahteraan dan keselamatan bangsa.

Bahan-bahan yang digunakan manusia mengikuti siklus bahan mulai dari ekstraksi, pembuatan sampai pelapukan. Bahan mentah diambil dari bumi melalui penambangan, pengeboran, penggalan, atau panen; kemudian diolah menjadi bahan baku seperti ingot logam, batu belah, bahan petrokimia, kayu gelondongan; dan kemudian diolah menjadi bahan-bahan teknik seperti kawat listrik, besi beton, plastik dan kayu

lapis, untuk memenuhi kebutuhan masyarakat. Akhirnya, setelah digunakan selama beberapa waktu, bahan-bahan tersebut kembali ke asalnya, ke bumi sebagai bekas atau sisa (*scrap*) atau memasuki siklus untuk diolah kembali dan digunakan lagi sebelum dibuang. Sejak dahulu ketika manusia mulai mengenal alat-alat atau mesin yang digunakan untuk mengangkut barang, menaikkan air, membajak tanah dan membuat bahan-bahan bangunan, mereka telah dihadapkan pada kemungkinan memelihara alat atau mesin sampai tiba waktunya alat atau mesin tersebut dianggap tidak berguna lagi atau rusak.

Kegagalan fatigue adalah konsekuensi dari beban dinamis, ketika crack mulai terjadi dan berkembang, keretakan akan terjadi pada tingkatan stress yang lebih rendah daripada yang diperlukan untuk menyebabkan retak di bawah beban statis. Faktor-faktor utama yang mempengaruhi kegagalan fatigue adalah berbagai variasi tegangan, jumlah siklus, korosi, suhu, tegangan sisa, pemusatan tegangan, dan kombinasi tegangan. Fatigue adalah kegagalan mekanik lokal, progresif, dan terakumulasi sebagai akibat dari nukleasi dan progresif dari crack yang disebabkan oleh beban siklik. Fenomena dari kegagalan fatigue dapat dianalisa sebagai masalah deformasi plastis lokal dan dapat dijelaskan oleh tampilan garis-garis geseran (*shear band*). Ketika ada perpindahan disklokasi, butir tertentu membentuk garis-garis

---

1 Kontak Person : Budhi Martana  
Prodi Teknik Mesin FT UPNV Jakarta  
Telp. 021 7656971

gelincir tetap yang akan nampak pada permukaan.

Dalam industri transportasi darat, laut, dan udara penggunaan baut dan mur sangat banyak digunakan, sebab fungsi dari baut adalah sebagai alat pengikat komponen atau menghubungkan komponen mesin yang satu dengan komponen lainnya, agar menjadi satu kesatuan yang kokoh dan terbentuk sesuai dengan keinginan perancangannya. Teknik penyambungan dengan menggunakan baut relatif lebih aman, karena lebih mudah dipasang dan dibongkar kembali apabila diperlukan untuk melakukan kegiatan seperti perawatan, perbaikan, dan lain-lain. (Dieter, Goerge, E., 1982).

Baut merupakan pengikat yang sangat penting, untuk mencegah kecelakaan atau kerusakan pada mesin, pemilihan baut sebagai alat pengikat dalam industri transportasi, misalnya pada kapal laut, mobil, pesawat terbang, maupun kereta api, harus dilakukan secara cermat dan seksama untuk mendapatkan kekuatan yang sesuai dengan konstruksi yang akan disambung. Pemilihan ini tentunya harus dilandasi dengan pengujian dan penelitian agar didapatkan hasil yang optimal, akan tetapi teknik penyambungan dengan baut walaupun telah melalui pengujian dan penelitian, penurunan kekuatan tetap saja terjadi pada bagian yang disambung terutama pada daerah lubang dan bagian ulir dari baut, hal ini disebabkan karena ulir baut merupakan bentuk takikan yang dapat memperlemah konstruksi. Selain itu dalam pembuatan baut, cacat mikro jarang terdeteksi walaupun telah menggunakan alat uji tanpa merusak.

Analisis kegagalan menggunakan beberapa jenis teknik untuk menyelidiki penyebab kegagalan pada peralatan atau struktur. Pada umumnya, penyebab kegagalan adalah yang berkaitan dengan penggunaan material yang kurang sesuai, keberadaan cacat, kesalahan dalam desain, pemasangan yang tidak tepat, dan kesalahan dalam penggunaan. Pengetahuan tentang penyebab dan koreksi dari kejanggalkan memungkinkan peningkatan kinerja pada peralatan serupa dan mencegah munculnya kegagalan serupa.

