



**KOMITE NASIONAL KESELAMATAN TRANSPORTASI
REPUBLIK INDONESIA**

LAPORAN AKHIR

KNKT.18.03.04.02

LAPORAN KEJADIAN PERKERETAAPIAN

REL PATAH

DI KM 49+3/4 PETAK JALAN ANTARA ST. CILEBUT– ST. BOGOR

DAOP I JAKARTA

07 MARET 2018



2019



KOMITE NASIONAL KESELAMATAN TRANSPORTASI

*“Keselamatan dan Keamanan Transportasi
Merupakan Tujuan Bersama”*

DASAR HUKUM

Laporan ini diterbitkan oleh **Komite Nasional Keselamatan Transportasi (KNKT)**, Gedung Kementerian Perhubungan Lantai 3, Jalan Medan Merdeka Timur No. 5, Jakarta 10110, Indonesia, pada tahun 2017 berdasarkan:

1. Undang-Undang Nomor 23 Tahun 2007 tentang Perkeretaapian;
2. Peraturan Pemerintah Nomor 56 Tahun 2009 tentang Penyelenggaraan Perkeretaapian, sebagaimana telah diubah dengan Peraturan Pemerintah Nomor 6 Tahun 2017 tentang Perubahan atas Peraturan Pemerintah Nomor 56 Tahun 2009 tentang Penyelenggaraan Perkeretaapian;
3. Peraturan Pemerintah Nomor 72 Tahun 2009 tentang Lalu Lintas dan Angkutan Kereta Api, sebagaimana telah diubah dengan Peraturan Pemerintah Nomor 61 Tahun 2016 tentang Perubahan atas Peraturan Pemerintah Nomor 72 Tahun 2009 tentang Lalu Lintas dan Angkutan Kereta Api;
4. Peraturan Pemerintah Nomor 62 Tahun 2013 tentang Investigasi Kecelakaan Transportasi;
5. Peraturan Presiden Nomor 2 Tahun 2012 tentang Komite Nasional Keselamatan Transportasi.

*Keselamatan adalah merupakan pertimbangan yang paling utama ketika KOMITE mengusulkan **rekomendasi keselamatan** sebagai hasil dari suatu penyelidikan dan penelitian.*

KOMITE sangat menyadari sepenuhnya bahwa ada kemungkinan implementasi suatu rekomendasi dari beberapa kasus dapat menambah biaya bagi yang terkait.

*Para pembaca sangat disarankan untuk menggunakan informasi yang ada di dalam laporan KNKT ini dalam rangka **meningkatkan tingkat keselamatan transportasi**; dan tidak diperuntukkan untuk penuduhan atau penuntutan.*

KATA PENGANTAR

Puji syukur dipanjatkan kehadirat Tuhan Yang Maha Esa dengan telah selesainya penyusunan Laporan Final Investigasi Kejadian Perkeretaapian Rel Patah di KM 49+3/4 Petak Jalan antara St. Cilebut– St. Bogor DAOP I Jakarta tanggal 07 Maret 2018.

Bahwa tersusunnya Laporan Final Investigasi Kejadian Perkeretaapian ini sebagai pelaksanaan dari amanah atau ketentuan Peraturan Pemerintah Nomor 62 Tahun 2013 tentang Investigasi Kecelakaan Transportasi pasal 39 ayat 2 huruf c, menyatakan “Laporan investigasi kecelakaan transportasi sebagaimana dimaksud pada ayat (1) terdiri atas laporan akhir (final report)”.

Laporan Final Investigasi Kejadian Perkeretaapian ini merupakan hasil keseluruhan investigasi yang memuat antara lain; informasi fakta, analisis fakta penyebab paling memungkinkan terjadinya kejadian, saran tindak lanjut untuk pencegahan dan perbaikan, serta dokumen pendukung lainnya. Di dalam laporan ini dibahas mengenai kejadian perkeretaapian tentang apa, bagaimana dan mengapa terjadi serta temuan tentang penyebab beserta rekomendasi keselamatan perkeretaapian kepada para pihak untuk mengurangi atau mencegah terjadinya kejadian dengan penyebab yang serupa agar tidak terulang di masa yang akan datang. Penyusunan laporan final ini disampaikan kepada pihak terkait kejadian antara lain regulator dan operator perkeretaapian.

Demikian Laporan Final Investigasi Kejadian Perkeretaapian ini dibuat agar para pihak yang berkepentingan dapat mengetahui dan mengambil pembelajaran dari kejadian ini.

