



**KOMITE NASIONAL KESELAMATAN TRANSPORTASI
REPUBLIK INDONESIA**

**LAPORAN AKHIR
KNKT.21.10.03.02**

**LAPORAN INVESTIGASI KECELAKAAN PERKERETAAPIAN
TABRAKAN RANGKAIAN KERETA UJICOBA
TS 29 DAN TS 20 LRT JABODEBEK
KM 12+720 ANTARA ST. CIRACAS – ST. HARJAMUKTI, JAWA BARAT
25 OKTOBER 2021**

2022



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 2021 berdasarkan:

1. Undang-Undang Nomor 23 Tahun 2007 tentang Perkeretaapian;
2. Peraturan Pemerintah Nomor 61 Tahun 2016 tentang Perubahan atas Peraturan Pemerintah Nomor 71 Tahun 2009 tentang Lalu Lintas dan Angkutan Kereta Api;
3. Peraturan Pemerintah Nomor 6 Tahun 2017 tentang Perubahan atas Peraturan Pemerintah Nomor 56 Tahun 2009 tentang Penyelenggaraan Perkeretaapian;
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 Akhir Investigasi Kecelakaan Kereta Api Tabrakan antara Rangkaian Kereta Uji coba TS 29 dan TS 20 LRT Jabodebek di Km 12+720 antara St. Ciracas – St. Harjamukti, Jawa Barat, tanggal 25 Oktober 2021.

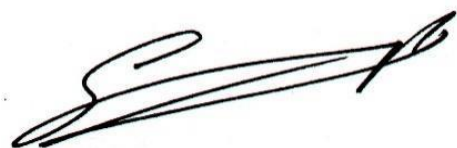
Bahwa tersusunnya Laporan Final Kecelakaan Perkeretaapian ini sebagai pelaksanaan dari amanah atau ketentuan Peraturan Pemerintah Nomor 62 Tahun 2013 tentang Investigasi Kecelakaan Transportasi pasal 39 ayat 2 huruf c, menyatakan “Laporan investigasi kecelakaan transportasi sebagaimana dimaksud pada 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 Kecelakaan Perkeretaapian ini dibuat agar para pihak yang berkepentingan dapat mengetahui dan mengambil pembelajaran dari kejadian ini.

Jakarta, 11 Mei 2022

**KOMITE NASIONAL
KESELAMATAN TRANSPORTASI
KETUA**



SOERJANTO TJAHJONO

DAFTAR ISI

DISCLAIMER	i
KATA PENGANTAR	ii
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR ISTILAH	v
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR TABEL	ix
SINOPSIS	x
I. INFORMASI FAKTUAL.....	1
I.1 DATA KEJADIAN DAN SUSUNAN RANGKAIAN KERETA API.....	1
I.2 KRONOLOGIS	1
I.3 DAMPAK KECELAKAAN KERETA API	2
I.3.1 Dampak Kecelakaan Terhadap Manusia	2
I.3.2 Dampak Kecelakaan Terhadap Prasarana Perkeretaapian	2
I.3.3 Dampak Kecelakaan Terhadap Sarana Perkeretaapian	3
I.4 INFORMASI PRASARANA DAN SARANA.....	3
I.4.1 Prasarana.....	3
I.4.2 Fasilitas Operasi	5
I.4.3 Sarana.....	9
I.5 DATA REKAMAN TERKAIT KEJADIAN KECELAKAAN.....	21
I.5.1 Data Unduhan TCMS TS29	21
I.5.2 Data Unduhan Network Video Recorder (NVR) TS29	22
I.6 SUMBER DAYA MANUSIA	23
I.6.1 Kualifikasi Teknisi TS LRT Jabodebek	23
I.6.2 Data Teknisi TS29.....	23
I.6.3 Hasil Wawancara.....	23
II. ANALISIS	26
II.1 PERJALANAN TS 29	26
II.2 RAMS (<i>Reliability, Availability, Maintainability, and Safety</i>)	30
III. KESIMPULAN	39
III.1 TEMUAN	39
III.2 FAKTOR – FAKTOR YANG BERKONTRIBUSI	40
IV. TINDAKAN KESELAMATAN	41
IV.1 TERHADAP DRAFT LAPORAN AKHIR	41
IV.2 TERHADAP REKOMENDASI SEGERA.....	41

V. REKOMENDASI	43
V.1 DIREKTORAT JENDERAL PERKERETAAPIAN	43
V.2 PT. KERETA API INDONESIA (PERSERO)	43
V.4 PT. INKA (PERSERO)	44
DAFTAR REFERENSI.....	45

DAFTAR ISTILAH

Awak Sarana Perkeretaapian	: orang yang ditugaskan di dalam kereta api oleh Penyelenggara Sarana Perkeretaapian selama perjalanan kereta api
HSCB	: <i>High Speed Circuit Breaker</i>
Jalan Rel	: 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
Kereta	: sarana perkeretaapian yang ditarik dan/atau didorong lokomotif atau mempunyai penggerak sendiri yang digunakan untuk mengangkut orang
Kereta api	: 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
Keselamatan	: kondisi yang bebas dari ancaman dan risiko kecelakaan
Langsir	: kegiatan menyusun rangkaian kereta api, memisah-misahkan rangkaian kereta api atau memindahkan kereta-kereta, gerbong-gerbong, atau sarana lain dari satu jalur ke jalur lain.
LRT	: <i>Light Rail Transit</i> atau kereta api ringan
M1, M2	: <i>Motor Car</i> nomor 1, <i>Motor Car</i> nomor 2
MC1	: <i>Motor Car</i> dengan <i>Control Desk</i> nomor 1, nomor 2
Pemeriksaan	: kegiatan yang dilakukan untuk mengetahui kondisi dan fungsi prasarana atau sarana perkeretaapian
Perawatan	: kegiatan yang dilakukan untuk mempertahankan keandalan prasarana atau sarana perkeretaapian agar tetap laik operasi
Perkeretaapian	: satu kesatuan sistem yang terdiri atas prasarana, sarana dan sumber daya manusia, serta norma, kriteria, persyaratan, dan prosedur untuk penyelenggaraan transportasi kereta api
Prasarana Perkeretaapian	: jalur kereta api, stasiun kereta api dan fasilitas operasi kereta api agar kereta api dapat dioperasikan
Rel	: besi batang untuk landasan jalan kereta api

Sarana perkeretaapian	: kendaraan yang dapat bergerak di jalan rel
St.	: stasiun kereta api adalah tempat pemberangkatan dan pemberhentian kereta api
T1, T2	: <i>Trailer Car</i> nomor 1, nomor 2
TCMS	: <i>Train Control Management System</i>
Track	: 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
TS	: <i>Trainset</i>

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.	Peta lintas LRT Jabodebek.....	2
Gambar 2.	Kerusakan prasarana akibat tabrakan	2
Gambar 3.	Sketsa dan akibat kejadian tabrakan	3
Gambar 4.	Informasi jalur LRT Jabodebek antara St Ciracas – St Harjamukti	4
Gambar 5.	Pepohonan di samping lengkung R=1500m	5
Gambar 6.	Formasi trainset stabling St Ciracas – St Harjamukti, 25 Oktober 2021	5
Gambar 7.	Fasilitas Operasi LRT Jabodebek	6
Gambar 8.	Sistem Persinyalan Moving Block CBTC	6
Gambar 9.	Gambaran Sistem GoA.....	7
Gambar 10.	Gambaran Train Operation pada Sistem CBTC	7
Gambar 11.	SOP Langsir di Mainline	8
Gambar 12.	Taspat 80 km/jam di Km 12+373.....	9
Gambar 13.	Catatan dalam Jadwal Shift Personil RSDT Bulan Oktober 2021	9
Gambar 14.	Sarana LRT Jabodebek.....	10
Gambar 15.	Hasil uji performa service brake TS29 dengan perlambatan $-1,0 \text{ m/s}^2$	11
Gambar 16.	Hasil uji performa emergency brake TS29 dengan perlambatan $-1,3 \text{ m/s}^2$...	11
Gambar 17.	Grafik Brake Effort LRT Jabodebek	12
Gambar 18.	Mode Pengoperasian LRT Jabodebek.....	13
Gambar 19.	Railway Computer System Unit.....	16
Gambar 20.	Obstacle detector pada LRT Jabodebek.....	16
Gambar 21.	Peralatan Derailment Detection.....	16
Gambar 22.	3D Model desain area kabin LRT Jabodebek.....	17
Gambar 23.	Jangkauan driver seated terhadap driver desk pada LRT Jabodebek.....	17
Gambar 24.	Driver visibility pada posisi seated (garis putih) dan standing (garis merah) ..	17
Gambar 25.	Simulasi jangkauan ke Master Control.....	18
Gambar 26.	Tempat duduk Train Driver LRT Jabodebek.....	18
Gambar 27.	Meja kontrol kabin MC dan Emergency Push Button dengan Cover Plate	19
Gambar 28.	Simulasi jarak pandang train driver dengan sarana di depannya.....	19
Gambar 29.	Simulasi jarak pandang dengan sun visor tertutup penuh.....	20
Gambar 30.	Sun visor tertutup penuh.....	20
Gambar 31.	Folder AlarmsConfig sDiag TS29 kosong	22
Gambar 32.	Data rekaman sDIAG TS19 (Folder UT19) pada tanggal 18-11-2021	22
Gambar 33.	<i>Screenshot</i> Rekaman CCTV Kabin MC2	22
Gambar 34.	Jarak antara titik tabrakan dengan titik tampak TS 20.....	26
Gambar 35.	Simulasi jarak pandang	28
Gambar 36.	RAMS	31

Gambar 37.	Aplikasi lingkungan perkeretaapian.....	31
Gambar 38.	Standar perkeretaapian	32
Gambar 39.	Proses RAMS.....	32
Gambar 40.	RAMS Life Cycles	33
Gambar 41.	Dokumen keselamatan sesuai EN 50126	35

DAFTAR TABEL

Tabel 1. LRT TS29	9
Tabel 2. Spesifikasi Teknis LRT Jabodebek	10
Tabel 3. Cuplikan data unduhan event log pada HMI MC2 TS29.....	21
Tabel 4. Skenario pengereman dengan memperhitungkan waktu respon manusia	27
Tabel 5. Components Safety Function dan SIL Target	37
Tabel 6. <i>Preliminary Hazard Analysis System Safety Function and Sil Target</i>	38

SINOPSIS

Pada hari Senin tanggal 25 Oktober 2021 pukul 12.30 WIB, terjadi tabrakan antara rangkaian kereta uji coba TS 29 (susunan rangkaian MC2, M2, T2, T1, M1, MC1) dan TS 20 (MC1, M1, T1, T2, M2, MC2) di track 1 pada Km 12+720 antara Stasiun Ciracas – Stasiun Harjamukti, Jawa Barat. Kedua rangkaian sedang melakukan proses langsir mengosongkan track 2 Stasiun Harjamukti untuk kepentingan pengujian sarana oleh DJKA dan pengujian balise oleh LRT Jabodebek. Pengoperasian rangkaian uji coba LRT Jabodebek dilakukan secara manual oleh seorang Teknisi PT INKA hingga selesainya rangkaian pengujian. Sistem persinyalan di LRT Jabodebek belum berfungsi sehingga CBTC tidak difungsikan.

Kecelakaan tabrakan antara TS 29 dan TS 20 ini mengakibatkan sebanyak 1 orang teknisi yang menjalankan rangkaian LRT mengalami luka-luka dan 4 rangkaian kereta uji coba LRT Jabodebek mengalami anjlok.

Faktor – faktor yang berkontribusi terhadap terjadinya tabrakan rangkaian kereta uji coba TS 29 dan TS 20 LRT Jabodebek mencakup pengendalian Teknisi TS 29 dalam perjalanan rangkaian uji coba TS 29 (termasuk prosedur langsiran), prosedur komunikasi, aspek teknis sarana, ergonomi, prosedur *risk assessment* dan kesesuaian implementasi RAMS dalam pembangunan sistem LRT Jabodebek. Selain itu, KNKT juga menyimpulkan *safety issues* yang melatarbelakangi terjadinya peristiwa tabrakan TS 29 dan TS 20.

Dari hasil kesimpulan investigasi kecelakaan ini, KNKT menyusun rekomendasi keselamatan yang ditunjukkan untuk Direktorat Jenderal Perkeretaapian sebagai regulator serta PT. KAI (Persero) dan PT. INKA (Persero) agar kecelakaan serupa tidak terjadi lagi di kemudian hari. Rekomendasi mencakup implementasi RAMS, proses sertifikasi, aspek teknis sarana, pembinaan SDM, dan monitoring pergerakan sarana selama *testing*.

I. INFORMASI FAKTUAL

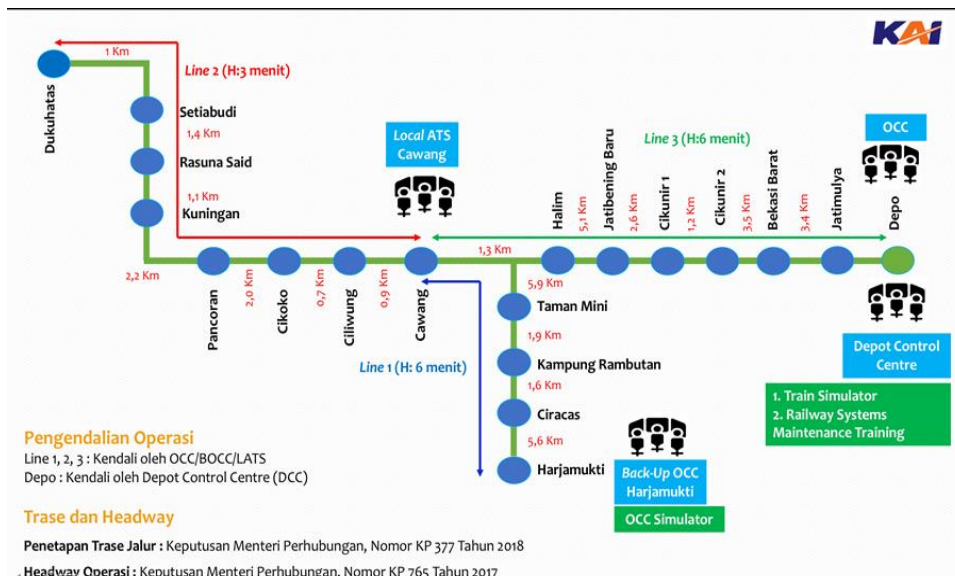
I.1 DATA KEJADIAN DAN SUSUNAN RANGKAIAN KERETA API

Nomor Trainset (TS)	TS 29 dan TS 20	
Susunan Rangkaian	<u>TS 29 :</u> 1. MC2 K1 bogie 2 anjlok 2 as, bogie 1 anjlok 2 as 2. M2 K112147 bogie 2 anjlok 2 as, bogie 1 anjlok 2 as 3. T2 K112146 bogie 2 anjlok 1 as, bogie 1 anjlok 2 as 4. T1 K112145 bogie 1 anjlok 1 as 5. M1 K112144 6. MC1 K112143	<u>TS 20 :</u> 1. MC1 K112096 bogie 2 anjlok 2 as, bogie 1 anjlok 2 as 2. M1 K112097 bogie 2 anjlok 2 as, bogie 1 anjlok 2 as 3. T1 K112098 bogie 1 anjlok 1 as, bogie 2 anjlok 2 as 4. T2 K112099 bogie 1 anjlok 2 as 5. M2 K1 bogie 2 anjlok 2 as 6. MC2 K1 bogie 2 anjlok 2 as
Jenis Kecelakaan	Tabrakan	
Tempat Kejadian	Km 12+720 antara St. Ciracas – St. Harjamukti	
Hari/Tanggal Kecelakaan	Senin/ 25 Oktober 2021	
Waktu Kejadian	12.30 WIB	

I.2 KRONOLOGIS

1. Pada tanggal 25 Oktober 2021, terdapat 8 rangkaian uji coba LRT yang sedang stabling di track 1 dan track 2 St. Harjamukti.
2. Untuk persiapan pengujian yang direncanakan dilakukan tanggal 26 Oktober 2021 terhadap TS 28, TS 3 dan TS 19, maka diperlukan pengaturan langsir di St. Harjamukti. Selain itu untuk kepentingan pengujian balise, maka dilakukan pengosongan track 2.
3. Tiap rangkaian uji coba LRT diawasi oleh satu orang Teknisi dikoordinasikan oleh Deputy Commissioning yang berada di bawah kendali Site Manager and Commissioning PT. INKA. Saat kejadian terdapat 1 Deputy Commissioning dan 14 Teknisi yang bertugas sejak pukul 08.00 WIB hingga pukul 17.00 WIB.
4. Pukul 11.36 WIB, TS 29 berangkat dari St. Harjamukti dan tiba di St. Ciracas pukul 11.39 WIB.
5. Pukul 12.21 WIB, Deputy Commissioning menghubungi Teknisi di TS 29 dengan *Whatsapp call* untuk memerintahkan mendekati wesel pada track 1 St. Ciracas dan bersiap menjalankan rangkaian ke track 1 St. Harjamukti.
6. Pukul 12.22 WIB, TS 29 berangkat dari St. Ciracas menuju St. Harjamukti.
7. Sesuai rencana, seharusnya TS 29 berhenti di Km 12+800.
8. Pukul 12.29 WIB, Deputy Commissioning mencoba menghubungi Teknisi TS 29 untuk menanyakan posisi TS 29 dengan menggunakan *Whatsapp call* namun tidak dijawab.

