



**KOMITE NASIONAL KESELAMATAN TRANSPORTASI
REPUBLIK INDONESIA**

LAPORAN AKHIR KNKT.17.10.06.02

LAPORAN INVESTIGASI KECELAKAAN PERKERETAAPIAN

ANJLOKAN KLB V2/10212

**DI EMPLASEMEN ST. PAUHLIMA
PADANG, DIVRE II SUMATERA BARAT**

25 OKTOBER 2017



2018



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 Kecelakaan Kereta Api Anjlokan KLB V2/10212 di Emplasemen St. Pauhlima, Padang, Wilayah Operasi DIVRE II Sumatera Barat, tanggal 25 Oktober 2017.

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 Final 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, Desember 2018

**KOMITE NASIONAL
KESELAMATAN TRANSPORTASI
KETUA**



SOERJANTO TIAHJONO

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	ii
DAFTAR ISTILAH.....	ii
DAFTAR GAMBAR	iii
DAFTAR TABEL	iv
SINOPSIS.....	v
I. INFORMASI FAKTUAL	6
I.1 DATA KECELAKAAN KERETA API.....	6
I.2 KRONOLOGIS.....	6
I.3 AKIBAT KECELAKAAN KERETA API.....	8
I.3.1 Korban	8
I.3.2 Prasarana.....	8
I.3.3 Sarana.....	9
I.3.4 Operasi.....	9
I.4 EVAKUASI	9
I.5 DATA INVESTIGASI.....	10
I.5.1 Prasarana.....	10
I.5.2 Sarana.....	15
I.5.3 Sumber Daya Manusia.....	18
I.5.4. Informasi Rekaman Kecepatan KA	20
I.6 INFORMASI TAMBAHAN	21
I.6.1. PM No. 32 Tahun 2011 Tentang Standar dan Tata Cara Perawatan Prasarana Perkeretaapian.....	21
I.6.2 PM No. 60 Tahun 2012 Tentang Persyaratan Teknis Jalur Kereta Api	21
I.6.3. PM 24 Tahun 2015 Tentang Standar Keselamatan Perkeretaapian.....	22
I.6.4 Buku 2A Seri Perjana 2012 Rencana Perawatan Tahunan Jalan Rel	22
II. ANALISA	23
II.1 Interaksi Roda dan Rel.....	23
II.2 Variasi pelebaran serta penyempitan lebar jalan rel pada lengkung.....	26
II.3 Pengaruh Deviasi/ Pergeseran Anak Panah pada Lengkung	27
III. KESIMPULAN	28
III.1 TEMUAN	28
III.2 FAKTOR – FAKTOR YANG BERKONTRIBUSI.....	29
IV. SAFETY ACTIONS	30
IV.1 DIREKTORAT JENDERAL PERKERETAAPIAN.....	30
IV.2 PT. KERETA API INDONESIA (PERSERO).....	30
V. REKOMENDASI	31
V.1 DIREKTORAT JENDERAL PERKERETAAPIAN	31
V.2 PT. KERETA API INDONESIA (PERSERO).....	31
VI. REFERENSI	32

DAFTAR ISTILAH

GK	: Gerbong Ketel
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 beberapa petak jalan.
PA	: Pemeriksaan Akhir, pemeriksaan menyeluruh terhadap lokomotif/ kereta/ /gerbong biasanya dilakukan di bengkel khusus lokomotif/ kereta/ /gerbong yang biasa disebut Balai Yasa.
PA YAD	: Pemeriksaan Akhir Yang Akan Datang, pemeriksaan akhir selanjutnya dari lokomotif/ kereta/gerbong.
Petak Jalan	: Bagian jalan kereta api yang letaknya diantara dua stasiun yang berdekatan
PK/PPKP	: Pengendali Perjalanan Kereta Api Terpusat, adalah pegawai yang bertugas di kantor pengendali kereta api terpusat (PK) yang melaksanakan tugas pengendalian perjalanankeretaapidengan menggunakan alat komunikasi di wilayah pengendaliannya.
Emplasemen	: Tata letak jalur keretaapi dilengkapi atau tidak dilengkapi jalur langsir, jalur tangkap atau jalur simpandi stasiun yang dipergunakan untukmenerima, memberangkatkan dan atau melayani kereta api langsung, bagi stasiun yang dilengkapi jalur lain dapat dipergunakan sesuai dengan fungsinya.
PPKA	: Pengatur Perjalanan Kereta Api, adalah pegawai yang ditugasi untuk mengatur dan melakukan segala tindakan untuk menjamin keselamatan dan ketertiban berikut segala sesuatu yang berkaitan dengan urusan perjalanan kereta api dan urusan langsir dalam batas stasiunnya untuk wilayah pengaturan setempat atau beberapa stasiun untuk wilayah pengaturan daerah.
St.	: Stasiun, adalah 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. Peta jalur KA lintas St. Bukitputus – St. Indarung.....	7
Gambar 2. Lokasi kecelakaan anjlok KLB V2/10212	7
Gambar 3. Sketsa Anjlok KLB V2/10212.....	8
Gambar 4. Bantalan beton pecah akibat anjlok	8
Gambar 5. GK yang anjlok dan terguling di emplasemen St. Pauhlina.....	9
Gambar 6. Terdapat banyak titik mud pumping di lokasi kejadian.....	10
Gambar 7. Ballast mati dengan kondisi penuh ceceran semen	10
Gambar 8. Tumpahan semen yang sudah mengeras bercampur dengan batu ballast.....	11
Gambar 9. Batu dengan ukuran yang tidak sesuai difungsikan sebagai ballast	11
Gambar 10. Kondisi ballast kurang dilokasi kejadian	11
Gambar 11. Drainase tidak baik	12
Gambar 12. Hasil pengukuran pertinggian statis pada lengkung terjadinya anjlok.....	13
Gambar 13. Hasil pengukuran lebar jalur pada lengkung terjadinya anjlok	13
Gambar 14. Grafik pengukuran skilu statis jalan rel pada lengkung terjadinya anjlok	14
Gambar 15. Grafik hasil pengukuran anak panah lengkung no. 15 tanggal 8 Agustus 2017	14
Gambar 16. Grafik hasil pengukuran anak panah lengkung no. 15 setelah kejadian	15
Gambar 17. Grafik hasil pengukuran lebar jalur pada lengkung no. 15	15
Gambar 18. Hasil pengukuran center plate no. 1.....	16
Gambar 19. Hasil pengukuran center plate no.2	16
Gambar 20. Hasil pengukuran center plate no.3	17
Gambar 21. Hasil pengukuran center plate no.4	17
Gambar 22. Hasil pengukuran center plate no.5	17
Gambar 23. Grafik kecepatan lokomotif KLB V2/10212.....	20
Gambar 24. Bentuk 0.100 KLB V2/10212	21
Gambar 25. Ilustrasi vektor gaya sarana perkeretaapian di lengkung	23
Gambar 26. Ilustrasi tahapan proses terjadinya wheel flange climb pada kecelakaan anjlok	24
Gambar 27. Gaya kontak antara roda dengan rel saat wheel flange climb	25
Gambar 28. Hubungan antara kriteria Nadal, sudut kontak flens dan koefisien gesek roda-rel [2]......	25
Gambar 29. Sudut serang roda	26
Gambar 30. Ilustrasi arah gaya kontak roda dengan rel pada posisi roda dengan sudut serang positif ...	27

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Susunan rangkaian KLB V2/10212.....	9
Tabel 2. Perbaikan di KM 10+200 s.d. KM 10+300 sebelum terjadi anjlokkan.....	12
Tabel 3. Hasil pengukuran jalan rel dengan akselerometer BKP-IDA ke-2 September 2017	12
Tabel 4. Riwayat perawatan GK 30 84 346	16
Tabel 5. Hasil pengukuran gerbong GK 30 84 346	18

SINOPSIS

Pada hari Rabu tanggal 25 Oktober 2017 pukul $\pm$ 08:47 WIB, KLB V2/10212 diberangkatkan dari Stasiun Indarung menuju Stasiun Bukitputus. KLB V2/10212 memiliki susunan rangkaian yang terdiri dari 2 (dua) lokomotif CC 201 yang menarik 24 rangkaian GK (Gerbong Ketel).

Ketika KLB V2/10212 melewati lengkung no 15 KM 10+264/2 petak jalan St. Pauhlima – St. Indarung, terjadi anjlok gerbong urutan ke-4 (GK 3084346). Anjloknya GK 3084346 tidak disadari oleh awak KLB V2/10212 sehingga pada saat memasuki emplasemen St. Pauhlima gerbong urutan ke-4, 5, 6 dan 7 terguling serta gerbong urutan ke-8 anjlok sebanyak 2 as. Kejadian ini terjadi sekitar pukul 09.00 WIB. Anjlok ini mengakibatkan sebanyak 18 Perjalanan KA Semen pulang pergi relasi St. Indarung – St. Bukitputus mengalami pembatalan.

Dari temuan investigasi kecelakaan ini diketahui Titik Awal Naik roda berada di Km. 10+264.2 dan Titik Awal Jatuh roda pertama di Km. 10+260 dengan goresan flens roda di atas kepala rel sepanjang 4.2 meter. Titik Awal Naik roda kedua di Km. 10+192 dan Titik Awal Jatuh roda kedua di Km. 10+190.6 dengan goresan flens roda di atas kepala rel sepanjang 1.4 meter.

KNKT menyimpulkan bahwa penyimpangan toleransi geometri jalan rel di lengkung menjadi faktor yang berkontribusi terhadap kecelakaan anjlok. Berdasarkan kesimpulan tersebut, KNKT menyusun rekomendasi keselamatan agar kecelakaan serupa tidak terjadi lagi dikemudian hari, yang ditujukan ke Direktorat Jenderal Perkeretaapian sebagai regulator dan PT. KAI (Persero) sebagai operator.