Pada saat ini aspek keselamatan menjadi faktor utama yang sangat penting dalam menentukan standar kualitas jasa transportasi umum, antara lain kereta api. Salah satu penyebab kecelakaan kereta api yang terjadi beberapa waktu yang lalu disinyalir karena lemahnya penekanan kembali perilaku kepatuhan dan ketaatan akan prosedur perawatan kereta api.

## Pengertian

Sejak 1830 telah diketahui bahwa logam yang dikenai tegangan berulang akan rusak pada tegangan yang jauh lebih rendah dibanding yang dibutuhkan untuk menimbulkan perpatahan pada penerapan beban tunggal. Kegagalan yang terjadi pada keadaan beban dinamik dinamakan kegagalan lelah (*fatigue failures*), barangkali karena pada umumnya kegagalan tersebut hanya terjadi setelah periode pemakaian yang cukup lama. Kegagalan fatik makin menonjol sejalan dengan pengembangan peralatan teknologi seperti mobil, pesawat terbang, kapal laut, kompresor, pompa, turbin dan lain-lainnya. Kesemuanya mengalami beban berulang dan getaran. Hingga kini sering dinyatakan bahwa kelelahan meliputi paling tidak 90 % dari seluruh kegagalan yang disebabkan oleh hal-hal yang bersifat mekanis.

Sebuah logam yang dikenai beban atau tegangan berulang akan rusak pada tegangan yang jauh lebih rendah dibanding yang dibutuhkan untuk menimbulkan perpatahan pada penerapan beban tunggal (Goerge E. Dieter, 1992). Kegagalan yang terjadi pada keadaan beban dinamik dinamakan kegagalan lelah (*fatigue failures*). Pada umumnya kegagalan tersebut hanya terjadi setelah periode pemakaian yang cukup lama, dimana semuanya mengalami beban berulang dan getaran.

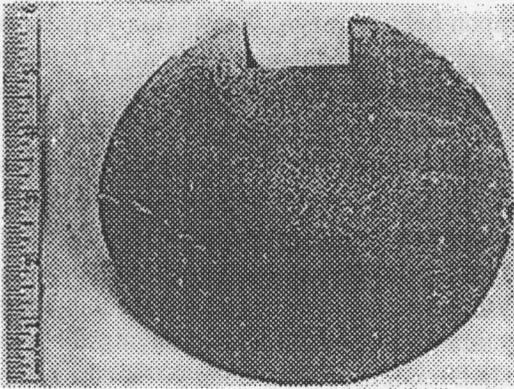
Kegagalan lelah adalah hal yang sangat membahayakan, karena terjadi tanpa adanya petunjuk awal. Kelelahan mengakibatkan patah yang terlihat rapuh, tanpa deformasi pada patahan tersebut. Pada skala makroskopik, permukaan patahan biasanya dikenali dari bentuk bidang perpatahan, ada bagian yang halus akibat gesekan yang terjadi sewaktu retak merambat (Gambar 2) dan daerah kasar, perpatahan ulet terjadi pada waktu penampang tidak dapat menerima beban. Seringkali perkembangan retakan ditandai oleh sejumlah cincin atau garis pantai (*beach mark*), bergerak kedalam dari titik dimana kegagalan mulai terjadi.

Karakteristik yang lain yaitu, bahwa suatu kegagalan biasanya terjadi pada bagian dimana terdapat konsentrasi tegangan, seperti sudut yang tajam, atau fatik, atau pada tempat dimana terdapat konsentrasi tegangan metalurgis, seperti inklusi.

Terdapat tiga faktor dasar yang diperlukan agar terjadi kegagalan lelah (Goerge E. Dieter, 1992). yaitu: (1) tegangan tarik yang cukup tinggi, (2) variasi atau fluktuasi tegangan yang cukup besar, dan (3) siklus penerapan tegangan cukup besar.

Selain itu masih terdapat sejumlah variabel-

variabel lain yakni: konsentrasi tegangan, korosi, suhu, kelebihan bahan, struktur metalurgis, tegangan-tegangan sisa, dan tegangan kombinasi yang cenderung untuk mengubah kondisi kelelahan.



Gambar 1. Permukaan Patah Kegagalan Lelah

Pada gambar 1, juga diperlihatkan karakteristik kelelahan yang lain, yaitu, bahwa suatu kegagalan biasanya terjadi pada bagian di mana terdapat konsentrasi tegangan, seperti sudut yang tajam, atau takik, atau pada tempat di mana terdapat konsentrasi tegangan metalurgis, seperti inklusi.