9. Pukul 12.30, Teknisi TS 20 yang sudah stabling di track 1 St. Harjamukti melakukan *Whatsapp video call* memberitahukan kejadian tabrakan antara rangkaiannya dan TS 29 serta meminta pertolongan.
10. Kemudian, Deputy Commissioning menghubungi Teknisi TS 28 untuk membantu proses evakuasi.



Gambar 1. Peta lintas LRT Jabodebek

I.3 DAMPAK KECELAKAAN KERETA API

I.3.1 Dampak Kecelakaan Terhadap Manusia

Saat kejadian, Teknisi TS 29 ditemukan berada di kabin depan TS 29 dalam posisi terlentang di dekat deadman pedal. Teknisi TS 29 kemudian dievakuasi ke RS Meilia Cibubur.

I.3.2 Dampak Kecelakaan Terhadap Prasarana Perkeretaapian

1. Trackworks
 - a. Rel
 - b. Fastening
 - c. Plinth
2. Third Rail
 - a. Conductor rail
 - b. Bracket
 - c. Expansion Joint
 - d. Cover
 - e. Accessories
3. Sistem Persinyalan
 - a. On Board Signaling (OBCU, Balise Antenna, etc.)
 - b. Balise
 - c. Kabel Power & FO Access Point + Tray
4. Sistem Power Supply
 - a. Kabel MV + Tray

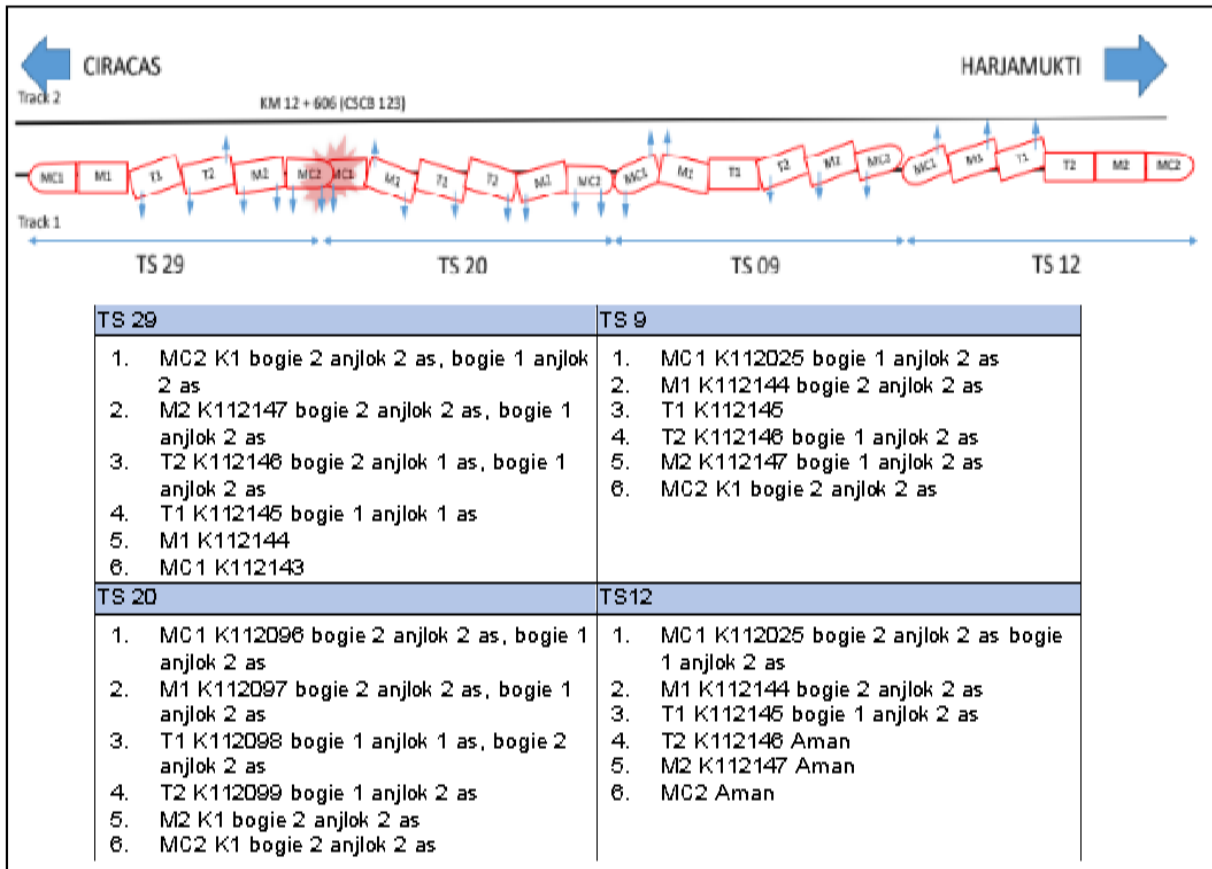


Gambar 2. Kerusakan prasarana akibat tabrakan

- 5. Sistem Telekomunikasi
 - a. Fiber Optic + Tray
 - b. On Board Radio

I.3.3 Dampak Kecelakaan Terhadap Sarana Perkeretaapian

Tabrakan antara TS 29 dengan TS 20 juga mengakibatkan rangkaian TS 9 dan TS 12 yang sedang stabling di belakang TS 20 mengalami anjlok.



Gambar 3. Sketsa dan akibat kejadian tabrakan

I.4 INFORMASI PRASARANA DAN SARANA

I.4.1 Prasarana

- 1. Jalur KA:

Lebar jalur	:	1435 mm
Kecepatan desain	:	100 Km/jam
Kecepatan operasi	:	85 Km/jam
Panjang jalan rel lurus	:	30m / 20m (desirable / minimum)
Peninggian maksimum	:	120mm / 70mm (mainline / peron)



Keterangan Gambar

No.	Titik Kilometer	Keterangan
1	Km 12+373	Taspat 80 Km/jam
2	Km 12+392	MBA R=1500m
3	Km 12+422	MB R=1500m
4	Km 12+474	AB R=1500m
5	Km 12+504	ABA R=1500m
6	Km 12+544	MBA R=1100m
7	Km 12+555,693	Helling 0 permill - 300
8	Km 12+574	MB R=1100m
9	Km 12+608	AB R=1100m
10	Km 12+719,8	Titik tabrakan/Akhiran TS 20 (Total panjang rangkaian TS 29 - Tanda pada kepala rel = 110 m - 5.4 m = 104.6 m)
11	Km 12+725,2	Titik berhenti setelah tabrakan
12	Km 12+800	Rencana berhenti TS 29

Gambar 4. Informasi jalur LRT Jabodebek antara St Ciracas – St Harjamukti



Gambar 5. Pepohonan di samping lengkung R=1500m

2. Temporary Pit Stop

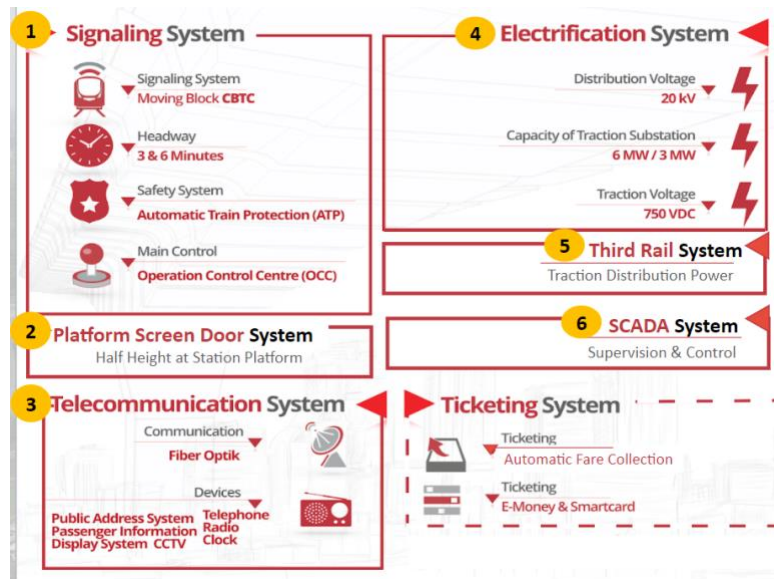
Pada saat kecelakaan terjadi, stabling trainset LRT Jabodebek dilakukan di mainline dan stasiun (*temporary pit stop*). Hal ini dikarenakan belum tersedianya fasilitas Depo yang masih dalam proses pembangunan. LRT Jabodebek belum memiliki fasilitas Test Track untuk sarana, sehingga Uji Dinamis Sarana juga dilakukan di mainline. Selain itu, terbatasnya Storage Area Di Pabrik INKA mengharuskan stabling Sarana LRT Jabodebek dilakukan di temporary pit stop.



Gambar 6. Formasi trainset stabling St Ciracas – St Harjamukti, 25 Oktober 2021

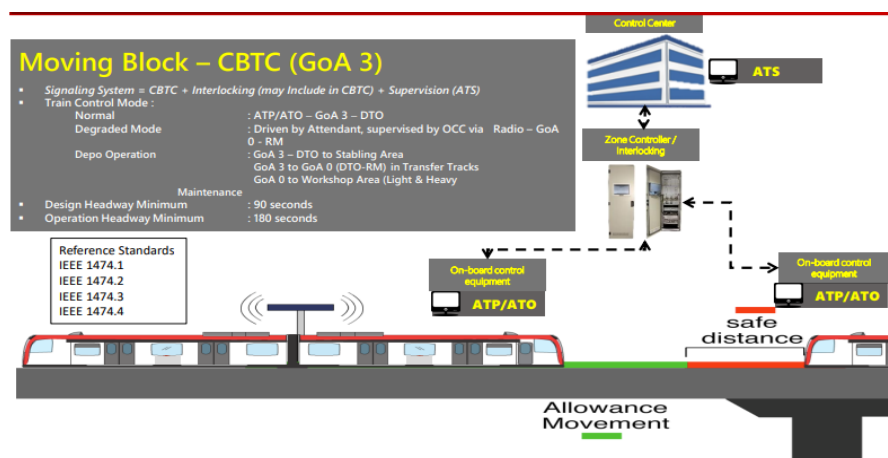
I.4.2 Fasilitas Operasi

Secara umum, Fasilitas Operasi LRT Jabodebek terdiri dari Signalling, Platform Screen Door, Telecommunication, Electrification, Third Rail dan SCADA System. Bagian dari Fasilitas Operasi LRT Jabodebek dapat dilihat pada gambar berikut:



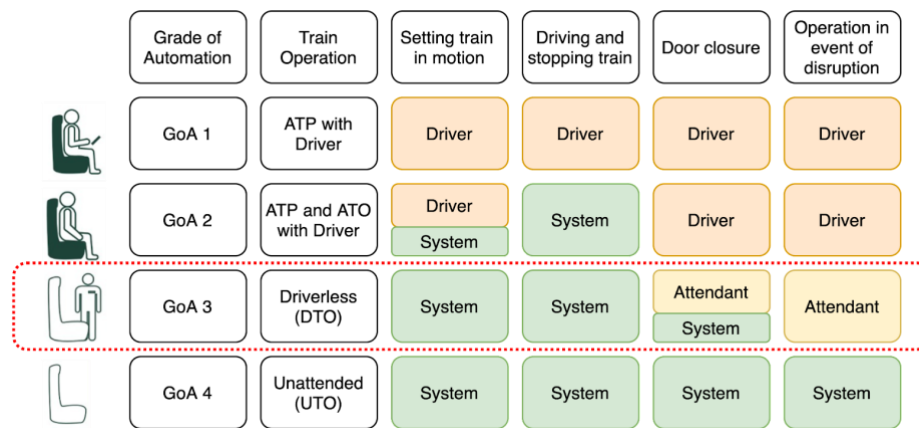
Gambar 7. Fasilitas Operasi LRT Jabodebek

- a. Sistem persinyalan yang digunakan di LRT Jabodebek adalah menggunakan persinyalan *moving block* dengan *cab signal* - CBTC (Communication Based Train Control).
- b. Pada sistem moving block – CBTC tersebut dibagi menjadi 3 mode Train Operation yaitu pada mode Normal, Degraded Mode dan Depo Operation dan dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 8. Sistem Persinyalan Moving Block CBTC

- c. Sesuai gambar tersebut di atas, sistem persinyalan pada jalur antara St. Ciracas – St. Harjamukti dalam Normal Operation menggunakan Tingkat Otomasi GoA Level 3 (Grade of Automation Level 3) dan dalam Degraded Operation akan menggunakan GoA level 0.
- d. Gambaran sistem serta fungsi *train driver* dalam pengoperasian kereta pada setiap level otomasi dapat dilihat pada gambar berikut:



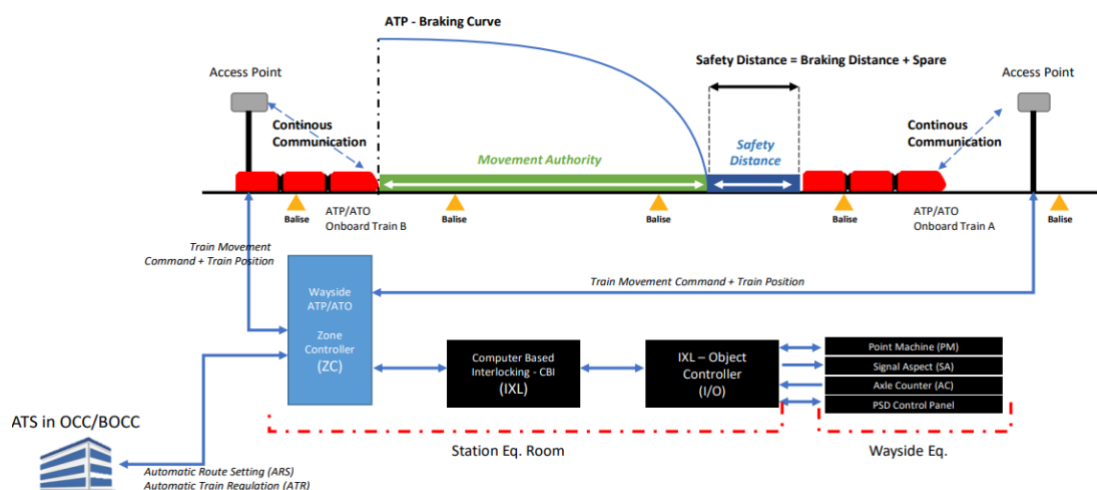
Grade Of Automation	Principles	Operator	Automated Train Control	Rolling Stock
GoA0	On-Sight Driving	Relies on Driver + Procedures. Support staff at the OCC.	Limited to road signals.	Manual mode only. Full Driving Cab
GoA1	Supervised	Relies on Driver + Procedures. Supervised at the OCC.	Rail Lateral/Cab Signals. Area/Speed protection.	Manual mode only. Full Driving Cab + Onboard SIG
GoA2	Semi-Automated	Driver manages Passenger Service (Doors...) and degraded modes.	Automated driving (speed & stop). Area/Speed protection.	Automated + Manual modes. Full Driving Cab + Onboard SIG
GoA3	Automated	Driver manages degraded modes locally, main actions by OCC	Automated driving (speed & stop). Area/Speed protection.	Automated + Manual modes. Driving Area + Onboard SIG
GoA4	Unmanned	Remote action by the OCC only (degraded modes)	Automated driving (speed & stop). Area/Speed protection.	Automated + Manual modes. Rescue Driving desk + Onboard SIG

Gambar 9. Gambaran Sistem GoA

e. Sistem persinyalan moving block – CBTC meliputi sub-sistem :

- 1) Sistem Interlocking
- 2) Automatic Train Protection System (ATP)
- 3) Automatic Train Operation System (ATO)
- 4) Automatic Train Supervision System (ATS)
- 5) Operation Control Center (OCC)

Gambaran train operation pada sistem CBTC dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 10. Gambaran Train Operation pada Sistem CBTC

Sistem ATP memastikan kereta dapat direm sehingga dapat berhenti tepat di belakang kereta yang berada di depannya dengan memperhitungkan jarak aman antar *trainset* dengan memperhitungkan *braking distance* dan *safety margin/ safety distance*.

