



**KOMITE NASIONAL KESELAMATAN TRANSPORTASI
REPUBLIK INDONESIA**

LAPORAN AKHIR

KNKT.19.03.01.02

LAPORAN INVESTIGASI KECELAKAAN PERKERETAAPIAN

ANJLOK KA 1722

DI KM 51 + 765 ANTARA ST. CILEBUT– ST. BOGOR

DAOP I JAKARTA

10 MARET 2019

2021



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 72 Tahun 2009 tentang Lalu Lintas dan Angkutan Kereta Api;
3. Peraturan Pemerintah Nomor 62 Tahun 2013 tentang Investigasi Kecelakaan Transportasi;
4. 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 Akhir Investigasi Kecelakaan Kereta Api Anjlok KA 1722 di Km. 51+765 antara St. Cilebut – St. Bogor DAOP I Jakarta tanggal kejadian 10 Maret 2019.

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

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

Jakarta, 1 April 2021

**KOMITE NASIONAL
KESELAMATAN TRANSPORTASI
KETUA**



SOERJANTO TJAHHONO

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR.....	iii
DAFTAR ISI.....	iv
DAFTAR ISTILAH.....	v
DAFTAR GAMBAR.....	vii
DAFTAR TABEL.....	viii
SINOPSIS.....	1
I. INFORMASI FAKTUAL.....	1
I.1 DATA KEJADIAN DAN SUSUNAN RANGKAIAN KERETA API.....	1
I.2 KRONOLOGIS.....	1
I.3 PETA LOKASI DAN SKETSA KECELAKAAN.....	2
I.4 AKIBAT KECELAKAAN KERETA API.....	4
I.4.1 Dampak Kecelakaan Terhadap Manusia.....	4
I.4.2 Dampak Kecelakaan Terhadap Prasarana Perkeretaapian.....	4
I.4.3 Dampak Kecelakaan Terhadap Sarana Perkeretaapian.....	4
I.5 INFORMASI PRASARANA DAN SARANA.....	5
I.5.1 Prasarana.....	5
I.5.2 Sarana.....	9
I.6 DATA REKAMAN TERKAIT KEJADIAN KECELAKAAN.....	15
I.6.1 Rekaman Posisi dan Kecepatan KA.....	15
II. ANALISIS.....	17
II.1 SISTEM SUSPENSI PRIMER BOGIE.....	17
II.2. PENGARUH KUALITAS JALAN REL TERHADAP KESTABILAN SARANA.....	18
II.3. INTERAKSI PERANGKAT RODA DAN REL.....	19
III. KESIMPULAN.....	20
III.1 TEMUAN.....	20
III.2 FAKTOR – FAKTOR YANG BERKONTRIBUSI.....	21
IV. TINDAKAN KESELAMATAN.....	22
V. REKOMENDASI.....	23
IV.1 DIREKTORAT JENDERAL PERKERETAAPIAN.....	23
IV.2 PT. KERETA API INDONESIA (PERSERO).....	23
IV.3 PT. KERETA API COMMUTER INDONESIA.....	23
VI. DAFTAR REFERENSI.....	24
VII. LAMPIRAN.....	25
VI.1 PERHITUNGAN NILAI PERFORMA COIL SPRING SUSPENSI PRIMER.....	25

DAFTAR ISTILAH

Perkeretaapian adalah satu kesatuan sistem yang terdiri atas prasarana, sarana dan sumber daya manusia, serta norma, kriteria, persyaratan, dan prosedur untuk penyelenggaraan transportasi kereta api

Kereta api adalah sarana perkeretaapian dengan tenaga gerak, baik berjalan sendiri maupun dirangkaian dengan sarana perkeretaapian lainnya, yang akan ataupun sedang bergerak di jalan rel terkait dengan perjalanan kereta api

Prasarana perkeretaapian adalah jalur kereta api, stasiun kereta api dan fasilitas operasi kereta api agar kereta api dapat dioperasikan

Sarana perkeretaapian adalah kendaraan yang dapat bergerak di jalan rel

Jalur kereta api adalah jalur yang terdiri atas rangkaian petak jalan rel meliputi ruang manfaat jalur kereta api, ruang milik jalur kereta api, dan ruang pengawasan jalur kereta api, termasuk bagian atas dan bawahnya yang diperuntukkan bagi lalu lintas kereta api

Jalan rel adalah satu kesatuan konstruksi yang terbuat dari baja, beton atau konstruksi lain yang terletak di bawah permukaan, di bawah dan di atas tanah atau bergantung beserta perangkatnya yang mengarahkan jalannya kereta api

Rel adalah besi batang untuk landasan jalan kereta api

Bantalan adalah landasan tempat rel bertumpu yang berfungsi untuk menyalurkan beban dari roda ke rel.

Penambat adalah pengikat rel ke bantalan rel kereta api.

Ballast adalah batu kerikil yang terletak di bawah permukaan bantalan untuk mengikat bantalan agar tidak bergerak, menyalurkan beban dari bantalan ke tanah dan meredam getaran yang terjadi pada rel.

St./Stasiun kereta api adalah tempat pemberangkatan dan pemberhentian kereta api

As roda adalah pusat atau sumbu dari roda yang berputar bersama dengan roda dan berfungsi untuk meneruskan tenaga gerak dari sarana perkeretaapian ke roda

Kereta adalah sarana perkeretaapian yang ditarik dan/atau didorong lokomotif atau mempunyai penggerak sendiri yang digunakan untuk mengangkut orang

Pemeriksaan adalah kegiatan yang dilakukan untuk mengetahui kondisi dan fungsi prasarana atau sarana perkeretaapian

Perawatan adalah kegiatan yang dilakukan untuk mempertahankan keandalan prasarana atau sarana perkeretaapian agar tetap laik operasi

Awak sarana perkeretaapian adalah orang yang ditugaskan di dalam kereta api oleh Penyelenggara Sarana Perkeretaapian selama perjalanan kereta api

Tenaga perawatan sarana perkeretaapian adalah tenaga yang memenuhi kualifikasi kompetensi dan diberi kewenangan untuk melaksanakan perawatan sarana perkeretaapian

Tenaga perawatan prasarana perkeretaapian adalah tenaga yang memenuhi kualifikasi kompetensi dan diberi kewenangan untuk melaksanakan perawatan prasarana perkeretaapian

Tenaga pemeriksa prasarana perkeretaapian adalah tenaga yang memenuhi kualifikasi kompetensi dan diberi kewenangan untuk melaksanakan pemeriksaan prasarana perkeretaapian

Perawatan prasarana perkeretaapian adalah kegiatan dilakukan untuk mempertahankan kehandalan prasarana perkeretaapian agar tetap laik

Perawatan sarana perkeretaapian adalah kegiatan dilakukan untuk mempertahankan kehandalan sarana perkeretaapian agar tetap laik

Keselamatan adalah kondisi yang bebas dari ancaman dan risiko kecelakaan.

Flens roda adalah tonjolan di pinggiran keping roda kereta api yang berfungsi untuk mengendalikan gerakan roda dan mencegah roda agar tidak keluar rel.

Titik Awal Naik (TAN) roda adalah tanda di bagian dalam rel yang menunjukkan lokasi posisi atau letak awal terangkatnya flens roda ke atas kepala rel.

Titik Awal Jatuh (TAJ) roda adalah tanda benturan flens roda yang menunjukkan lokasi posisi atau letak awal jatuhnya flens roda dari atas kepala rel di bagian bantalan atau penambat rel yang mengakibatkan kerusakan di bagian bantalan atau penambat rel.

TQI/ Indeks Kualitas Jalan Rel adalah nilai kuantitatif berupa angka dari hasil pengukuran geometri jalan rel yang menunjukkan kualitas permukaan jalan rel.

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Situasi pasca kecelakaan anjlok KA 1722	2
Gambar 2. Peta lokasi kejadian kecelakaan anjlok KA 1722	2
Gambar 3. Sketsa kejadian kecelakaan anjlok KA 1722	3
Gambar 4. Tiang LAA rubuh dampak anjlok KA 1722	4
Gambar 5. Kondisi jalur hulu dan hilir antara St. Cilebut – St. Bogor	4
Gambar 6. Kondisi struktur kereta dampak anjlok	4
Gambar 7. Jejak pada kepala rel akibat impak roda yang anjlok	5
Gambar 8. Kondisi konstruksi perlintasan sebidang JPL 28 lokasi anjlok	6
Gambar 9. Mud pumping di JPL 28 beberapa bantalan sebelun TAJ	7
Gambar 10. Penambat tidak seragam dan beberapa tidak terpasang.....	7
Gambar 11. Terdapat lasan sambungan retak dan dipasang pelat sambung dengan pembautan yang tidak baik	8
Gambar 12. <i>Rubber damper</i> dan <i>shim</i> pada pegas primer kereta 8612.....	11
Gambar 13. Pengukuran pegas primer kereta 8612 dengan alat uji coil spring.....	12
Gambar 14. Komponen <i>levelling valve</i> dan <i>differential pressure valve</i> kereta 8612.....	14
Gambar 15. Terdapat benturan pada roda 2 kereta 8612.....	14
Gambar 16. Terdapat retakan pada <i>rubber stopper</i> pada roda 2 dan 4 kereta 8612.....	15
Gambar 17. Grafik batasan nilai rasio Nadal (Y/Q) terhadap durasi waktu	18
Gambar 18. Mode osilasi pada sarana kereta api	19

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Histori Perawatan di Km. 51+000 s.d. Km. 51+900 jalur hulu petak jalan antara St. Cilebut – St. Bogor Wil. Resort JR 1.16 Bogor	6
Tabel 2. Hasil pengukuran TQI lintas St. Jakartakota – St. Bogor jalur Hulu Maret 2019.....	6
Tabel 3. Hasil pengukuran geometri jalur KA sebelum dan sesudah TAJ.....	8
Tabel 4. Identitas Trainset 8500T12.....	9
Tabel 5. Riwayat gangguan Trainset 8500T12.....	10
Tabel 6. Hasil pengukuran perangkat roda dan suspensi primer kereta 8612 saat kondisi terpasang.	10
Tabel 7. Hasil pengukuran perangkat roda dan suspensi primer kereta 8712 saat kondisi terpasang.	11
Tabel 8. Hasil pengukuran ketebalan shim pegas primer kereta 8612	11
Tabel 9. Hasil pengukuran ketebalan <i>rubber damper</i> kereta 8612	12
Tabel 10. Hasil pengukuran tinggi bebas pegas primer kereta 8612.....	12
Tabel 11. Hasil pengukuran tinggi pegas primer kereta 8612.....	13
Tabel 12. Hasil pengukuran dimensi pegas roda 2 kereta 8612	13
Tabel 13. Hasil pengukuran <i>levelling valve</i> seri LV-3 suspensi udara kereta 8612.....	13
Tabel 14. Hasil pemeriksaan komponen <i>differential pressure valve</i> (DP-5) kereta 8612.....	14
Tabel 15. Rekaman waktu, posisi dan kecepatan kereta	15
Tabel 16. Hasil perhitungan persentase degradasi pegas primer.....	17
Tabel 17. Pengaruh irregularitas jalan rel terhadap gerak sarana.....	19

SINOPSIS

KA 1722 adalah kereta Commuter line relasi perjalanan st. Jatinegara – st. Bogor dengan susunan rangkaian 8 kereta. Pada hari Minggu tanggal 10 Maret 2019 Pusdalopka I Jakarta menerima laporan bahwa KA 1722 Commuter line relasi perjalanan St. Jatinegara – St. Bogor anjlok di petak jalan antara St. Cilebut – St. Bogor sebanyak 12 as/6 bogie. Lokasi anjlok di KM. 51+765 di sekitar JPL 28 pada lengkung no.22 dengan radius 800 m.