I. INFORMASI FAKTUAL

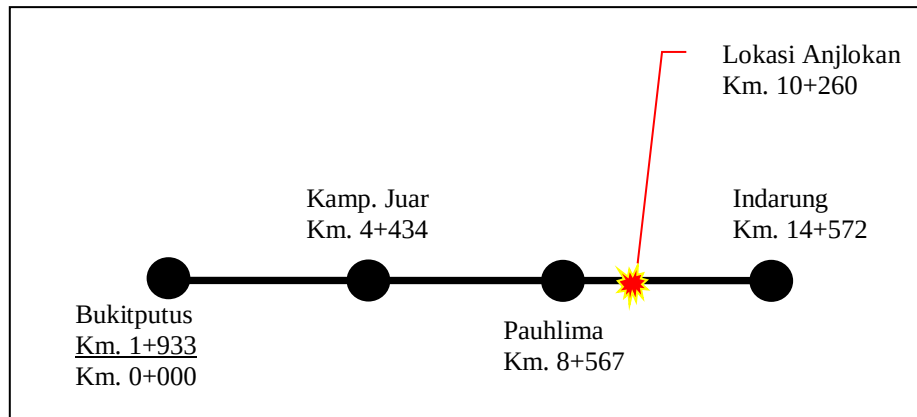
I.1 DATA KECELAKAAN KERETA API

Nomor>Nama KA	: KLB V2/10212 Isi Semen																								
Susunan Rangkaian	: Lokomotif CC 201 83 45 Lokomotif CC 201 83 50																								
	<table> <tr> <td>1. GK 30 84 365</td><td>13. GK 30 85 22</td></tr> <tr> <td>2. GK 30 94 02</td><td>14. GK 30 84 366</td></tr> <tr> <td>3. GK 30 85 29</td><td>15. GK 30 85 06</td></tr> <tr> <td>4. GK 30 84 346</td><td>16. GK 30 85 18</td></tr> <tr> <td>5. GK 30 84 528</td><td>17. GK 30 84 336</td></tr> <tr> <td>6. GK 30 85 09</td><td>18. GK 30 84 339</td></tr> <tr> <td>7. GK 30 85 16</td><td>19. GK 30 84 357</td></tr> <tr> <td>8. GK 30 85 02</td><td>20. GK 30 84 375</td></tr> <tr> <td>9. GK 30 84 344</td><td>21. GK 30 79 18</td></tr> <tr> <td>10. GK 30 97 06</td><td>22. GK 30 84 342</td></tr> <tr> <td>11. GK 30 79 11</td><td>23. GK 30 84 337</td></tr> <tr> <td>12. GK 30 94 04</td><td>24. GK 30 79 20</td></tr> </table>	1. GK 30 84 365	13. GK 30 85 22	2. GK 30 94 02	14. GK 30 84 366	3. GK 30 85 29	15. GK 30 85 06	4. GK 30 84 346	16. GK 30 85 18	5. GK 30 84 528	17. GK 30 84 336	6. GK 30 85 09	18. GK 30 84 339	7. GK 30 85 16	19. GK 30 84 357	8. GK 30 85 02	20. GK 30 84 375	9. GK 30 84 344	21. GK 30 79 18	10. GK 30 97 06	22. GK 30 84 342	11. GK 30 79 11	23. GK 30 84 337	12. GK 30 94 04	24. GK 30 79 20
1. GK 30 84 365	13. GK 30 85 22																								
2. GK 30 94 02	14. GK 30 84 366																								
3. GK 30 85 29	15. GK 30 85 06																								
4. GK 30 84 346	16. GK 30 85 18																								
5. GK 30 84 528	17. GK 30 84 336																								
6. GK 30 85 09	18. GK 30 84 339																								
7. GK 30 85 16	19. GK 30 84 357																								
8. GK 30 85 02	20. GK 30 84 375																								
9. GK 30 84 344	21. GK 30 79 18																								
10. GK 30 97 06	22. GK 30 84 342																								
11. GK 30 79 11	23. GK 30 84 337																								
12. GK 30 94 04	24. GK 30 79 20																								
Jenis Kecelakaan	: Anjlokkan																								
Lokasi	: Km 10+264.2 petak jalan antara St. Indarung – St. Pauhlina																								
Lintas	: St. Indarung – St. Bukitputus																								
Propinsi	: Sumatera Barat																								
Wilayah	: Divre II Sumatera Barat																								
Hari/Tanggal Kecelakaan	: Rabu, 25 Oktober 2017																								
Waktu	: ± 09.00 WIB																								

I.2 KRONOLOGIS

Pada hari Rabu tanggal 25 Oktober 2017 pukul ± 08:47 WIB, KLB V2/10212 diberangkatkan dari Stasiun Indarung menuju Stasiun Bukitputus. KLB V2/10212 memiliki susunan rangkaian yang terdiri dari 2 (dua) lokomotif CC 201 yang menarik 24 rangkaian GK (Gerbong Ketel).

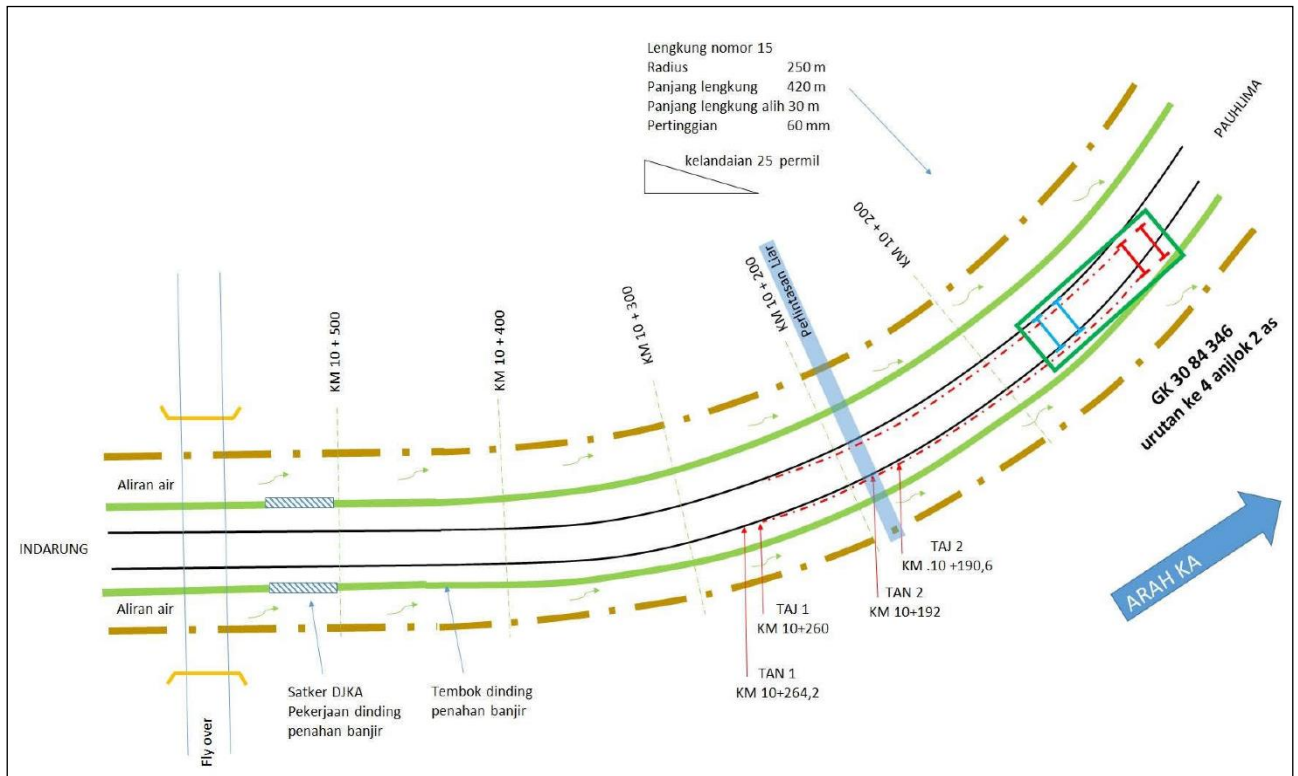
Ketika KLB V2/10212 melewati lengkung no 15 KM 10+264/2 petak jalan St. Pauhlina – St. Indarung, terjadi anjlokkan gerbong urutan ke-4 (GK 3084346). Anjloknnya GK 3084346 tidak disadari oleh awak KLB V2/10212 sehingga pada saat memasuki emplasemen St. Pauhlina gerbong urutan ke-4, 5, 6 dan 7 terguling serta gerbong urutan ke-8 anjlok sebanyak 2 as. Kejadian ini terjadi sekitar pukul 09.00 WIB.



Gambar 1. Peta jalur KA lintas St. Bukitputus – St. Indarung



Gambar 2. Lokasi kecelakaan anjlokan KLB V2/10212



(Sumber: Direktorat Keselamatan dan Keamanan, PT. Kereta Api Indonesia (Persero), 2017)

Gambar 3. Sketsa Anjlokan KLB V2/10212

I.3 AKIBAT KECELAKAAN KERETA API

I.3.1 Korban

Tidak ada korban manusia akibat anjlokan.

I.3.2 Prasarana

a. Jalan rel

Anjlokan ini mengakibatkan bantalan beton pecah/ rusak sebanyak 2885 bantalan. Disamping itu terdapat pula kerusakan dan dilakukan penggantian terhadap 1 unit jarum wesel, 20 batang bantalan wesel, 1200 buat penambat e-clip, rel sepanjang 49 meter.



Gambar 4. Bantalan beton pecah akibat anjlokan

b. Sinyal dan Telekomunikasi

Tidak ada kerusakan sinyal dan telekomunikasi akibat anjlokan.

I.3.3 Sarana

Tabel 1. Susunan rangkaian KLB V2/10212

Susunan Rangkaian	Keterangan	Susunan Rangkaian	Keterangan
CC 201 83 45	LOK	12. GK 30 94 04	
CC 201 83 50	LOK	13. GK 30 85 22	
1. GK 30 84 365		14. GK 30 84 366	
2. GK 30 94 02		15. GK 30 85 06	
3. GK 30 85 29		16. GK 30 85 18	
4. GK 30 84 346	Terguling	17. GK 30 84 336	
5. GK 30 84 528	Terguling	18. GK 30 84 339	
6. GK 30 85 09	Terguling	19. GK 30 84 357	
7. GK 30 85 16	Terguling	20. GK 30 84 375	
8. GK 30 85 02	Anjlok 3 As	21. GK 30 79 18	
9. GK 30 84 344		22. GK 30 84 342	
10. GK 30 97 06		23. GK 30 84 337	
11. GK 30 79 11		24. GK 30 79 20	



Gambar 5. GK yang anjlok dan terguling di emplasemen St. Pauhlina

I.3.4 Operasi

Akibat anjlokan ini, sebanyak 18 Perjalanan KA Semen pulang pergi relasi St. Indarung – St. Bukitputus mengalami pembatalan.