Sistem ATO akan bekerja secara otomatis mempercepat kereta dengan menggunakan daya traksi, meluncur dengan menghentikan daya traksi dan memperlambat dengan mengaktifkan pengereman.

Sistem ATS dilengkapi fitur supervisi dan monitoring posisi kereta yang dijalankan oleh operator di OCC dirancang mampu mensupervisi seluruh aktivitas kereta di jalur pelayanan pada kondisi normal maupun *emergency abnormal*.

- f. Pada saat kejadian tabrakan, sistem persinyalan *moving block* - CBTC belum dioperasikan sehingga langsir TS 29 dioperasikan secara manual oleh seorang Teknisi melalui peralatan pengendali sarana yang ada di Kabin Masinis dengan perintah berjalan oleh seorang Deputy Site Commissioning melalui alat komunikasi telepon seluler.
- g. PT Len Industri telah membuat dokumen PHA (Preliminary Hazard Analysis) Preliminary Hazard Log (RS-03-GN-SG-TR-0002090-03A) Rev.03 PT Len Industri (Persero) Tahun 2018 yang bertujuan untuk mengidentifikasi bahaya utama yang dapat diprediksi terkait dengan lingkungan aplikasi Sistem Persinyalan yang dipasang untuk Proyek LRT Jabodebek.
- h. Pada saat kejadian, TS 29 maupun TS 20 sedang dalam prosedur langsir untuk memindahkan beberapa rangkaian yang berada di St. Harjamukti serta untuk mengosongkan *track 2* St. Harjamukti.
- i. PT. INKA telah membuat SOP Langsir Kereta di *Mainline* (Parkir Di Luar *Temporary Pit Stop*) tertanggal 1 Januari 2020 yang mengatur mulai dari persiapan rangkaian kereta sebelum langsir, kecepatan langsir kereta di mainline, alat komunikasi dan selesai melakukan langsir.



STANDARD OPERATING PROCEDURE (SOP) LANGSIR KERETA DI MAINLINE (PARKIR DI LUAR TEMPORARY PIT STOP)

1. Cek semua roda dan Lepas stop blok di roda sebelum tegangan 750 VDC *third rail* ON.
2. Nyalakan battery kontrol kereta (*batt on*), *apply parking brake* kemudian *apply* CCD. Cek tegangan 750 VDC sudah masuk ke sistem kereta melalui HV meter di kabin aktif. Tunggu sampai tekanan angin *Main Reservoir (MR)* di atas 7 bar.
3. Lakukan uji fungsi *brake static* dengan melihat respon manometer *brake cylinder* & *brake pipe*. *Brake* rilis (indikator manometer *brake cylinder* = 0 bar dan indikator *brake pipe* ±5 bar). *Brake apply* (indikator manometer *brake cylinder* = ± 3 bar dan indikator *brake pipe* 0 bar).
4. Cek fungsi klakson, dan lampu depan, pastikan masih berfungsi normal.
5. Rilis semua sistem pengereman yang masih *apply* termasuk *parking brake*.
6. Langsir kereta menuju tempat parkir.
7. Dalam hal langsir berada di mainline, pada saat driver belum melihat kereta parkir di depannya maka kecepatan langsir sesuai tanda batas kecepatan (taspat) mainline, setelah driver melihat kereta parkir di depannya maka kecepatan langsir diturunkan menjadi ±3 Km/jam sampai pada tanda batas berhenti kereta di area parkir.
8. Gunakan alat komunikasi yang memungkinkan dan memudahkan driver untuk berkomunikasi dengan crew langsir di kereta lain.
9. Selesai melakukan langsir, *apply parking brake*, matikan kereta dengan *batt off*, kemudian *acc / retard*. Setelah tegangan 750 VDC *third rail off*, ganjal kereta minimal 1 roda di sisi depan dan belakang roda dengan stop blok.

Madiun, 1 Januari 2020
Diketahui oleh:

Note : Semua pelanggaran yang disebabkan karena tidak mematuhi SOP di atas dan merugikan perusahaan akan dikenakan sanksi sesuai peraturan perusahaan

Gambar 11. SOP Langsir di Mainline

- j. Berdasarkan SOP tersebut, untuk langsiran di *mainline*, pada saat *driver* belum melihat kereta parkir di depannya maka kecepatan langsir sesuai tanda batas kecepatan (Taspat) *mainline*, setelah *driver* melihat kereta parkir di depannya maka kecepatan langsiran diturunkan menjadi ± 3 Km/jam sampai pada tanda batas berhenti kereta di area parkir.
- k. Berdasarkan hasil pengamatan lapangan, sebelum lokasi kejadian tabrakan terdapat pembatas kecepatan (Taspat) 80 km/jam di Km 12+373.
- l. Dalam SOP tersebut, komunikasi yang diatur yaitu dengan menggunakan alat komunikasi yang memungkinkan dan memudahkan *driver* untuk berkomunikasi dengan *crew* langsir di kereta lain.
- m. Tim investigasi tidak menemukan dokumen terkait perjalanan langsir dan/atau work order untuk langsiran TS 29. Penugasan tiap personil pada pagi hari secara verbal oleh Deputy Site Commissioning yang bertugas sebelum melaksanakan tugas (*morning briefing*).
- n. Tim hanya mendapatkan Jadwal Shift Personil RSDT (Rollingstock Dynamic Test) bulan Oktober 2021 dan terdapat catatan sesuai gambar berikut :



Gambar 12. Taspat 80 km/jam di Km 12+373

A	Pekerjaan dibagi menjadi 2 shift :
A.1	Shift 1 bekerja pukul 08.00-17.00; istirahat pukul 12.00-13.30
A.2	Shift 2 bekerja pukul 20.00-04.00; istirahat pukul 00.00-01.30
B	Estimasi kegiatan akan diinformasikan ke tiap deputy dan diteruskan ke tim saat briefing sebelum dilakukan kegiatan.
C	Jadwal RSDT akan dilakukan di malam hari, sedangkan kegiatan di pagi hari support pengujian signaling
D	Masing-masing personil wajib untuk mematuhi segala perintah dan aturan sesuai dengan SOP yang ada , baik SOP safety , proses dan pengujian.
E	Jika ada yang melanggar akan dikenakan sanksi sesuai dengan peraturan yang berlaku di perusahaan
F	Pembagian personil IMSS tiap shift menjadi 2 kelompok per hari ditentukan oleh leader dan diketahui oleh masing2 Deputy Manajer

Gambar 13. Catatan dalam Jadwal Shift Personil RSDT Bulan Oktober 2021

I.4.3 Sarana

1. Susunan rangkaian LRT TS29 Jabodebek buatan INKA

Tabel 1. LRT TS29

Konfigurasi Rangkaian	No Kereta	Ket
MC2	K1 1 21 48	posisi depan
M2	K1 1 21 47	
T2	K1 1 21 46	
T1	K1 1 21 45	
M1	K1 1 21 44	
MC1	K1 1 21 43	

MC : Motor Car with Control Desk, kereta dengan roda penggerak dan mempunyai meja pengendali;

M : Motor Car, kereta dengan roda penggerak;

T : Trailer Car, kereta tanpa penggerak.





Gambar 14. Sarana LRT Jabodebek

2. Spesifikasi Teknis LRT Jabodebek PT. INKA

Tabel 2. Spesifikasi Teknis LRT Jabodebek	
Material	: Aluminium alloy, Cover bagian depan/kabin menggunakan komposit
Lebar gandar	: 1435 mm
Radius maksimum	: 85 / 50 m
Kelandaian maksimum	: 27 / 40 ‰
Kecepatan desain	: 90 Km/jam
Kecepatan operasi maksimum	: 80 Km/jam
Berat kosong maksimum	: T = 32,3 ton M1, M2 = 32,3 ton MC1, MC2 = 33,5 ton
Tegangan Suplai Daya	: 750 Vdc (Range voltage 550 – 900 VDC) menggunakan Rel Ketiga (Third Rail)
Daya Motor Traksi	: 150 KW per motor traksi
Sistem Kelistrikan	: 750 VDC
Bogie Suspension	: Suspensi primer : Rubber Bonded Suspensi Sekunder : Air spring
Diameter Roda (Baru/Aus)	: 1 m/s ²
Perlambatan (Full Service/Emergency)	: -1 m/s ² / -1,3 m/s ²

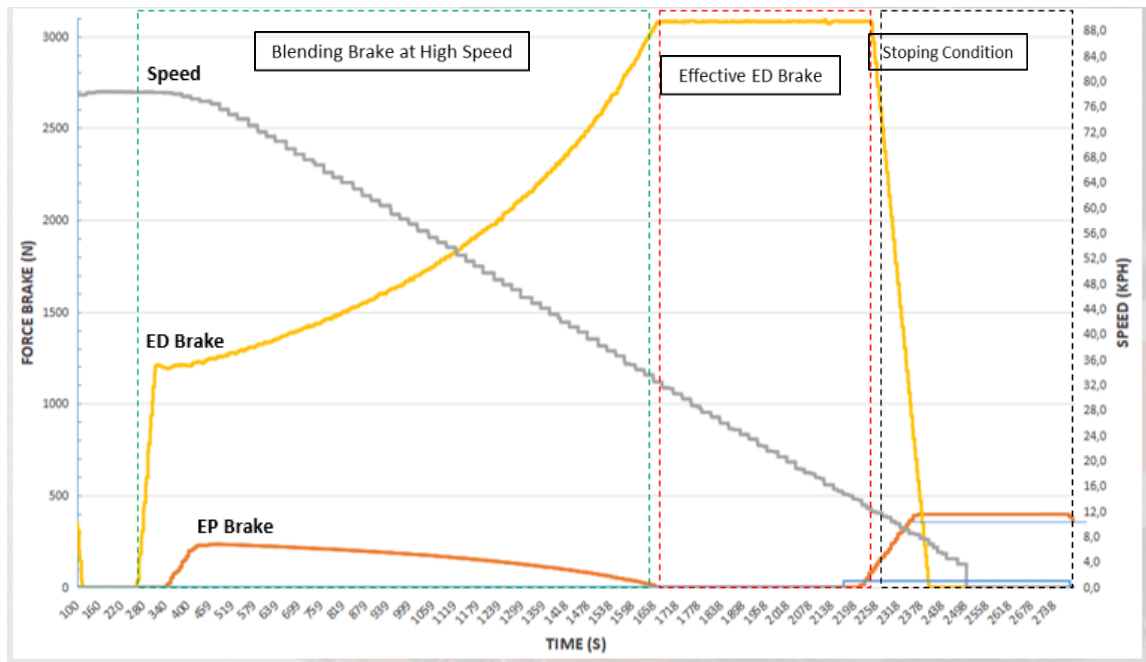
3. Performa Pengereman dan Kecepatan

		INSPECTION SHEET										DOCUMENT NO. : U03.19-DT-603.1				
												PRODUCT NO. : TRAINSET 29				
												PROJECT : LRT Jabodebek				
												PART NO. :				
Title : Braking Performance Test																
D. Brake handle position from 0 to 100% (Type & Routine test)																
Weather Condition		Dry														
Track Condition		Straight track														
Date/Time		Wednesday, September 15 th 2021														
Location/ Track Information (gradient, radius, cant)		Km 13+803 to km 11+302 Gradient 0%														
No	Initial speed (kph)	Final speed (kph)	Standard value	Results										Notes		
				Stopping distance (m)		Deceleration (m/s ²)		t _{BR,10} (s)		t _{BR,30} (s)		WSP			Remark	
				MC1	MC2	MC1	MC2	MC1	MC2	MC1	MC2	MC1	MC2		OK	NOK
1	20	0	Deceleration: min 1,0 m/s ² Stopping distance: Max.23 m t _{BR,10} : max 0,4 s t _{BR,30} : max 2 s WSP bekerja namun tidak terjadi slip	22,85	22,21	1,0	1,0	0,12	0,17	1,13	1,26	✓	✓	OK		
				20,99	22,89	1,0	1,0	0,19	0,19	1,10	1,15	✓	✓	OK		
				21,92	21,05	1,0	1,0	0,08	0,10	1,18	1,26	✓	✓	OK		
2	40	0	Deceleration: min 1,0 m/s ² Stopping distance: Max.79 m t _{BR,10} : max 0,4 s t _{BR,30} : max 2 s WSP bekerja namun tidak terjadi slip	27,23	24,57	1,0	1,0	0,18	0,17	1,10	1,07	✓	✓	OK		
				22,61	22,23	1,0	1,0	0,27	0,13	1,04	1,06	✓	✓	OK		
				24,25	25,45	1,0	1,0	0,10	0,08	1,22	1,26	✓	✓	OK		

Gambar 15. Hasil uji performa pengereman service brake TS29 dengan perlambatan – 1,0 m/s²

		INSPECTION SHEET										DOCUMENT NO. : U03.19-DT-603.1				
												PRODUCT NO. : TRAINSET 29				
												PROJECT : LRT Jabodebek				
												PART NO. :				
Title : Braking Performance Test																
III. Result																
1.1. Emergency Brake																
1.1.1. Tare load (AW0)																
Weather Condition		Dry														
Track Condition		Straight track														
Date/Time		Wednesday, September 15 th 2021														
Location/ Track Information (gradient, radius, cant)		Km 13+803 to km 10+302 Gradient 0%														
No	Initial speed (kph)	Final speed (kph)	Standard value	Results										Notes		
				Stopping distance (m)		Deceleration (m/s ²)		t _{BR,10} (s)		t _{BR,30} (s)		WSP			Remark	
				MC1	MC2	MC1	MC2	MC1	MC2	MC1	MC2	MC1	MC2		OK	NOK
1	20	0	Deceleration: min 1,3 m/s ² Stopping distance: Max. 19 m t _{BR,10} : max 0,3 s t _{BR,30} : max 1,8 s WSP bekerja namun tidak terjadi slip	17,61	17,98	1,3	1,3	0,03	0,02	0,35	0,10	✓	✓	OK		
				18,37	18,51	1,3	1,3	0,02	0,06	0,16	0,16	✓	✓	OK		
				18,72	18,08	1,3	1,3	0,01	0,01	0,11	0,11	✓	✓	OK		
2	40	0	Deceleration: min 1,3 m/s ² Stopping distance: max. 62 m t _{BR,10} : max 0,3 s t _{BR,30} : max 1,8 s WSP bekerja namun tidak terjadi slip	55,23	58,57	1,3	1,3	0,02	0,02	0,13	0,13	✓	✓	OK		
				57,25	57,18	1,3	1,3	0,02	0,01	0,10	0,10	✓	✓	OK		
				58,97	58,52	1,3	1,3	0,03	0,02	0,22	0,11	✓	✓	OK		

Gambar 16. Hasil uji performa pengereman emergency brake TS29 dengan perlambatan – 1,3 m/s²



Gambar 17. Grafik Brake Effort LRT Jabodebek

Blending brake merupakan penggabungan 2 (dua) sistem pengereman *electro dynamic* (ED) *brake* dan *electro pneumatic* (EP) *brake*. Pada saat kecepatan tinggi, *blending brake* akan aktif ketika *electro dynamic* (ED) *brake* tidak dapat memenuhi kebutuhan pengereman. EP *brake* akan meningkat apabila ED *brake* tidak cukup untuk memenuhi kebutuhan pengereman. ED *brake* akan teraplikasi penuh tanpa EP *brake* ketika *brake effort* yang dibutuhkan telah terpenuhi. *Blending brake* pada saat kecepatan tinggi ini tergantung pada *braking effort* dan kapabilitas dari ED *brake*.