Kecelakaan ini mengakibatkan sebanyak 17 orang penumpang dan 1 orang masinis mengalami luka ringan. Petak jalan antara St. Cilebut – St. Bogor jalur hulu dan hilir terhalang oleh KA 1722 yang anjlok. Listrik Aliran Atas jalur hulu hilir padam, 3 tiang LAA rubuh, VDU di St. Citayam, St. Bojonggede dan St. Cilebut *blank* selama 10 jam, gangguan wesel no. 20A, 10B, 11, 21A, 71A dan 71B di st. Bogor dan sebanyak 29 perjalanan KA dibatalkan.

Faktor – faktor yang berkontribusi terhadap terjadinya anjlokan KA 1722 adalah adanya kegagalan pada sistem suspensi sarana berupa penurunan performansi pegas primer dan irregularitas pada struktur prasarana. Kedua hal ini mempengaruhi ketidakstabilan pada sarana yang mengakibatkan roda no. 2 bogie 1 kereta K1 1 89 40/8612 kehilangan berat vertikal hingga melompat keluar jalur (sudden derailment).

Dari hasil kesimpulan investigasi kecelakaan ini, KNKT menyusun rekomendasi keselamatan yang ditunjukkan untuk Direktorat Jenderal Perkeretaapian sebagai regulator serta PT. KAI (Persero) sebagai operator prasarana dan PT. Kereta Commuter Indonesia sebagai operator sarana perkeretaapian dalam kecelakaan perkeretaapian ini, agar kecelakaan serupa tidak terjadi lagi dikemudian hari.

I. INFORMASI FAKTUAL

I.1 DATA KEJADIAN DAN SUSUNAN RANGKAIAN KERETA API

Nomor KA/ Operator	:	KA 1722/ PT. Kereta Commuter Indonesia
Susunan Rangkaian	:	KL11 8940 anjlok 4 as (kabin depan) KL11 8939 anjlok 4 as KL11 8938 anjlok 4 as KL11 8937 KL11 8936 KL11 8935 KL11 8934 KL11 8933
Jenis Kecelakaan	:	Anjlok
Tempat Kejadian	:	Petak jalan St. Cilebut – St. Bogor Km 51+765 jalur hulu
Wilayah	:	Daerah Operasi I Jakarta
Hari/Tanggal Kecelakaan	:	Minggu, 10 Maret 2019
Waktu Kejadian	:	10.08 WIB

I.2 KRONOLOGIS

KA 1722 adalah kereta Commuter line relasi perjalanan st. Jatinegara – st. Bogor dengan susunan rangkaian 8 kereta. Pada hari Minggu tanggal 10 Maret 2019 Pusdalopka I Jakarta menerima laporan bahwa KA 1722 Commuter line relasi perjalanan St. Jatinegara – St. Bogor anjlok di petak jalan antara St. Cilebut – St. Bogor sebanyak 12 as/6 bogie. Lokasi anjlok di KM. 51+765 di sekitar JPL 28 pada lengkung no.22 dengan radius 800 m.

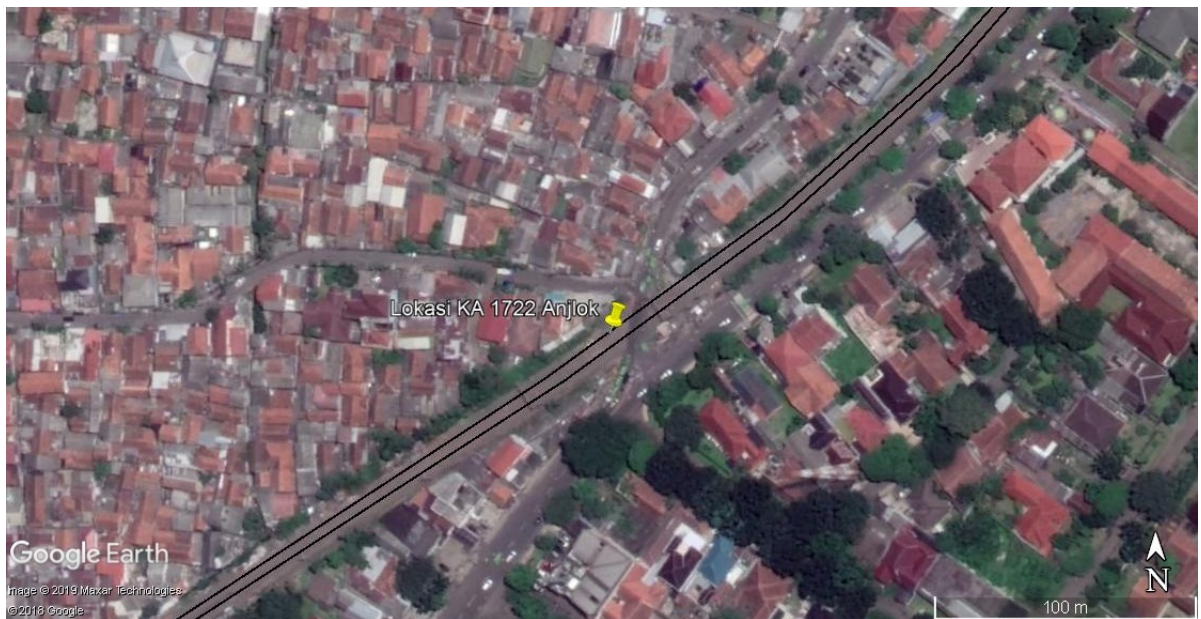
Kecelakaan ini mengakibatkan sebanyak 17 orang penumpang dan 1 orang masinis mengalami luka ringan. Petak jalan antara St. Cilebut – St. Bogor jalur hulu dan hilir terhalang oleh KA 1722 yang anjlok. Listrik Aliran Atas jalur hulu hilir padam, 3 tiang LAA roboh, VDU di St. Citayam, St. Bojonggede dan St. Cilebut *blank* selama 10 jam, gangguan wesel no. 20A, 10B, 11, 21A, 71A dan 71B di st. Bogor dan sebanyak 29 perjalanan KA dibatalkan.



Gambar 1. Situasi pasca kecelakaan anjlokkan KA 1722

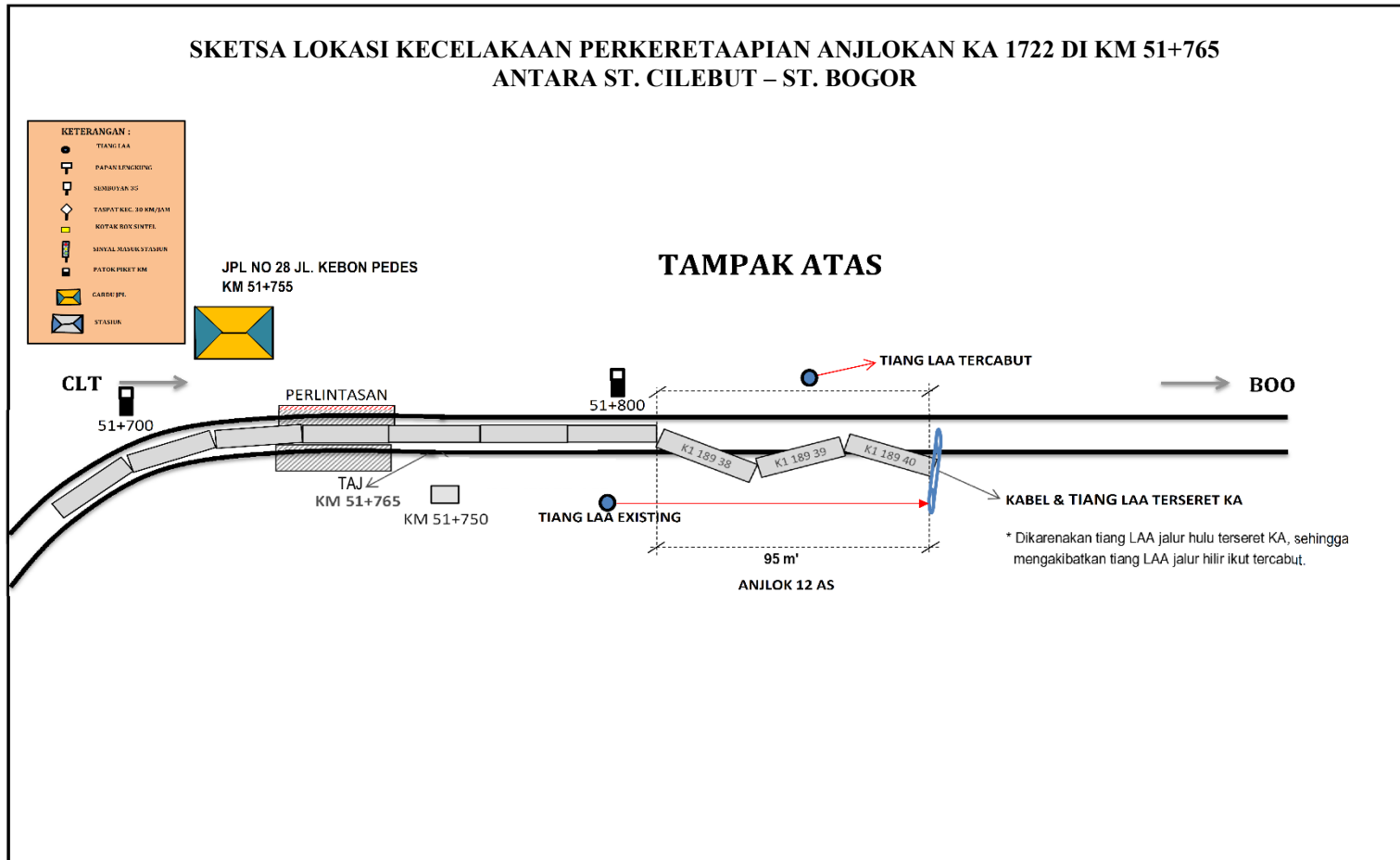
I.3 PETA LOKASI DAN SKETSA KECELAKAAN

I.3.1 Peta Lokasi



Gambar 2. Peta lokasi kejadian kecelakaan anjlokkan KA 1722

I.3.2 Sketsa Kecelakaan



Gambar 3. Sketsa kejadian kecelakaan anjlokkan KA 1722

I.4 AKIBAT KECELAKAAN KERETA API

I.4.1 Dampak Kecelakaan Terhadap Manusia

Sebanyak 17 (tujuh belas) orang penumpang dan 1 (satu) orang masinis mengalami luka ringan.