Jakarta, Mei 2019
**KOMITE NASIONAL
KESELAMATAN TRANSPORTASI
KETUA**



SOERJANTO TIAHJONO

DAFTAR ISI

| | |
|--|------------|
| KATA PENGANTAR | i |
| DAFTAR ISI..... | i |
| DAFTAR ISTILAH..... | ii |
| DAFTAR GAMBAR | iii |
| SINOPSIS..... | v |
| I. INFORMASI FAKTUAL | 1 |
| I.1 KRONOLOGIS | 1 |
| I.2 AKIBAT INSIDEN | 1 |
| I.3 EVAKUASI..... | 2 |
| I.3.1 Prasarana | 2 |
| I.3.2 Sarana | 2 |
| I.3.3 Operasional..... | 2 |
| I.4 DATA INVESTIGASI | 2 |
| I.4.1 Jalan Rel | 2 |
| I.5. INFORMASI TAMBAHAN | 4 |
| I.5.1. SERI PERJANA 2012 BUKU 6A – METODE PERAWATAN JALAN REL BAGIAN 2.7B PERBAIKAN SAMBUNGAN HAL. 169 – 170 [1]. | 4 |
| I.5.2 SERI PERJANA 2012 BUKU 6A – METODE PERAWATAN JALAN REL BAGIAN 2.8C PERBAIKAN REL PUTUS HAL. 215 [1]...... | 5 |
| I.5.3 PM 32 TAHUN 2011 TENTANG STANDAR DAN TATA CARA PERAWATAN PRASARANA PERKERETAAPIAN [2]..... | 5 |
| II. ANALISIS..... | 6 |
| II.1. MEKANISME TERJADINYA PATAH REL | 6 |
| II.2. PROSEDUR PEMOTONGAN REL | 8 |
| II.3. PENGARUH JUMLAH BAUT DAN CLAMPING FORCE PADA SAMBUNGAN | 8 |
| III. KESIMPULAN..... | 11 |
| III.1. TEMUAN | 11 |
| III.2. FAKTOR – FAKTOR YANG BERKONTRIBUSI | 11 |
| IV. REKOMENDASI | 12 |
| IV.1 DIREKTORAT JENDERAL PERKERETAAPIAN | 12 |
| IV.2 PT. KERETA API INDONESIA (PERSERO)..... | 12 |
| V. REFERENSI..... | 13 |

DAFTAR ISTILAH

- KA : Kereta Api, adalah sarana perkeretaapian dengan tenaga gerak, baik berjalan sendiri maupun dirangkaikan dengan sarana perkeretaapian lainnya, yang akan ataupun sedang bergerak di jalan rel yang terkait dengan perjalanan kereta api.
- Lintas : Bagian jalan kereta api yang terdiri dari pada rangkaian beberapa petak jalan.
- Petak jalan : Bagian jalan kereta api yang letaknya diantara dua stasiun yang berdekatan.
- St. : Stasiun, tempat kereta api berhenti dan berangkat, bersilang, menyusul atau disusul yang dikuasai oleh seorang kepala yang bertanggung jawab penuh atas urusan perjalanan kereta api.

DAFTAR GAMBAR

| | |
|---|----|
| Gambar 1. Lokasi rel patah jalur hulu Km. 49+3/4 antara St. Cilebut – St. Bogor. | 1 |
| Gambar 2. Cacat pada permukaan kepala rel | 2 |
| Gambar 3. Jejak benturan pelat sambung dengan bagian bawah kepala rel. | 3 |
| Gambar 4. Permukaan ujung rel pada sambungan tidak rata | 3 |
| Gambar 5. Deformasi plastis pada lubang rail web..... | 3 |
| Gambar 6. Indikasi mud pumping pada daerah sambungan | 4 |
| Gambar 7. Konfigurasi sambungan dengan 4 buah baut..... | 4 |
| Gambar 8. Proses terjadinya rambatan retak | 7 |
| Gambar 9. Rel patah gompal (head-web separation) | 7 |
| Gambar 10. <i>Beach marks</i> penjalaran retak..... | 7 |
| Gambar 11. Bagian pada rel | 9 |
| Gambar 12. (a) <i>Head-web separation</i> ; (b) deformasi plastis pada lubang <i>rail web</i> ; (c) Bekas pukulan/ benturan pada <i>upper fishing surface</i> | 10 |

SINOPSIS

Pada hari Rabu tanggal 07 Maret 2018, sekitar pukul 05.14 WIB dilaporkan adanya rel patah di km 49+3/4 petak jalan antara St. Cilebut – St. Bogor (jalur hulu) sehingga jalur tersebut tidak dapat dilalui sehingga perjalanan KRL harus berjalan bergantian menggunakan satu jalur. Sebagian perjalanan KRL tujuan Bogor diatur hanya sampai St. Bojonggede dan St. Cilebut untuk selanjutnya kembali lagi menuju St. Jakarta Kota, St. Angke dan St. Jatinegara.

Pada pukul 07.39 WIB, perbaikan sementara telah selesai dilakukan dan perjalanan KRL lintas St. Cilebut – St. Bogor kembali normal. Kejadian rel patah ini mengakibatkan gangguan operasional KRL sebanyak (delapan) perjalanan KRL dan jalur hulu tidak dapat dilalui selama 2 jam 25 menit.

Dari temuan investigasi kejadian ini diketahui bahwa inisiasi patahnya rel berawal dari adanya takikan pada permukaan *rail end* di daerah sambungan. Disamping itu ditemukan pula adanya indikasi *mud pumping* di lokasi patahnya rel, adanya cacat pada permukaan kepala rel (*rail batter*) yang patah gompal, bekas benturan pelat sambung dengan rel pada daerah kontak *fishing surface*, deformasi plastis akibat benturan batang baut pada lubang *rail web*.

KNKT menyimpulkan bahwa kondisi permukaan pada *rail end* tidak rata serta banyak sudut tajam/takikan hasil pengerjaan dengan pemotong pijar, kualitas sambungan yang buruk yaitu *clamping force* yang rendah dan tumpuan struktur rel yang tidak baik yaitu adanya indikasi *mud pumping* menjadi faktor yang berkontribusi pada kejadian patahnya rel ini. Berdasarkan kesimpulan tersebut, KNKT menyusun rekomendasi keselamatan agar kejadian serupa tidak terjadi lagi dikemudian hari, yang ditujukan ke Direktorat Jenderal Perkeretaapian sebagai regulator dan PT. KAI (Persero) sebagai operator.