4. Train Control Management System (TCMS)

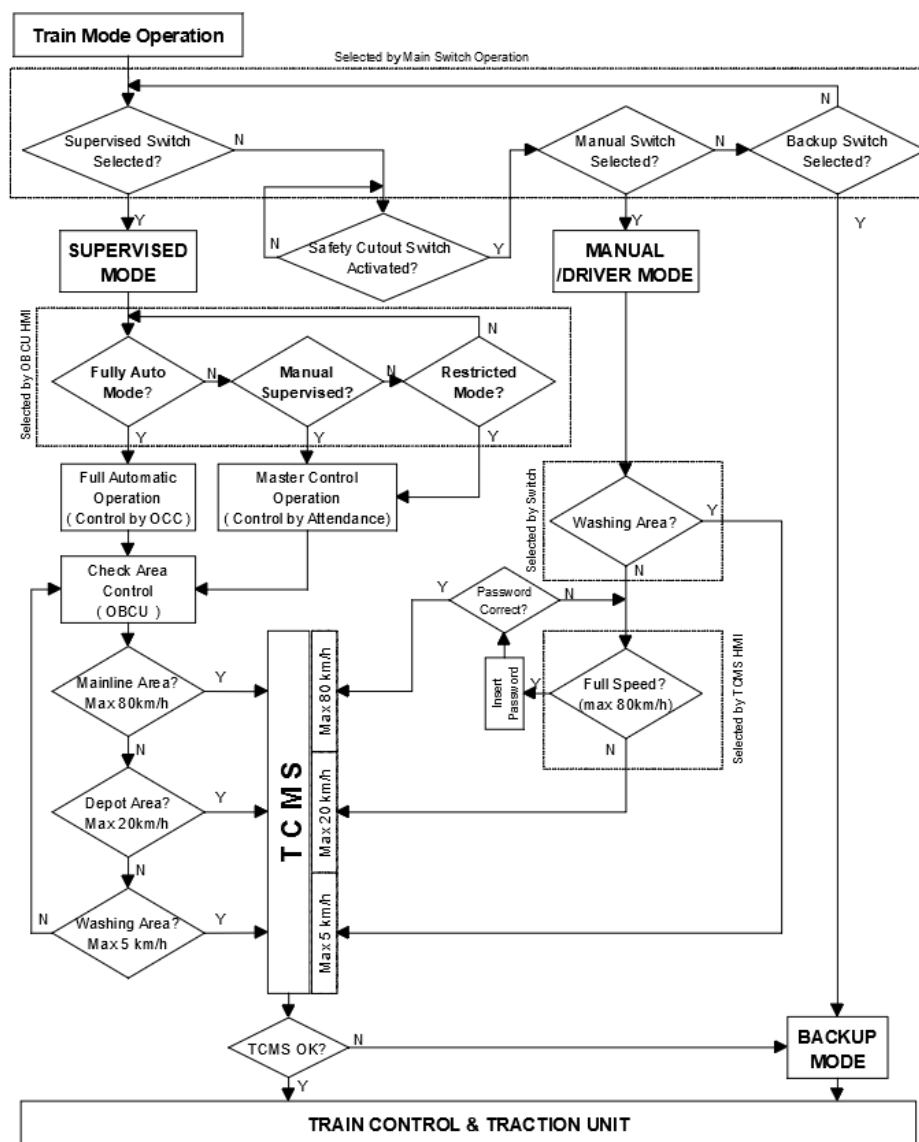
TCMS yang digunakan pada LRT Jabodebek adalah produksi CAF Power & Automation, Spanyol. TCMS terdiri dari peralatan komputerisasi dan perangkat lunak, *human-machine interfaces*, *digital and analogue input/output* (I/O) serta dihubungkan dengan jaringan data pada sistem control CBTC melalui OBCU. TCMS sering disebut sebagai "otak kereta" karena peran sentralnya dalam mengkoordinasikan kontrol dan pemantauan di seluruh sistem yang berbeda.

Secara garis besar, komponen utama dalam TCMS adalah sebagai berikut:

- a. IO-MIM
- b. Control Unit
- c. Human Machine Interface (HMI) Data Recorder
- d. Repeaters & gateway
- e. sDiag
- f. Tools

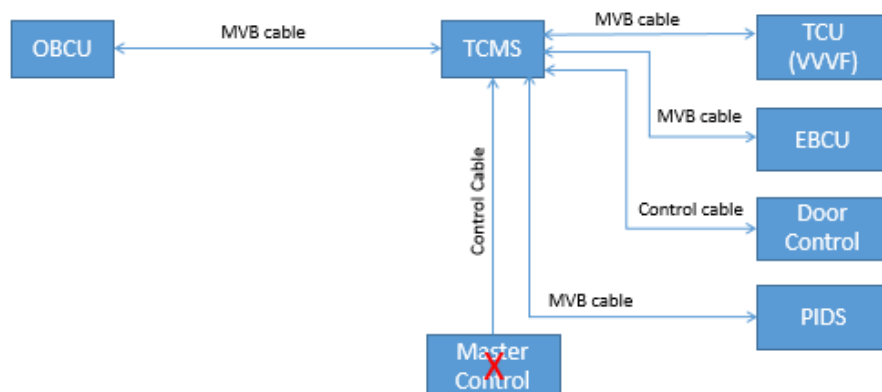
Pada Train Control Management System (TCMS) sarana LRT Jabodebek, terdapat data berupa alarm yang terekam pada storage di HMI dan *on board diagnostic* di SDiag. Di dalam SDiag terdapat pula storage *event log* dan *kinematic log* yang dapat ditransmit melalui jaringan seluler 4G ke sistem penyimpanan external.

5. Mode Operasi LRT Jabodebek



Gambar 18. Mode Pengoperasian LRT Jabodebek

a. Supervised Mode



Pada saat *supervised mode* aktif, master control tidak aktif. master control hanya digunakan ketika *key switch* diaktifkan oleh attendant pada saat awal trainset akan dioperasikan.

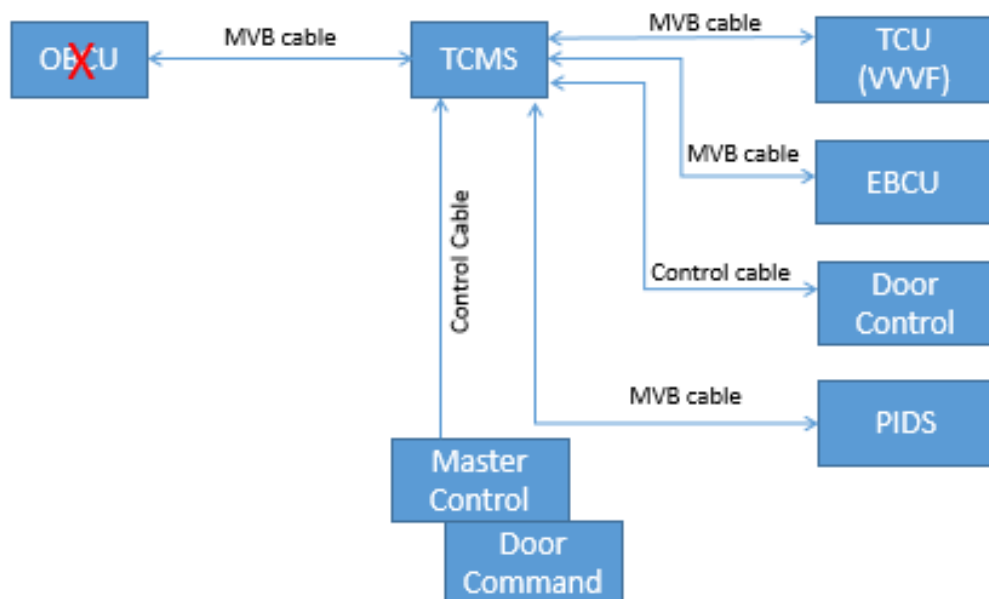
1) Fungsi OBCU saat Supervised Mode:

- Memilih arah jalannya kereta (F/R).
- Powering / Braking.
- Powering bisa dilakukan hingga *full traction*.
- Braking bisa dilakukan hingga *full braking*.
- Memberikan otoritas kereta untuk siap jalan (*Propulsion Release*).
- Mengatur titik berhentinya kereta (*Stopping Point*).
- OBCU memerintahkan *Conditional stop* ketika mendeteksi *smoke detector* aktif, tuas passenger *emergency brake* aktif dan/atau tuas *emergency door* (EDH) aktif.
- OBCU memerintahkan *Immediate stop* ketika mendeteksi *obstacle detection* aktif dan/atau *derailment detection* aktif.
- Memberikan perintah buka / tutup pintu baik di sisi kanan atau kiri.
- Memberikan perintah pengumuman kereta ketika pintu akan dibuka.

2) Fungsi TCMS saat Supervised mode:

- Mengolah perintah dari OBCU untuk diteruskan ke TCU.
- Mengolah perintah dari OBCU untuk diteruskan ke EBCU.
- Mengolah perintah dari OBCU untuk diteruskan ke kontrol pintu di kereta.
- Mengolah perintah dari OBCU untuk diteruskan ke PIDS.

b. Manual Mode



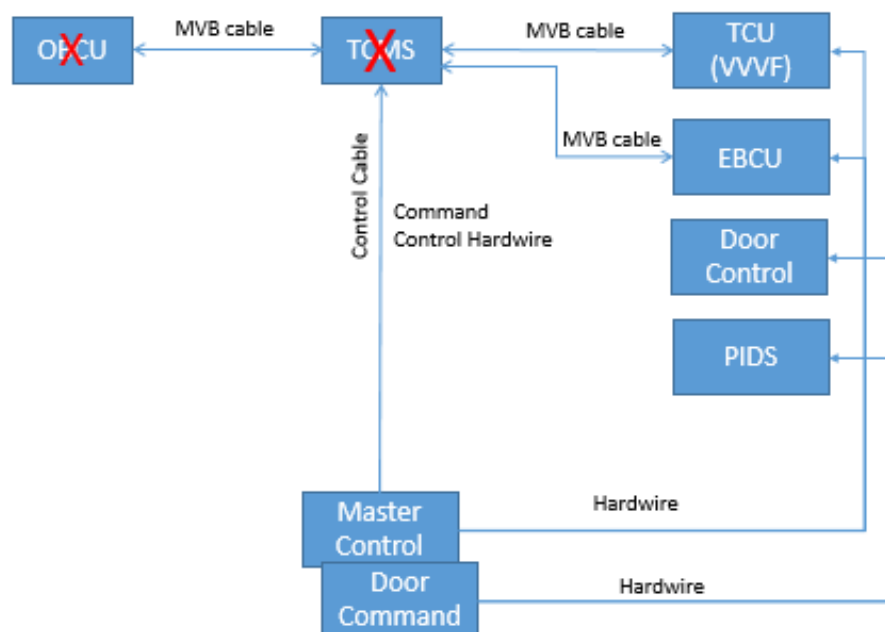
- 1) Pada saat *manual mode* fungsi dari OBCU tidak aktif sehingga operasi trainset hanya dilakukan oleh TCMS melalui master control. Perintah input ke

TCMS yang semula pada saat *supervised mode* oleh OBCU, pada manual mode digantikan fungsinya oleh *attendant*.

2) Fungsi TCMS:

- Mengolah perintah *master control (analog signal)* untuk diteruskan ke TCU.
- Mengolah perintah dari *master control (analog signal)* untuk diteruskan ke EBCU.
- TCMS mengidentifikasi kondisi kereta siap jalan (*Traction Safe*).
- Mengolah perintah dari tombol buka/tutup pintu (*digital signal*) untuk diteruskan ke kontrol pintu di kereta.
- Mengolah perintah dari tombol buka/tutup pintu (*digital signal*) untuk diteruskan ke PIDS, sebagai pengumuman (*announcer*).

c. Backup Mode



Pada saat backup mode, fungsi OBCU dan TCMS tidak aktif sehingga operasi dilakukan *master control via hardwire*.

Fungsi Master Control saat Backup Mode:

- Key switch on oleh attendant.
- Memberikan input digital ke TCU untuk arah kereta (F/R) melalui *attendant*.
- Memberikan input digital ke TCU untuk powering dan braking melalui attendant (3 Step command 0 %, 50 %, 100%)
- Ketika kondisi backup kecepatan dibatasi 20 KpH (Fwd), 15 KpH (KpH) oleh TCU.
- Perintah buka/tutup pintu dilakukan oleh *attendant* melalui tombol (*digital signal*) yang ada pada meja kemudi (Cabin).

6. Network Video Recorder

Di setiap kereta dilengkapi Closed Circuit Television (CCTV) yang terkoneksi dalam sistem Network Video Recorder (NVR) yang rekamannya disimpan di dalam *storage railway computer system unit*. Setiap trainset terdapat 2 storage pada MC1 dan MC2 yang masing-masing merekam 3 unit kamera; satu mengarah ke kabin driver dan 2 merekam ke kereta penumpang.

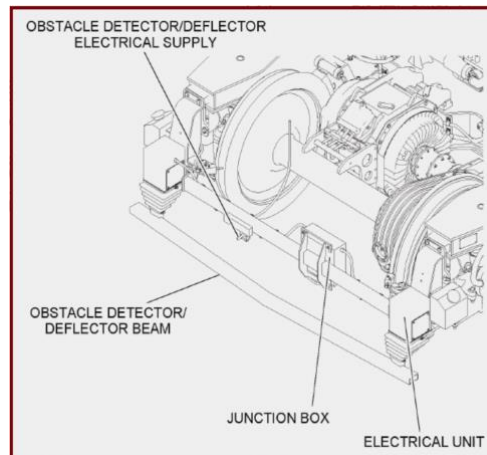


Gambar 19. Railway Computer System Unit

7. Peralatan Penunjang Keselamatan

a. Pendeteksi Rintangan (Obstacle Detection)

Peralatan *Obstacle Detection* disediakan pada setiap bagian ujung rangkaian. Jika terdapat rintangan, sensor peralatan akan tertekan dan mengaktifkan *Emergency Brake*. Peralatan *Obstacle Detection* ini dipasang sesuai dengan kebutuhan operasional GoA3 dan menerapkan konsep *failsafe* sesuai *Safety Integrity Level 4* (SIL4).



Gambar 20. Obstacle detector pada LRT Jabodebek

b. Pendeteksi Anjlokkan (Derailment Detection)

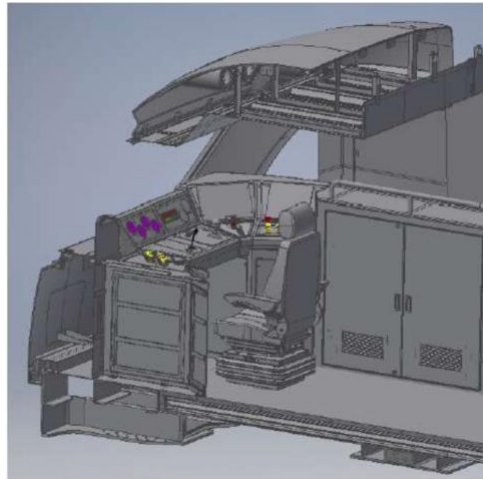
Peralatan *Derailment Detection* terpasang pada bogie sarana dan dapat terintegrasi dengan peralatan persinyalan. Jika terdeteksi akselerasi vertikal bogie, secara otomatis akan mengaktifkan *Emergency Brake*. Peralatan *Derailment Detection* ini dipasang sesuai dengan kebutuhan operasional GoA3 dan menerapkan konsep *failsafe* sesuai *Safety Integrity Level 4* (SIL4).