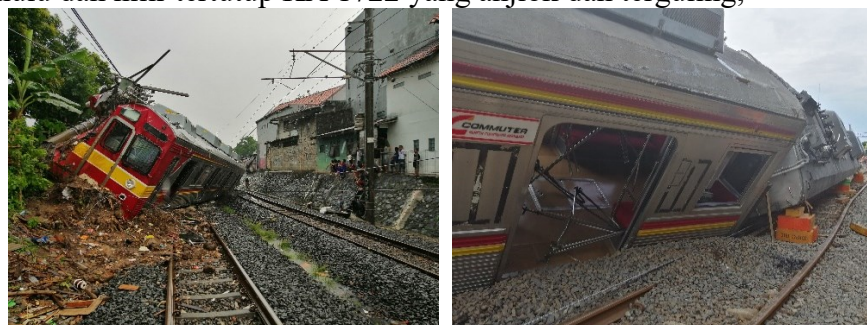
I.4.2 Dampak Kecelakaan Terhadap Prasarana Perkeretaapian

1. 2 buah Tiang Listrik Aliran Atas (LAA) rubuh;



Gambar 4. Tiang LAA rubuh dampak anjlokkan KA 1722

2. Jalur hulu dan hilir tertutup KA 1722 yang anjlok dan terguling;



Gambar 5. Kondisi jalur hulu dan hilir antara St. Cilebut – St. Bogor

3. Beberapa bantalan pecah dan penambat lepas.

I.4.3 Dampak Kecelakaan Terhadap Sarana Perkeretaapian

1. Pada kereta 8612 anjlok 4 as terdapat kerusakan sebagai berikut:
 - a) Struktur atap dan bodi kereta rusak;



Gambar 6. Kondisi struktur kereta dampak anjlokkan

- b) Ruang kabin masinis rusak;
 - c) Pintu ruang penumpang sebanyak 8 unit pintu rusak;
 - d) Sistem pendingin ruangan kereta rusak;
 - e) Terdapat kerusakan sistem elektrik antara lain pada *box & battery 100 VDC, box & ground switch, box & kontrol panel relay* cabin, *box & unit LVD, box & unit saklar pisau as* dan *box NFB AC*;
 - f) Terdapat kerusakan pada sistem pneumatik;
 - g) Terdapat kerusakan pada suspensi udara, tatakan suspensi udara, batang *leveling valve, center plate, rubber wear plate, rubber stopper* roda di sisi kanan pecah sebanyak 8 unit dan *bogie traction shaft* serta gear box.
2. Pada kereta KL11 8939 terdapat kerusakan sebagai berikut:
 - a) Struktur body kereta rusak;
 - b) Pintu ruang penumpang sebanyak 8 unit pintu rusak;
 - c) Sistem pendingin ruangan kereta rusak;
 - d) Terdapat kerusakan sistem elektrik antara lain pada *arrester, box & ground switch, box fuse & fuse MF*, instalasi kabel tegangan rendah, instalasi kabel tegangan tinggi, isolator box fuse, pantograph dan main resistor traksi.
 - e) Terdapat kerusakan pada suspensi udara, tatakan suspensi udara, batang *leveling valve, center plate, rubber wear plate, rubber stopper* roda di sisi kanan pecah sebanyak 8 unit dan *bogie traction shaft* serta gear box.
 3. Pada kereta KL11 8938 terdapat kerusakan sebagai berikut:
 - a) Kerusakan sistem elektrik antara lain *box & siv kapasitor, siv cardset* dan *siv gto*;
 - b) Kerusakan pada suspensi udara, *traction shaft* dan stang rem.

I.5 INFORMASI PRASARANA DAN SARANA

I.5.1 Prasarana

1. Informasi jalur hulu petak jalan antara St. Cilebut – St. Bogor adalah sebagai berikut:
 - a. Rel : Tipe UIC R.54
 - b. Penambat : E-Clip dan beberapa DE-Clip
 - c. Bantalan : Beton
 - d. Titik Awal Jatuh (TAJ) roda yang terdapat di jalur hulu Km. 51+765 berupa goresan impak flens roda pada kepala rel.



Gambar 7. Jejak pada kepala rel akibat impak roda yang anjlok

- e. Histori pekerjaan perawatan wilayah Resort Jalan Rel 1.16 Bogor antara Agustus 2018 s.d. Februari 2019, di KM. 51+000 s.d. KM. 51+900 jalur hulu sebagai berikut:

Tabel 1. Histori Perawatan di Km. 51+000 s.d. Km. 51+900 jalur hulu petak jalan antara St. Cilebut – St. Bogor Wil. Resort JR 1.16 Bogor

No.	Tanggal	Kegiatan	KM+HM
1.	20/08/2018	Ganti Rel (Kanan=23,69 m, Kiri=23,68 m)	51+7/8
2.	20/08/2018	Perbaiki PJJ 28	51+7/8
3.	20/08/2018	Ganti Bantalan Beton	51+7/8
4.	23/08/2018	Angkat/Listring Oprit JPL 28	51+7/8
5.	23/10/2018	Pengelasan Thermit	51+7/8
6.	31/10/2018	Angkat/Listring dan pilih-pilih lengkung NO.22	51+4/5
7.	24/12/2018	Angkat/Listring sambungan IRJ	51+3/4
8.	25/12/2018	Angkat/Listring sambungan IRJ	51+7/8
9.	30/12/2018	Ganti Rel (Kanan=21,80 m, Kiri=25,80 m)	51+7/8
10.	28/02/2019	Angkat/Listring Oprit JPL 28 & Kurus <i>ballast</i>	51+7/8

- f. Hasil pengukuran *track quality index* (TQI) lintas St. Jakarta – St. Bogor jalur hulu terakhir Maret 2019 sebelum terjadinya kecelakaan sebagai berikut:

Tabel 2. Hasil pengukuran TQI lintas St. Jakarta – St. Bogor jalur Hulu Maret 2019

No.	Awal Km.	Akhir Km.	TQI	Keterangan
1.	51+200	51+289	20.3	<p>TQI ≤ 35 : Baik</p> <p>35 < TQI ≤ 50 : Sedang</p> <p>TQI > 50 : Jelek</p> <p>KA Ukur EM 120</p> <p>Sumber: Buku 2A Seri Perjana 2012. Rencana Perawatan Tahunan Jalan Rel. PT. KAI (Persero)</p>
2.	51+289	51+400	24.4	
3.	51+400	51+556	25.9	
4.	51+556	51+600	22	
5.	51+600	51+764	33.2	
6.	51+764	51+800	53.4	
7.	51+800	52+000	25.2	
8.	52+000	52+200	27.6	
9.	52+200	52+276	29.1	
10.	52+276	52+400	24.7	

- g. Kondisi konstruksi perlintasan sebidang JPL 28 menurun terhadap struktur jalan rel. Selain itu tidak ditemukan adanya saluran pembuangan air di sekitar perlintasan sebidang.



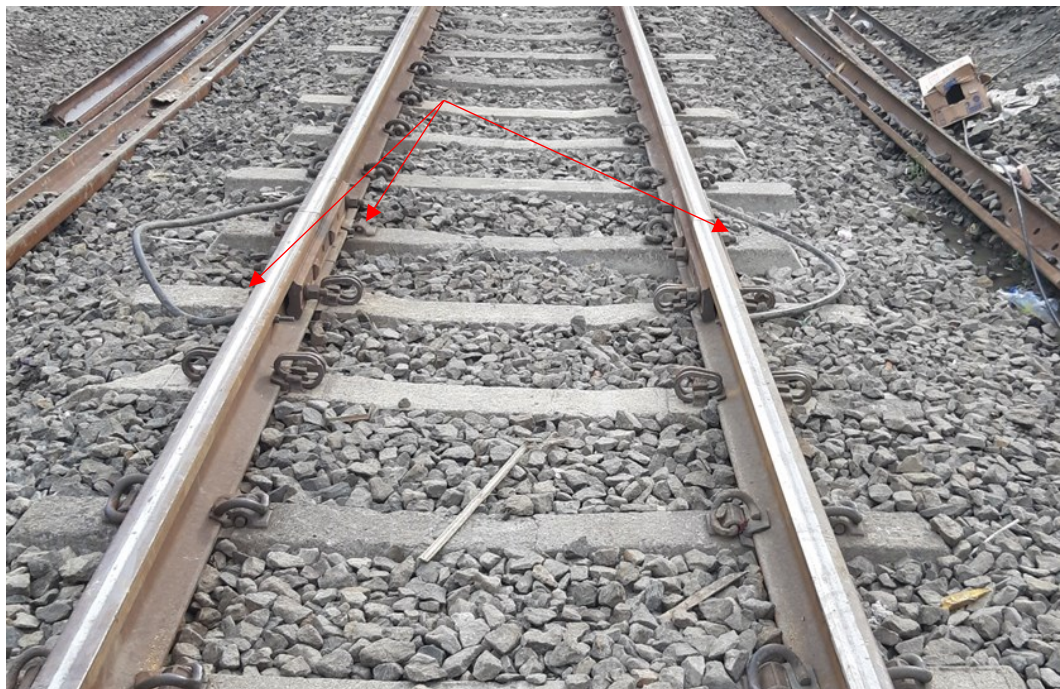
Gambar 8. Kondisi konstruksi perlintasan sebidang JPL 28 lokasi anjlokkan

- h. Terdapat *mud pumping* pada beberapa bantalan sebelum TAJ.