### Teori Kegagalan

Teori kegagalan (*Theories of failure*) dibedakan menurut jenis material yang digunakan. Untuk material getas (*brittle*) biasanya menggunakan *Maximum-Normal-Stress-Criterion* dan *Mohr's Criterion* sedangkan untuk material ulet biasanya menggunakan *Maximum-Shearing-Stress-Criterion (Tresca Criterion)* dan *Maximum-Distortion-Energy-Criterion (Von Mises Criterion)*.

*Maximum-Normal-Stress-Criterion*  
Kriteria atau teori yang dikembangkan oleh W.J.M. Rankine ini adalah yang paling sederhana dibandingkan dengan kriteria yang lain. Ide dasar dari kriteria ini adalah bahwa apabila suatu material dibebani oleh berbagai pembebanan kombinasi, material tersebut akan: (1) Mengalami *yielding* apabila tegangan prinsipal positif terbesarnya (tegangan prinsipal tarik terbesar) melebihi *tensile yield strength* dari material tersebut atau apabila tegangan prinsipal negatif terbesarnya (tegangan prinsipal kompresi terbesar) melebihi *compressive yield strength* material yang bersangkutan, dan (2) Mengalami patah (*fracture*) apabila tegangan prinsipal positif (atau negatif) terbesarnya melebihi tensile (atau *compressive*) *ultimate strength* material tersebut.

Jadi menurut teori ini kekuatan dari suatu

material hanya tergantung pada tegangan prinsipal terbesar (baik tarik maupun kompresi) yang dialaminya, dan sama sekali tidak tergantung pada dua tegangan prinsipal lainnya. Dengan demikian untuk kriteria ini yang dicari adalah tegangan prinsipal terbesar,  $\sigma_1$ . Maka dalam perancangan agar material tidak gagal (*yielding*), tegangan prinsipal terbesar bekerja pada material harus lebih kecil daripada tegangan yang diijinkan. Tegangan yang diijinkan adalah tegangan yield dibagi dengan suatu faktor keamanan.

$$\sigma_{\max} = \frac{\sigma}{2} + \sqrt{\left(\frac{\sigma}{2}\right)^2 + (\tau)^2} \quad \sigma_{\min} = \frac{\sigma}{2} - \sqrt{\left(\frac{\sigma}{2}\right)^2 + (\tau)^2}$$

Bila :  $\sigma_{\max} \leq S_y$  ..... , aman  
 $\sigma_{\min} \geq S_y$  ..... , gagal

### Maximum-Shearing-Stress-Criterion

Kriteria ini didasarkan pada hasil pengamatan bahwa *yielding* yang terjadi pada material *ductile* disebabkan oleh pergeseran (*slippage*) material tersebut disepanjang permukaan *oblique*. Pergeseran ini terutama disebabkan oleh tegangan geser. Berdasarkan teori ini, suatu material akan aman selama harga tegangan geser maksimumnya lebih kecil daripada harga tegangan geser yang terjadi pada saat material mulai *yielding*. Harga tegangan geser pada saat *yielding* didapat dari uji tarik yang dilakukan pada material yang bersangkutan.

Dengan demikian untuk perancangan, tegangan geser maksimum harus dijaga agar lebih kecil daripada tegangan geser yang diijinkan. Tegangan geser yang diijinkan untuk material baja biasanya setengah dari tegangan *yielding* dibagi dengan faktor keamanan.

$$\tau_{\max} = \frac{\sigma_{\max} - \sigma_{\min}}{2}$$

Bila :  $\tau_{\max} \leq S_{ys}$  ..... , aman  
 $\tau_{\max} \geq S_{ys}$  ..... , gagal

### Maximum-Distortion-Energy-Criterion

Kriteria *von mises* atau *Maximum Distortion Energy Criterion* didasarkan pada perhitungan distorsi energi suatu material. Distorsi energi adalah energi yang dibutuhkan dalam perubahan bentuk suatu material. Teori ini dikembangkan oleh Richard von Mises, seorang matematikawan Jerman-Amerika. Menurut teori ini, suatu material akan aman selama harga maksimum energi distorsi per

unit volume tidak melebihi harga energi distorsi per unit volume yang dibutuhkan untuk membuat material tersebut yielding. Teori von Mises lebih akurat daripada teori-teori lainnya dalam memprediksi ductile yielding yang disebabkan oleh pembebanan kombinasi. Untuk kondisi tegangan dua dimensi atau biaxial stress ( $\sigma_3 = 0$ ), kriteria von Mises dapat dituliskan:

$$\sigma_{eq} = \sqrt{\sigma_{max}^2 + \sigma_{min}^2 - (\sigma_{max} \sigma_{min})}$$