I.4 EVAKUASI

Dilakukan evakuasi terhadap gerbong – gerbong yang mengalami anjlokan dengan menggunakan *Crane*.

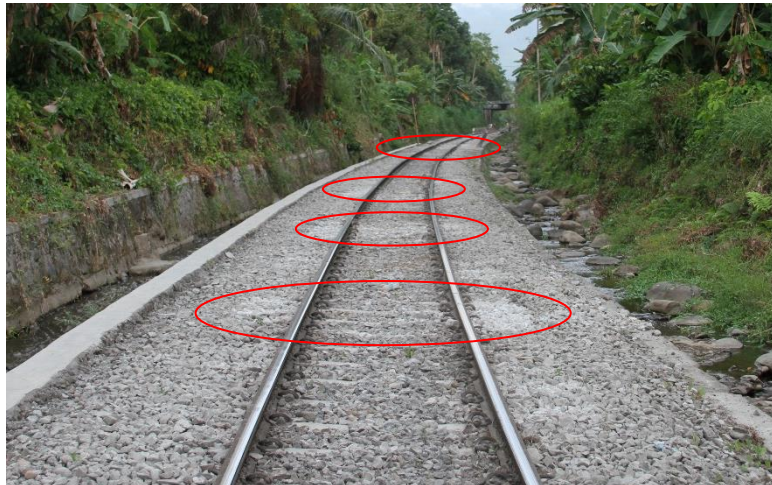
I.5 DATA INVESTIGASI

I.5.1 Prasarana

a. Data Lengkung

- | | |
|-------------------------------|-------------------|
| 1) Nomor Lengkung | : No. 15 |
| 2) Radius | : 250 m |
| 3) Panjang Lengkung | : 420 m |
| 4) Panjang Lengkung Peralihan | : 30 m |
| 5) Peninggian | : 60 mm |
| 6) Kelandaian | : 25 permil |
| 7) Tipe rel | : R.42 |
| 8) Bantalan | : Beton |
| 9) Penambat | : Elastis/Pandrol |

b. Terdapat banyak *mud pumping* (kecrotan) di lengkung terjadinya anjlokkan.

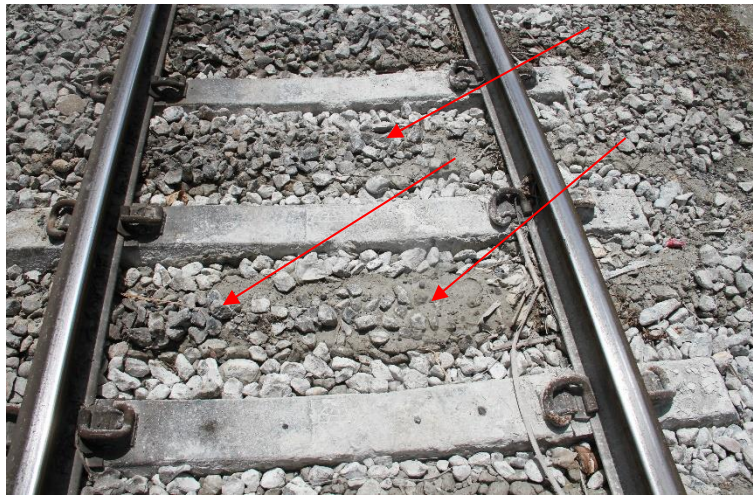


Gambar 6. Terdapat banyak titik mud pumping di lokasi kejadian

c. Terdapat banyak ballast dengan kondisi penuh semen (mati) sehingga tidak mampu bekerja sesuai dengan semestinya.



Gambar 7. Ballast mati dengan kondisi penuh tumpahan semen



Gambar 8. Tumpahan semen yang sudah mengeras bercampur dengan batu ballast

- d. Terdapat batu dengan ukuran yang tidak sesuai difungsikan sebagai ballast.

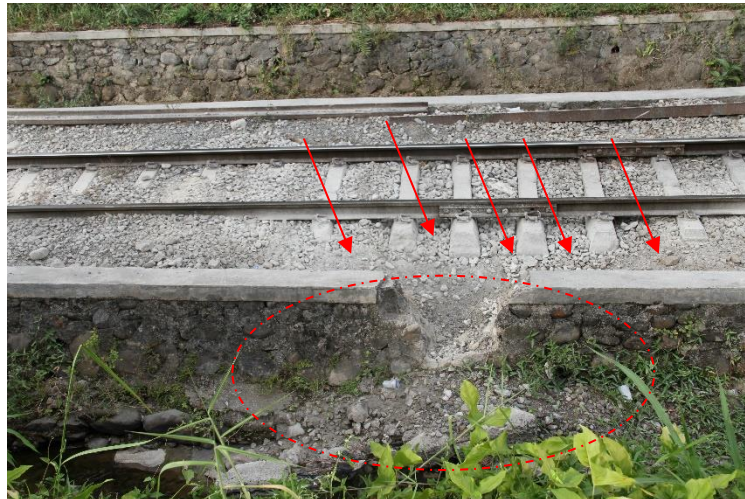


Gambar 9. Batu dengan ukuran yang tidak sesuai difungsikan sebagai ballast

- e. Kondisi ballast kurang, banyak yang terbawa air dikarenakan ballast tidak dapat menyerap air (mati akibat tumpukan tumpahan semen) sehingga sering terjadi banjir.



Gambar 10. Kondisi ballast kurang dilokasi kejadian



Gambar 11. Drainase tidak baik

- f. History pemeriksaan dan perbaikan pada KM 10+200 s.d. 10+300 petak jalan St. Indarung – St. Pauhlina.
- 1) Hasil Lokrit KUPT Mekanik JJ padang tanggal 19 Oktober 2017 diketahui bahwa pada KM 10+200 s.d. KM 10+300 terdapat goyangan dan listingan. Hasil lokrit ini menjadi dasar untuk melakukan perbaikan di KM 10+200 s.d. KM 10+300.
 - 2) History perbaikan di KM 10+200 s.d. 10+300 sebelum terjadinya anjlokkan.

Tabel 2. Perbaikan di KM 10+200 s.d. KM 10+300 sebelum terjadi anjlokkan

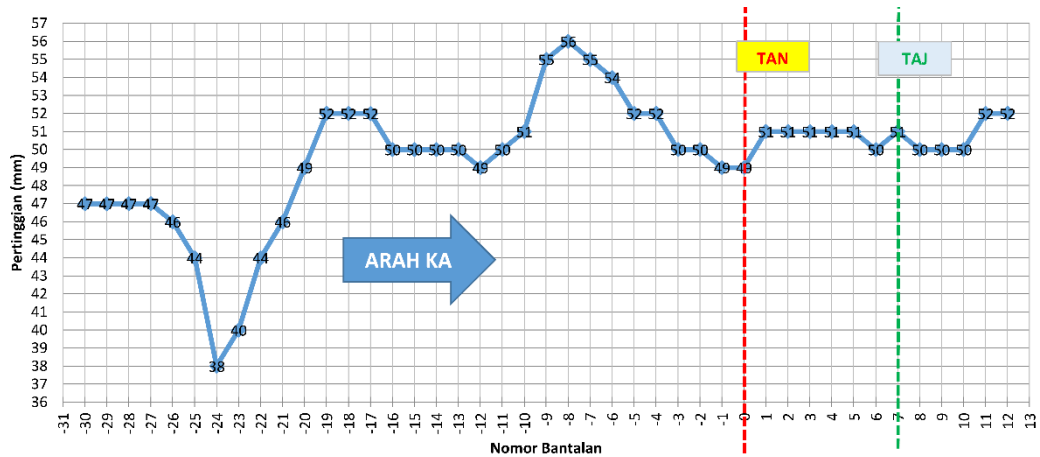
No.	Tanggal	Kegiatan
1.	4 Oktober 2017	Pekerjaan kecroton di KM 10+200 s.d.10+300, sepanjang 8 msp
2.	5 Oktober 2017	Angkatan dan listringan di KM 10+200 s.d. 10+300, sepanjang 33 msp
3.	24 Oktober 2017	Angkatan dan listringan di KM 10+200 s.d. 10+300 sepanjang 55 msp

- g. Hasil Pengukuran Ke II Jalan Rel di Wilayah DIVRE II Sumatera Barat Bulan September Tahun 2017.

Tabel 3. Hasil pengukuran jalan rel dengan akselerometer BKP-IDA ke-2 September 2017

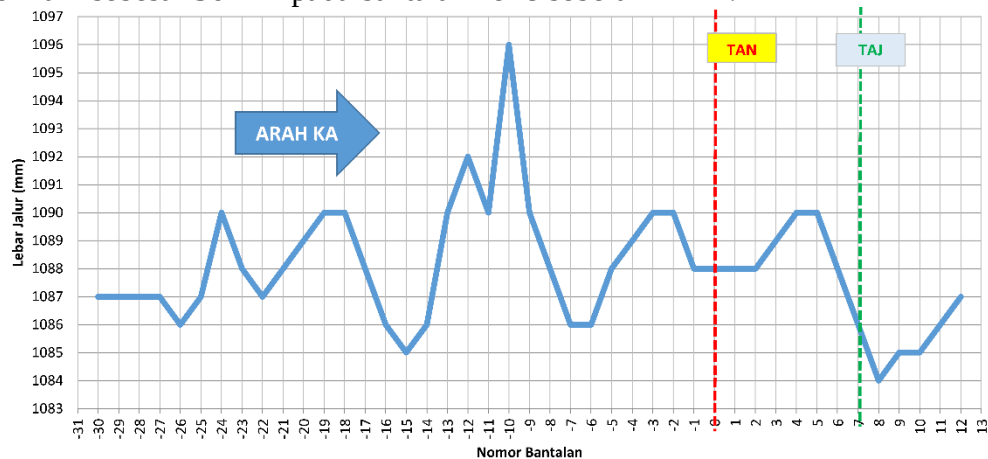
Lintas	Km Awal	Km Akhir	Kec. Ukur Km/jam	TQI Ekuivalen	Kec. GAPEKA Km/jam	N GAPEKA	TSP (Track Speed Profile) Km/jam	Kec. Nyaman Km/jam
BKP-IDA	10.000	10.100	43.2	59.8	45.0	5.8	50.2	23.4
BKP-IDA	10.100	10.200	42.4	45.6	45.0	4.1	65.9	32.6
BKP-IDA	10.200	10.300	42.9	68.2	45.0	6.3	41.8	21.5
BKP-IDA	10.300	10.400	43.5	60.8	45.0	5.7	49.2	23.8
BKP-IDA	10.400	10.500	44.3	72.5	45.0	7.1	37.5	18.9
BKP-IDA	10.500	10.600	44.5	77.7	45.0	7.9	32.3	17.1
BKP-IDA	10.600	10.700	43.5	59.8	45.0	5.7	50.2	23.5
BKP-IDA	10.700	10.800	43.9	54.2	45.0	5.1	55.8	26.5
BKP-IDA	10.800	10.900	42.4	56.3	45.0	5.2	53.7	25.9
BKP-IDA	10.900	11.000	42.8	64.6	45.0	6.1	45.4	22.3
BKP-IDA	11.000	11.100	42.9	63.2	45.0	6.1	46.8	22.1

- h. Hasil pengukuran pertinggian, lebar jalur dan skilu statis pada tanggal 27 Oktober 2017 setelah perbaikan pasca anjlokan.