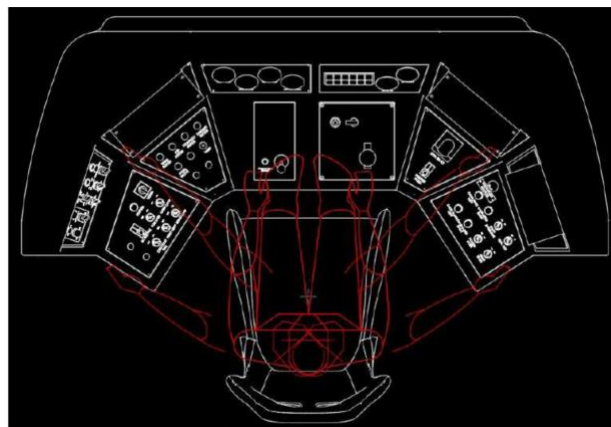
Gambar 21. Peralatan Derailment Detection

c. Desain Kabin Motor Car (MC)

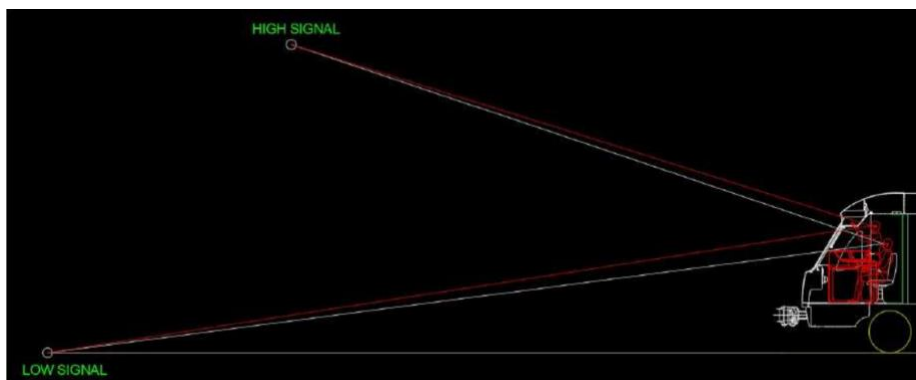
Standar yang digunakan dalam desain dan simulasi kabin di motor car mengacu UIC 651 *Layout of Driver's cabs in locomotives, railcars, multiple unit trains and driving trailers*.



Gambar 22. 3D Model desain area kabin LRT Jabodebek



Gambar 23. Jangkauan driver seated terhadap driver desk pada LRT Jabodebek



Gambar 24. Driver visibility pada posisi seated (garis putih) dan standing (garis merah)

d. Ergonomi Kabin Kereta



Gambar 25. Simulasi jangkauan ke Master Control

Tim investigasi melakukan simulasi jangkauan untuk mengoperasikan master control pada meja pengendali MC di sarana LRT Jabodebek. Dengan desain kursi yang dapat berputar dilengkapi tuas reclining dan tuas hidrolik untuk naik turun seperti pada Gambar 25, tangan Investigator dengan tinggi badan 170 cm tidak dapat leluasa untuk mengontrol panel pada meja kontrol MC.



Gambar 26. Tempat duduk Train Driver LRT Jabodebek

e. Layout Meja Kontrol dan *Emergency Push Button*

Gambar 27. Meja kontrol kabin MC dan *Emergency Push Button* dengan *cover plate*

Emergency push button pada meja kontrol kabin LRT Jabodebek dilengkapi dengan *cover plate*. Tim investigasi mengalami kesulitan untuk menekan *push button* ini karena sebagian tertutup *cover plate*.

f. Simulasi Bebas Pandang Kabin



Gambar 28. Simulasi jarak pandang train driver dengan sarana di depannya

Tim investigasi melakukan simulasi jarak pandang saat kondisi *sun visor* tertutup penuh. Dengan jarak 8 meter dengan akhiran sarana di depannya, hanya bagian sekitar *coupler* yang tampak dengan posisi duduk seperti pada Gambar 29. Dengan posisi duduk seperti pada gambar tersebut, akan terlihat keseluruhan bagian sarana di depannya.



Gambar 29. Simulasi jarak pandang dengan sun visor tertutup penuh



Gambar 30. Sun visor tertutup penuh

Ketentuan penggunaan *sun visor* pada *windshield* untuk melindungi ruang peralatan dari radiasi sinar matahari trainset LRT Jabodebek diperbolehkan jika diperlukan sesuai Kriteria Desain Sarana Kereta Api Ringan (LRT) Jabodebek pada lampiran Keputusan Menteri Perhubungan KP 765 Tahun 2017 tentang Perubahan KP 567 Tahun 2016 tentang Penetapan Kriteria Desain dan Spektek Pembangunan Kereta LRT Terintegrasi di Wilayah Jabodebek.

Lampiran KP 765 Tahun 2017 terkait Kriteria Desain Sarana Kereta Api Ringan (LRT) Jabodebek bagian E. huruf c.:

“Ruang peralatan harus terlindungi dari radiasi sinar matahari sehingga dapat menggunakan penahan sinar matahari (sun visor) jika diperlukan.”

I.5 DATA REKAMAN TERKAIT KEJADIAN KECELAKAAN

I.5.1 Data Unduhan TCMS TS29

a. Event Log Human Machine Interface (HMI)

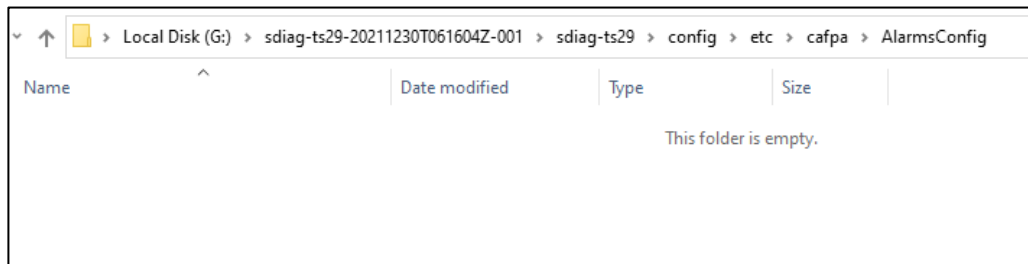
KNKT mendapatkan hasil unduhan event log HMI MC2 TS 29 dimana timestamp data tidak sesuai dengan waktu kejadian karena kemungkinan proses mematikan trainset (BAT OFF) dengan kondisi keyswitch yang tidak sesuai sehingga setting waktu pada HMI akan kembali ke time default dari manufaktur TCMS.

Tabel 3. Cuplikan data unduhan event log pada HMI MC2 TS29

DATE/TIME	ALARM_ID	FLAG	SNAPSHOT	SEVERITY	CODE	LOCALIZATION	DESCRIPTION
11/02/2016 18:47:13.017	1277	1	YES	D	AL1118	Ux_CAB1_P	Traction equipment MC1 warning
11/02/2016 18:47:13.018	1288	1	YES	D	AL1122	Ux_M1_P	Traction equipment M1 warning
11/02/2016 18:47:20.266	288	1	YES	B	AL1053	Ux_T1_P	Battery discharging T1
11/02/2016 18:47:22.314	288	0	YES	B	AL1053	Ux_T1_P	Battery discharging T1
11/02/2016 18:47:22.318	288	1	YES	B	AL1053	Ux_T1_P	Battery discharging T1
11/02/2016 18:47:25.390	288	0	YES	B	AL1053	Ux_T1_P	Battery discharging T1
11/02/2016 18:47:31.534	288	1	YES	B	AL1053	Ux_T1_P	Battery discharging T1
11/02/2016 18:47:38.702	288	0	YES	B	AL1053	Ux_T1_P	Battery discharging T1
11/02/2016 18:47:46.890	288	1	YES	B	AL1053	Ux_T1_P	Battery discharging T1
11/02/2016 18:47:48.942	288	1	YES	B	AL1053	Ux_T1_P	Battery discharging T1
11/02/2016 18:47:52.010	288	0	YES	B	AL1053	Ux_T1_P	Battery discharging T1
11/02/2016 18:47:52.014	288	0	YES	B	AL1053	Ux_T1_P	Battery discharging T1
11/02/2016 18:47:58.158	288	1	YES	B	AL1053	Ux_T1_P	Battery discharging T1
11/02/2016 18:48:00.206	288	0	YES	B	AL1053	Ux_T1_P	Battery discharging T1
11/02/2016 18:48:06.349	288	1	YES	B	AL1053	Ux_T1_P	Battery discharging T1
11/02/2016 18:48:09.422	288	0	YES	B	AL1053	Ux_T1_P	Battery discharging T1
11/02/2016 18:48:10.442	288	1	YES	B	AL1053	Ux_T1_P	Battery discharging T1
11/02/2016 18:48:19.662	288	1	YES	B	AL1053	Ux_T1_P	Battery discharging T1
11/02/2016 18:48:24.778	288	0	YES	B	AL1053	Ux_T1_P	Battery discharging T1
11/02/2016 18:48:26.830	288	0	YES	B	AL1053	Ux_T1_P	Battery discharging T1
11/02/2016 18:48:27.850	1236	1	YES	D	AL1113	U0_UT_P	Line A MVB bus fail
11/02/2016 18:48:27.850	1237	1	YES	D	AL1113	Ux_UT_P	Line A MVB bus fail
11/02/2016 18:48:32.974	288	1	YES	B	AL1053	Ux_T1_P	Battery discharging T1
11/02/2016 18:48:33.994	288	1	YES	B	AL1053	Ux_T1_P	Battery discharging T1
11/02/2016 18:48:35.018	1236	0	YES	D	AL1113	U0_UT_P	Line A MVB bus fail
11/02/2016 18:48:35.018	1237	0	YES	D	AL1113	Ux_UT_P	Line A MVB bus fail
11/02/2016 18:48:36.046	288	0	YES	B	AL1053	Ux_T1_P	Battery discharging T1
11/02/2016 18:48:42.190	288	1	YES	B	AL1053	Ux_T1_P	Battery discharging T1
11/02/2016 18:48:50.382	1129	1	YES	C	AL1105	U0_UT_P	Traction loop is open
11/02/2016 18:48:50.382	1130	1	YES	C	AL1105	Ux_UT_P	Traction loop is open
11/02/2016 18:48:51.402	288	0	YES	B	AL1053	Ux_T1_P	Battery discharging T1
11/02/2016 18:48:52.430	1277	1	YES	D	AL1118	Ux_CAB1_P	Traction equipment MC1 warning
11/02/2016 18:48:53.454	288	0	YES	B	AL1053	Ux_T1_P	Battery discharging T1
11/02/2016 18:48:59.363	1437	1	YES	C	AL1189	U0_UT_P	Derailment Detection
11/02/2016 18:48:59.364	1438	1	YES	C	AL1189	Ux_UT_P	Derailment Detection

b. Kinematic Log sDiag

KNKT mendapatkan hasil unduhan kinematic log yang seharusnya berisi data rekaman kecepatan, jarak tempuh dan posisi. Akan tetapi hingga terjadinya kecelakaan, sDiag belum terkonfigurasi sehingga data unduhan kosong khususnya untuk TS29.



Gambar 31. Folder AlarmsConfig sDiag TS29 kosong

INKA sudah memulai melakukan konfigurasi ulang sDiag seluruh Trainset LRT Jabodebek serta akan dibuatkan prosedur pengambilan data rekaman rutin untuk memastikan sistem perekaman bekerja dengan baik.

System	Status	Load	CPU	Memory	Swap
LRT_Jabodebek	OK	[1.14] [0.94] [0.77]	10.8%us, 12.4%sy, 0.1%wa	2.9% [110.9 MB]	0.0% [0 B]

Process	Status	Uptime	CPU Total	Memory Total	Read	Write
yardbuilder	OK	25m	0.0%	0.2% [8.2 MB]	0 B/s	0 B/s
xcommsserver_mv	OK	25m	21.1%	0.2% [6.5 MB]	-	-
cdudb	OK	25m	0.3%	0.5% [18.8 MB]	0 B/s	0 B/s
limemanager	OK	25m	0.2%	0.1% [3.2 MB]	0 B/s	-
limonemib	OK	25m	0.0%	0.1% [3.1 MB]	0 B/s	-
usblogger	OK	25m	0.2%	0.3% [12.4 MB]	0 B/s	-
regcollector	OK	25m	0.1%	1.1% [41.9 MB]	0 B/s	-
systemmonitor	OK	25m	0.8%	0.2% [7.1 MB]	0 B/s	-
mobile_comms	OK	25m	0.0%	0.4% [13.9 MB]	-	-

Program	Status	Output	Last started	Exit value
sdiag_lifeword	OK	LFW: 112	18 Nov 2021 04:18:27	0
signal_strength	OK	3G (-97 dbm)	18 Nov 2021 04:18:27	8
Versions	OK	Base: 01_11 Firm: 04_03 Core: 00_04 Conf: 00_04 Alar: 0	18 Nov 2021 04:18:27	0

Filesystem	Status	Space usage	Inodes usage	Read	Write
highlatencylog	OK	7.3% [33.8 MB]	0.0% [43 objects]	0 B/s	0 B/s
lowlatencylog	OK	1.5% [81.6 MB]	0.0% [96 objects]	25.5 kB/s	2.4 kB/s

Gambar 32. Data rekaman sDIAG TS19 (Folder UT19) pada tanggal 18-11-2021

I.5.2 Data Unduhan Network Video Recorder (NVR) TS29



CCTV MC2 TS 29	
11.40	: Masuk wesel CRC
11.44	: Berhenti di jalur 1 CRC. Jalur 2 diisi oleh TS 28
12.18	: Diberangkatkan dari CRC
12.19	: Berjalan mendekati wesel masuk CRC
12.19	: Berhenti
12.20 – 12.21.20	: Reverse ke arah CRC kembali dan kemudian berhenti
12.20.52	: Menurunkan sunvisor
12.21.31	: Menyapa Teknisi yang sedang menjalankan trainset di Jalur 2 (<i>non-operational activity</i>)
12.21.52	: Kembali maju (forward) ke arah HJM
12.23	: Melewati wesel dan sinyal masuk CRC
12.24	: Kecepatan trainset bertambah

Gambar 33. Screenshot Rekaman Network Video Recorder Kabin MC2

I.6 SUMBER DAYA MANUSIA

I.6.1 Kualifikasi Teknisi TS LRT Jabodebek

PERSYARATAN	
<ul style="list-style-type: none"> •Pria •Sehat Jasmani dan Rohani •Tidak Buta Warna •Tinggi Badan Minimal 160 cm •Pendidikan Terakhir Minimal SLTA Jurusan IPA / SMK Listrik / Mesin / Otomotif / Sesuai Kebutuhan Perusahaan. 	<ul style="list-style-type: none"> • Memiliki Tanda Lulus Pendidikan dan Pelatihan Awak Sarana Perkeretaapian • Lulus Uji Kecakapan sebagai Awak Sarana Perkeretaapian • Bagi Pro Hire : Memiliki Brevet Masinis dibuktikan dengan Tanda Pengenal Kecakapan ASP yang masih berlaku.

I.6.2 Data Teknisi TS29

Umur	: 24 tahun
Pendidikan Formal Terakhir	: SMK Otomotif
Mulai Bekerja	: 2018
Pendidikan Fungsional	: Diklat Pelatihan Driver LRT Jabodebek oleh PT INKA (Persero)
Mulai dinas pada jabatan	: 2021
Pengalaman jabatan	: <ol style="list-style-type: none"> 1. Teknisi LRT Palembang 2. Teknisi KRL Bandara Soetta 3. Teknisi SMN Lokomotif CC 300 4. Teknisi LRT Jabodebek
Sertifikat Kecakapan	: -
Masa berlaku Sertifikat s/d	: -

I.6.3 Hasil Wawancara

Site Manager Test and Commissioning

- Menjelaskan proses persiapan perjalanan LRT uji coba dimulai dari pemeriksaan posisi Battery ON, system ON hingga TCMS stabil on. Setelah kondisi aman baru kemudian third rail ON, avometer 750 ke atas dan Auxiliary ON.
- Salah satu cara untuk memastikan kondisi third rail ON adalah dengan memperhatikan lampu penumpang dalam kondisi ON.
- Deputy commissioning bertugas mengawasi proses langsir dan komunikasi dengan HT atau HP (HT jumlah terbatas).

Deputy Commissioning Leader

- Kegiatan tanggal 25 Oktober 2021:
 - o Pukul 08.00 – 09.30 melakukan briefing tim untuk menjelaskan tugas hari itu dan dilanjutkan test antigen (rutin dilakukan tiap minggu pada hari Senin bagi seluruh personel di project site). Dilanjutkan naik ke atas St. Ciracas dan pada pukul 10 mulai langsiran. Posisi ybs sebagai pengendali wesel saat langsiran bersama tim safety untuk koordinasi third rail bersama PT. Adhi Karya dan koordinasi pengoperasian wesel bersama PT. LEN. Langsiran dilakukan untuk persiapan pengujian sarana oleh DJKA pada rangkaian TS28, TS3 dan TS19. Terdapat 8 rangkaian TS di St Harjamukti. TS 28 berada di track 1 (di depannya ada TS 2 dan TS 29), sedangkan di track 2 terdapat TS 3, TS 9, TS 12 dan 10 di depan TS 3
 - o Pengawasan dan koordinasi proses langsiran dengan menggunakan grup *Whatsapp* untuk semua personel di Site sejumlah 28 orang.
 - o Pada jam 11.36, TS 29 berangkat dari HJM menuju CRC tiba di CRC pukul 11.39.
 - o Pukul 12.21, ybs menghubungi Teknisi di TS 29 dengan *Whatsapp call* untuk memerintahkan mendekati wesel CRC dan bersiap ke HJM.
 - o Pukul 12.22, TS 29 berangkat dari CRC.