Gambar 9. Mud pumping di JPL 28 beberapa bantalan sebelum TAJ

- i. Terdapat beberapa penambat tidak terpasang dan berbeda jenis pada tiap bantalan.



Gambar 10. Penambat tidak seragam dan beberapa tidak terpasang

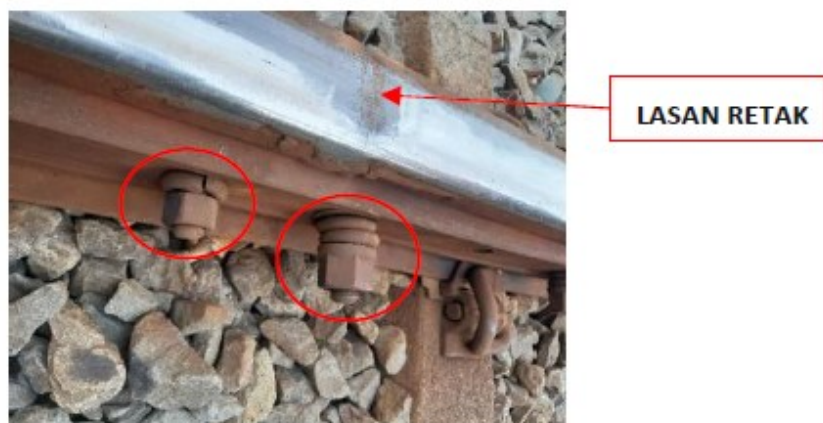
j. Hasil pengukuran geometri jalur KA.

Tabel 3. Hasil pengukuran geometri jalur KA sebelum dan sesudah TAJ

No bantalan	Lebar Jalur	Pertinggian	Skilu	Ket	No bantalan	Lebar Jalur	Pertinggian	Skilu	Ket
-30	1067	70			1	1068	60	4	
-29	1068	70			2	1068	61	3	
-28	1068	70			3	1069	61	3	
-27	1068	69			4	1070	61	1	
-26	1067	69			5	1069	60	1	
-25	1067	68	2		6	1067	58	2	
-24	1068	67	3		7	1065	56	5	
-23	1068	65	5		8	1064	55	6	
-22	1068	65	4		9	1064	52	9	
-21	1069	65	4		10	1065	50	10	
-20	1069	65	3		11	1066	48	10	
-19	1068	67	2		12	1065	46	10	
-18	1068	66	1		13	1066	45	10	
-17	1067	67	2		14	1065	44	8	
-16	1068	69	4		15	1065	43	7	
-15	1068	70	5		16	1067	42	6	
-14	1069	71	4		17	1067	42	3	
-13	1069	71	5		18	1067	42	3	
-12	1069	70	3		19	1065	41	3	
-11	1069	70	1		20	1064	42	1	
-10	1068	69	1		21	1065	41	1	
-9	1069	68	3		22	1065	41	1	
-8	1068	67	4		23	1065	41	1	
-7	1068	66	4		24	1064	41	0	
-6	1067	65	5		25	1065	41	1	
-5	1066	65	4		26	1065	39	2	
-4	1065	64	4		27	1066	37	4	
-3	1066	64	3		28	1066	35	6	
-2	1066	64	2		29	1065	46	5	
-1	1067	62	3		30	1064	35	6	
0	1067	61	4	TAJ					

Sumber: Hasil pengukuran PT. KAI

- k. Sebelum perlintasan sebidang terdapat sambungan lasan rel yang telah retak kemudian disambung dengan pelat sambung dengan kondisi sambungan baut yang tidak baik yaitu terdapat *spring washer* tidak standar dengan permukaan kontak *rounded* (membulat) serta baut dan mur tidak seragam.



Gambar 11. Terdapat lasan sambungan retak dan dipasang pelat sambung dengan pembautan yang tidak baik

I.5.2 Sarana

- Informasi perawatan sarana perkeretaapian dari KA 1722 yang anjlok mulai dari rangkaian kereta urutan ke-1 sampai dengan kereta urutan ke-8, dari hasil perawatan terakhir adalah sebagai berikut:

a. Identitas KA 1722 (Trainset 8500T12)

Tabel 4. Identitas Trainset 8500T12

Konfigurasi Rangkaian	KA	No KA (DJKA)	No. Sertifikat Uji Berkala (DJKA)	Berlaku Hingga	Berat Kosong (Kg)	Ket
M1C	8512	K1 1 89 33	KA.405/2b-0254/DJKA/13/VIII-2018 Tgl. 25-08-18	25-08-19	35400	posisi belakang pada saat kecelakaan
M2	8812	K1 1 89 34	KA.405/2b-0255/DJKA/13/VIII-2018 Tgl. 25-08-18	25-08-19	35400	
T	8929	K1 1 89 35	KA.405/2b-0256/DJKA/13/VIII-2018 Tgl. 25-08-18	25-08-19	31000	
M1	0717	K1 1 89 36	KA.405/2b-0257/DJKA/13/VIII-2018 Tgl. 25-08-18	25-08-19	35400	
M2	0817	K1 1 89 37	KA.405/2b-0258/DJKA/13/VIII-2018 Tgl. 25-08-18	25-08-19	35400	
T	8912	K1 1 89 38	KA.405/2b-0259/DJKA/13/VIII-2018 Tgl. 25-08-18	25-08-19	31000	
M1	8712	K1 1 89 39	KA.405/2b-0260/DJKA/13/VIII-2018 Tgl. 25-08-18	25-08-19	35400	
M2C	8612	K1 1 89 40	KA.405/2b-0261/DJKA/13/VIII-2018 Tgl. 25-08-18	25-08-19	35400	posisi depan pada saat kecelakaan

b. Data Riwayat Perawatan KA 1722

Tipe bogie	: 8500T12
Stamformasi	: SF8
Seri KRL/ Tahun Pembuatan	: Tokyu 8500/ 1989
Depo Induk	: Depo Bogor
Mulai Dinas di PT. KCI	: 08 September 2008
Perawatan 48 bulanan (P48) terakhir	: Overhaul Depok, 31 Maret 2017
Perawatan 24 bulanan (P24) terakhir	: Overhaul Depok, 12 Januari 2019

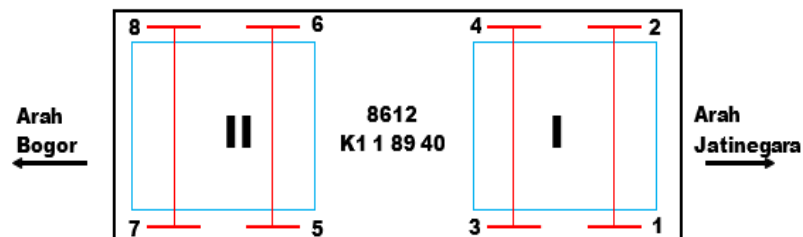
Perawatan *Monthly Check* (P1) Terakhir : Depo Bogor, 07 Maret 2019
 Perawatan *Daily Check* Terakhir : Depo Bogor, 09 Maret 2019
 Tanggal Sertifikat Uji Berkala : 25 Agustus 2018
 Tanggal berakhir Sertifikat Uji Berkala : 25 Agustus 2019

c. Data Riwayat Gangguan pada Trainset 8500T12

Tabel 5. Riwayat gangguan Trainset 8500T12

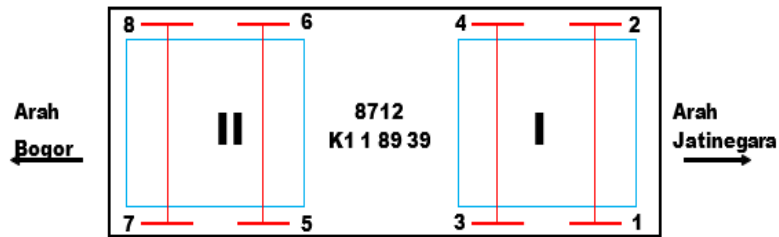
No	Waktu	No. KA	Lokasi	Gangguan	Tindak Lanjut
1.	14/06/18	1745	St. Pasarsenen	Slang <i>air brake</i> antar KA pecah antara KA no.2 dan KA no.3	Ganti slang <i>air brake</i>
2.	10/07/18	1777-1778	St. Pasarminggu	Gangguan pada traksi dan AC yang disebabkan oleh hubungan pendek pada komponen semi konduktor (SIV).	Ganti GTO, dioda dan kapasitor

2. Hasil pengukuran perangkat roda serta tinggi pegas primer dalam kondisi terpasang pada bogie.



Tabel 6. Hasil pengukuran perangkat roda dan suspensi primer kereta 8612 saat kondisi terpasang

K1 1 89 40 / 8612				
No. Keping Roda	Diameter Keping Roda (mm)	Flens Roda		Jarak antar keping roda (mm)
		Lebar (w) [22-30 mm] (mm)	Tinggi (h) [27-35 mm] (mm)	
1	857	27.6	27.7	991.6
2	857	27.5	27.3	991.5
3	857	27.8	27.7	991.2
4	857	27.3	28.2	991.2
5	857	27.2	28	991.2
6	857	27.3	27.4	991.2
7	857	27.3	27.9	991.6
8	857	27.2	28	991.7



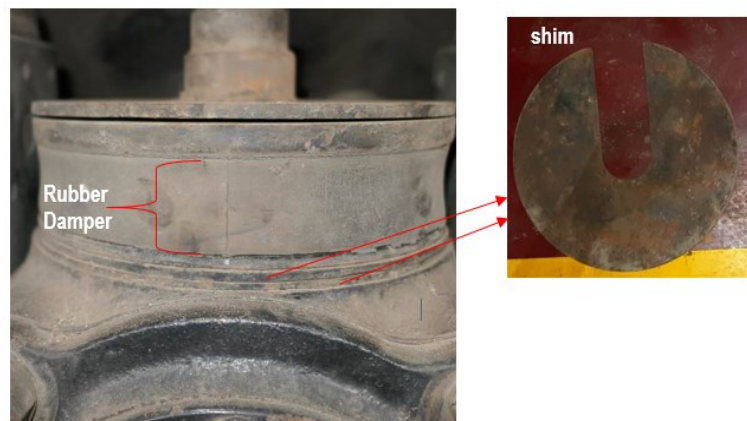
Tabel 7. Hasil pengukuran perangkat roda dan suspensi primer kereta 8712 saat kondisi terpasang

K1 1 89 39 / 8712				
No. Keping Roda	Diameter Keping Roda (mm)	Flens Roda		Jarak antar keping roda (mm)
		Lebar (w) [22-30 mm] (mm)	Tinggi (h) [27-35 mm] (mm)	
1	857	26.6	27.6	991.8
2	857	27.1	28.2	991.9
3	857	27.4	27.9	991.7
4	857	28	28.1	991.6
5	857	26.1	27.5	991.8
6	857	27.4	28.2	991.9
7	857	26.4	28	991.9
8	857	27.6	28	991.9

3. Hasil pengukuran tebal (t) *shim* pegas primer di tiap roda dalam tiap bogie di kereta 8612 (K1 1 89 40) yang merupakan posisi kereta paling depan pada rangkaian ke arah St. Bogor.