Bila :  $\sigma_m \leq S_y$  ..... aman  
 $\sigma_m \geq S_y$  ..... gagal

**Retak Fatigue**

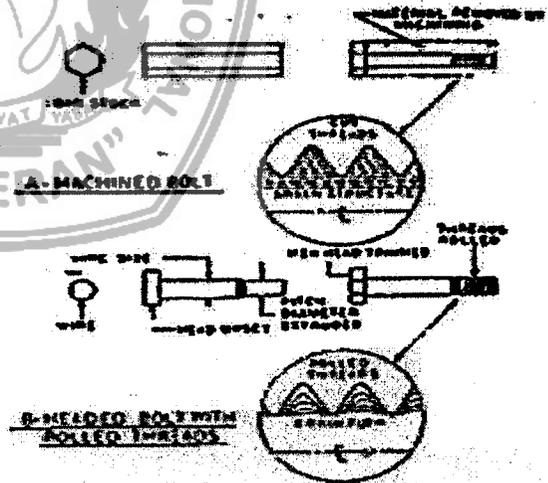
Fatigue life secara garis besar dapat dibagi dalam dua periode, yaitu periode 1 awal retak (crack initiation) dan periode 2 perambatan retak (crack growth). Fatigue life diakhiri dengan kepatahan pada siklus yang terakhir pada saat retak sudah terlalu panjang dan struktur tidak mampu lagi menerima beban operasi.

Periode retak diawali dengan adanya deformasi plastis berulang yang menimbulkan terjadinya slip. Hal ini diakibatkan oleh tegangan lokal yang melampaui tegangan yield, misalnya karena konsentrasi tegangan atau terjadi di permukaan akibat adanya ikatan butir yang bebas sehingga memudahkan terjadinya slip. Akibat beban berulang daerah slip akan meluas dan bertambah dalam yang pada akhirnya akan menjadi retak mikro (micro crack). Kualitas permukaan dan mikro struktur local sangat berpengaruh terhadap mikro retak. Setelah mikro retak bertambah panjang pengaruh mikro struktur local akan berkurang dan memasuki periode 2 yaitu perambatan retak atau retak makro (macro crack). Menurut Schijve, retak didefinisikan sebagai retak makro jika factor intensitas tegangan K, sudah dapat menjelaskan perambatan retak. Retak makro merambat dengan arah tegak lurus terhadap arah tegangan. Retak mikro pada umumnya terjadi pada permukaan material. Ada beberapa alasan yang mendukung terjadinya retak mikro, yaitu: (1) terjadinya retak dan merambatnya retak akibat dari deformasi plastis berulang dalam skala mikro. Pada permukaan material deformasi plastis ini lebih mudah terjadi karena pada suatu sisi material tidak ditahan, (2) kekasaran permukaan dalam skala mikro berarti adanya konsentrasi tegangan yang mempercepat pengintian retak, (3) lingkungan korosi, dan (4) konsentrasi tegangan pada daerah takikan / lubang.

**Proses Pembuatan Baut-Mu**

Penggunaan baut dan mur merupakan sambungan yang tidak tetap pada konstruksi mesin. Baut dan mur ini mempunyai peranan yang sangat penting karena sambungan ini merupakan sambungan yang tidak tetap sehingga dapat dilepas dan dipasang kembali tanpa merusak elemen penyambungannya maupun benda yang disambungannya. Selain penggunaan baut sebagai penyambung, baut juga berfungsi sebagai penguat, pemegang pada proses penegangan dan penutup lubang.

Material dasar yang digunakan dalam proses pembuatan baut dan mur adalah baja karbon rendah yang berbentuk gulungan kawat baja batangan. Gulungan kawat baja ini diluruskan diantara canai yang berputar kemudian dimasukkan kedalam mesin pemotong untuk dipotong sesuai dengan ukuran baut dan mur yang telah ditentukan. Proses pembuatan baut dengan pekerjaan dingin (cold working) dibedakan dalam dua cara (gambar 3), yaitu dengan machined bolt, pembuatan ulir baut dikerjakan dengan menggunakan mesin bubut atau yang sejenisnya. Sedangkan untuk headed bolt with rolled thread pembuatan ulir baut dikerjakan dengan menggunakan roda ulir.