- Pukul 12.29, ybs mencoba menghubungi TS 29 untuk menanyakan posisi TS 29 dengan menggunakan *Whatsapp call* namun tidak dijawab.
- Pukul 12.30, Teknisi TS 20 yang sudah stabling di track 1 HJM melakukan *Whatsapp video call* meminta memberitahukan kejadian tabrakan dan meminta pertolongan. Kemudian ybs menghubungi Teknisi TS 28 untuk membantu proses evakuasi.
- Saat kejadian, Teknisi TS 29 ditemukan berada di kabin depan TS 29 dalam posisi terlentang di dekat deadman pedal. Teknisi TS 29 masih merespon saat dipanggil namanya.
- Sesuai rencana, seharusnya TS 29 berhenti di Km 12+800. Biasanya Teknisi memberhentikan rangkaian dengan jarak 2m dari rangkaian di depannya.
- Ybs menjelaskan bahwa terdapat 14 orang teknisi LRT Jabodebek yang di bawah pengendaliannya dan merupakan pegawai PT IMSS (INKA Multi Solusi Service INKA) terdiri dari: 1 leader dan 13 operator (untuk langsiran, *troubleshooting* dan pengujian).
- Kualifikasi teknisi LRT Jabodebek sebagai tenaga testing dan operational adalah pendidikan minimal SMK dan telah memenuhi persyaratan untuk pelatihan internal INKA selama 2 minggu (cara pengops KA, trouble shooting dan pengujian).
- Ybs menyatakan bahwa tiap hari dilakukan pemeriksaan harian: visual check under frame dan pengereman statis. Apabila ada kondisi tidak aman, tindak lanjut melaporkan ke after sales support.
- TCMS: pengereman, indikator traksi, speed, tegangan 3rd rail, safety device yang ada: smoke detector, door trap, traction loop, tegangan auxiliary, control AC, rollback detector. Download recorder di TCMS dilakukan tiap minggu (tiap hari senin).

Teknisi TS 29

- Menjelaskan latar belakang pendidikan SMK dan mulai bekerja sejak bulan Juni/Julai 2018 pada PT. IIMS sebagai anak perusahaan PT. INKA untuk ditugaskan di LRT Palembang.
- Sebelum ditugaskan di LRT Palembang mendapatkan pelatihan pengetahuan dasar KA. Bekerja di LRT Palembang selama 8 bulan dengan tugas utama *troubleshooting*, dan TKA di dalam rangkaian LRT.
- Setelah menyelesaikan tugas di LRT Palembang, ybs kembali ke Madiun dan kemudian mendapatkan penugasan di PT. Railink pada tahun 2019 - 2020. Pada bulan September 2020 ditugaskan di PT. MRT selama 3 bulan untuk perawatan PCB untuk kereta MRT (sampai Januari awal minggu pertama). Pada minggu kedua bulan Januari dipindahkan ke Depo Jatinegara untuk melakukan perawatan lokomotif CC300 selama 1,5 bulan. Lanjut ditugaskan ke LRT Jabodebek.
- Pada bulan Juni 2021 mendapatkan pelatihan internal PT. INKA untuk sertifikasi sebagai driver LRT Jabodebek. Pelatihan dilakukan selama 1 bulan (catatan: sesuai hasil sertifikat, pelatihan diberikan selama 5 hari).
- Di LRT Jabodebek ditugaskan pada bagian uji coba trainset. Uji coba yang dilakukan antara lain pengukuran noise, pengukuran roda, AC dan coupler.
- Pada tanggal 25 Oktober 2021, mulai bertugas shift pagi diawali rapid test antigen (regular mingguan) dan dilanjutkan dengan briefing. Dalam briefing pagi dilakukan pembagian tugas oleh Manager dan Deputy Commissioning. Proses langsiran yang akan dilakukan karena hendak persiapan pengujian TS 28, untuk itu TS 2 dan TS 29 harus dikeluarkan. Ybs memastikan kembali bahwa TS 29 hanya maju (ke arah Ciracas) dan mundur (kembali ke Harjamukti), tanpa pindah jalur.
- Dari St. Harjamukti ke "Rumah Bagus" dengan menggunakan trainset, berhenti di dekat TS 29 untuk bertugas menjalankan TS 29.
- Ybs melakukan pemeriksaan tegangan dan setelah memastikan tegangan 0 baru kemudian melepas stop blok dilanjutkan memberitahukan ke Bagian HSE bahwa seluruh stop blok telah dilepas dan semua personel telah di atas trainset masing-masing.
- Ybs menunggu proses tegangan ON dan memberitahukan Bagian HSE bahwa track 1 tegangan telah ON.
- Setelah menunggu TS 2 jalan dan diperintahkan HSE untuk menjalankan trainset dan berhenti sebelum wesel St Ciracas. Setelah itu Deputy Commissioning menyampaikan untuk

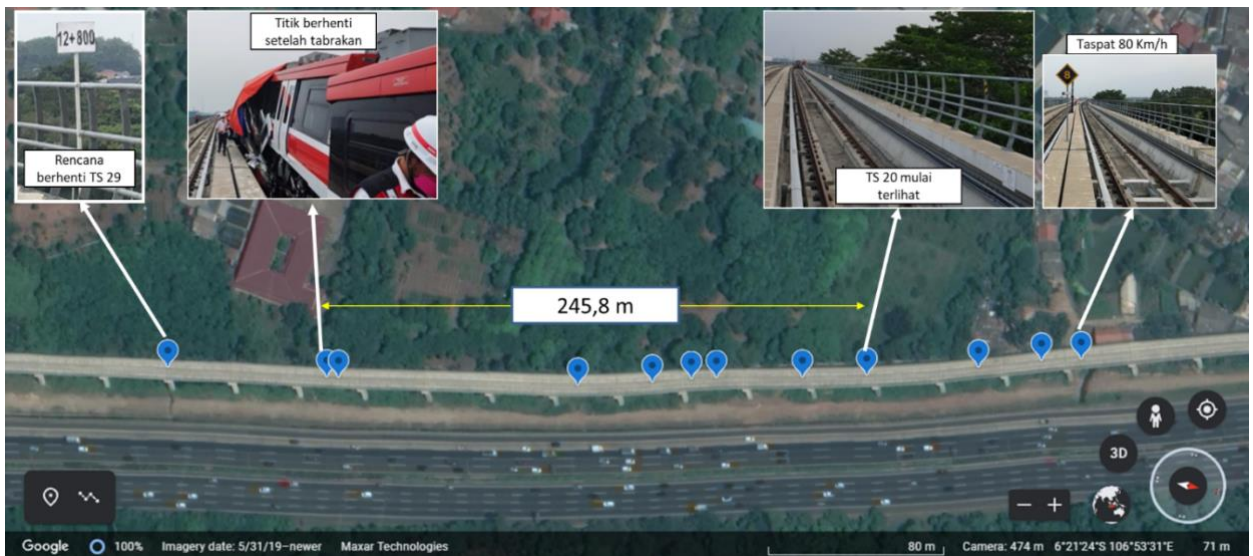
berjalan dengan 2 HSCB. Penggunaan 2 HSCB dipahami akan membatasi kecepatan *trainset* maksimal 40 Km/jam. Ditambahkan juga mungkin apabila menggunakan 4 TM di saat yang bersamaan tegangan tidak cukup.

- Ybs menyatakan bahwa sebelum wesel St. Ciracas, TS 29 berjalan pelan2.
- Kemudian berhenti pada 10G St. Ciracas dan mengaktifkan parking brake, masterkey off, dan pindah ke kabin arah St. Harjamukti (MC2).
- Berhenti menunggu di St. Ciracas hingga setelah Dzuhur.
- Di St. Ciracas, TS 20 berada di depan (arah St. Harjamukti).
- TS 20 diijinkan berangkat oleh Deputy Commissioning, setelah TS 20 berjalan agak jauh, TS 29 baru diijinkan berangkat.
- Permohonan ijin dilakukan melalui *Whatsapp group chat*.
- Sampai tikungan dekat "Rumah Bagus", karena menggunakan 2 HSCB kecepatan tidak bisa melebihi 40 Km/jam.
- Pada wawancara pertama, Ybs menyatakan tidak melakukan pengereman setelah melewati lengkung. Namun pada wawancara kedua yang dilakukan oleh Tim Investigasi, Ybs menyatakan bahwa: setelah ketemu lengkung kedua, Ybs mengurangi kecepatan.
- Setelah lengkung terakhir sebelum kejadian melihat rangkaian TS 20. Kecepatan kira-kira di bawah 37 Km/jam.
- Posisi masih brake dan merasakan pergerakan rangkaian bagian belakang di lengkung.
- Ybs menyatakan melihat TS 20 pada jarak kurang lebih 3 s/d 4 kereta dari kabin depan TS 29.
- Ybs menyatakan tidak merubah posisi *sun visor* dan tidak mengingat menggunakan *sun visor* dalam kondisi turun (tertutup) atau naik (terbuka).
- Ybs menjelaskan bahwa selalu menginjak deadman pedal terus menerus hingga terdengar *audible warning* (bunyi). Ditambahkan bahwa respon deadman button lebih cepat dari pada deadman pedal.

II. ANALISIS

II.1 PERJALANAN TS 29

Di jalur KA dari arah St. Ciracas menuju St. Harjamukti terdapat lengkung kanan dengan radius $R=1500\text{m}$ mulai dari Km 12+392 sampai Km 12+504. Berdasarkan hasil observasi tim investigasi KNKT di lapangan, terdapat pepohonan di sisi kanan lengkung tersebut. Karena adanya pepohonan di lengkung ini, akhiran TS 20 yang berada di Km 12+719,8 baru mulai terlihat dari jarak 245,8 meter, yaitu di Km 12+474.



Gambar 34. Jarak antara titik tabrakan dengan titik tampak TS 20

Untuk mengetahui jarak pengereman trainset LRT Jabodebek, Tim Investigasi mendapatkan data performa pengereman yang dikeluarkan oleh pabrik Knorr-Bremse yang digunakan pada trainset LRT Jabodebek. Berdasarkan data tersebut, ditetapkan nilai perlambatan untuk pengereman menggunakan *emergency brake* sebesar $-1,3 \text{ m/s}^2$ dan untuk *service brake* sebesar $-1,0 \text{ m/s}^2$. Tim investigasi juga memperhitungkan *perception – response time* untuk mempersepsikan objek, memahami implikasi dari objek, memutuskan reaksi yang harus dilakukan, dan memutuskan aksi apa yang akan dilakukan. Pada umumnya, waktu respon bagi manusia adalah 2 – 6 detik bergantung dari keahlian dan kebiasaan orang tersebut. Pada kedua skenario yang dihitung oleh Tim Investigasi, diambil *response time* sebesar 3 detik dengan asumsi bahwa teknisi yang menjalankan trainset LRT Jabodebek telah terlatih sebagai *train driver*.

Tabel 4. Skenario pengereman dengan memperhitungkan waktu respon manusia

V_0 (km/h)	a (m/s^2)	t_{brake} (s)	$t_{response}$ (s)	S_{stop} (m)	S_{stop} w/ $t_{response}$ (m)
20	-1,3	4,27	3	19,06	41,56
40	-1,3	8,54	3	61,91	101,1
50	-1,3	10,67	3	92,14	139,63
60	-1,3	12,81	3	128,41	184,24
70	-1,3	14,95	3	170,62	234,8
80	-1,3	17,1	3	218,78	291,3

Skenario 1. Emergency Brake aktif

Skenario 2. Pengereman dengan Service Brake

Pada tabel di atas, apabila TS29 berjalan dengan kecepatan 80 km/jam (sesuai taspat) dengan emergency brake diaktifkan, kereta akan berhenti pada jarak 291,3 m. Jika menggunakan service brake, kereta akan berhenti pada jarak 340,24 m.

Pengamatan pada kondisi speedometer analog di kabin MC1 TS29 (kabin belakang), jarum speedometer analog berhenti pada posisi angka 50 km/jam. Speedometer LRT menggunakan sistem digital dengan tampilan analog, jika *power supply cut-off* maka jarum speedometer akan berhenti pada posisi tampilan terakhir.

Dalam wawancara, Teknisi TS 29 menyampaikan bahwa perintah penggunaan 2 HSCB dipahami akan membatasi kecepatan *trainset* maksimal 40 Km/jam. Teknisi TS 29 meyakini bahwa pengoperasian TS 29 tidak bisa melebihi 40 Km/jam dan menyampaikan tidak melihat kecepatan sesaat sebagaimana ditunjukkan pada speedometer analog maupun petunjuk kecepatan pada HMI.

Perjalanan TS 29 dari Stasiun Ciracas menuju titik berhenti di Km 12+800 St. Harjamukti akan melewati point acuan "Rumah Bagus" yang berada di sisi kanan track LRT. "Rumah Bagus" merupakan salah satu rumah yang paling terlihat menonjol dan biasa dijadikan acuan bagi personel uji coba ketika sudah mendekati Stasiun Harjamukti. Pada pengamatan di lokasi kejadian, TS 20 berhenti di point acuan "Rumah Bagus" dan merupakan titik terjadinya kecelakaan tabrakan. TS 29 sedianya berhenti di Km 12+800, yang berada setelah "Rumah Bagus", dan karena adanya TS 20 yang telah berhenti di lokasi tersebut maka terjadi tabrakan.

Pandang Bebas

Pada hasil *download* rekaman video CCTV di kabin masinis MC2 TS 29 diketahui bahwa saat perjalanan dari St. Ciracas menuju St. Harjamukti, Teknisi TS 29 menurunkan *sun visor* hingga menutupi $\frac{3}{4}$ *windshield*/kaca depan kabin masinis (Gambar 35), untuk itu Tim Investigasi KNKT melakukan simulasi untuk mengetahui jarak pandang di kabin masinis, khususnya dalam kondisi *windshield* tertutup sebagian.

Dari hasil simulasi tersebut, Tim KNKT menemukan bahwa dengan posisi duduk normal dan *sun visor* diturunkan penuh hingga menutupi $\frac{3}{4}$ kaca depan, *trainset* yang berjarak 8 meter di depan hanya terlihat sekitar bagian bawahnya (bagian *coupler*) saja. Sesuai dengan Kepmenhub No. KP 765 Tahun 2017, *sun visor* dapat digunakan untuk melindungi peralatan di kabin masinis dari radiasi sinar matahari. Penggunaan *sun visor* dengan maksud

pengamanan peralatan di kabin tersebut sehingga *sun visor* dapat terpasang menutupi hampir keseluruhan kaca depan kabin. Penetapan penggunaan *sun visor* ini dengan mempertimbangkan bahwa pengoperasian trainset LRT Jabodebek adalah secara otomatis (*supervised mode*). Penggunaan *sun visor* tidak diatur untuk pengoperasian trainset dengan mode manual (train driver mengendalikan perjalanan *trainset*).



Gambar 35. Simulasi jarak pandang

Seating Position

Dalam UIC 651 disebutkan bahwa meja pelayanan masinis beserta peralatan operasional dan pengendali harus diatur sedemikian rupa agar masinis dapat mengoperasikan kereta dengan postur normal, tanpa mengganggu kebebasan pergerakannya. Pada simulasi yang telah dilakukan oleh KNKT di salah satu MC trainset LRT Jabodebek, seorang Investigator KNKT dengan tinggi badan 170cm mengalami kesulitan menjangkau master control dan tombol - tombol pada meja pengendali dengan posisi duduk normal. Peralatan pengendali tersebut baru dapat dijangkau apabila posisi duduk maju mendekati ujung kursi atau ± 20 cm dari sandaran kursi (Gambar 25).

Communication

Pengamatan terhadap hasil download rekaman CCTV kabin MC2 TS 29 menunjukkan bahwa Teknisi 29 melakukan aktivitas dengan menggunakan telepon seluler. Aktivitas dengan telepon seluler ini dimaksudkan untuk kepentingan pengaturan pengoperasian selama proses uji coba dan langsung. Sistem persinyalan pada LRT Jabodebek yang belum berfungsi tidak memungkinkan dilakukannya komunikasi dengan menggunakan radio.