Tabel 8. Hasil pengukuran ketebalan shim pegas primer kereta 8612

Bogie	Roda 1	Roda 2	Roda 3	Roda 4
I	1 shim t: 3.5 mm	2 shim t: 7 mm	1 shim t: 4.5 mm	2 shim t: 8 mm
Bogie	Roda 5	Roda 6	Roda 7	Roda 8
II	2 shim t: 8 mm	3 shim t: 9 mm	3 shim t: 10.5 mm	2 shim t: 7 mm



Gambar 12. Rubber damper dan shim pada pegas primer kereta 8612

4. Hasil pengukuran ketebalan *rubber damper* dalam kondisi bebas pada pegas primer kereta 8612 (K1 1 89 40).

Tabel 9. Hasil pengukuran ketebalan *rubber damper* kereta 8612

Bogie	Tebal <i>rubber damper</i> (mm)				Standar tebal <i>rubber damper</i>
	Roda 1	Roda 2	Roda 3	Roda 4	
I (arah Jng)	59.35	59.15	59.15	59.70	Tidak ditemukan
Bogie	Roda 5	Roda 6	Roda 7	Roda 8	
II (arah Boo)	59.5	58.9	59.3	59.5	

5. Pengukuran pegas primer kereta 8612 (K1 1 89 40).
- a. Hasil pengukuran tinggi bebas dengan menggunakan alat uji *coil spring tester* di Balai Yasa Manggarai. Pegas primer ini merupakan pegas tipe komposit dimana 1 konstruksi pegas terdiri dari 3 pegas (A, B dan C).

Tabel 10. Hasil pengukuran tinggi bebas pegas primer kereta 8612

Bogie	Tinggi bebas pegas tipe komposit (mm)				Standar tinggi pegas tanpa beban
	Roda 1	Roda 2	Roda 3	Roda 4	
I (arah Jng)	241	239.6	240.5	239.4	Tidak ditemukan
Bogie	Roda 5	Roda 6	Roda 7	Roda 8	
II (arah Boo)	240.6	241.3	241	241.5	



Gambar 13. Pengukuran pegas primer kereta 8612 dengan alat uji coil spring

- b. Hasil Pengukuran tinggi pegas dengan variasi pembebanan.

Tabel 11. Hasil pengukuran tinggi pegas primer kereta 8612

K1 1 89 40 / 8612				
No. Keping Roda	Tinggi Pegas Komposit [A+B+C] (mm)			
	0 Kgf	2500 Kgf	4000 Kgf	5000 Kgf
1	241	208.6	190.9	180
2	239.6	208.1	190.8	179.7
3	240.5	208.4	191.5	180.7
4	239.4	207.8	191	179.7
5	240.6	208.4	191	179.9
6	241.3	209.9	192.4	181.2
7	241	208.1	191	179.8
8	241.5	209.9	192.4	181.3

- c. Pengukuran dimensi pegas Roda 2 pada Bogie 1 (roda yang anjlok).

Tabel 12. Hasil pengukuran dimensi pegas roda 2 kereta 8612

	Pegas A (Outer)	Pegas B (Middle)	Pegas C (Inner)
Diameter Pegas (D)	190 mm	128 mm	86 mm
Diameter Coil (d)	32 mm	22 mm	16 mm
Jumlah lilitan aktif (N_a)	2.75	3.75	5.75
Jumlah lilitan total (N_t)	4.75	5.75	8.75
Tinggi Bebas	239.6	235.8	241

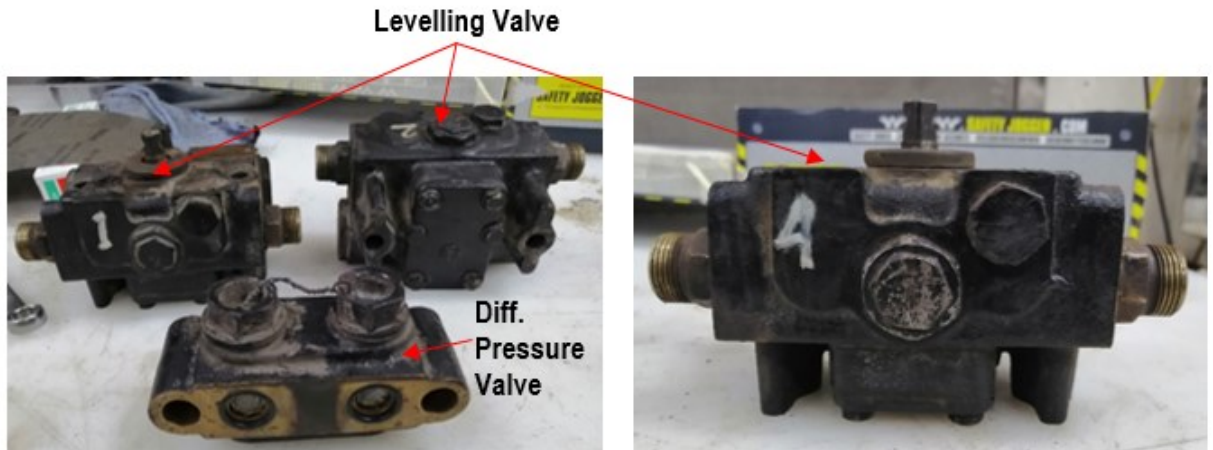
6. Hasil pengukuran *levelling valve* suspensi udara (suspensi sekunder).

Tabel 13. Hasil pengukuran *levelling valve* seri LV-3 suspensi udara kereta 8612

No. Komponen	Pemeriksaan Fisik	Tes Gerak Tuas/Spring	Tes Kebocoran Udara (diolet busa sabun)		Tes Perubahan Gear dari posisi Netral (3 – 5 mm)		Test Jeda Waktu (3 ± 1 s)		Test Kapasitas Udara		Kebocoran valve	Arah Sisi Pengisian
			Isi	Buang	Isi	Buang	Isi	Buang	Isi 0 -145 kPa Max. 40 s	Buang 490 – 295 kPa Max. 40 s		
Lvl Valve 1 78296	Baik	Baik	Tdk ada	Tdk ada	4.0	3.0	3.74	2.46	18.56	15.07	Tdk ada	➔
Lvl Valve 2 96010	Baik	Baik	Tdk ada	Tdk ada	4.0	3.0	2.93	2.71	17.04	13.98	Tdk ada	➔
Lvl Valve 4 75051	Baik	Baik	Tdk ada	Tdk ada	4.0	3.0	3.32	3.57	18.07	15.38	Tdk ada	➔

Tabel 14. Hasil pemeriksaan komponen *differential pressure valve* (DP-5) kereta 8612

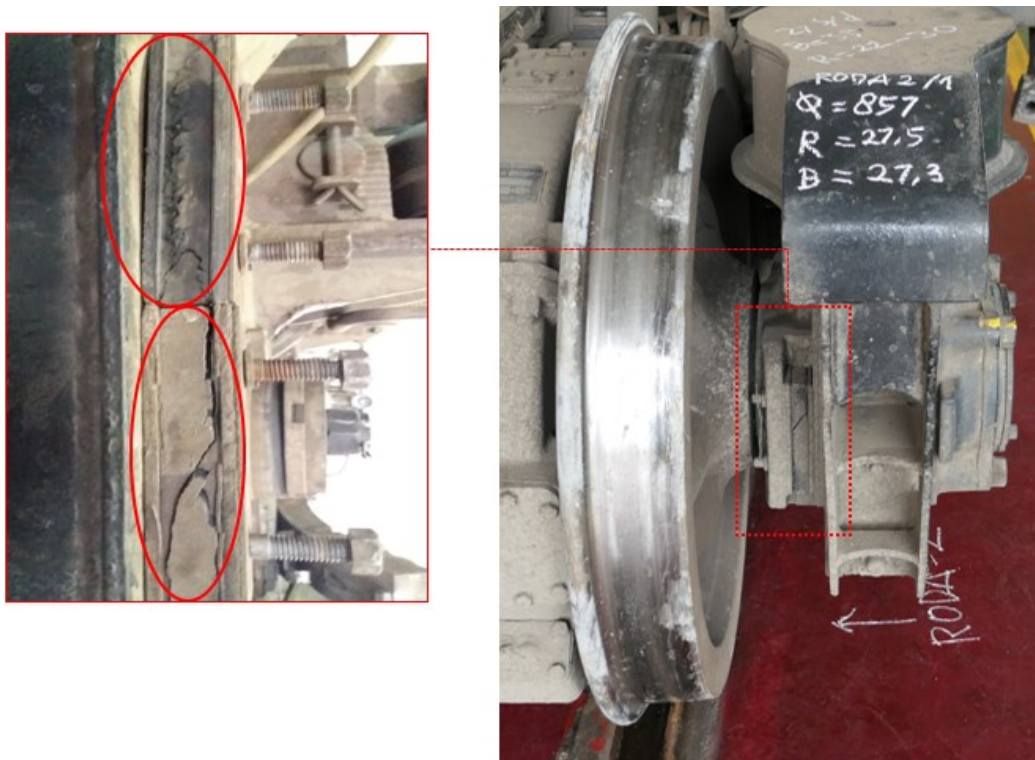
No. Komponen	Pemeriksaan Fisik	Tes Kebocoran Udara (dioles busa sabun) P = 490 kPa	Tes Perbedaan Tekanan		Keterangan
			Suspensi udara 1 (x)	Suspensi udara 2 (y)	
			Saat mulai pembuangan udara	Saat mulai pembuangan udara	
43.1/68.17	Baik	Tdk ada Kebocoran	240 kPa	260 kPa	Kereta MC2

**Gambar 14.** Komponen *levelling valve* dan *differential pressure valve* kereta 8612

7. Terdapat kerusakan pada flens roda akibat dari kecelakaan anjlok ini.

**Gambar 15.** Terdapat benturan pada roda 2 kereta 8612

8. Ditemukan kondisi retak pada *rubber stopper* dari 2 roda bogie kereta yang anjlok (roda ke-2 dan roda ke-4) sedangkan *rubber stopper* pada roda lainnya dalam kondisi utuh.