I. INFORMASI FAKTUAL

I.1 KRONOLOGIS

Pada hari Rabu tanggal 07 Maret 2018, sekitar pukul 05.14 WIB dilaporkan adanya rel patah di km 49+3/4 petak jalan antara St. Cilebut – St. Bogor (jalur hulu) sehingga jalur tersebut tidak dapat dilalui sehingga perjalanan KRL harus berjalan bergantian menggunakan satu jalur. Sebagian perjalanan KRL tujuan Bogor diatur hanya sampai St. Bojonggede dan St. Cilebut untuk selanjutnya kembali lagi menuju St. Jakarta Kota, St. Angke dan St. Jatinegara.

Pada pukul 07.39 WIB, perbaikan sementara telah selesai dilakukan dan perjalanan KRL lintas St. Cilebut – St. Bogor kembali normal.

Kejadian rel patah ini mengakibatkan gangguan operasional KRL sebanyak (delapan) perjalanan KRL dan jalur hulu tidak dapat dilalui selama 2 jam 25 menit.



Gambar 1. Lokasi rel patah jalur hulu Km. 49+3/4 antara St. Cilebut – St. Bogor.

I.2 AKIBAT INSIDEN

I.2.1 Prasarana

Rel patah sepanjang 45 cm.

I.2.2 Sarana

Tidak ada.

I.2.3 Operasional

Jalan rel ke arah St. Cilebut dari St. Bogor tidak dapat dilalui selama 2 jam 25 menit. KRL bergantian dengan menggunakan satu jalur sehingga terdapat antrian dari dan menuju St. Bogor. Terdapat sebanyak 8 (delapan) perjalanan KRL mengalami gangguan, antara lain :

- 1) KRL 1014 yang seharusnya berangkat dari Stasiun Cilebut pada pukul 05.10 WIB berubah menjadi KRL 1507 Relasi Stasiun Cilebut – Stasiun Angke pada pukul 05.57 WIB;
- 2) KRL 1048 yang seharusnya berangkat dari Stasiun Cilebut pada pukul 06.05 WIB dan berangkat kembali pada pukul 06.13 WIB sebagai KRL 1609 Relasi perjalanan Stasiun Cilebut – Stasiun Angke;
- 3) KRL 1020 yang seharusnya berangkat dari di Stasiun Cilebut pada pukul 06.22 WIB dan berangkat kembali pada pukul 06.29 sebagai KRL 1073 Relasi perjalanan Stasiun Cilebut – Stasiun Jakarta Kota;

- 4) KRL 1030 yang seharusnya berangkat dari di Stasiun Cilebut pada pukul 06.52 WIB dan berangkat kembali pada pukul 06.51 WIB menjadi KRL 1731 Relasi perjalanan Stasiun Cilebut – Stasiun Jatinegara;
- 5) KRL 1034 yang seharusnya berangkat dari di Stasiun Cilebut pada pukul 07.20 WIB dan berangkat kembali pada pukul 07.30 WIB sebagai KRL 1087;
- 6) KRL 1016 tiba di Stasiun Cilebut pada pukul 06.00 WIB;
- 7) KRL 1022 tiba di Stasiun Cilebut pada pukul 06.41 WIB;
- 8) KRL 1032 tiba di Stasiun Cilebut pada pukul 07.17 WIB.

I.2.4 Korban Manusia

Tidak ada.

I.3 EVAKUASI

I.3.1 Prasarana

Dilakukan perbaikan sementara rel yang patah di lokasi kejadian.

I.3.2 Sarana

Tidak ada.

I.3.3 Operasional

Selama proses perbaikan prasarana, perjalanan KA menggunakan jalur hilir.

I.4 DATA INVESTIGASI

I.4.1 Jalan Rel

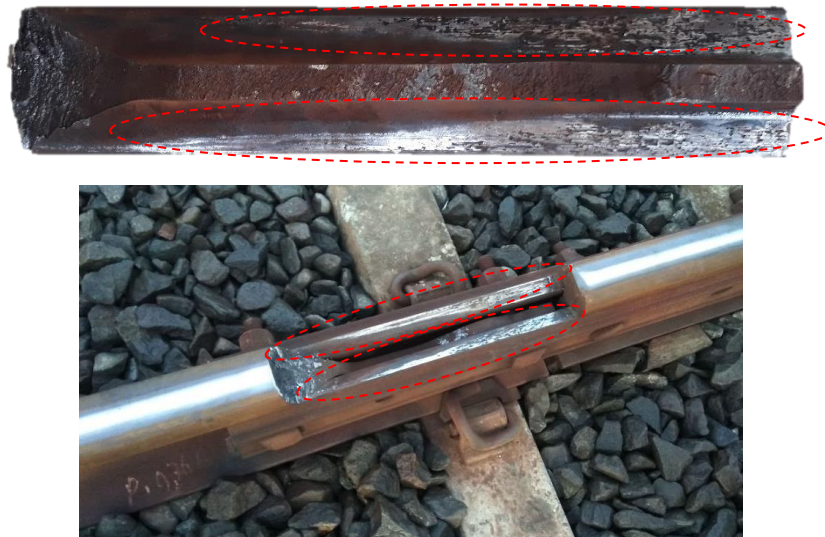
Rel patah terjadi di Km. 49+3/4 di petak jalan antara St. Cilebut – St. Bogor Wilayah Daop I Jakarta. Data jalan rel di lokasi kejadian, sebagai berikut :

- 1) Rel : Tipe R.54
- 2) Bantalan : Beton
- 3) Penambat : Elastis Clip Pandrol
- 4) Terdapat cacat pada permukaan kepala rel (rail batter) yang patah gompal.