PT. INKA yang bertanggung jawab pada kegiatan uji coba menggunakan aplikasi *Whatsapp* dengan membuat *group chat* bagi seluruh personel di bawah Site Commissioning Manager. Terdapat 14 Personel Teknisi, 1 Deputy Manager dan 1 Manager Commissioning yang

berkomunikasi aktif dalam group chat tiap harinya sesuai dengan jadwal penugasan. Pada tanggal 25 Oktober 2021, dengan pergerakan langsung 10 trainset di antara St. Harjamukti dan St. Ciracas, seluruh komunikasi untuk pengaturannya juga menggunakan aplikasi *Whatsapp*. Pemberian perintah keberangkatan, koordinasi dan komunikasi dilakukan dengan menggunakan aplikasi tersebut. Rekaman CCTV kabin MC2, Teknisi TS 29 terlihat beberapa kali melihat layar telepon seluler dan melakukan pembicaraan dengan telepon selulernya. Hal ini juga dilakukan di saat menjalankan *trainset*.

Persepsi akan masih jauhnya titik berhenti dan pemahaman Teknisi TS 29 bahwa kecepatan trainset tidak bisa melebihi 40 Km/jam mempengaruhi ekspektasi Teknisi terhadap jarak tempuh TS 29 untuk mencapai titik berhenti dan juga berdampak pada kesiapan Teknisi dalam melakukan pengereman. Selain itu, *distraction* akibat penggunaan telepon seluler sebagai alat komunikasi utama yang mengharuskan Teknisi TS 29 melepas pandangan dari jalur KA serta ditambah dengan terbatasnya pandang bebas karena tertutupnya *sun visor*, menyebabkan terjadinya *attention tunneling* karena konsentrasi Teknisi hanya terfokus pada layar telepon seluler sehingga kehilangan kewaspadaan pada kondisi di sekitarnya atau *loss of situational awareness*.

Situational awareness mempengaruhi kemampuan seseorang dalam menangkap hal-hal yang ada di sekitarnya dan kemudian memahami situasi tersebut untuk merencanakan tindakan apa yang harus dilakukan berikutnya. Oleh karena itu *situational awareness* sangat berkaitan erat terhadap proses *decision making*. Pada kejadian ini, ketidaksesuaian antara ekspektasi dengan kondisi yang ada dan terjadinya *attention tunneling* menyebabkan timbulnya degradasi terhadap *situational awareness*. Pada akhirnya mengurangi kemampuan Teknisi TS 29 dalam mengidentifikasi, memproses, dan memahami informasi yang ada di sekelilingnya, sehingga Teknisi TS 29 tidak memiliki cukup informasi untuk membuat keputusan yang diperlukan sesuai dengan situasi yang dihadapi.

Baik itu on site Commissioning Management yang membawahi langsung seluruh personel untuk *testing*, *maintenance* dan *troubleshooting* maupun kantor pusat PT. INKA dan PT. IIMS, tidak menyadari bahwa pemahaman Teknisi TS 29 akan penggunaan 2 HSCB terhadap pengendalian trainset dan dampak penggunaan telepon seluler untuk pengaturan serta tertutupnya *sun visor* akan berpengaruh terhadap keselamatan perjalanan *trainset*.

Competency

Pelatihan yang diberikan selama 5 hari sebelum teknisi LRT Jabodebek ditugaskan dimaksudkan agar teknisi dapat melakukan pengoperasian (sebagai driver), perawatan (*maintenance*) dan perbaikan (*troubleshooting*) selama fase testing di track LRT Jabodebek. Di dalam pelatihan selama 5 hari tersebut, diajarkan materi: *operation of components in the driver cabs*, *train operation*, *train troubleshooting*, *train evacuation procedures* dan *safety*. Kelima materi yang diajarkan selama 5 hari tersebut dilakukan ujian akhir secara teori dan praktek. Teknisi TS 29 diketahui mendapatkan nilai di atas 80 untuk keseluruhan materi dengan sehingga dinyatakan lulus pelatihan untuk menjadi Driver. Sertifikat kelulusan pelatihan yang dikeluarkan oleh PT. INKA tersebut yang didasarkan sebagai jaminan kompetensi teknisi di LRT Jabodebek. PT. INKA menyatakan bahwa pengalaman Teknisi TS 29 di LRT Sumsel juga menambah latar belakang pengalaman dalam perawatan dan pengendalian LRT meskipun disadari bahwa kedua jenis sarana yang digunakan di LRT Jabodebek maupun di LRT Sumsel adalah secara teknis dan pengendalian berbeda.

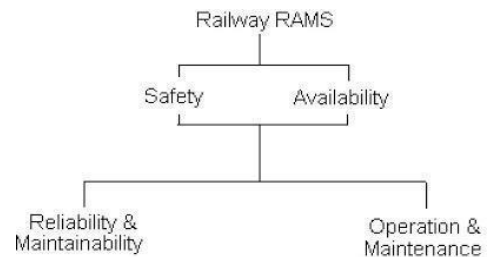
Pelatihan merupakan sebagai bagian dari pendidikan yang menyangkut proses belajar untuk memperoleh dan meningkatkan keterampilan. Pelatihan juga merupakan upaya pengembangan yang sistematis dari pengetahuan, keterampilan dan sikap yang diperlukan oleh personel untuk melakukan tugas atau pekerjaan yang diberikan. Untuk itu program pelatihan harus mempunyai kegiatan terarah dan mempunyai sasaran yang jelas, memuat hasil yang ingin dicapai dalam melaksanakan kegiatannya. Sebagai teknisi testing, yang juga melakukan pengoperasian trainset, perawatan dan perbaikan, membutuhkan kemampuan yang sangat luas karena mencakup pengoperasian dan pemahaman aspek teknis sarana. Sarana LRT Jabodebek yang memiliki kompleksitas karena penggunaan teknologi baru terkomputerisasi untuk pengendaliannya, membutuhkan pelatihan yang spesifik dan mendalam sehingga teknisi mampu untuk bekerja sesuai kinerja atau tingkat pencapaian hasil atas pelaksanaan tugas sesuai yang ditetapkan. Evaluasi terhadap kinerja personel dibutuhkan untuk mengetahui apakah pelatihan yang diberikan mampu untuk meningkatkan keahlian personel yang mengikuti pelatihan tersebut (*evaluated to ensure continuous improvement*).

Dalam investigasi, hasil download HMI dengan *timestamp* yang tidak sesuai dikarenakan proses shutdown HMI tidak sesuai dengan prosedur. Selain itu, pemahaman Teknisi akan dampak penggunaan 2 HSCB pada pengendalian trainset juga tidak sesuai dengan arti penggunaan 2 HSCB itu sendiri. Berdasarkan hal tersebut, dibutuhkan pengawasan pada pemahaman teknisi dalam pengendalian dan aspek teknis sarana serta evaluasi menyeluruh baik itu dari kecukupan materi pelatihan (*pre-deployment*) maupun evaluasi pekerjaan (*on duty*). Keseluruhan proses *training need analysis*, *monitoring* dan evaluasi merupakan bagian penting dari penjaminan kompetensi personel terutama di lingkungan pekerjaan dengan kompleksitas tinggi.

II.2 RAMS (*Reliability, Availability, Maintainability, and Safety*)

RAMS (*Reliability, Availability, Maintainability, and Safety*) merupakan karakteristik operasi jangka panjang suatu sistem yang dicapai melalui penerapan konsep, metode, peralatan dan teknik rekayasa yang telah ditentukan sepanjang siklus hidup sistem. Penerapan standar RAMS sesuai SNI IEC 62278:2002 dan EN 50126 diharapkan memberi jaminan bahwa keseluruhan system dapat merealisasikan target output yang telah ditentukan di awal. Pendekatan tingkat sistem yang ditetapkan dalam EN 50126 dimaksudkan untuk mempermudah penilaian interaksi RAMS pada seluruh proses di antara elemen-elemen perkeretaapian yang menerapkan teknologi baru dan kompleks. Standar ini ada pembagian yang jelas, siapa yang melakukan apa, mulai dari konsep, perawatan, dan lain sebagainya. Standar ini juga memberikan indikator baik secara kualitatif maupun kuantitatif yang mengukur ketersediaan dan keamanan sistem tersebut, termasuk dalam menghitung tingkat TKDN.

Di dalam RAMS terdapat elemen-elemen, yakni *reliability* (keandalan), *availability* (ketersediaan), *maintainability* (perawatan) dan *safety* (keselamatan) dalam sistem perkeretaapian. *Safety* dan *availability* saling berkaitan dalam arti bahwa kelemahan pada *safety* atau *availability* atau kesalahan penanganan perbedaan antara persyaratan *safety* dan *availability* dapat menghambat diperolehnya sistem yang handal. Keterkaitan elemen- elemen RAMS perkeretaapian, *reliability* (keandalan), *availability* (ketersediaan), *maintainability* (perawatan) dan *safety* (keselamatan).

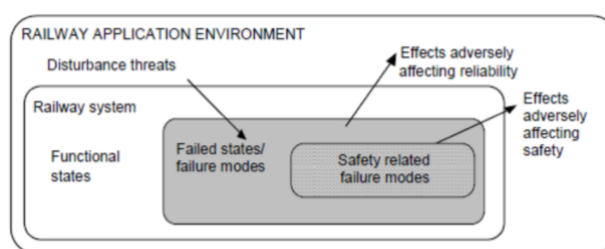


Gambar 36. RAMS

Pencapaian target *safety* dan *availability* dalam layanan hanya dapat dicapai dengan memenuhi semua persyaratan *reliability* (keandalan) dan *maintainability* (perawatan) dan dengan mengendalikan kegiatan perawatan dan operasional yang sedang berlangsung dalam jangka waktu yang panjang serta mengendalikan kondisi lingkungan dari suatu sistem.

Sebagai sistem yang kompleks dengan penerapan berbagai level teknologi, sistem perkeretaapian memiliki bermacam *hazard* yang dapat menyebabkan terjadinya *failure* dan dalam tingkat terburuk adalah kecelakaan. Sehingga penting untuk melakukan *risk assessment* yang tepat pada *railway hazard* dalam mendesain sistem perkeretaapian untuk menjamin keselamatan, kehandalan dan efektifitas (terutama dalam konteks pembiayaan). Meminimalisir atau eliminasi *possible threats* ke *acceptable range* merupakan salah satu kegiatan yang dilakukan di dalam proses *risk assessment*.

Kegagalan di dalam sistem, yang beroperasi dalam batasan aplikasi dan lingkungan tertentu, akan mempengaruhi perilaku sistem. Semua kegagalan akan berdampak buruk pada keandalan sistem harus dapat diprediksi, namun harus dipahami bahwa hanya beberapa kegagalan tertentu yang memiliki dampak buruk terhadap keselamatan. Lingkungan dapat juga mempengaruhi fungsi sistem dan pada akhirnya mempengaruhi keselamatan perkeretaapian.



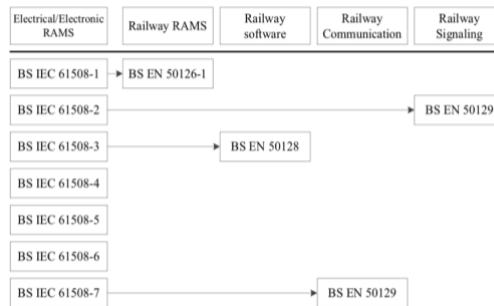
Gambar 37. Aplikasi lingkungan perkeretaapian

Manajemen RAMS

Penerapan dan pengawasan keselamatan dapat dicapai secara efektif dengan dilakukannya kontrol RAMS pada seluruh tahapan dari awal penentuan konsep hingga pengoperasian. Dasar pemikiran ini dimaksudkan bahwa kontrol terhadap seluruh sistem akan lebih baik dilakukan secara terus menerus di seluruh *lifecycle* daripada menambahkan sistem korektif di tahap akhir proses.

RAMS dikembangkan berdasarkan on BS IEC 61508 adalah standar representasi untuk manajemen keselamatan pada sistem elektrikal/elektronik. Tiga RAMS management

standards yang dikembangkan CENELEC sesuai BS IEC 61508. BS EN 50126-1 pertama kali dipublikasikan tahun 1999 sebagai basic principle dan penerapan RAMS management. BS EN 50128 adalah standar untuk software *RAMS management of communication, signalling and processing systems* pada perkeretaapian. Sedangkan BS EN 50129 adalah standar perangkat keras RAMS management pada railway signalling system. RAMS management standards telah mengalami berbagai pembaharuan mengikuti perkembangan teknologi dan kompleksitasnya.



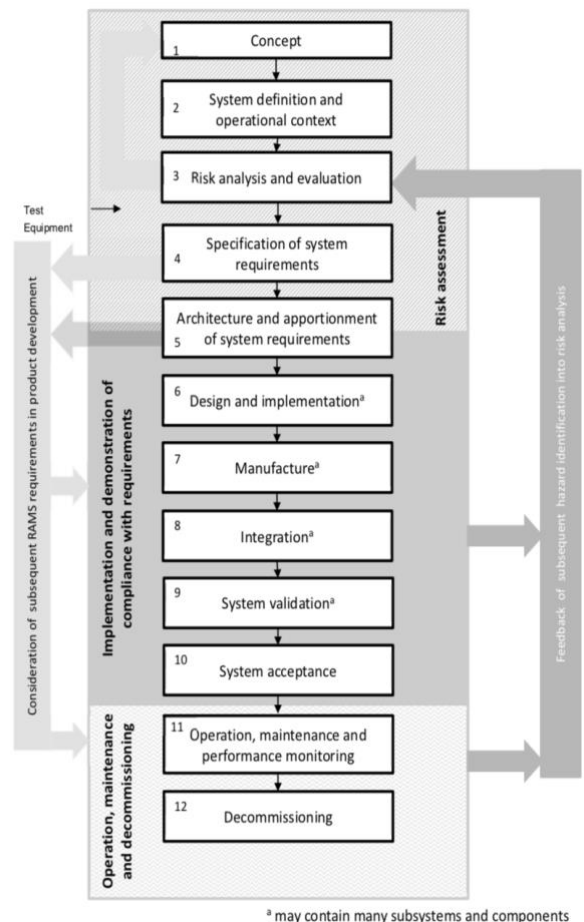
Gambar 38. Standar perkeretaapian

Standar EN 50126 menjelaskan proses manajemen berdasarkan *lifecycle* sistem dengan mengontrol RAMS khusus untuk aplikasi perkeretaapian.

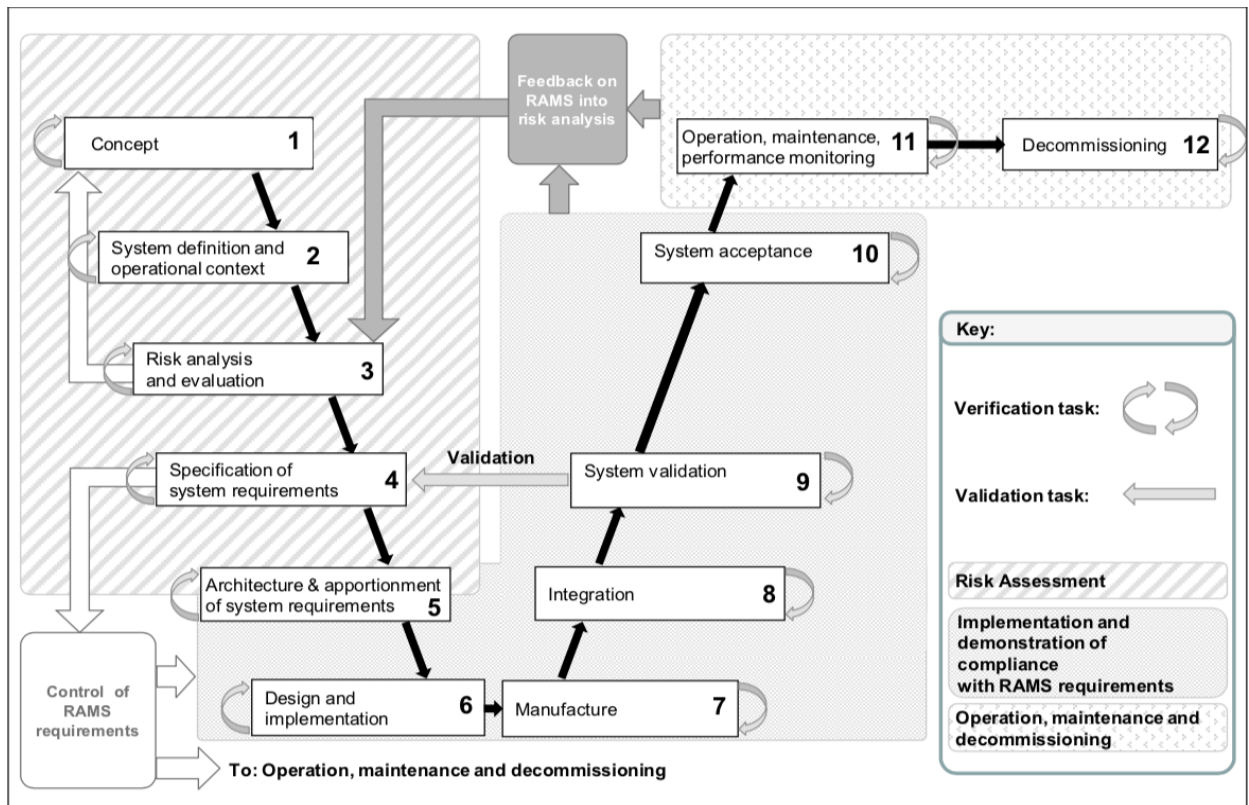
Siklus hidup (Life cycle)

Siklus hidup sistem adalah rangkaian tahapan, masing-masing berisi tugas, yang mencakup keseluruhan umur sistem mulai dari konsep awal sampai dengan *decommissioning* dan pembuangan. Siklus hidup menggambarkan pendekatan alur struktur perencanaan, pengelolaan, pengendalian dan monitoring pada keseluruhan tahapan sistem. Konsep siklus hidup sangat penting untuk keberhasilan penerapan standar ini.