Gambar 16. Terdapat retakan pada *rubber stopper* pada roda 2 dan 4 kereta 8612

I.6 DATA REKAMAN TERKAIT KEJADIAN KECELAKAAN

I.6.1 Rekaman Posisi dan Kecepatan KA

Data posisi dan kecepatan rangkaian KA 1722 diperoleh dari alat Global Positioning System (GPS) yang ditempatkan di rangkaian KA 1722 pada kereta MC1 (posisi kereta belakang) adalah sebagai berikut:

Tabel 15. Rekaman waktu, posisi dan kecepatan kereta

logtime	longitude (decimal degrees)	latitude (decimal degrees)	speed (km/jam)	keterangan
10/03/19 09.59.42	106.7997933	-6.569038333	59.82	Anjlok
10/03/19 09.59.41	106.7999083	-6.568935	61.3	
10/03/19 09.59.40	106.80002	-6.56883	61.86	
10/03/19 09.59.39	106.8001317	-6.568721667	62.04	
10/03/19 09.59.38	106.8002417	-6.56861	61.86	
10/03/19 09.59.37	106.8003483	-6.568496667	61.86	
10/03/19 09.59.36	106.8004533	-6.568381667	62.04	
10/03/19 09.59.35	106.8005583	-6.568263333	62.41	
10/03/19 09.59.34	106.8006583	-6.568143333	62.78	
10/03/19 09.59.33	106.8007567	-6.56802	62.97	
10/03/19 09.59.32	106.8008517	-6.567893333	63.15	
10/03/19 09.59.31	106.8009417	-6.567765	62.78	
10/03/19 09.59.30	106.80103	-6.567635	62.04	
10/03/19 09.59.29	106.8011133	-6.567503333	62.04	
10/03/19 09.59.28	106.8011933	-6.56737	61.67	
10/03/19 09.59.27	106.80127	-6.567236667	61.49	
10/03/19 09.59.26	106.8013433	-6.567098333	62.23	
10/03/19 09.59.25	106.801415	-6.566958333	63.15	

10/03/19 09.59.24	106.801485	-6.566813333	63.89	
10/03/19 09.59.23	106.8015517	-6.566666667	63.89	
10/03/19 09.59.22	106.8016183	-6.56652	63.52	
10/03/19 09.59.21	106.8016817	-6.566373333	63.34	
10/03/19 09.59.20	106.801745	-6.566228333	62.97	
10/03/19 09.59.19	106.8018083	-6.566081667	62.6	
10/03/19 09.59.18	106.80187	-6.565938333	62.23	
10/03/19 09.59.17	106.8019317	-6.565795	61.86	
10/03/19 09.59.16	106.801995	-6.565651667	62.23	
10/03/19 09.59.15	106.8020583	-6.565508333	62.78	
10/03/19 09.59.14	106.8021217	-6.565363333	63.15	
10/03/19 09.59.13	106.802185	-6.565215	63.89	
10/03/19 09.59.12	106.8022483	-6.565066667	64.08	
10/03/19 09.59.11	106.80231	-6.564918333	63.52	
10/03/19 09.59.10	106.8023683	-6.564771667	63.15	
10/03/19 09.59.09	106.8024233	-6.564623333	62.97	
10/03/19 09.59.08	106.802475	-6.564473333	62.6	
10/03/19 09.59.07	106.8025267	-6.564326667	62.23	
10/03/19 09.59.06	106.802575	-6.56418	61.3	
10/03/19 09.59.05	106.8026183	-6.564033333	61.12	
10/03/19 09.59.04	106.8026567	-6.563885	61.67	
10/03/19 09.59.03	106.80269	-6.563733333	62.23	
10/03/19 09.59.02	106.8027217	-6.56358	62.6	
10/03/19 09.59.01	106.8027483	-6.563425	63.15	
10/03/19 09.59.00	106.80277	-6.563268333	63.71	
10/03/19 09.58.59	106.8027883	-6.563108333	64.08	
10/03/19 09.58.58	106.8028	-6.562948333	64.82	
10/03/19 09.58.57	106.80281	-6.562786667	65.01	
10/03/19 09.58.56	106.802815	-6.562623333	65.01	

II. ANALISIS

II.1 SISTEM SUSPENSI PRIMER BOGIE

Dari hasil pemeriksaan lapangan diketahui letak Titik Awal Jatuh (TAJ) roda berada Km. 51+765 ditandai dengan adanya bekas benturan jatuhnya flens roda di atas kepala rel tanpa adanya Titik Awal Naik (TAN). Hal tersebut menunjukkan bahwa pada kasus anjlok ini terjadi secara mendadak atau tiba – tiba (*sudden derailment*). *Sudden derailment* adalah ketika perangkat roda loncat keluar rel secara mendadak dimana hal ini mengindikasikan bahwa gaya anjlok (*derailing force*) cukup tinggi untuk mengangkat roda loncat keluar dari rel. Hal ini berbeda dengan perangkat roda yang anjlok secara merambat atau bertahap (*gradual/ flange climbing derailment*).

Ada beberapa kemungkinan penyebab kereta dapat anjlok secara tiba-tiba pada kasus kecelakaan ini, antara lain:

- Perpindahan beban secara mendadak;
- Resonansi dari mode osilasi gerak sarana (*gaya rolling, yawing* ataupun *hunting*);
- Adanya kegagalan pada komponen sarana maupun prasarana;

Perpindahan beban pada kereta secara mendadak dapat disebabkan oleh ketidakstabilan pada suspensi kereta. Tim investigasi melakukan perhitungan kemungkinan adanya ketidakstabilan sarana yang dipengaruhi oleh karakteristik pegas pada suspensi primer bogie sehingga terjadi perpindahan beban secara mendadak (lihat Lampiran). Hal ini berdasarkan temuan tim investigasi KNKT berupa jejak benturan flens roda no. 2 bogie 1 kereta K1 1 89 40/8612 pada bagian kepala rel (lihat Gambar 7.). Roda no. 2 bogie 1 kereta K1 1 89 40/8612 merupakan roda dengan kondisi terdapat banyak jejak benturan pada flens rodanya (lihat Gambar 15.).

Tabel 16. Hasil perhitungan persentase degradasi pegas primer

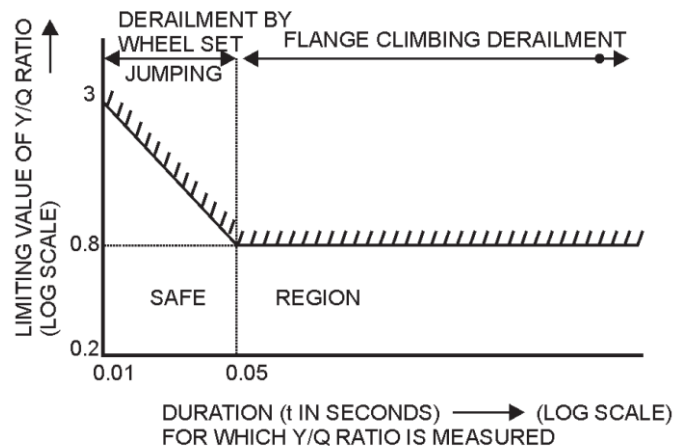
	Eksisting	Ideal	Persentase degradasi
Tinggi Bebas H_f (mm)	239.6	248	3.39 %
Kekakuan Pegas K_T (kg/mm)	83.6	103.33	19.09 %

Fungsi dari sistem suspensi adalah untuk mendukung dan mendistribusikan berat sarana, meredam getaran serta mengendalikan kontak antara roda dan rel. Berdasarkan hasil perhitungan tinggi bebas dan kekakuan pegas, terjadi penurunan nilai tinggi bebas sebesar 3.39% dan penurunan kekakuan pegas sebesar 19.09%. Adanya penurunan kekakuan pegas dapat mempengaruhi respon dinamik pada sistem suspensi primer.

Ditemukan pula adanya perbedaan ketebalan shim pada tiap suspensi primer di dua bogie kereta K1 1 89 40/8612 (lihat Tabel 8.). Semakin tebal shim, preload pegas semakin meningkat. Dengan semakin meningkatnya preload akan mempengaruhi *ride height* dari sarana. Jika

besaran preload berbeda-beda tiap suspensi primer bogie pada satu kereta, akan berpengaruh pada distribusi beban pada tiap roda di kereta tersebut saat beroperasi.

Penurunan kekakuan pegas dan perbedaan ketebalan shim suspensi primer pada akhirnya akan mempengaruhi keseimbangan distribusi beban pada tiap roda di kereta. Beban vertikal (Y) pada beberapa roda dalam satu kereta berkurang sedangkan pada beberapa roda lainnya meningkat karena didistribusikan kembali ke roda lainnya sebagai respon terhadap kegagalan suspensi. Permasalahan kegagalan suspensi ini sangat berpengaruh pada peningkatan resiko terjadinya anjlokkan kereta secara mendadak (*wheel set jumping/sudden derailment*).



Gambar 17. Grafik batasan nilai rasio Nadal (Y/Q) terhadap durasi waktu

II.2. PENGARUH KUALITAS JALAN REL TERHADAP KESTABILAN SARANA

Kualitas jalan rel didefinisikan sebagai nilai numerik yang mewakili kondisi relatif dari geometri permukaan jalan rel. Dalam hal ini, indikator penilaian kualitas lintasan berdasarkan standar deviasi. Nilai TQI adalah hasil penjumlahan nilai standar deviasi beberapa parameter pada masing-masing segmen. Satu segmen terdiri dari empat parameter yaitu angkatan, listrikan, pertinggian dan lebar spur.