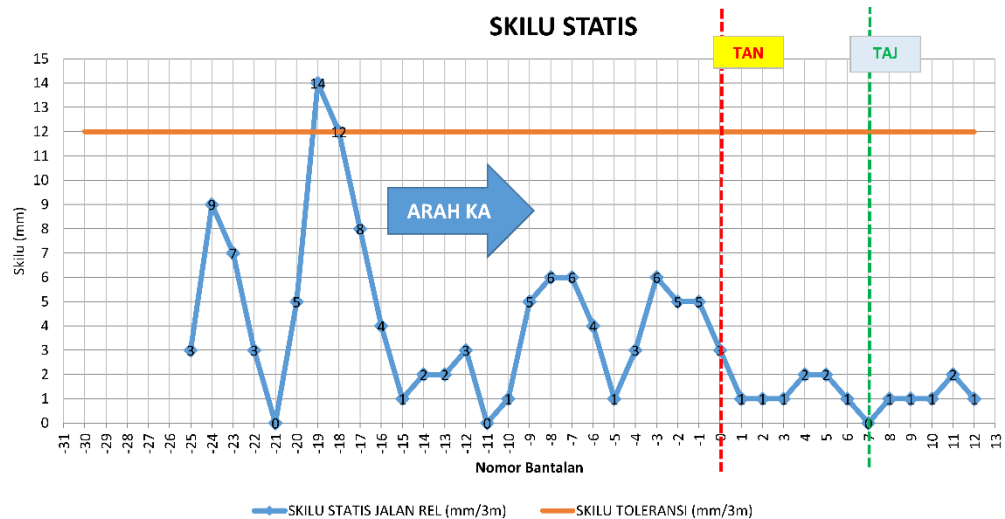
Gambar 12. Hasil pengukuran pertinggian statis pada lengkung terjadinya anjlokan

Berdasarkan hasil pengukuran jalur setelah perbaikan didapatkan bahwa pada TAN pertinggian sebesar 49 mm dan pertinggian di TAJ sebesar 21 mm. Nilai pertinggian maksimum sebesar 56 mm pada bantalan ke -8 sebelum TAN.



Gambar 13. Hasil pengukuran lebar jalur pada lengkung terjadinya anjlokan

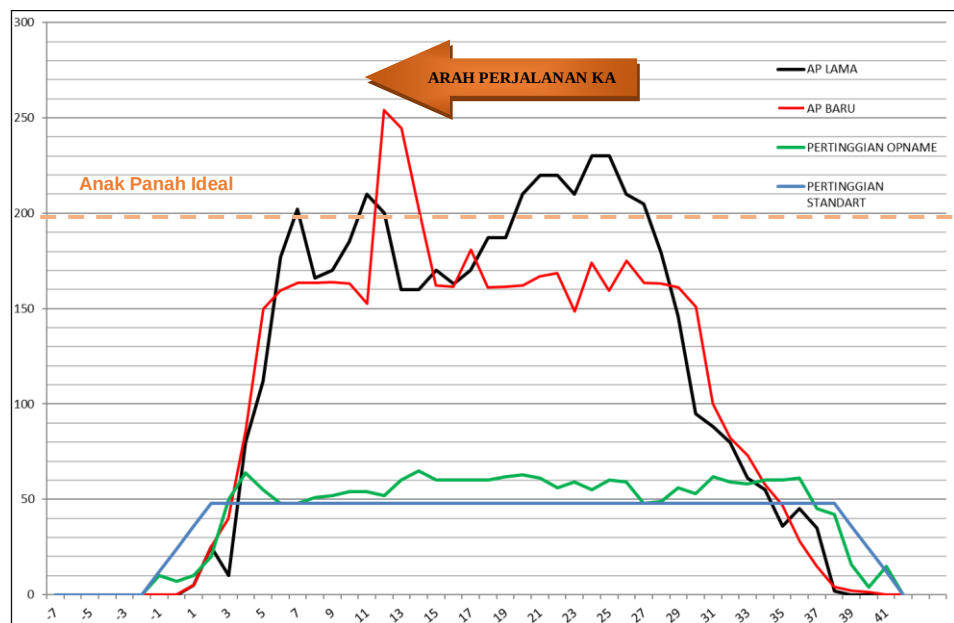
Hasil pengukuran lebar jalur setelah perbaikan didapatkan lebar jalur di TAN adalah 1088 mm dan di TAJ adalah 1086 mm. lebar jalur maksimum sebesar 1096 mm berada pada bantalan ke -10 sebelum TAN.



Gambar 14. Grafik pengukuran skilu statis jalan rel pada lengkung terjadinya anjlok

Hasil pengukuran nilai skilu statis jalan rel setelah perbaikan pada TAN sebesar 3mm/3m dan pada TAJ sebesar 0. Nilai skilu statis tertinggi berada pada bantalan ke -19 sebelum TAN yaitu sebesar 14 mm/3m.

- i. Hasil pemeriksaan grafik anak panah serta pertinggian pada lengkung no. 15 tanggal 8 Agustus 2017 (KM. 10+025 s.d. KM. 10+445).



Gambar 15. Grafik hasil pengukuran anak panah lengkung no. 15 tanggal 8 Agustus 2017

Hasil pemeriksaan anak panah lengkung no. 15 tanggal 8 Agustus 2017, pada anak panah baru setelah perbaikan terdapat nilai anak panah maksimum sebesar 254 mm dengan deviasi/pergeseran anak panah baru terhadap anak panah ideal lengkung radius 250 m sebesar 54 mm. Nilai anak panah teoritis/ ideal lengkung no. 15 dengan radius 250 m adalah sebesar 200 meter.

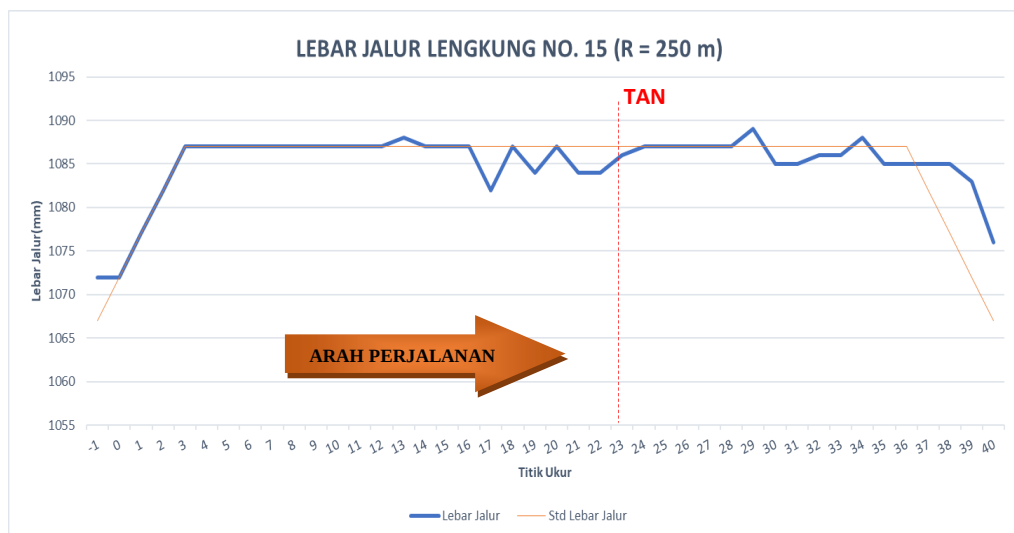
- j. Hasil pengukuran anak panah lengkung no. 15 setelah perbaikan tanggal 27 Oktober 2017 pasca anjlokkan (KM. 10+025 s.d. KM. 10+445).



Gambar 16. Grafik hasil pengukuran anak panah lengkung no. 15 setelah kejadian

Hasil pengukuran lengkung no. 15 setelah perbaikan, diketahui bahwa letak TAN berada di lengkung penuh kiri searah KA yang berada diantara titik 23 dan 34 dengan nilai anak panah TAN sebesar 215 mm. Nilai anak panah teoritis lengkung no. 15 adalah sebesar 200 meter. Untuk pelebaran jalur $100 < R \leq 300$, nilai pelebaran maksimum adalah sebesar 20 mm.

- k. Hasil pengukuran lebar jalur pada lengkung no. 15 setelah perbaikan tanggal 27 Oktober 2017 pasca anjlokkan (KM. 10+025 s.d. KM. 10+445).



Gambar 17. Grafik hasil pengukuran lebar jalur pada lengkung no. 15

I.5.2 Sarana

- a. GERBONG GK 30 84 346

- 1) SPESIFIKASI GK 30 84 346

BK : 17000 KG

BM : 30000 KG

KM : 31500 KG

2) Data Riwayat Perawatan GK 30 84 346

Tabel 4. Riwayat perawatan GK 30 84 346

No	Historis	Tanggal	Keterangan
1.	MD	MARET 1984	KKW 392
2.	PA	SEPTEMBER 2014	BY PADANG
3.	P1	06 JANUARI 2017	DIPO KERETA/GERBONG PADANG
4.	PB	09 JANUARI 2017	DIPO KERETA/GERBONG PADANG
5.	P12	14 FEBRUARI 2017	DIPO KERETA/GERBONG PADANG
6.	P1	20 MARET 2017	DIPO KERETA/GERBONG PADANG
7.	P1	18 APRIL 2017	DIPO KERETA/GERBONG PADANG
8.	P3	15 MEI 2017	DIPO KERETA/GERBONG PADANG
9.	P1	21 JUNI 2017	DIPO KERETA/GERBONG PADANG
10.	P1	18 JULI 2017	DIPO KERETA/GERBONG PADANG
11.	P3	16 AGUSTUS 2017	DIPO KERETA/GERBONG PADANG
12.	P1	14 SEPTEMBER 2017	DIPO KERETA/GERBONG PADANG
13.	P1	12 OKTOBER 2017	DIPO KERETA/GERBONG PADANG
14	PA YAD	SEPTEMBER 2018	BY PADANG

b. Hasil pengukuran center plate .