Gambar 2. Cacat pada permukaan kepala rel

- 5) Terdapat bekas pukulan/ benturan pelat sambung (fishplate) dengan bagian bawah kepala rel.



Gambar 3. Jejak benturan pelat sambung dengan bagian bawah kepala rel.

- 6) Kondisi permukaan area penampang rel arah longitudinal pada sambungan tidak halus atau banyak terdapat takikan.



Gambar 4. Permukaan ujung rel pada sambungan tidak rata

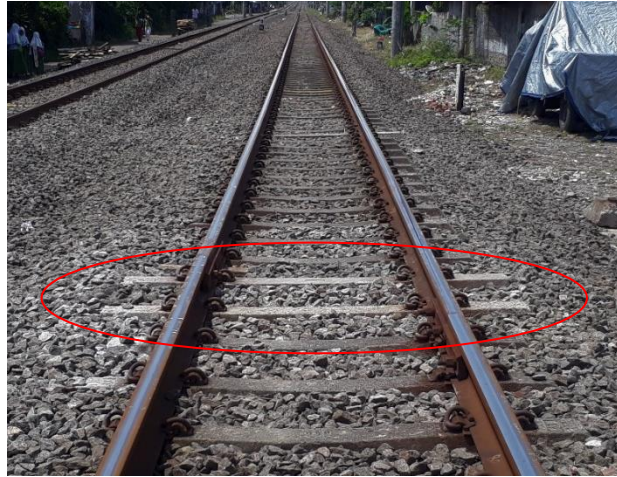
- 7) Terdapat warna coklat pekat pada daerah patahan dimana hal ini terjadi karena korosi yang telah lama.

- 8) Terdapat deformasi plastis pada lubang baut *rail web*.



Gambar 5. Deformasi plastis pada lubang rail web

- 9) Adanya indikasi mud pumping pada titik terjadinya rel patah.



Gambar 6. Indikasi mud pumping pada daerah sambungan

10) Terdapat konfigurasi sambungan dengan 4 buah baut.



Gambar 7. Konfigurasi sambungan dengan 4 buah baut

I.5. INFORMASI TAMBAHAN

I.5.1. SERI PERJANA 2012 BUKU 6A – METODE PERAWATAN JALAN REL BAGIAN 2.7B PERBAIKAN SAMBUNGAN HAL. 169 – 170 [1].

Pengencangan sambungan harus dilakukan seperti berikut :

- *Baut-baut tengah sambungan dikencangkan dulu, jangan kuat,

 - *Kencangkan kedua baut tengah.*
 - *Kemudian lakukan ¼ putaran ke belakang**
- *Kemudian maju ke baut – baut yang berikutnya sampai ujung pelat penyambung dengan cara yang sama.*
- *Kencangkan lagi baut-baut tengah untuk menempatkan pelat penyambung dengan baik.*
- *Kemudian kencangkan lagi baut-baut yang berikut.*

Pengencangan sambungan harus diperhatikan; sambungan yang dikencangkan terlalu kuat bisa menimbulkan jalan rel ngulet walaupun nilai siar besar.

Penggunaan kunci baut penyambung dengan perpanjangan pegangan dilarang.

Saran-saran:

Gunakan baut dengan cincin per.

*Kencangkan baut sedemikian rupa cincin per biasa berfungsi dengan baik.
Jangan gepengkan cincin per.*

I.5.2 SERI PERJANA 2012 BUKU 6A – METODE PERAWATAN JALAN REL BAGIAN 2.8C PERBAIKAN REL PUTUS HAL. 215 [1].

*Jangan memotong atau melubangi rel dengan memakai pemotong pijar.
Pemotongan harus dilakukan dengan menggergaji rel dan dilubangi dengan mesin bor.
Seluruh penggantian rel harus dikerjakan dengan memasang semboyan 3.*

I.5.3 PM 32 TAHUN 2011 TENTANG STANDAR DAN TATA CARA PERAWATAN PRASARANA PERKERETAAPIAN [2].