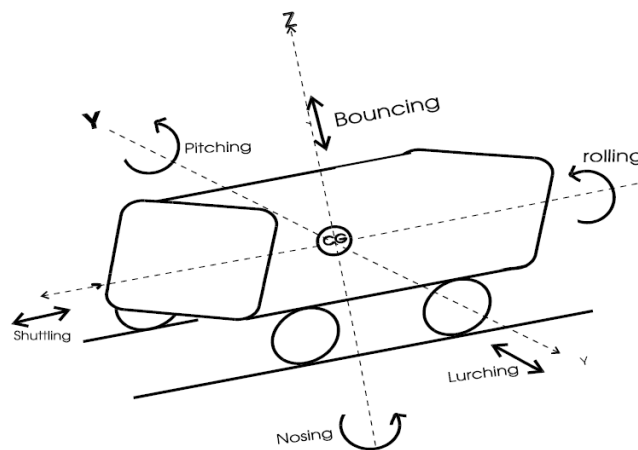
Nilai TQI pada segmen antara km 51+764 s.d. 51+800 sebesar 53.4 (lihat Tabel 2.). Jejak impak flens roda dengan kepala rel berada di Km 51+765 tepat berada pada segmen dengan kualitas jalan rel yang jelek. Hal ini mengindikasikan adanya irregularitas pada segmen jalan rel yang dapat mempengaruhi mode osilasi dari sarana yang melewati segmen jalan rel tersebut (lihat Tabel 17.).

Dari hasil investigasi, ditemukan adanya mud pumping pada beberapa bantalan sebelum TAJ. *Mud pumping* merupakan salah satu cacat pada prasarana yang mempengaruhi gerak vertikal sarana. Ketika sarana melintas pada bagian jalur yang cacat mud pumping, sarana cenderung akan kehilangan berat vertikal pada roda. *Mud pumping* ini tidak hanya berdampak pada struktur rel diantara perlintasan sebidang, tetapi juga berpengaruh pada struktur jalan rel pada perlintasan sebidang (lihat Gambar 9.).

Tabel 17. Pengaruh irregularitas jalan rel terhadap gerak sarana

Irregularitas/ cacat pada jalur	Mode Osilasi	Berpengaruh pada
Kualitas sambungan rel buruk, mud pumping, penambat longgar, dll.	Bouncing, pitching	Q (vertikal)
Alignment atau adanya ketidakraturan lebar jalan rel	Lurching Nosing/yawing Rolling	Y (lateral) Y (lateral) Q (vertikal)
Skilu	Rolling	Q (vertikal)

Sumber: *The Investigation of Derailment, India*



Gambar 18. Mode osilasi pada sarana kereta api

II.3. INTERAKSI PERANGKAT RODA DAN REL

Mekanisme Interaksi roda dan rel yang berpengaruh terhadap anjlokkan adalah terjadinya gerak osilasi berlebihan pada sarana yang dapat dipengaruhi oleh besarnya amplitudo beban dinamik yang terjadi akibat kontak antara roda dengan jalan rel. Mud pumping pada struktur jalan rel menyebabkan terjadinya beban impact pada roda kemudian getaran yang muncul dari beban impact ini direspon oleh sistem suspensi primer sarana.

Adanya penurunan fungsi kekakuan dari pegas primer berbanding lurus terhadap penurunan kemampuan pegas primer dalam menyerap, menyimpan dan mengembalikan energi getaran yang terjadi karena beban impact sehingga energi tersebut akan diteruskan langsung ke struktur bogie. Dimana jika frekuensi getaran yang terjadi pada struktur bogie sama dengan frekuensi natural struktur bogie tersebut maka hal ini dapat menyebabkan terjadinya efek resonansi atau naiknya amplitudo getaran yang terjadi pada struktur bogie secara drastis dan menyebabkan berkurangnya gaya berat vertikal roda (rasio nadal > 0.8) selanjutnya mengakibatkan roda melompat keluar sehingga kereta anjlok secara mendadak (lihat Gambar 17.).

III. KESIMPULAN

Berdasarkan informasi faktual dan analisis dalam proses investigasi kecelakaan anjlokkan KA 1722 di jalur hulu KM. 51+765 petak jalan antara St. Cilebut – St. Bogor, kesimpulan dari Komite Nasional Keselamatan Transportasi terkait dengan kecelakaan tersebut adalah sebagai berikut:

III.1 TEMUAN¹

Penyebab utama terjadinya anjlokkan KA 1722 adalah adanya kegagalan pada sistem suspensi sarana berupa penurunan performansi pegas primer dan irregularitas pada struktur prasarana. Kedua hal ini mempengaruhi ketidakstabilan pada sarana yang mengakibatkan roda no. 2 bogie 1 kereta K1 1 89 40/8612 kehilangan berat vertikal hingga melompat keluar jalur.

Selain itu, Tim Investigasi kecelakaan KNKT menyimpulkan temuan lain, yaitu:

- a. Kondisi konstruksi perlintasan sebidang menurun terhadap struktur jalan rel, dimana kondisi ini dapat menyebabkan air mengalir ke jalan rel ketika hujan.
- b. Adanya mud pumping beberapa bantalan sebelum TAJ.
- c. Tidak ditemukan adanya saluran pembuangan air di sekitar perlintasan sebidang.
- d. Terdapat jumlah sambungan baut yang tidak lengkap yaitu sebanyak 4 (empat) buah dimana seharusnya 6 di lokasi kejadian anjlokkan.
- e. Sebelum perlintasan sebidang terdapat sambungan lasan rel yang telah retak kemudian disambung dengan pelat sambung dengan kondisi sambungan baut yang tidak baik yaitu terdapat *spring washer* tidak standar dengan permukaan kontak *rounded* (membulat) serta baut dan mur tidak seragam.
- f. Hasil pengukuran skilu statis jalan rel pada titik TAJ masih dalam batas toleransi.
- g. Hasil pengukuran lebar jalur pada 30 bantalan sebelum TAJ masih dalam toleransi.
- h. Investigasi menemukan adanya 7 kali perawatan jalan rel di KM. 51+7/8 dalam rentang waktu 6 bulan sebelum terjadinya kecelakaan dengan perawatan terakhir pada tanggal 28 Februari 2019 berupa angkat listring oprit dan kuras *ballast* di perlintasan sebidang JPL 28.
- i. Hasil pengukuran keausan flens roda pada sarana yang anjlok masih dalam toleransi yang ditentukan.
- j. Hasil pengukuran *track quality index* (TQI) terakhir bulan Maret 2019 sebelum terjadinya kecelakaan mulai Km 51+764 hingga 51+800
- k. Jarak *back to back* roda pada tiap perangkat roda yang diukur masih dalam toleransi.
- l. Ditemukan jumlah *shim* pegas primer yang tidak sama di tiap roda dalam tiap bogie di kereta 8612 (K1 1 89 40).

¹ Temuan adalah pernyataan dari semua kondisi, kejadian atau keadaan yang signifikan dan biasanya disampaikan dalam urutan kronologis. Temuan merupakan langkah signifikan dalam urutan kecelakaan, namun tidak selalu kausal, atau menunjukkan kekurangan. Beberapa temuan menunjukkan kondisi yang mendahului urutan kecelakaan, namun biasanya penting untuk memahami kejadian.

- m. Ditemukan penurunan tinggi bebas dari pegas primer tipe *concentric/ composite coil spring* pada kereta 8612 (K1 1 89 40) sebesar 3.39% dibandingkan dengan tinggi bebas pegas desainnya berdasarkan hasil pengukuran dan perhitungan.
- n. Berdasarkan hasil pengukuran dan perhitungan kekakuan pegas primer dalam bogie di kereta 8612 (K1 1 89 40), ditemukan adanya penurunan kekakuan pegas sebesar 19.09%.
- o. Ditemukan kondisi retak pada *rubber stopper* dari 2 roda bogie kereta yang anjlok (roda ke-2 dan roda ke-4) sedangkan *rubber stopper* pada roda lainnya dalam kondisi utuh.
- p. Terdapat tanda benturan yang paling parah pada roda no. 2 yang menunjukkan roda tersebut merupakan roda yang pertama anjlok.
- q. Hasil pengukuran tekanan *levelling valve* dan *differential valve* yang terdapat pada suspensi udara kereta 8612 (K1 1 89 40) masih dalam batas toleransi.
- r. Investigasi tidak menemukan ketersediaan suku cadang baru khususnya untuk sistem suspensi bogie dari sarana Train set Tokyu seri 8000
- s. Investigasi tidak menemukan adanya pedoman perawatan sarana yang dikeluarkan oleh pabrikan sebagai acuan perawatan sarana khususnya untuk Trainset Tokyu Seri 8000.
- t. Investigasi hanya menemukan spesifikasi umum dan daftar penggantian komponen periodik dari Train set Tokyu Seri 8000 yang dikeluarkan oleh Tokyu Corporation sebagai operator sarana perkeretaapian.
- u. Sampai dengan saat ini PT. KCI masih melakukan penyempurnaan terhadap *check sheet* perawatan dari sarana Train set Tokyu seri 8000.

III.2 FAKTOR – FAKTOR YANG BERKONTRIBUSI²

1. Penurunan kekakuan pegas dan perbedaan ketebalan shim suspensi primer mempengaruhi keseimbangan distribusi beban pada tiap roda di kereta. Beban vertikal pada beberapa roda dalam satu kereta berkurang sedangkan pada beberapa roda lainnya meningkat karena didistribusikan kembali ke roda lainnya sebagai respon terhadap kegagalan suspensi.
2. Irregularitas pada struktur jalan rel berupa *mud pumping* pada beberapa bantalan sebelum TAJ. *Mud pumping* merupakan salah satu cacat pada prasarana yang mempengaruhi gerak vertikal sarana. Ketika sarana melintas pada bagian jalur yang cacat *mud pumping*, sarana cenderung akan kehilangan berat vertikal pada roda.

² Faktor yang berkontribusi didefinisikan sebagai kejadian yang dapat menyebabkan kecelakaan. Jika kejadian tidak terjadi atau tidak ada maka kecelakaan itu mungkin tidak terjadi atau berakibat pada kejadian yang kurang parah.

IV. TINDAKAN KESELAMATAN

Berdasarkan surat Ketua Komite Nasional Keselamatan Transportasi Nomor: IK.003/1/1 KNKT 2021 perihal Draft Laporan Akhir Anjlok KA 1722 tanggal 17 Februari 2021, KNKT telah meminta pihak regulator dan operator, sebagai pihak penerima rekomendasi untuk memberi tanggapan terhadap draft laporan akhir investigasi kecelakaan KNKT dan tindakan keselamatan yang akan dan/atau telah dilakukan untuk mencegah terulangnya kecelakaan yang serupa.