1) Center plate no. 1

No.1	Diameter 1	Diameter 2	Tebal Center Plate
Luar	245	258	3
Dalam	92	97	3

**Gambar 18. Hasil pengukuran center plate no. 1**

- ✓ Pada center plate nomor 1 terdapat sisa pelumasan grease
- ✓ Center plate terbuat dari bahan mangan
- ✓ Kondisi tepi center plate cacat dan tidak rata

2) Center plate no. 2

No.2	Diameter 1	Diameter 2	Tebal Center Plate
Luar	257	257	6
Dalam	85	85	6

**Gambar 19. Hasil pengukuran center plate no.2**

- ✓ Terdapat sisa pelumasan grease
- ✓ Center plate terbuat dari bahan mangan
- ✓ Kondisi center plate baik

3) Center plate no.3

No.3	Diameter 1	Diameter 2	Tebal Center Plate
Luar	257	254	6
Dalam	85	85	6

**Gambar 20. Hasil pengukuran center plate no.3**

- ✓ Terdapat sisa pelumasan grease
- ✓ Center plate terbuat dari bahan mangan
- ✓ Kondisi tepi center plate cacat

4) Center plate no.4

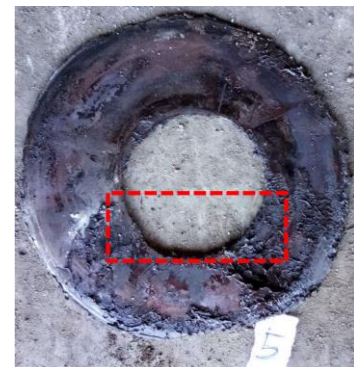
No.4	Diameter 1	Diameter 2	Tebal Center Plate
Luar	243	243	6
Dalam	105	105	6

**Gambar 21. Hasil pengukuran center plate no.4**

- ✓ Terdapat sisa pelumasan grease
- ✓ Center plate terbuat dari bahan mangan

5) Center plate no. 5

No.5	Diameter 1	Diameter 2	Tebal Center Plate
Luar	257	250	2
Dalam	110	115	3

**Gambar 22. Hasil pengukuran center plate no.5**

- ✓ Terdapat sisa pelumasan grease
- ✓ Center plate terbuat dari bahan mangan
- ✓ Kondisi tepi center plate cacat dan tidak rata

c. Hasil pengukuran gerbong GK 30 84 346

Tabel 5. Hasil pengukuran gerbong GK 30 84 346

1 2 3 4 IMA ← 5 6 7 8 IDA →						
Nomor Bogie	No.	Diameter Roda (mm)	Keausan flens Roda (mm)	Keausan telapak roda (mm)	Jarak Keping Roda (mm)	Tinggi Alat Perangkai dari Rel (mm)
I	1	773	4	2	1000	750
	2	772.5	4	4		
	3	772	4	3	1000	
	4	772.2	4	3		
II	5	771.5	4	1	1000	780
	6	771.3	2	2		
	7	772.3	2	3	1000	
	8	772.2	0	3		

I.5.3 Sumber Daya Manusia

a. HASIL WAWANCARA DENGAN AWAK KA

1) MASINIS KLB V2/10212

- Pada tanggal 25 Oktober 2017, Ybs. dinas sebagai Masinis KLB V2/10212.
- Ybs. Komunikasi dengan PK terakhir adalah pada saat cek modulasi di PUG dan berangkat, tidak melakukan komunikasi dengan PPKA St. Pauhlina.
- Ybs. Melakukan unset/ penambahan throttle saat pemberangkatan dan ketika melalui KM 11+400 JPL Kotolar, setelah itu fokus jaga kecepatan dengan melakukan pengereman.
- Pada saat turunan selalu menggunakan throttle 1.
- Ybs. Tidak mendapat info adanya pekerjaan jalan rel di KM 10+200 sampai dengan KM 10+300 antara St. Pauhlina – St. Indarung serta tidak melihat adanya bendera kerja.
- Ybs. Melihat orang regu di kanan dan kiri jalan rel KM 10+200 s.d. 10+300.
- Ybs. Melihat PJJ 07 St.Pauhlina melambaikan tangan kemudian tetap masuk ke emplasemen St.Pauhlina dan tetap fokus melihat kecepatan.
- Lokomotif berhenti sebelum wesel 3 emplasemen St. Pauhlina.

2) ASISTEN MASINIS KLB V2/10212

- Pada tanggal 25 Oktober 2017, Ybs. dinas sebagai Asisten Masinis KLB V2/10212.
- Ybs. Setelah melihat JPL 07 St. Pauhlma sudah ditutup, kemudian melihat PPKA melakukan semboyan 1.
- Ybs. Melihat kebelakang setelah lokomotif melalui perlintasan dan melihat debu berterbangan di rangkaian, setelah itu tidak fokus lagi melihat PPKA.

3) PPKA ST. PAUHLIMA

- Mulai dinas pkl 07.00 WIB
- KA pertama yang dilayani dari St. Indarung adalah KLB V2/10212
- Indarung minta aman ke Pauhlma pada pkl. 08:42 WIB
- Ketika lokomotif melalui JPL 07, ybs. Berdiri semboyan 1 di ruangan PPKA pauhlma. Semboyan 21 rangkaian terakhir KLB V2/10212 belum terlihat. Mulai dari lengkung no.15 sampai dengan perlintasan dan wesel 6 tidak terlihat gerbong anjlok dan debu berterbangan di jalan rel.
- Ybs.melihat gerbong ke-4 dari rangkaian mulai miring di wesel 5.
- Ketika gerbong ke-4 guling, lokomotif sampai dengan gerbong ke -3 lepas dan masih berjalan.
- Lokomotif dan 3 GK berhenti di wesel 3.
- Saat lokomotif melewati ruang PPKA, PPKA melihat asisten masinis mengangkat tangan dengan melihat ke belakang dan tidak sempat menyapa PPKA.
- Ybs. Tidak mendapatkan informasi adanya pekerjaan jalan rel di KM 10+200 s.d. KM 10+300 petak jalan St. Pauhlma – St. Indarung.

4) PPL 07 St. Pauhlma

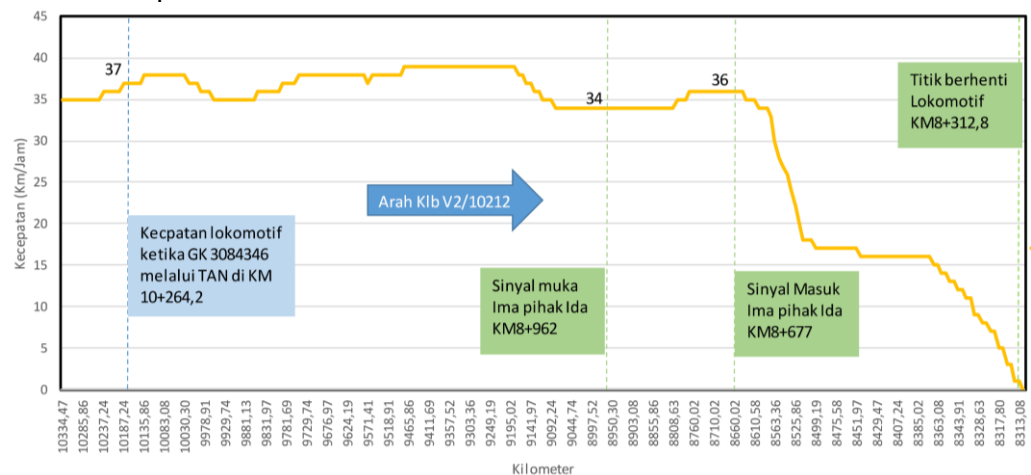
- Ybs. Mulai dinas pkl. 07:00 WIB tanggal 25 Oktober 2017
- Klb V2/10212 adalah KA pertama ke arah Indarung
- PPL menutup pintu setelah dapat perintah dari PPKA St.Pauhlma
- Melihat rangkaian pada gerbong urutan ke 4 banyak debu berterbangan ketika lokomotif kedua melalui perlintasan, PPL refleks masuk ke dalam ruang JPL 07 dan berusaha menghubungi masinis namun tidak ada respon.
- Kecepatan KA ketika melalui PPL seperti biasanya.
- Ketika KLB V2/10212 anjlok dan berhenti, gerbong ke-10 menutupi JPL 07.
- Ybs. Tidak mendapatkan informasi adanya pekerjaan jalan rel di KM 10+200 s.d. KM 10+300 petak jalan St. Pauhlma – St. Indarung.

5) Kepala Regu Jalan Rel

- Melakukan pekerjaan angkatan pilih – pilih berdasarkan hasil lokrit oleh pegawai mekanik jalan rel pada hari Kamis tanggal 19 Oktober 2017 diketahui bahwa adanya genjotan di KM. 10+200 s.d. KM 10+300 antara St. Pauhlima – St. Indarung.
- Angkatan pilih-pilih dilakukan mulai dari KM 10+200 s.d. KM 10+300.
- Jumlah orang yang bekerja sebanyak 8 orang.
- Tidak menginfokan adanya kegiatan pekerjaan angkatan KM. 10+200 s.d. KM 10+300 antara St. Pauhlima – St. Indarung kepada PPKA St. Pauhlima dan PPKA St. Indarung maupun Masinis KLB V2/10212.
- Bendera kerja tidak dipasang di lokasi pekerjaan.
- Semboyan taspas untuk melindungi pekerjaan angkatan jalan rel tidak dipasang.
- Tinggi angkatan yang dikerjakan 15 mm s.d. 20 mm.
- Kerika terjadi anjlokkan posisi berada dekat dengan TAN.
- Mendengar bunyi hentakan dan pengereman ketika KLB V2/10212 sedang melalui lokasi pekerjaan tersebut.
- Setelah mengetahui gerbong anjlok 1 as, mencoba menghubungi masinis melalui radio namun tidak ada respon. Ybs. Tidak menghubungi PPKA St. Pauhlima bahwa ada rangkaian KLB V2/10212 sedang berjalan anjlok.
- Setelah diketahui anjlok, Ybs. Dan anggotanya mengumpulkan material sarana yang jatuh dan menutup kembali bekas gorengan ballast yang kosong sebelumnya.