Lampiran 1 PM 32 Tahun 2011 tanggal 25 Februari 2011 tentang Standar dan Tata Cara Perawatan Prasarana Perkeretaapian :

3. *Perawatan Berkala merupakan tindakan pencegahan (preventif) dan/atau penggantian sesuai dengan umur teknis.*

A. Perawatan Harian

1) Geometri Rel

b) Sambungan

- Perawatan sambungan dilakukan untuk menjaga agar kondisi sambungan tetap dalam kondisi yang baik sehingga operasi kereta api dapat berjalan dengan lancar*
- Ruang lingkup perawatan sambungan terdiri dari :*
 - Pengencangan baut – baut sambungan.*
- Peralatan yang dibutuhkan antara lain :*
 - Visual*
 - Kunci Inggris*
- Personil yang dibutuhkan, minimal:*
 - Tenaga Perawatan*
- Tata cara perawatan*
 - Amati sambungan pada rel baik di lurus maupun lengkung*
 - Kencangkan baut – baut yang kendur pada sambungan*

II. ANALISIS

Sambungan rel merupakan daerah yang paling lemah pada jalan rel, terutama karena diskontinuitas sifat geometris dan mekaniknya. Diskontinuitas geometris mencakup celah rel, ketidakcocokan ketinggian, dan sudut kemiringan. Area penampang yang lebih kecil dan kekakuan lengkungan batang yang lebih rendah, dibandingkan dengan rel itu sendiri, mengarah pada diskontinuitas sifat mekanik. Diskontinuitas tersebut dapat menyebabkan beban impak roda yang tinggi, dimana hal ini dapat mengakibatkan *rail end batter*, baut longgar, kondisi kualitas sambungan memburuk, dan defleksi yang berlebihan. Akhirnya potensi cacat yang dapat ditemukan antara lain seperti; retakan/ deformasi plastis pada lubang baut pada badan rel (*rail web*), kepala rel patah gompal (*head-web separation*), baut bengkok atau patah dan pelat penyambung (*fishplate*) retak atau patah [3].

Tim investigasi menemukan kondisi permukaan pada *rail end* tidak rata serta banyak sudut tajam (*takik*). Rel ini dipotong dengan menggunakan *oxy-cutting/ oxyacetylene cutting/ flame cutting* (pemotong pijar) dan kemudian tidak dirapihkan permukaannya sehingga masih banyak takikan pada permukaan ujung rel ini. Disamping itu ditemukan pula adanya bekas benturan pelat sambung dengan bagian leher kepala rel, cacat pada kepala rel, *mud pumping* dan sambungan dengan 4 buah baut.

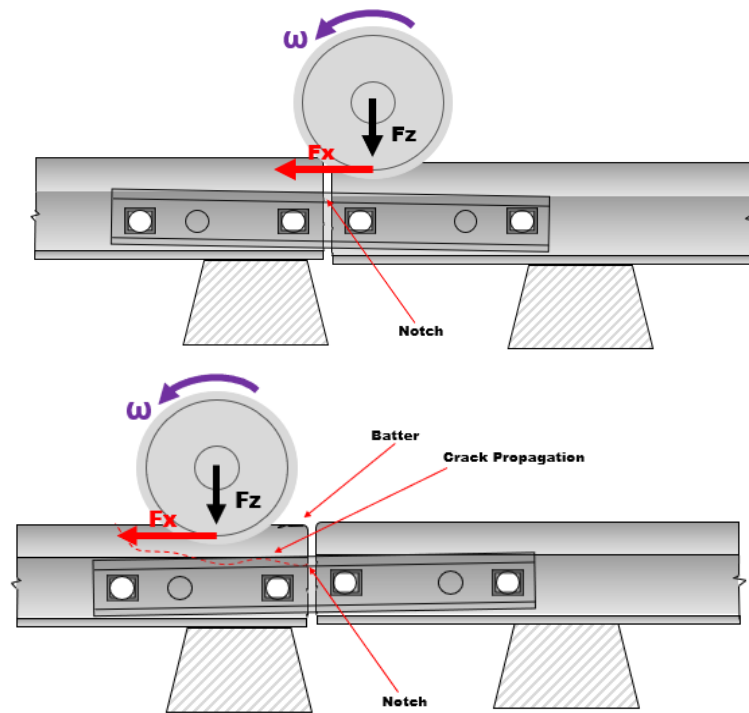
Analisa dari laporan ini akan membahas permasalahan – permasalahan relevan yang menyebabkan patahnya rel. Pada bagian analisa ini akan membahas tentang:

1. Mekanisme terjadinya patah rel;
2. Pengaruh jumlah baut dan *clamping force* pada sambungan;
3. Prosedur pemotongan rel.

II.1. MEKANISME TERJADINYA PATAH REL

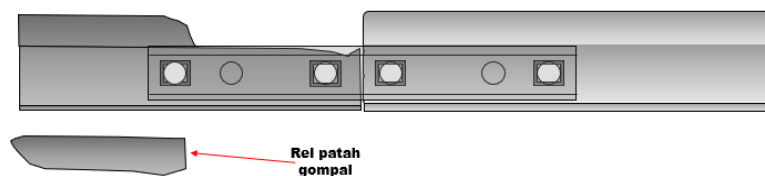
Mekanisme terjadinya patahan pada rel adalah sebagai berikut:

1. Adanya takikan di permukaan ujung rel pada daerah sambungan. Takikan ini terjadi karena proses pemotongan rel yang menghasilkan permukaan hasil potongan yang tidak rata. Setelah rel dipotong dengan menggunakan pemotong pijar, permukaan ujung rel ini tidak dirapihkan permukaannya sehingga banyak terdapat takikan pada permukaan tersebut dimana takikan ini menjadi titik konsentrasi tegangan (*stress concentration*). Titik konsentrasi tegangan menyebabkan tegangan hasil pembebanan roda terhadap rel akan terpusat pada titik tersebut sehingga mengakibatkan terjadinya awal retak pada titik tersebut (*crack initiation*).
2. Indikasi adanya *mud pumping* dan kualitas sambungan yang buruk menyebabkan defleksi yang besar pada rel sehingga rel akan turun ketika bagian rel ini dilalui oleh sarana kemudian menghatam kepala rel berikutnya. Kejadian ini berulang – ulang sehingga mengakibatkan timbulnya cacat pada kepala rel (*rail batter*) dan benturan pelat sambung dengan bagian leher kepala rel (*fishing surface*). Benturan pada *fishing surface* ini mempercepat proses penjalaran retak (*crack propagation*). Pada proses patah lelah ini, inisiasi retak dimulai pada daerah transisi antara *rail head* dengan *rail web*. Rambat retak ini secara makro dapat terlihat sebagai *beach mark* (Gambar 10).