Sampai dengan berakhirnya masa tanggapan dari *draft* laporan akhir, KNKT belum menerima informasi terkait tindakan keselamatan yang telah dilakukan oleh pihak penerima rekomendasi dalam laporan akhir investigasi kecelakaan perkeretaapian ini.

V. REKOMENDASI

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

IV.1 DIREKTORAT JENDERAL PERKERETAAPIAN

1. Melakukan pengawasan terhadap kondisi perawatan sarana dan prasarana perkeretaapian khususnya di wilayah DAOP 1 Jakarta.
2. Memastikan perawatan sarana yang dioperasikan sesuai dengan *manual instruction* perawatan dari sarana tersebut.

IV.2 PT. KERETA API INDONESIA (PERSERO)

1. Mengevaluasi kembali periode perawatan berkala jalan rel dengan mempertimbangkan kondisi frekuensi, pembebanan dan kecepatan perjalanan kereta api serta cuaca di lingkungan operasional kereta api.
2. Memastikan kondisi geometri jalur kereta api khususnya pada pelintasan sebidang sesuai dengan ketentuan yang dipersyaratkan.
3. Memastikan bahwa sambungan baut pada sambungan rel menggunakan baut, mur dan *spring washer* sesuai dengan standar pelat sambung untuk tipe rel R54 dan dikencangkan dengan torsi sesuai grade dan ukuran baut yang digunakan.
4. Memastikan aliran air hujan dari jalan di sekitar perlintasan sebidang tidak langsung mengalir ke struktur jalan rel dan membuat sistem drainase di perlintasan sebidang sehingga tidak terjadi penggenangan air pada jalan rel.
5. Memberikan bimbingan dan pelatihan kepada personil tenaga perawatan prasarana dan *quality controller* struktur jalan rel sehingga cacat atau degradasi pada struktur jalan rel dapat terdeteksi lebih awal.

IV.3 PT. KERETA API COMMUTER INDONESIA

1. Memastikan jalur perawatan pada seluruh Dipo KRL memiliki tinggi rel dengan level yang sama.
2. Memastikan ketersediaan suku cadang perawatan berkala khususnya untuk sarana Train set Tokyu Seri 8000.
3. Memastikan tersedianya instruksi manual perawatan dari pabrikan dan dipahami oleh tenaga perawatan sarana sebelum sarana dioperasikan.
4. Memastikan bahwa tenaga perawatan sarana telah mendapat pelatihan sesuai dengan jenis dan tipe trainset yang dirawat.
5. Memberikan bimbingan dan pelatihan kepada personil tenaga perawatan sarana dan *quality controller* sarana sehingga cacat atau degradasi pada sarana dapat terdeteksi lebih awal.

VI. DAFTAR REFERENSI

- [1] PT. Kereta Api Indonesia (Persero), *Buku 2A Rencana Perawatan Tahunan Jalan Rel*, Bandung, Indonesia, 2012.
- [2] Indian Railways Institute of Civil Engineering, *The Investigation of Derailments*, Pune, India, 2014.
- [3] NSW Transport RailCorp, *TMC 213 Derailment Investigation – Track and Rolling Stock Ver. 1.0*, Australia, 2011.
- [4] JIS B2704-1:2009, *Coil springs - Part 1: Basic calculation methods on helical compression and extension springs*.

VII. LAMPIRAN

VI.1 PERHITUNGAN NILAI PERFORMA COIL SPRING SUSPENSI PRIMER

Item diukur	Pegas A (Outer)	Pegas B (Middle)	Pegas C (Inner)
Diameter Pegas (D)	190 mm	128 mm	86 mm
Diameter Coil (d)	32 mm	22 mm	16 mm
Jumlah lilitan aktif (N_a)	2.75	3.75	5.75
Jumlah lilitan total (N_t)	4.75	5.75	8.75
Pitch (p)	67 mm	52 mm	35 mm
Tinggi Bebas (H_f)	239.6	235.8	241
Tinggi pada saat $P_T = 5013$ Kgf	179.7 mm		

- Beban total (P_T) merupakan resultan beban yang diterima oleh pegas A, pegas B dan pegas C ($P_T = P_A + P_B + P_C$) yang diterima pada saat pengujian pegas komposit adalah sebesar $P_T = 5013$ Kgf.
- Referensi kekakuan pegas dalam kondisi baru tidak ditemukan. Maka dilakukan pendekatan dengan menghitung nilai kekakuan pegas. Jika shear modulus pegas (G) sesuai dengan **JIS B2704-1:2009** tentang *Coil springs - Part 1: Basic calculation methods on helical compression and extension springs* dengan material SUP9 maka $G = 7.85 \times 10^4$ N/mm², perhitungan nilai kekakuan pegas dalam keadaan ideal sebagai berikut:

Pegas A (Ideal)	Pegas B (Ideal)	Pegas C (Ideal)
$K_{Ai} = \frac{Gd_A^4}{8 N_{aA} D_A^3}$ $= \frac{(7.85 \times 10^4 \text{ N/mm}^2) 32^4}{8 \times 2.75 \times (190 \text{ mm}^2)^3}$	$K_{Bi} = \frac{Gd_B^4}{8 N_{aB} D_B^3}$ $= \frac{(7.85 \times 10^4 \text{ N/mm}^2) 22^4}{8 \times 3.75 \times (128 \text{ mm})^3}$	$K_{Ci} = \frac{Gd_C^4}{8 N_{aC} D_C^3}$ $= \frac{(7.85 \times 10^4 \text{ N/mm}^2) 16^4}{8 \times 5.75 \times (86 \text{ mm})^3}$
$K_{Ai} = 545.5 \text{ N/mm}$ $K_{Ai} = 55.6 \text{ kg/mm}$	$K_{Bi} = 292.28 \text{ N/mm}$ $K_{Bi} = 29.79 \text{ kg/mm}$	$K_{Ci} = 175.83 \text{ N/mm}$ $K_{Ci} = 17.94 \text{ kg/mm}$

Maka, total nilai kekakuan pegas komposit ideal (K_{Ti}) kereta K1 1 89 40/8612 sesuai **JIS B2704-1:2009** tentang *Coil springs - Part 1: Basic calculation methods on helical compression and extension springs* adalah sebagai berikut:

$$K_{Ti} = K_{Ai} + K_{Bi} + K_{Ci}$$

$$K_{Ti} = 55.6 \text{ kg/mm} + 29.79 \text{ kg/mm} + 17.94 \text{ kg/mm}$$

$$K_{Ti} = 103.33 \text{ kg/mm}$$

- Perhitungan tinggi bebas pegas ideal (H_{fAi})

$$\begin{aligned}
 H_{sAi} &= N_{tA} \times d_A \\
 H_{sAi} &= 4.75 \times 32 \text{ mm} \\
 H_{sAi} &= 152 \text{ mm}
 \end{aligned}
 \qquad
 \begin{aligned}
 p_A - d_A &= \frac{H_{fA} - H_{sA}}{N_{aA}} \\
 67 \text{ mm} - 32 \text{ mm} &= \frac{H_{fAi} - 152 \text{ mm}}{2.75} \\
 \mathbf{H_{fAi} = 248 \text{ mm}}
 \end{aligned}$$

- Berikut adalah perhitungan kondisi eksisting pegas pada bogie 1 kereta K1 1 89 40/8612. Tinggi bebas pada pegas komposit digunakan tinggi bebas pegas terluar (pegas A) hasil pengukuran yaitu sebesar 239.6 mm. Pada tabel 11 tinggi pegas komposit pada beban P_T (5000 Kgf) adalah sebesar 179.7 mm. Jadi defleksi pegas yang terjadi:

$$\begin{aligned}
 \delta_{Ae} &= 239.6 \text{ mm} - 179.7 \text{ mm} \\
 \mathbf{\delta_{Ae} = 59.9 \text{ mm}}
 \end{aligned}$$

Maka,

$$\begin{aligned}
 \frac{8P_A D_A^3 N_{aA}}{G d_A^4} &= \frac{8P_B D_B^3 N_{aB}}{G d_B^4} = \frac{8P_C D_C^3 N_{aC}}{G d_C^4} \\
 \frac{P_A D_A^3 N_{aA}}{d_A^4} &= \frac{P_B D_B^3 N_{aB}}{d_B^4} = \frac{P_C D_C^3 N_{aC}}{d_C^4} \\
 \frac{P_A (190^3) (2.75)}{32^4} &= \frac{P_B (128^3) (3.75)}{22^4} = \frac{P_C (86^3) (5.75)}{16^4} \\
 P_A 17.99 &= P_B 33.57 = P_C 55.8 \\
 P_A &= 1.866 P_B \qquad P_C = \frac{P_B}{1.66} \\
 P_T &= P_A + P_B + P_C \\
 5000 \text{ Kgf} &= 1.866 P_B + P_B + \frac{P_B}{1.66} \\
 \mathbf{P_A = 2697.3 \text{ kgf} \quad P_B = 1445.5 \text{ kgf} \quad P_C = 870.8 \text{ kgf}}
 \end{aligned}$$

Jadi,

$$\begin{aligned}
 K_{Ae} &= \frac{P_A}{\delta} = \frac{2697.3}{59.9} = 45 \frac{\text{kgf}}{\text{mm}} & K_{Te} &= K_{Ae} + K_{Be} + K_{ce} \\
 K_{Be} &= \frac{P_B}{\delta} = \frac{1445.5}{59.9} = 24.13 \frac{\text{kgf}}{\text{mm}} & K_{Te} &= 45 \frac{\text{kgf}}{\text{mm}} + 24.13 \frac{\text{kgf}}{\text{mm}} + 14.53 \frac{\text{kgf}}{\text{mm}} \\
 K_{Ce} &= \frac{P_C}{\delta} = \frac{870.8}{59.9} = 14.53 \frac{\text{kgf}}{\text{mm}} & K_{Te} &= \mathbf{83.6 \frac{\text{kgf}}{\text{mm}}}
 \end{aligned}$$

- Berdasarkan perhitungan diatas,

	Eksisting	Ideal	Persentase degradasi
Tinggi Bebas H_f (mm)	239.6	248	3.39 %
Kekakuan Pegas K_T (kg/mm)	83.6	103.33	19.09 %

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