I.5.4. Informasi Rekaman Kecepatan KA

a. Grafik Kecepatan Lokomotif



Gambar 23. Grafik kecepatan lokomotif KLB V2/10212

b. Bentuk O.100 KLB V2/10212

TABEL KERETA API							
Kereta Api No : V2/10212		PT. KERETA API INDONESIA (Persero) DIREKTORAT OPERASI					
UPT CREW KA PADANG							
Letak stasiun / perhentian pada KM	Stasiun / Perhentian	Kecepatan Operasional (Km/Jam)	Kecepatan Maksimum (Km/Jam)	Jam Datang	Jam Berangkat	Keterangan Perjalanan KA	Masuk di jalur buntu yang bukan stasiun buntu
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
Berlaku mulai tanggal 1 April 2017							
14.574	<u>Indarung</u>	38	45	-	07:20:00		
8.567	Pauh Lima	38	45	Ls	07:33:00		
4.434	Kampung Juar	38	45	Ls	07:40:00		
1.933 0.000	<u>Bukit Putus</u>	-	-	07:48:00	-		
Bentuk O.100							

Gambar 24. Bentuk 0.100 KLB V2/10212

I.6 INFORMASI TAMBAHAN

I.6.1. PM No. 32 Tahun 2011 Tentang Standar dan Tata Cara Perawatan Prasarana Perkeretaapian

✓ Batas-batas skilu

- 4 mm/m (12mm/3m – 6 bantalan) → $V < 60$ Km/Jam
- 3 mm/m (9 mm/3m – 6 bantalan) → $60 \text{ Km/Jam} < V < 90 \text{ Km/Jam}$
- 2.5 mm/m (7mm/3m – 6 bantalan) → $V > 90 \text{ Km/Jam}$

I.6.2 PM No. 60 Tahun 2012 Tentang Persyaratan Teknis Jalur Kereta Api

f. Pelebaran Jalan Rel

1. Pelebaran jalan rel dilakukan agar roda kendaraan rel dapat melewati lengkung tanpa mengalami hambatan
2. Pelebaran jalan rei dicapai dengan menggeser rei dalam kearah dalam.
3. Pelebaran jalan rei dicapai dan dihilangkan secara berangsur sepanjang lengkung peralihan.
4. Besar pelebaran jalan rel dengan lebar jalan rei 1067 m untuk berbagai jari-jari tikungan adalah seperti yang tercantum dalam Tabel 3-4.
5. Besar pelebaran jalan rel dengan lebar jalan rei 1435 mm untuk berbagai jari-jari tikungan adalah seperti yang tercantum dalam Tabel 3-5.

Tabel 3-4 Pelebaran Jalan Rel untuk 1067 mm

Jari – Jari Tikungan (m)	Pelebaran (mm)
$R > 600$	0
$550 < R \leq 600$	5
$400 < R < 550$	10
$350 < R \leq 400$	15
$100 < R \leq 350$	20

I.6.3. PM 24 Tahun 2015 Tentang Standar Keselamatan Perkeretaapian*Pasal 62**(3) Bogie dan perangkat bogie sebagaimana dimaksud pada Pasal 61 huruf b untuk sarana perkeretaapian, sekurang – kurangnya harus memenuhi persyaratan :*

- a. Jenis roda adalah roda pejal;*
- b. Profil roda sesuai dengan profil jalan rel untuk kereta api di Indonesia;*
- c. Roda harus memiliki kekerasan lebih rendah dari kekerasan jalan rel;*
- d. Tidak terdapat keretakan pada rangka bogie, gandar, dan keping roda;*
- e. Diameter roda sama dalam satu gandar;*
- f. Selisih diameter roda maksimal 1 mm dalam 1 bogie;*
- g. Selisih diameter roda maksimal 4 mm antar bogie;*
- h. Keausan jari -jari flens maksimal 8 mm;*
- i. Ketebalan flens minimal 22 mm;*
- j. Lebar antara 2 (dua) keping roda 1000 ± 1 mm.*

I.6.4 Buku 2A Seri Perjana 2012 Rencana Perawatan Tahunan Jalan Rel*KA ukur digunakan untuk menilai kinerja unit jalan rel dan jembatan berupa nilai Total Quality Index (TQI) pada petak jalan yang dilalui. Pengelompokan nilai TQI sebagai berikut:*

$TQI \leq 35$	: $V \geq 80$ km/jam	Baik
$35 < TQI \leq 50$	: $60 \leq V < 80$ km/jam	Sedang
$TQI > 50$	: $V < 60$ km/jam	Jelek

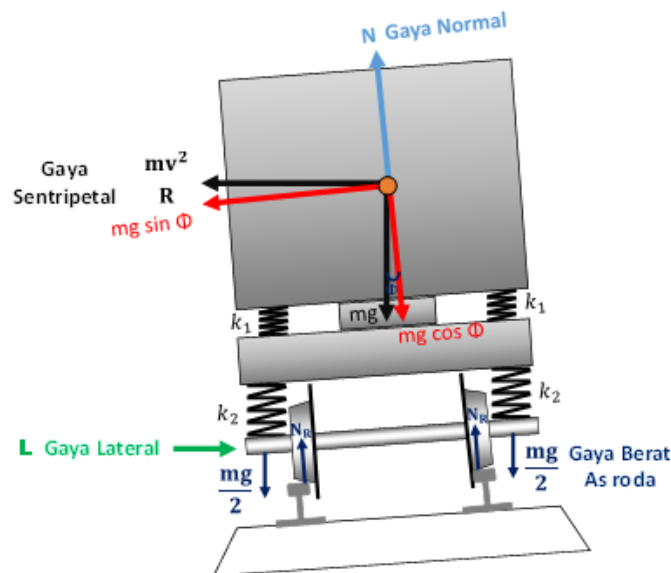
II. ANALISA

Analisa dari laporan ini akan membahas permasalahan – permasalahan relevan yang menyebabkan anjloknya KLB V2/10212. Pada bagian analisa ini akan membahas tentang:

1. Interaksi roda dan rel;
2. Variasi pelebaran serta penyempitan jalan rel pada lengkung;
3. Pengaruh deviasi/ pergeseran anak panah pada lengkung.

II.1 Interaksi Roda dan Rel

Dari hasil pemeriksaan lapangan diketahui letak TAN roda berada di KM 10+264.2 dan TAJ roda pada Km 10+260 di lengkung nomor 15 dengan radius 250 meter dari arah Stasiun Indarung. Jarak antara TAN dan TAJ adalah sepanjang 4.2 meter dimana hal tersebut menunjukkan proses flens roda yang naik ke atas kepala rel (wheel flange climb) dan diakhiri dengan jatuhnya roda ke luar rel atau disebut dengan kejadian anjlokan. Naiknya flens roda di atas kepala rel cenderung terjadi di lengkung karena adanya gaya sentripetal dan gaya tangensial pada sarana perkeretaapian saat melewati radius lengkung, dimana resultan dari kedua gaya ini menyebabkan terjadinya gaya lateral pada flens roda ke arah kepala rel yang meningkatkan risiko anjlokan. Risiko anjlokan ini akan meningkat cukup signifikan jika dipengaruhi oleh beberapa parameter lainnya seperti skilu di jalan rel, penyempitan jarak antar rel, keausan permukaan rel, kekasaran permukaan rel, distribusi beban yang tidak merata di sarana perkeretaapian, kerusakan di suspensi bogie, keausan pada tapak roda dan flens roda, gesekan pada center bowl bogie dan sebagainya.

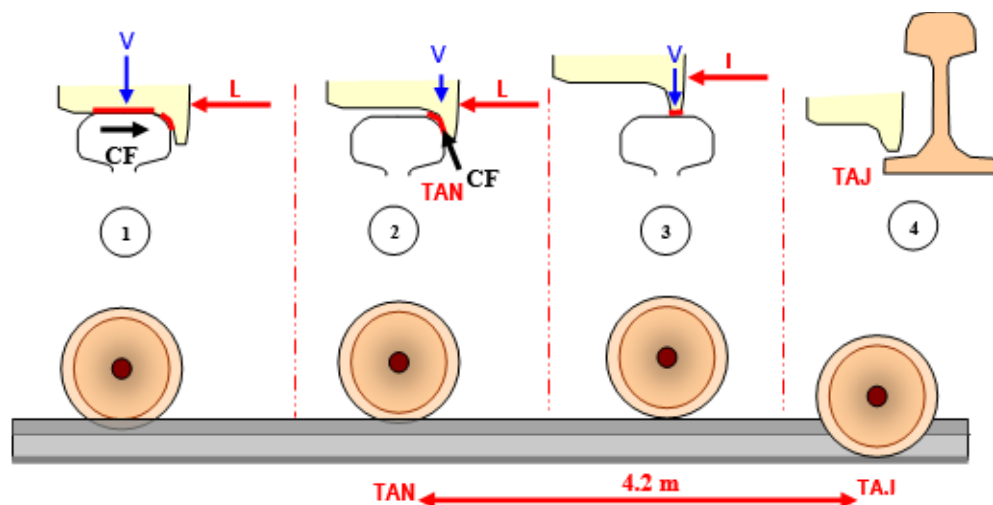


Gambar 25. Ilustrasi vektor gaya sarana perkeretaapian di lengkung

Proses anjlokan disebabkan oleh adanya gaya lateral (L) roda yang lebih besar dibandingkan dengan gaya vertikal roda (V). Tahapan dari proses ini terjadi dalam empat fase sebagai berikut:

1. Fase pertama. Pada fase ini gaya lateral pada roda mendorong flens roda ke arah samping sehingga bergesekan dengan sisi permukaan samping kepala rel. Hal ini menimbulkan terjadinya gaya kontak flens roda (CF) yang berlawanan dengan arah gaya lateral flens roda.