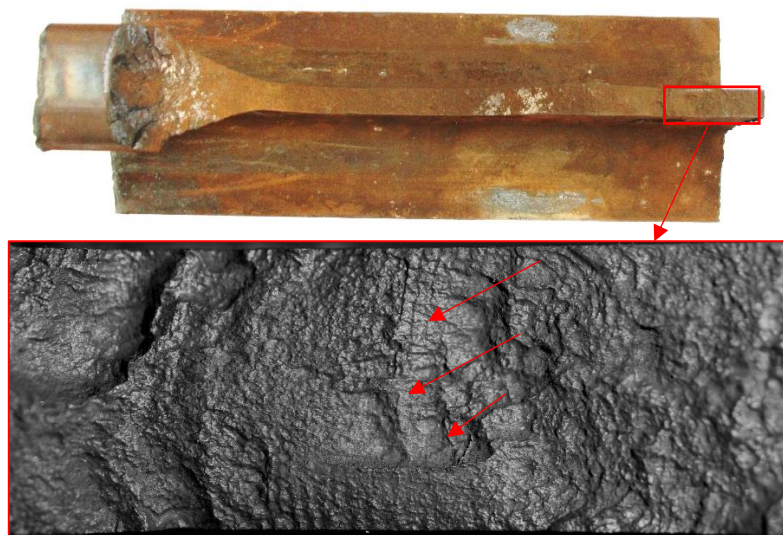


Gambar 8. Proses terjadinya rambatan retak

3. Adanya takikan sebagai awal terjadinya patah lelah. Penjalaran retak terjadi ketika rel pada bagian ini mengalami siklus pembebanan berulang – ulang hingga patah akhir terjadi (rel gompal). Penjalaran retak ini tidak terlihat pada saat proses pemeriksaan sambungan karena bagian retakan ini tertutup oleh pelat sambungan (fishplate).



Gambar 9. Rel patah gompal (head-web separation)



Gambar 10. Beach marks penjalaran retak

II.2. PROSEDUR PEMOTONGAN REL

Pada kejadian rel patah ini, ditemukan permukaan yang tidak rata di kedua ujung rel pada sambungan. Permukaan yang tidak rata ini adalah hasil dari pemotongan rel dengan metoda *oxy-cutting/ oxyacetylene cutting/ flame cutting* (pemotong pijar). Seharusnya setelah dipotong dengan menggunakan pemotong pijar, permukaan kasar hasil potongan harus dirapihkan. Pemotongan rel dengan pemotong pijar dapat menimbulkan *heat affected zone* (HAZ) pada daerah potongan.

Daerah HAZ merupakan daerah paling kritis, karena selain berubah struktur metalurginya, juga terjadi perubahan sifat baja yang semula ulet (ductile) menjadi getas (brittle) pada daerah ini. Proses pemotongan dengan menggunakan pemotong pijar menghasilkan daerah HAZ yang luas. HAZ dalam kasus ini merupakan daerah yang terkena pengaruh panas selama proses pemotongan dengan pemotong pijar dengan penggunaan api yang lebar dimana daerah ini mengalami kecepatan pemanasan yang lambat, pendinginan yang cepat dan penggunaan api yang lebar. Hal ini menyebabkan terjadinya perubahan struktur metalurgi akibat pengerjaan tersebut. Perubahan struktur metalurgi tersebut dapat menyebabkan tegangan sisa, penurunan kekuatan material, peningkatan kegetasan (brittleness), dan penurunan resistensi terhadap korosi dan keretakan (crack).

Dalam Buku 6A Seri Perjana: Metode Kerja Perawatan Jalan Rel, tidak diperbolehkan memotong rel dan melubangi rel dengan pemotong pijar. Pengerjaan pemotongan harus dilakukan dengan gergaji rel. Begitu pula dengan pelubangan rel harus menggunakan mesin bor.

II.3. PENGARUH JUMLAH BAUT DAN *CLAMPING FORCE* PADA SAMBUNGAN

Pada kejadian ini, sambungan hanya terdapat 4 (empat) buah baut yang mengikat 2 (dua) buah pelat penyambung (fishplate). Ditemukan bekas pukulan pada daerah kontak fishplate di permukaan bawah kepala rel (fishing surface) pada rel. Adanya bekas pukulan pada *fishing surface* mengindikasikan bahwa *clamping force* sambungan baut rendah. Hal ini juga dibuktikan dengan adanya deformasi plastis lubang baut *rail web* dengan posisi pada lubang setelah *rail end*. Deformasi ini terjadi karena adanya benturan batang baut dengan lubang baut pada railweb akibat sambungan baut yang telah mengendur. Ketika sambungan baut kendur, gaya jepit *fishplate* (clamping force) akan menurun dan ayunan (vertical displacement) serta tegangan didaerah transisi antara kepala dan badan rel/ *rail head-rail web* (*upper fillet stress*) menjadi meningkat. Dapat pula dikatakan bahwa keadaan ini terjadi karena kontak yang tidak baik antara rel dan pelat penyambung yang dikarenakan kualitas sambungan yang buruk.