Gambar 2. Proses Pembuatan Baut Dengan Pekerjaan Dingin

**Perpatahan Pada Baut**

Perpatahan adalah pemisahan atau pemecahan suatu benda padat menjadi dua bagian atau lebih akibat adanya tegangan. Proses perpatahan karena pembebanan akibat tarik uniaxial secara bertahap mulai dari deformasi plastic untuk menghasilkan tumpukan diskolasi, permulaan retak, penjaralan retak dan akhirnya patah. (Avner, Sidney H., 1974).

Patahan logam digolongkan dalam dua kategori umum, yaitu patah liat dan patah getas. Patah liat ditandai oleh deformasi plastic yang cukup besar, sebelum dan selama proses penjalaran retak. Pada permukaan patahan biasanya Nampak terjadi deformasi yang cukup besar.

Patah getas pada logam, ditandai dengan adanya kecepatan penjalaran retak yang tinggi, tanpa terjadi deformasi awal ataupun deformasi mikro. Bentuk patahan yang terjadi pada logam dapat memperlihatkan beberapa jenis bentuk yang berbeda-beda, tergantung pada temperature, keadaan tegangan, laju pembebanan, pengaruh perlakuan panas, bentuk struktur mikro, dan kondisi permukaan. (Shackelford, James F., 1985). Tahapan-tahapan perkembangan terjadinya bentuk permukaan patahan berserat, cup & cone dan liat, diawali dengan terjadinya penyempitan berupa titik/daerah yang tidak stabil, kemudian kekuatannya akan berkurang akibat adanya pergeseran regangan dan sebagai kompensasinya ukuran penampang menurun perlahan-lahan. Hal ini terjadi, dari awal pembebanan hingga beban maksimum. Terjadinya penyempitan akibat beban tarik menimbulkan keadaan tegangan tiga sumbu, dan pada daerah ini, komponen tarik hidrostatis terjadi di sekitar sumbu benda uji yang merupakan pusat daerah penyempitan. Selanjutnya terjadi beberapa rongga kecil yang terbentuk pada daerah bakal patahan akibat adanya penambahan regangan, dan jika peregangan berlangsung terus, rongga ini bertambah besar dan menjadi satu dengan retakan pusat. Retakan ini berkembang pada arah tegak lurus sumbu benda uji, hingga mencapai permukaan benda uji. Kemudian merambat di sekitar bidang-bidang geser local, kira-kira 45<sup>o</sup> terhadap sumbu patahan yang terbentuk, akan tetapi bila rongga-rongga yang terbentuk tidak beraturan dan peregangan berlangsung terus maka akan terbentuk model patahan yang berserat. Pertumbuhan retakan pada patah liat terutama terjadi akibat bergabungnya rongga-rongga udara dengan bentuk patahan sudut 45<sup>o</sup>.

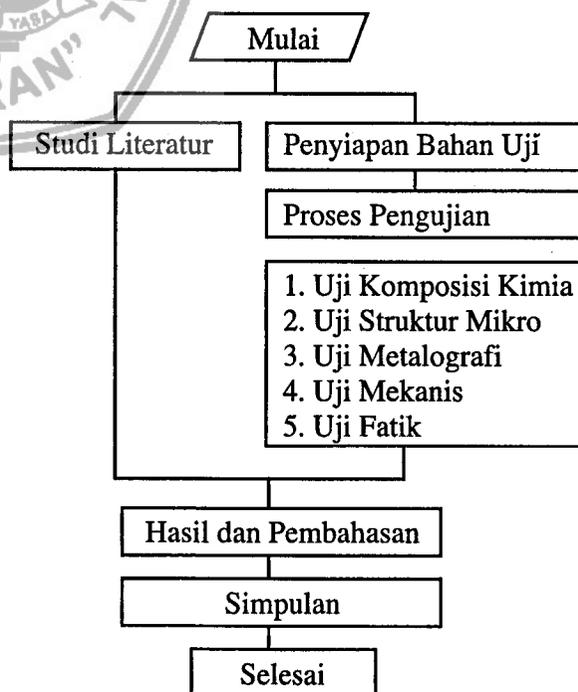
Penggabungan ini terjadi akibat perpanjangan rongga-rongga dan jembatan-jembatan material diantara rongga-rongga tersebut. Hal ini memungkinkan pembentukan permukaan patahan yang mengandung dimple diperpanjang, seperti jika terbentuk dari sejumlah lubang yang kemudian terpisah oleh dinding tipis hingga terjadi patahan. Rongga-rongga yang merupakan sumber dasar dari patah liat, terbentuk secara heterogen pada sisi-sisi

dimana kesesuaian deformasi sukar terjadi. Bagian yang merupakan tempat utama pembentukan rongga adalah inklusi partikel fasa kedua atau partikel oksida ringan. Pada pengujian tarik uniaxial rongga-rongga terbentuk sebelum penyempitan, tetapi setelah penyempitan terbentuk tegangan tarik hidrostatis semakin besar, sehingga pembentukan rongga menjadi jauh lebih jelas.