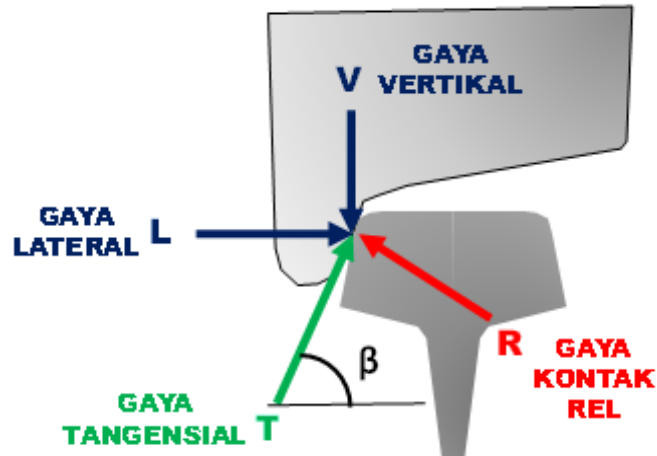
2. Fase Kedua. Meningkatnya durasi dan gaya tekan lateral flens roda yang bergesekan dengan permukaan samping kepala rel menyebabkan berubahnya gaya CF pada arah tangensial antara kontak flens roda dengan kepala rel dan kontak gaya vertikal roda yang berpindah ke arah flens roda, membantu flens roda untuk naik ke atas kepala rel dan menyebabkan nilai gaya vertikal roda menjadi lebih kecil dibandingkan gaya lateral roda.
3. Fase Ketiga. Kombinasi antara gaya lateral pada flens roda dan gaya rambat lateral roda terhadap gaya vertikal roda menyebabkan naiknya flens roda di atas kepala rel dengan berat roda yang tertumpu pada flens roda.
4. Fase Keempat. Gaya lateral pada roda pada akhirnya mendorong roda keluar rel dimana jarak goresan yang terjadi di atas kepala rel karena naiknya flens roda ke atas kepala rel secara bertahap umumnya berjarak lebih dari 30 cm.



Gambar 26. Ilustrasi tahapan proses terjadinya wheel flange climb pada kecelakaan anjlokan

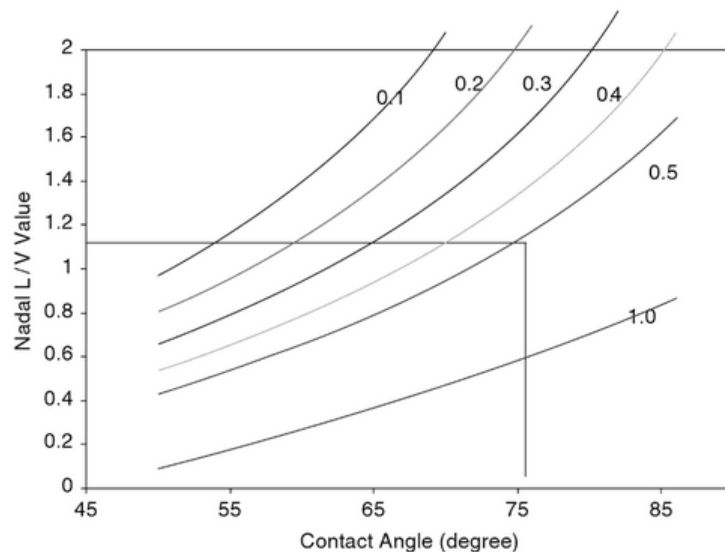
Terjadinya gesekan antara permukaan flens roda dengan permukaan samping kepala rel karena adanya gaya lateral roda menyebabkan munculnya gaya tangensial (T) pada flens roda dan gaya reaksi kontak antara flens roda dengan kepala rel (R) yang dipengaruhi oleh sudut kontak flens roda (β) pada arah tangensial dari permukaan samping kepala rel, menjadi batas penentu nilai kritis dari rasio L/V roda atau batas nilai kriteria Nadal. Dimana nilai gesekan (μ) antara permukaan flens roda dengan permukaan samping kepala rel didapatkan dari nilai perbandingan antara gaya tangensial flensroda dengan gaya reaksi kontak kepala rel dan roda atau rasio T/R .

Dimana pada kondisi tersebut gaya L roda yang dapat menyebabkan anjlokan harus dua kali lebih besar dari gaya V roda dikurangi dengan 70 % dari berat nominal roda (perbandingan antara berat total sarana perkeretaapian dengan jumlah roda dalam sarana perkeretaapian) atau dengan kata lain gaya V tidak boleh berkurang lebih dari 65 % berat nominal roda [1].



Gambar 27. Gaya kontak antara roda dengan rel saat wheel flange climb

Pengaruh dari parameter nilai sudut β dan nilai μ terhadap rasio L/V roda berdasarkan kriteria Nadal menunjukkan semakin tingginya nilai sudut β dan semakin kecilnya nilai μ menyebabkan semakin besarnya batas nilai rasio L/V yang diperlukan untuk mengakibatkan terjadinya anjlokkan. Begitupun sebaliknya semakin rendahnya nilai sudut β dan semakin besarnya nilai μ menyebabkan semakin menurunnya batas nilai rasio L/V yang diperlukan untuk mengakibatkan terjadinya anjlokkan.



Gambar 28. Hubungan antara kriteria Nadal, sudut kontak flens dan koefisien gesek roda-rel [2].

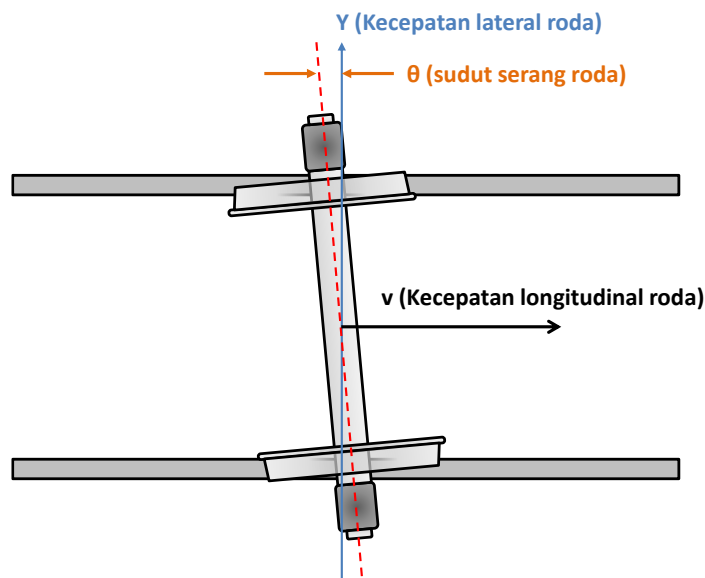
Berdasarkan hasil temuan investigasi KNKT, proses terjadinya anjlokkan di lengkung nomor 15 petak jalan antara St. Indarung – St. Pauhlima disebabkan oleh indeks kualitas jalan rel dengan kategori jelek ($TQI > 50$) dimana hal ini dipengaruhi oleh parameter seperti variasi pelebaran serta penyempitan lebar jalan rel di lengkung, *mud pumping* dan deviasi anak panah pada lengkung.

II.2 Variasi pelebaran serta penyempitan lebar jalan rel pada lengkung

Pada jarak mulai dari bantalan ke-26 hingga pada bantalan sebelum titik TAN roda terjadi variasi pelebaran dan penyempitan jalan rel yang yang tidak sesuai dengan pelebaran jalan rel sebesar 20 mm dari lebar rel 1067 mm yang dipersyaratkan untuk radius lengkung dengan spesifikasi $100 < R \leq 350$ meter.

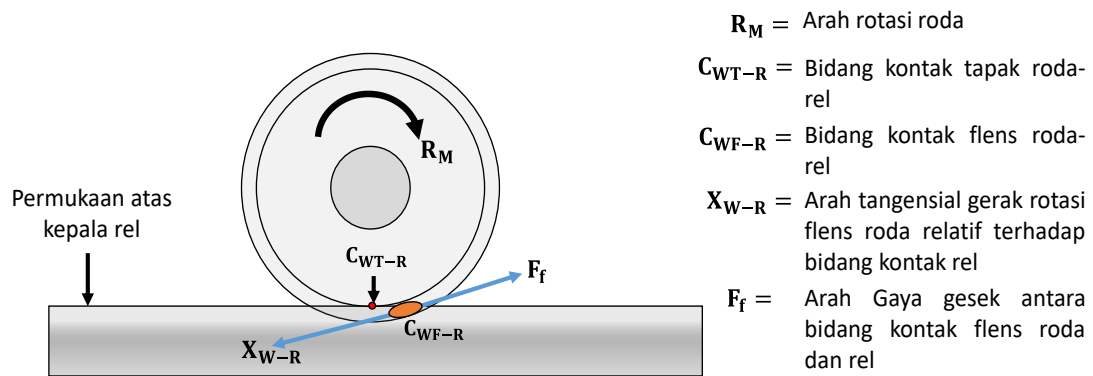
Pelebaran jalan rel berpengaruh terhadap peningkatan gerak osilasi roda yang berlebihan karena melebarnya jarak antara kepala rel dengan flens roda akan menghasilkan peningkatan nilai sudut serang dari flens roda. Dimana semakin besar sudut serang pada flens roda menyebabkan tekanan gaya lateral roda terhadap kepala rel meningkat yang pada akhirnya dapat mempercepat laju keausan dari kepala rel karena interaksi antara flens roda dengan kepala rel menjadi lebih intens [3].

Penyempitan lebar jalan rel di lengkung menyebabkan pergerakan roda tidak dapat memiliki jarak yang cukup untuk berosilasi terhadap jalan rel. Terbatasnya gerak osilasi roda pada jalan rel menyebabkan kontak antara flens roda dengan kepala rel karena gaya lateral pada roda akan lebih sering terjadi dan mengakibatkan bertambahnya laju keausan permukaan samping kepala rel di lengkung [4].



Gambar 29. Sudut serang roda

Kondisi paling kritis yang dapat terjadi adalah jika sudut serang roda membentuk sudut eksentrisitas sudut positif karena pada posisi ini rotasi flens roda bergerak ke arah bawah atau searah jarum jam sedangkan gaya flens roda yang bergesekan dengan kepala rel menuju ke arah atas atau berlawanan dengan arah gerak rotasi roda. Arah gaya gesek ini menyebabkan gaya tangensial di flens roda yang membantu flens roda untuk naik ke atas kepala rel.