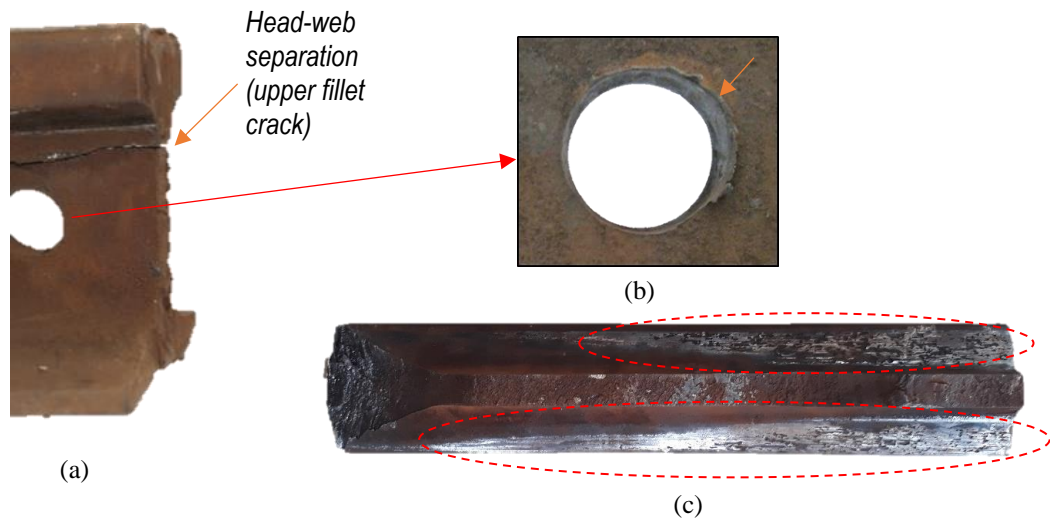


Gambar 11. Bagian pada rel

Pengenduran sendiri (*self-loosening*) yang terjadi pada baut dengan mur disebabkan oleh getaran yang tinggi atau beban geser yang berulang sehingga menyebabkan pergeseran pada sambungan dan nilai *initial preload* atau *pre-tension* pada baut yang terlalu kecil. *Initial preload* atau *pretension* adalah tegangan yang timbul pada saat pertama kali baut dikencangkan. Nilai *initial preload* atau *pretension* yang benar akan menimbulkan gaya gesek yang mencegah gerakan relatif antara baut dan mur, apabila nilainya terlalu besar juga akan menyebabkan kerusakan pada ulir baut [4].

Selain itu dalam pedoman perawatan jalan rel tidak ditemukan aturan atau pedoman yang menjelaskan nilai momen/torsi pengencangan dari baut sesuai dengan diameter dan *grade* dari baut yang digunakan pada sambungan dengan *fishplate*. Hal ini dapat berakibat nilai *pretension* dari baut-baut yang ada di sambungan menjadi bervariasi sehingga memungkinkan terdapat baut dengan nilai *pretension* baut yang kecil (*under-tighten*) atau nilai *pretension* baut yang terlalu besar (*over-tighten*). Pada saat pengencangan, penggunaan kunci torsi dapat dipertimbangan sehingga secara otomatis dapat menghindari *clamping force* yang kurang atau berlebihan pada sambungan.

Peningkatan amplitudo getaran pada konstruksi sambungan, tidak sesuai nilai *pretension* baut sesuai dengan diameter dan *grade* dari baut yang digunakan merupakan penyebab utama terjadinya pengenduran sendiri dari baut-baut yang terpasang di sambungan, dimana hal ini dapat berdampak langsung terhadap terjadinya gerakan/ ayunan pada komponen sambungan saat dilewati oleh beban rangkaian kereta api yang pada akhirnya berakibat pada meningkatnya *upper fillet stress* ditambah dengan adanya takikan pada permukaan rail-end (stress concentration) khususnya pada daerah transisi antara *head-web* sehingga mempercepat terjadinya kepala rel patah gompal (*head-web separation*).



Gambar 12. (a) *Head-web separation*; (b) deformasi plastis pada lubang *rail web*; (c) Bekas pukulan/ benturan pada *upper fishing surface*.

Dalam PM 32 Tahun 2011 tentang Standar dan Tata Cara Perawatan Prasarana Perkeretaapian serta Buku 6A Seri Perjana: Metode Kerja Perawatan Jalan Rel, tidak terdapat nominal torsi/ momen pengencangan sambungan baut khususnya pada sambungan rel. Seharusnya nilai torsi/ momen pengencangan sambungan baut ini ditetapkan sehingga tujuan perawatan yaitu untuk mempertahankan kehandalan dapat tercapai.