## METODOLOGI PENELITIAN

Metode penelitian merupakan cara yang dipakai dalam kegiatan penelitian, sehingga pelaksanaan dan hasilnya dapat dipertanggungjawabkan secara kajian akademis dan ilmiah. Penelitian yang dilaksanakan ini menggunakan metode eksperimen dengan menekankan pada subjek mekanika perpatahan dan sifat fisis bahan.

Ruang lingkup penelitian ini adalah meneliti secara seksama bentuk patahan yang terjadi dan penyebab terjadinya kerusakan pada baut tersebut. Untuk mendapatkan data hasil penelitian metode uji yang digunakan adalah: (1) Pemilihan dan penyiapan benda uji, (2) Pengujian Makroskopik dan Pengujian Mikroskopik, (3) Pengujian Metalografi, (4) Analisis Kimia material baut, dan (5) Pengujian Mekanis (uji kekerasan dan uji tarik) Uraian langkah-langkah penelitian diatas dapat digambarkan kedalam diagram alir penelitian sebagai berikut:



Gambar 3. Diagram Alir Penelitian

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Analisis Komposisi Kimia

Berbagai macam jenis baja ditentukan berdasarkan pada unsur karbon yang terkandung pada suatu material tersebut. Pengklasifikasian baja tersebut seperti dikemukakan Pollack (1981), bahwa baja karbon terbagi dalam tiga klasifikasi yaitu: low carbon steel dengan kandungan unsur karbon 0% -0,25%, medium carbon steel dengan kandungan unsur karbon 0,25%-0,55% dan high carbon steel dengan kandungan unsur karbon di atas 0,55%. Sedangkan menurut Khurmi (1980), pengklasifikasian baja karbon lebih rinci lagi dengan membagi dalam empat klasifikasi yang terdiri dari dead mild steel dengan kandungan unsur karbon 0%-0,15%, low carbon steel dengan kandungan unsur karbon 0,15%-0,45%, medium carbon steel dengan kandungan unsur karbon 0,45%-0,80% dan high carbon steel dengan kandungan unsur karbon 0,8%-1,5%. Hasil analisis komposisi unsur kimia terhadap baut pengikat rumah roda gigi rangkaian kereta api yang telah patah, disajikan pada tabel 1.

2	313
3	293
4	286
5	306
6	293
7	274
8	293
9	304
10	321
11	304
12	306

**Tabel 1.** Hasil Analisis Komposisi Kimia

No.	Jenis Unsur	Prosentase (%)	No.	Jenis Unsur	Prosentase (%)
1	C	0,30 - 0,37	7	Cu	0,11 - 0,13
2	Si	0,27 - 0,30	8	Mo	0,13 - 0,15
3	Mn	0,72 - 0,76	9	W	0,140 - 0,145
4	S	0,013 - 0,017	10	Sn	0,013 - 0,016
5	P	0,007 - 0,010	11	Nb	0,009 - 0,011
6	Cr	0,90 - 0,93	12	Al	0,025 - 0,035

Hasil analisis komposisi kimia diatas, menunjukkan bahwa jenis material baut pengikat rumah roda gigi rangkaian kereta api yang patah tersebut adalah termasuk baja karbon rendah ( $C < 45\%$ ), sedangkan unsur Cr, Cu, Mo, Al pada baut pengikat tersebut sekalipun sangat rendah berguna untuk meningkatkan ketahanan terhadap korosi. Unsur Nb, Sn, dan W berguna untuk menghaluskan butiran struktur mikro dan meningkatkan kekerasan dari baut pengikat tersebut.

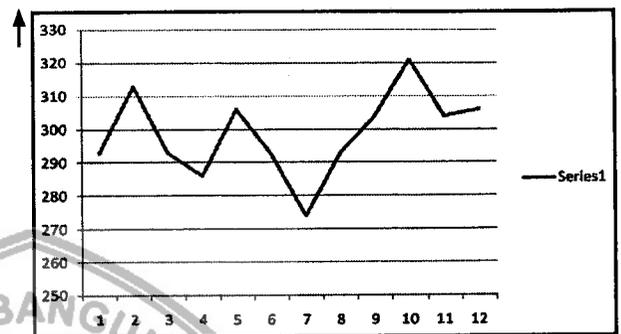
### Pengujian Kekerasan

Hasil pengujian kekerasan Brinnel yang dilakukan terhadap baut pengikat rumah roda gigi rangkaian kereta api yang patah diperlihatkan pada tabel 2.