Gambar 30. Ilustrasi arah gaya kontak roda dengan rel pada posisi roda dengan sudut serang positif

II.3 Pengaruh Deviasi/ Pergeseran Anak Panah pada Lengkung

Hasil pemeriksaan anak panah lengkung no. 15 tanggal 8 Agustus 2017, pada anak panah baru setelah perbaikan terdapat nilai anak panah maksimum sebesar 254 mm dengan deviasi/pergeseran anak panah baru terhadap anak panah ideal lengkung radius 250 m sebesar 54 mm. Setelah terjadinya anjlokkan KLB V2/10212, pada tanggal 27 Oktober 2017 dilakukan pengukuran lengkung no. 15 setelah perbaikan. Diketahui bahwa letak TAN berada di lengkung penuh kiri searah KA yang berada diantara titik 23 dan 34 dengan nilai anak panah TAN sebesar 215 mm. Nilai anak panah teoritis lengkung no. 15 adalah sebesar 200 meter. Untuk pelebaran jalur $100 < R \leq 300$, nilai pelebaran maksimum adalah sebesar 20 mm.

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh HOU Maorui tentang anjlokkan pada lengkung dengan radius 250 m dan 300 m, deviasi pada anak panah pada lengkung dapat mempengaruhi gaya lateral roda kereta. Semakin tinggi deviasi anak panah berpengaruh pada semakin meningkatnya gaya lateral roda. Gaya lateral roda dengan deviasi anak panah sebesar 16 mm meningkat sebanyak 2.5 kali dari nilai gaya lateral roda pada anak panah tanpa pergeseran. Cacat pada geometri jalur lengkung seperti adanya skilu maupun buckling (spaten) berpengaruh besar terhadap anjlokkan. Dalam penelitian ini, koefisien anjlokkan pada jalur lengkung cacat geometri dengan skilu sebesar 16 mm serta deviasi anak panah sebesar 54 mm meningkat hingga mendekati 1. Tanpa adanya deviasi anak panah pada lengkung, koefisien anjlokkan pada lengkung yang memiliki cacat geometri berdasarkan penelitian diatas sebesar 0.85 dapat dikategorikan tinggi [5].

III. KESIMPULAN

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

III.1 TEMUAN

- a. Terdapat banyak titik *mud pumping* (kecrotan) di lengkung terjadinya anjlok.
- b. Terdapat banyak ballast dengan kondisi penuh tumpahan semen yang sudah mengeras sehingga tidak mampu bekerja sesuai dengan semestinya.
- c. Terdapat batu dengan ukuran yang tidak sesuai difungsikan sebagai ballast.
- d. Kondisi ballast kurang karena banyak yang terbawa air.
- e. Hasil Lokrit KUPT Mekanik JJ padang tanggal 19 Oktober 2017 diketahui bahwa pada KM 10+200 s.d. KM 10+300 terdapat goyangan. Hasil lokrit ini menjadi dasar untuk melakukan perbaikan di KM 10+200 s.d. KM 10+300.
- f. Hasil pengukuran TQI antara BKP – IDA ke-2 bulan September 2017, antara Km. 10+200 sampai dengan Km. 10+600 memiliki nilai indek kualitas jalan rel yang jelek ($TQI > 50$);
- g. Terdapat variasi penyempitan dan pelebaran jalur di lengkung no. 15.
- h. Terdapat deviasi/ pergeseran anak panah baru pada lengkung no. 15 dengan nilai sebesar 54 mm setelah pemeriksaan dan perbaikan terakhir tanggal 8 Agustus 2017.
- i. Pada saat kejadian, regu jalan rel sedang melakukan pekerjaan perbaikan jalan rel di KM 10+200 sampai dengan KM 10+300 antara St. Pauhlima – St. Indarung.
- j. Bendera kerja tidak terpasang di lokasi pekerjaan perbaikan jalan rel di KM 10+200 sampai dengan KM 10+300 antara St. Pauhlima – St. Indarung.
- k. Semboyan batas kecepatan untuk melindungi pekerjaan perbaikan jalan rel tidak terpasang.
- l. Awak sarana KLB V2/10212, PPKA St. Indarung dan PPKA St. Pauhlima tidak mendapat info adanya pekerjaan jalan rel di KM 10+200 sampai dengan KM 10+300 antara St. Pauhlima – St. Indarung.
- m. Awak sarana perkeretaapian KLB V2/10212 tidak menyadari saat rangkaian gerbong anjlok di lengkung no. 15 BKP – IDA.
- n. Terdapat 2 (dua) buah center plate berbahan mangan aus dan cacat.
- o. Adanya perbedaan ukuran diameter roda dalam satu gandar pada kereta yang anjlok.
- p. Kecepatan yang tercatat di Lokomotif KLB V2/10212 tidak melebihi kecepatan yang diperbolehkan pada bentuk 0.100 KLB V2/10212.
- q. Investigasi tidak menemukan dokumen identifikasi bahaya dan penilaian resiko pengoperasian KA angkutan semen di wilayah operasi DIVRE II Sumatera Barat.

III.2 FAKTOR – FAKTOR YANG BERKONTRIBUSI

- a. Kualitas jalur yang jelek ($TQI > 50$) antara Km. 10+200 sampai dengan Km. 10+600 sehingga mempengaruhi kehandalan jalur dimana memperbesar resiko terhadap anjlokkan sarana perkeretaapian.
- b. Terdapat deviasi/ pergeseran anak panah pada lengkung no. 15 sebesar 54 mm setelah pemeriksaan dan perbaikan terakhir tanggal 8 Agustus 2017 dimana dengan tingginya deviasi anak panah mempengaruhi peningkatan gaya lateral roda pada sarana yang dapat meningkatkan kecenderungan anjlokkan.
- c. Terdapat variasi pelebaran dan penyempitan lebar jalur pada lengkung dimana pelebaran jalur yang berlebihan mengakibatkan sudut serang serta gaya lateral perangkat roda yang tinggi. Penyempitan lebar jalan rel di lengkung menyebabkan pergerakan roda tidak dapat memiliki jarak yang cukup untuk berosilasi terhadap jalan rel. Variasi kedua kondisi ini meningkatkan kecenderungan anjlokkan pada sarana.

IV. SAFETY ACTIONS

IV.1 DIREKTORAT JENDERAL PERKERETAAPIAN

Hingga berakhirnya masa penanggapan draft laporan akhir, KNKT tidak menerima tanggapan atau informasi berkaitan dengan tindakan keselamatan yang telah dilakukan terkait dengan kecelakaan anjlokkan tersebut.

IV.2 PT. KERETA API INDONESIA (PERSERO)

- 1) Telah dilakukan identifikasi bahaya terhadap potensi anjlokkan akibat pengaruh skilu dan lebar jalur yang tidak sesuai baik jalur lurus maupun lengkung, selanjutnya hasil temuan dituangkan dalam profil resiko yang selalu dibahas proses tindak lanjut perbaikannya dalam pertemuan *safety committee* setiap bulan.
- 2) Telah dilakukan perbaikan dengan kontrak pihak ketiga terhadap geometri jalur KA pada lengkung nomor 15 petak jalan antara St. Indarung - St. Pauhlina :
 - a) Normalisasi jalur raya paska kecelakaan kereta api (kontrak KL.702/XI/3/DV.2-2017 tanggal 17 Nov 2017) telah selesai.
 - b) Pengadaan balas batu pecah ukuran 2/6 wil divre II sb (17 nov 2018) dalam proses.
 - c) Angkat tinggi dan ecer balas di koridor Bukutputus - Indarung (18 Agustus 2018) dalam proses.
- 3) PT. KAI telah ber kirim surat kepada PT. Semen Padang terkait pemasangan timbangan di tempat pengisian. Surat No. KB.201/IX/1/KA-2018 tanggal 12 September 2018 perihal Perbaikan Timbangan di Indarung.
- 4) Untuk kebocoran semen sepanjang perjalanan telah dilakukan task force PT. KAI dengan PT. Semen Padang tanggal 30 Oktober 2018 yaitu pembahasan pemasangan aspil gerbong klinker untuk mengatasi kebocoran pintu dan ditargetkan selesai pada tanggal 31 Desember 2018.

V. REKOMENDASI

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

V.1 DIREKTORAT JENDERAL PERKERETAAPIAN

Melakukan audit dan inspeksi terhadap kondisi pengoperasian dan perawatan dari prasarana jalur kereta api di wilayah DIVRE II Sumatera Barat.

V.2 PT. KERETA API INDONESIA (PERSERO)

- 1) Melakukan identifikasi bahaya dan penilaian risiko terhadap potensi anjlokkan yang dapat disebabkan oleh pengaruh skilu dan pelebaran dan penyempitan lebar jalan rel di lengkung yang melebihi toleransi geometri jalan rel yang dipersyaratkan dalam Peraturan Menteri perhubungan Nomor: PM 60 Tahun 2012 Tentang Persyaratan Teknis Jalur Kereta Api dan Peraturan Menteri Perhubungan Nomor: PM 32 tahun 2011 tentang Standar dan Tata Cara Perawatan Prasarana Perkeretaapian;
- 2) Segera melakukan perbaikan terhadap geometri jalur kereta api pada lengkung nomor 15 petak jalan antara St. Indarung – St. Pauhlina sesuai dengan ketentuan yang dipersyaratkan dalam Peraturan Menteri perhubungan Nomor: PM 60 Tahun 2012 Tentang Persyaratan Teknis Jalur Kereta Api dan Peraturan Menteri Perhubungan Nomor: PM 32 tahun 2011 tentang Standar dan Tata Cara Perawatan Prasarana Perkeretaapian;
- 3) Memastikan tidak ada tumpahan pada saat pengisian semen ke gerbong ketel di tempat pengisian muatan semen sehingga tidak ada sisa semen yang tercecce di gerbong yang dapat tumpah ke jalan rel pada saat KA beroperasi.

VI. REFERENSI

- [1] -----. *Indian Railway Institute of Civil Engineering, The Investigation of Derailments*, India, 2007.
- [2] Iwnicki, S., *Handbook of Railway Vehicle Dynamics*, CRC Press Taylor and Francis Group, 2006.
- [3] Munndrey, J.S., *Railway Track Engineering 4th Edition*, McGraw Hill Education (India) Private Limited, New Delhi, 2009
- [4] -----. *Report on analysis of derailment causes, impact and prevention assessment*. D-RAIL D3.1. United Kingdom. 2013.
- [5] Maorui, HOU. *Simulation of Wheel Climb Derailment on the Small Radius Curve*. 2016 18th International Wheelset Congress (IWC). p.156-161, 2016.

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