III. KESIMPULAN

Berdasarkan data faktual dan analisis yang dilakukan dalam proses investigasi kecelakaan, Komite Nasional Keselamatan Transportasi menyimpulkan bahwa:

III.1. TEMUAN

- a. Terdapat permukaan yang tidak rata serta banyak sudut tajam/ takikan pada permukaan *rail end* hasil pekerjaan dengan pemotong pijar.
- b. Terdapat cacat pada permukaan kepala rel (rail batter) yang patah gompal.
- c. Adanya indikasi *mud pumping* di lokasi patahnya rel.
- d. Sambungan menggunakan 4 (empat) buah baut untuk mengikat pelat sambung.
- e. Adanya bekas pukulan/ benturan pelat sambung dengan rel pada daerah kontak *fishing surface*.
- f. Adanya deformasi plastis akibat benturan batang baut pada lubang *rail web* di dekat *rail end*.
- g. Investigasi tidak menemukan adanya standar nilai torsi pengencangan baut pada sambungan rel.
- h. Pada lampiran Peraturan Menteri Perhubungan No. 32 tahun 2011 ditemukan bahwa peralatan untuk mengencangkan baut pada sambungan adalah dengan menggunakan kunci inggris.
- i. Himbauan pelarangan memotong rel dengan pemotong pijar sudah tercantum dalam Buku 6A Seri Perjana: Metode Kerja Perawatan Jalan Rel yang dikeluarkan oleh PT. Kereta Api (Persero) pada tahun 2012.
- j. Pada daerah sambungan, retak makro pada rel akan sulit terlihat karena tertutup oleh pelat sambung sehingga berkemungkinan tidak terdeteksi oleh Petugas Pemeriksa Jalan Rel.

III.2. FAKTOR – FAKTOR YANG BERKONTRIBUSI

- a. Kondisi permukaan pada *rail end* tidak rata serta banyak sudut tajam/ takikan hasil pengerjaan dengan pemotong pijar dimana hal ini berperan sebagai titik konsentrasi tegangan ketika struktur sambungan rel mengalami pembebanan rangkaian kereta api.
- b. Kualitas sambungan yang buruk yaitu *clamping force* yang rendah dimana hal ini menyebabkan *vertical displacement* yang tinggi ketika dilewati beban rangkaian kereta api sehingga menghasilkan kenaikan *upper fillet stress*.
- c. Kualitas tumpuan struktur rel yang tidak baik yaitu adanya indikasi *mud pumping* pada bantalan penumpu sambungan rel sehingga meningkatkan *vertical displacement* pada sambungan tersebut.

IV. REKOMENDASI

Berdasarkan informasi faktual, analisis dan kesimpulan investigasi, Komite Nasional Keselamatan Transportasi menyusun rekomendasi keselamatan agar kejadian serupa tidak terjadi dikemudian hari kepada:

IV.1 DIREKTORAT JENDERAL PERKERETAAPIAN

- a. Melakukan pengawasan terhadap keselamatan prasarana perkeretaapian khususnya permasalahan kehandalan kualitas sambungan rel pada sambungan rel dengan menggunakan sambungan baut.
- b. Mengevaluasi kembali peraturan yang terkait dengan standar, prosedur dan tata cara pemasangan dan perawatan jalan rel khususnya terhadap komponen – komponen yang terdapat pada sambungan rel dengan menggunakan sambungan baut.

IV.2 PT. KERETA API INDONESIA (PERSERO)

- a. Memastikan nilai torsi pengencangan sambungan baut pada jalan rel sesuai dengan *grade* baut yang digunakan untuk mengendalikan *self loosening* pada sambungan baut sehingga tujuan perawatan yaitu mempertahankan kehandalan dapat tercapai.
- b. Memastikan untuk tidak menggunakan pemotong pijar dalam pengerjaan pemotongan dan pelubangan rel sesuai dengan Buku 6A Seri Perjana 2012: Metode Kerja Perawatan Jalan Rel yang dikeluarkan oleh PT. Kereta Api Indonesia (Persero).
- c. Melakukan pemeriksaan Uji Tak Rusak (UTR) atau pemeriksaan dengan metoda lainnya pada sambungan yang telah terpasang dengan tujuan untuk memastikan tidak adanya retakan pada rel di daerah sambungan yang tertutup dengan pelat sambung.

V. REFERENSI

1. Metode Kerja Perawatan Jalan rel: Buku 6A Seri Perjana 2012. Track & Bridge PT. Kereta Api Indonesia (Persero). 2012.
2. Peraturan Menteri Perhubungan No. PM. 32 Tahun 2011 tentang Standar dan Tata Cara Perawatan Prasarana Perkeretaapian.
3. Zhu, K., R. Edwards, Y. Qian, and B. Andrawes. (2016). *Fatigue Analysis of Rail-Head-to-Web Fillet at Bolted Rail Joint Under Various Impact Wheel Load Factors and Support Configurations*. Proceeding of the 2016 Joint Rail Conference, JRC2016-5802, April 2016, Columbia, SC, USA.
4. Bickford, John H. (2008). *Introduction to the Design and Behavior of Bolted Joints : Fourth Edition*. CRC Press.

KOMITE NASIONAL KESELAMATAN TRANSPORTASI REPUBLIK INDONESIA

Jl. Medan Merdeka Timur No.5 Jakarta 10110 INDONESIA

Phone : (021) 351 7606 / 384 7601 Fax : (021) 351 7606 Call Center : 0812 12 655 155

website 1 : <http://knkt.dephub.go.id/webknkt/> website 2 : <http://knkt.dephub.go.id/knkt/>

email : knkt@dephub.go.id