**Tabel 2.** Hasil Pengujian Kekerasan

Pengujian	HV
1	293

HV



→ Pengujian

**Gambar 4.** Grafik Hasil Pengujian Komposisi Kimia

Dari tabel 2 terlihat bahwa harga kekerasan rata-rata hampir sama yaitu pada tingkatan antara 290-315 HV atau ekuivalen dengan kekerasan Brinnel sekitar 275-300 HB. Berdasarkan hasil pengujian kekerasan terjadinya patah pada baut pengikat rumah roda gigi rangkaian kereta api terjadi pada lokasi disekitar bagian tengah dari baut tersebut, yang kemungkinan disebabkan oleh pengaruh perbedaan kecepatan pendinginan ketika dilakukan proses *heat treatment*. Salah satu kelemahan baut dengan kekerasan dan kekuatan yang tinggi, bila digunakan pada beban dinamis tak tentu dapat menimbulkan kegetasan, terutama terhadap beban impak atau beban tiba-tiba, dan sangat sensitif terhadap takikan.

### Pengujian Tarik

Benda uji tarik sesuai standar yang berlaku dibuat dibengkel pemesinan menggunakan potongan baut yang diambil dari lokasi penelitian. Pengujian dilakukan menggunakan mesin uji tarik dan hasil uji tarik yang diperoleh meliputi: kuat tarik (*tensile strength*), kuat luluh (*yield strength*) dan elongation (*ductility*). Dari hasil uji tarik ini akan dapat ditentukan grade bahan baut tersebut.

Dari hasil pengujian tarik terhadap material

baut diperoleh harga sifat tarik yaitu kekuatan tarik = 100 kg/mm<sup>2</sup>, kuat luluh = 86 kg/mm<sup>2</sup>, dan regangan (elongation) = 19,10 %. Baut jenis ini banyak digunakan pada konstruksi baja dan alat berat, terutama untuk beban dinamis atau statis tak tentu. Bentuk permukaan patahan dari hasil uji tarik baut grade 8.8 berbentuk cup & cone, hal ini menunjukkan bahwa baut tersebut cukup liat karena nampak adanya perubahan penampang sebelum terjadi patahan. Permukaan patahan yang terjadi pada baut dikatakan getas, apabila bentuk permukaan patahannya hampir datar dan halus, akan tetapi dikatakan liat apabila bentuk permukaan patahannya membentuk sudut yang mendekati 45 derajat atau 45 derajat, sedangkan bentuk permukaan patahan cup & cone merupakan bentuk patahan yang cukup liat (Avner Sidney H. 1974).

### Permukaan Patah Lelah

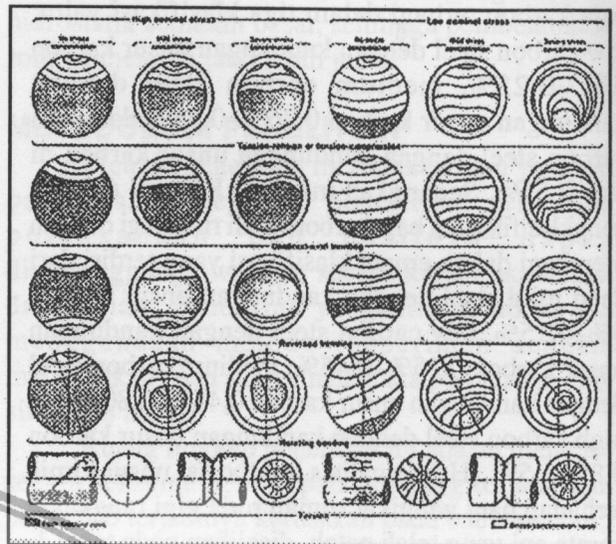
Permukaan patahan baut menunjukkan karakteristik seperti sebuah hasil yang berkaitan dengan fatigue/kelelahan.



Gambar 5. Foto Permukaan Baut Patah

Dan hubungannya dengan struktur mikro seperti yang telah dibahas sebelumnya dapat lebih dijelaskan dengan mengacu pada gambar 5, dimana memperlihatkan bagaimana besarnya tegangan nominal (*nominal stress*), tingkat pemusatan tegangan (*stress concentration*) dan jenis pembebanan mempengaruhi penampakan permukaan patah lelah (*fatigue-fracture surfaces*) dari komponen berpenampang bulat seperti halnya pada baut. (H.O. Fuchs, 1980). Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan permukaan patahan baut nampaknya sangat mendekati kondisi kerusakan dari jenis kelelahan (*fatigue*) akibat siklus beban, tarik-menarik (*tension-tension*) atau tarik-kompresi (*tension-compression*) atau gaya lentur (*bending*

*process*) dengan tingkat beban tegangan nominal rendah (*low nominal stress*). Tingkat beban dengan low nominal stress ini ditandai oleh penampakan luas daerah perambatan retak yang mencapai sekitar lebih dari 90% dari luas permukaan patahan baut.



Gambar 6.

Sketsa Permukaan Patah Lelah Yang Terjadi Pada Komponen Berpenampang Bulat Dengan dan Tanpa Takikan Pada Berbagai Kondisi Pembebanan

Mengingat lokasi patahan terjadi pada bagian baut yang tidak berulir maka berdasarkan gambar 6 berarti bahwa tingkat pemusatan tegangan yang terjadi akibat pengaruh bentuk atau desain dapat dikategorikan sebagai tidak ada konsentrasi tegangan (*no stress concentration*).

### SIMPULAN

Kerusakan pada baut pengikat rumah roda gigi rangkaian kereta api termasuk jenis patah lelah (*fatigue fracture*) dengan kondisi tegangan nominal yang rendah. Kondisi pembebanan dengan tingkat nominal yang rendah telah didukung oleh hasil pengujian komposisi kimia, sifat mekanis, dan metalografi yang menunjukkan bahwa baut tersebut mempunyai kekuatan tarik = 100 kg/mm<sup>2</sup>, kuat luluh = 86 kg/mm<sup>2</sup>, dan regangan (*elongation*) = 19,10 %.

Bahan baut yang digunakan sebagai pengikat rumah roda gigi rangkaian kereta api tersebut mempunyai nilai kekerasan antara 290-315 HV atau ekuivalen dengan kekerasan Brinell sekitar 275-300 HB, sehingga dapat menimbulkan kegetasan, terutama terhadap beban dampak atau beban tiba-tiba, dan sangat sensitif terhadap takikan.

Kerusakan akibat kelelahan pada baut pengikat rumah roda gigi rangkaian kereta api diawali dan dipercepat oleh cacat manufaktur. Hal ini ditunjukkan dengan 1 (satu) buah baut vertikal yang digunakan sebagai pengikat rumah roda gigi tidak sesuai dengan standar untuk pengikat rumah roda gigi rangkaian kereta api.

Patahan baut horizontal penahan rumah roda gigi disebabkan karena kelelahan material (fatigue) akibat guncangan-guncangan transversal sehingga mengalami patah pada bagian akhir ulir.

#### DAFTAR PUSTAKA

Darmawan, H., 1997, *Kriteria Lelah Untuk Perancangan Komponen Mesin*, Prosiding Seminar Fatigue & Fracture Mechanics, ITB, 1-18, 1997.

D.N. Adnyana, Hasyim, dan Sugiarto, 2004, *Analisa Kerusakan Baut Cylinder Head Mesin Diesel Pembangkit Listrik*, Jurnal Ilmiah Teknik Mesin, Vol.6 No.1, Janurai 2004, ISSN 1411-1330.

George E. Dieter, 1992, *Metalurgi Mekanik, Edisi ke 3, Jilid 2, Alih Bahasa: Sriati Djaprie*, Penerbit Erlangga, Jakarta.

H.O. Fuchs & R. I. Stephens, 1980, *Metal Fatigue in Engineering*, A. Wiley Interscience Publication, New York.

Ilham Hatta, 2000, *Analisis Kerusakan Baut Pengikat Meja Putar Pada Sistem Transportasi Alat Angkat*, Jurnal Mikroskopi dan Mikroanalisis, Vol. 3 No. 1, ISSN 1410-559

Joseph E. Shigley & Larry D. Mitchell, 1991, *Perencanaan Teknik Mesin, Edisi ke 4, Jilid 1*, Alih Bahasa: Gandhi Harahap, Penerbit Erlangga, Jakarta.

Lawrence H. Van Vlack, 1989, *Ilmu dan Teknologi Bahan, Alih Bahasa: Sriati Djaprie*, Penerbit Erlangga, Jakarta

Surdia T., Saito S., 1992, *Pengetahuan Bahan Teknik*, Cetakan kedua, PT. Pradnya Paramita, Jakarta