Fokus proses RAMS adalah untuk mengurangi terjadinya failure dan/atau konsekuensi sepanjang life cycles dan pada akhirnya meminimalisir residual risk sebagai akibat dari error. Life cycle dilihat sebagai proses yang terjadi berurutan. Representasi ini menunjukkan setiap tahapan dan hubungan antara tahapan-tahapan ini. Representasi siklus hidup lainnya tersebar luas di dalam industri dan meliputi model "V".



Gambar 39. Proses RAMS



Gambar 40. RAMS Life Cycles

Representasi "V" dari siklus hidup yang dimaksud di atas, alur dari atas ke bawah (bagian sebelah kiri) umumnya disebut pengembangan dan merupakan proses pendetailan yang diakhiri dengan pembuatan komponen sistem. Alur dari bawah ke atas (bagian sebelah kanan) berhubungan dengan perakitan, pemasangan, penerimaan dan kemudian pengoperasian keseluruhan sistem.

Representasi ini efektif dalam menggambarkan kegiatan verifikasi dan validasi dalam siklus hidup. Tujuan verifikasi adalah untuk menunjukkan bahwa, untuk input tertentu, hasil dari setiap tahap memenuhi semua persyaratan di tahap tersebut. Proses verifikasi berlangsung di tiap tahap. Apabila telah melewati proses verifikasi maka dapat dilanjutkan ke tahap selanjutnya. Validasi dimaksudkan untuk mengetahui apakah sistem berperilaku sebagaimana desainnya. Tujuan validasi adalah untuk menunjukkan bahwa sistem yang sedang dikaji, pada setiap tahap perkembangannya dan setelah pemasangannya, dalam semua hal memenuhi persyaratan. Sedangkan *assessment* dimaksudkan untuk mengetahui bagaimana *safety management system* diterapkan.

Di dalam standar ini, kegiatan verifikasi dimasukkan di dalam setiap tahap siklus hidup. Meskipun standar ini berkaitan dengan jaminan sistem dalam konteks tugas RAMS, verifikasi dan validasi (V&V) merupakan bagian yang tidak terpisahkan dari keseluruhan demonstrasi jaminan mutu sistem. Akibatnya, verifikasi dan validasi (V&V) RAMS berkontribusi terhadap verifikasi dan validasi (V&V) jaminan mutu sistem secara keseluruhan.

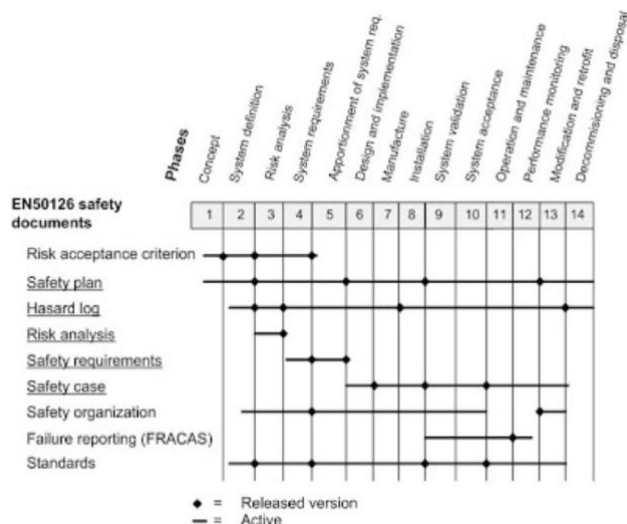
Phase	Phase	Clause	General tasks	RAM tasks	Safety tasks
1	Concept	7.2	Investigate scope, context and purpose of the system. Investigate the environment of the system.	Investigate the general RAM implications of the system. Investigate previous RAM requirements and past RAM performance of similar/related systems. Investigate current RAM policy and targets of the relevant railway duty holders. Define the scope of the RAM management requirements for subsequent system life cycle RAM tasks.	Investigate the general safety implications of the system. Investigate previous safety requirements and past safety performance of similar/related systems. Investigate current safety policy and targets of the relevant railway duty holders. Investigate safety legislation. Define the scope of the safety management requirements for subsequent system life cycle safety tasks.
2	System definition and operational context	7.3	Define the system and its mission profile. Define the system boundary. Define the scope of operational requirements. Establish the organisation.	Establish the RAM policy. Establish the RAM plan.	Establish the safety policy. Establish the safety plan.
3	Risk analysis and evaluation	7.4		Perform Risk Analysis. Update RAM Plan.	Perform risk analysis. Establish hazard log. Update Safety Plan. Establish Independent Safety Assessment Plan.
4	Specification of system requirements	7.5	Specify system requirements	Establish RAM requirements specification. Update the RAM plan. Establish validation plan for RAM requirements.	Establish safety requirements specification. Establish safety-related application conditions. Update hazard log. Update the safety plan. Establish validation plan for safety requirements.
5	Architecture and apportionment of system requirements	7.6	Define the system architecture. Identify the requirements for integration of pre-existing subsystems/components. Define acceptance criteria and processes for subsystems/components.	Allocate RAM requirements to subsystems/components. Update the RAM plan. Update validation plan for RAM requirements.	Perform hazard analysis. Allocate safety requirements to subsystems/components. Update safety-related application conditions. Update hazard log. Update the safety plan. Update validation plan for safety requirements.
6	Design and implementation	7.7	Design subsystems/components. Prepare operation and maintenance procedures. Define training measures for operation and maintenance. Define and establish manufacturing process for producing subsystems and components. Define and establish system integration process. Prepare installation and commissioning procedures.	Plan RAM tasks of further phases. Perform RAM analysis. Update the RAM plan. Update validation plan for RAM requirements.	Plan safety tasks of further phases. Perform hazard analysis. Update safety-related application conditions. Update hazard log. Update the safety plan. Update validation plan for safety requirements. Prepare safety case.

7	Manufacture	7.8	Implement and operate manufacturing process.	Establish RAM assurance arrangements. Update the RAM plan. Update validation plan for RAM requirements.	Establish safety assurance arrangements. Update safety-related application conditions. Update hazard log. Update the safety plan. Update validation plan for safety requirements. Update safety case.
8	Integration	7.9	Integrate subsystems and components. Demonstrate system functionality. Test and analyse system. Arrange system support arrangements.	Establish integration report for RAM requirements. Update the RAM plan. Update validation plan for RAM requirements.	Establish integration report for safety requirements. Update safety-related application conditions. Update hazard log. Update the safety plan. Update validation plan for safety requirements. Update safety case.
9	System Validation	7.10	Establish validation report. Establish process for the acquisition and evaluation of operational and maintenance data.	Establish RAM validation report.	Establish safety validation report. Update safety-related application conditions. Update hazard log. Update the safety plan. Update validation plan for safety requirements. Update safety case.
10	System acceptance	7.11	Record an acceptance record. Verify the acceptance record.	Assess RAM validation.	Establish Independent Safety Assessment Report. Assure endorsement of safety-related application conditions.
11	Operation, maintenance and performance monitoring	7.12	Provide all information necessary to formulate plans/procedures for operation and maintenance. Implement operation and maintenance procedures. Record changes in the system configuration.	Implement and maintain FRACAS process for the acquisition and recording of RAM performance data. Maintain FRACAS and periodically review FRACAS records. Establish records to trace the RAM tasks undertaken. Reports of RAM performance analysis and evaluation.	Implement and maintain process for the acquisition and recording of safety performance data. Perform an impact analysis in case of changes and reapply process if needed. Records to trace the safety tasks undertaken. Establish reports of safety performance analysis and evaluation.
12	Decommissioning	7.13	Establish decommissioning plan and related report.	Identify the RAM impact of decommissioning and disposal.	Identify the safety impact of decommissioning and disposal.

NOTE Change Control or Configuration Management activity applies to all project phases.

Hazard log

Hazard log adalah dokumen yang mencatat atau mencantumkan semua kegiatan pengelolaan keselamatan (*safety*), bahaya yang teridentifikasi, keputusan yang dibuat dan solusi yang digunakan. *Hazard log*, *risk analysis*, dan *safety requirement* adalah dokumen penting di dalam RAMS.



Gambar 41. Dokumen keselamatan sesuai EN 50126

Hazard log dapat ditulis di dalam berbagai cara. Sebagaimana dilakukannya risk analysis; frekuensi dan konsekuensi harus ditulis baik itu sebelum maupun setelah dilakukannya tindakan mitigasi. Di dalam risk analysis, tiap hazard dianalisis untuk memperkirakan risiko yang terkait dengannya. Sesuai EN 50126, ada tiga kemungkinan analisis dan estimasi risiko, yakni dengan mempergunakan:

- a. *Use of code of practice.*
- b. *Use of a reference system.*
- c. *Use of explicit risk estimation.*

Safety Integrity Level (SIL)

Safety Integrity Level/SIL salah satu dari sejumlah tingkat untuk menentukan persyaratan keselamatan dari fungsi keselamatan yang akan dimasukkan ke dalam sistem yang berkaitan dengan fungsi keselamatan. SIL dengan angka tertinggi memiliki tingkat keselamatan tertinggi.

Integritas keselamatan dapat dianggap sebagai gabungan dari elemen-elemen terukur (umumnya berkaitan dengan perangkat keras, yaitu kegagalan acak) dan elemen yang tidak dapat diukur (umumnya berkaitan dengan kegagalan sistematis di dalam perangkat lunak, spesifikasi, dokumen, proses, dll.). Fasilitas pengurangan risiko eksternal dan fasilitas pengurangan risiko sistem harus sesuai dengan pengurangan risiko yang diperlukan agar sistem memenuhi target tingkat keselamatannya.

SIL concept adalah salah satu cara untuk mengkategorisasi fungsi keselamatan ke dalam 5 tingkatan SIL0 - SIL4. Meskipun demikian, untuk kepentingan tertentu penentuan SIL dapat dilakukan secara kualitatif ketika mengkategorisasikan *safety functions*. Misalnya *safety critical functions* ditentukan SIL3/4 (contohnya emergency brake atau logic di dalam interlocking system) sedangkan *safety related functions* ditentukan SIL 1/2 (misalnya PIS).

Pada SIL tinggi, diperlukan tindakan yang lebih komprehensif untuk mencegah terjadinya *random*, *systematic errors* dan *common cause failures* pada seluruh tahapan di V-model. SIL levels dijelaskan di EN 50129 Annex A, "*Safety Integrity Level*" termasuk konsep Systematic and random failures dan Tolerable Hazard Rates (THR).

Hazard Log subsystem persinyalan

Dalam dokumen PHA Preliminary Hazard Log (RS-03-GN-SG-TR-0002090-03A) Rev.03 PT Len Industri (Persero) Tahun 2018, bertujuan untuk mengidentifikasi bahaya utama yang dapat diprediksi sesuai dengan sistem persinyalan yang digunakan dalam LRT Jabodebek.

Tujuan utama Analisis Bahaya Awal ini adalah:

- a. Melakukan identifikasi bahaya pada tingkat sistem untuk menentukan fungsi keamanan sistem dan mengevaluasinya dalam hal risiko dan tindakan mitigasi.
- b. Untuk menentukan kriteria penerimaan risiko yang akan dipertimbangkan untuk proyek tersebut.
- c. Menentukan tingkat risiko awal serta tingkat risiko target.
- d. Untuk menetapkan titik awal untuk studi keselamatan rinci dan untuk menjamin kelengkapan, konsistensi dan ketertelusuran cakupan manajemen risiko selama siklus hidup subsistem.

Analisis Bahaya Awal dilakukan selama fase "Konsep & Definisi" dari subsistem persinyalan (menurut EN 50126).

Ruang lingkup dokumen adalah analisis untuk sistem persinyalan yang digunakan untuk LRT Jakarta fase 1 Jalur 1, Jalur 2 dan Jalur 3, jalur uji, dan depo seperti yang dijelaskan dalam persyaratan agar dapat beroperasi di DTO (*Driverless Train Operation*) GoA3.

Analisis PHA berusaha mengidentifikasi semua kemungkinan bahaya dan kejadian berbahaya pada tingkat sistem pada tahap pertama pekerjaan yang terjadi secara tunggal atau bersama-sama dengan kejadian lain baik di dalam maupun di luar batas sistem, dan berpotensi menyebabkan terjadinya kegagalan.

Component Safety Functions

Berikut ini adalah SIL target pada subsystem persinyalan di LRT Jabodebek. SIL keseluruhan dari suatu sistem ditetapkan sesuai dengan SIL yang ditetapkan untuk fungsi yang dijalankan oleh masing-masing bagian dan akan digunakan sebagai langkah mitigasi risiko yang ditetapkan di awal.

Fungsi keselamatan yang dilakukan oleh masing-masing komponen ini dan SIL yang ditetapkan untuk fungsi tercantum pada tabel berikut:

Tabel 5. Components Safety Function dan SIL Target

Existing Components	Main Function	SIL Target ³	Document Justification for Products
Controlguide (R9K)	Automatic Train Supervision	SIL2	Safety Case + ISA Report
Trainguard MT	Communications-based Train Control	SIL4	Safety Case + ISA Report
WESTRACE	Control the state of the trackside devices for establishing routes.	SIL4	Safety Case + ISA report
ECDT	IF between WT and point machines	SIL4	Safety Case + ISA Report
BSG9 Point Machine	Equipment to control track switch equipment.	SIL4	Safety Certificate ⁴
Signals LD160PE	Provide the driver with information on the established route.	SIL4	Safety Case + ISA Report
Axle Counters	Train detection in a specific track section.	SIL4	Safety Case + ISA report
Eurobalises (S21)	Transmit track information	SIL4	Safety Case + ISA report

Dari Component Safety Function tersebut, tahapan selanjutnya akan dilakukan preliminary hazard analysis pada tingkat System Safety Function dan SIL Target sebagai berikut:

Tabel 6. Preliminary Hazard Analysis System Safety Function and Sil Target

Top Hazard	ID	Safety Function	Description	Target SIL
Incorrect train location	SSF-1	Train Location Supervision	System shall be able to correctly determine train location and protect the system according location uncertainty.	SIL4
Incorrect speed supervision	SSF-2	Train Speed Supervision	System shall be able to correctly determine train speed and react in case of unavailability of train speed determination.	SIL4
Incorrect train movement protection	SSF-3	Train Movement Protection	System shall be able to ensure that trains does not exceeds movement authority limits given a train location, train speed, a set of track conditions and a route path.	SIL4
Incorrect route supervision	SSF-4	Route Supervision	System shall be able to set, lock and release a safe route start and end that determine the physical path over which a train can be moved including flank protection.	SIL4
Incorrect determination of train integrity	SSF-5	Train Integrity Supervision	System shall be able to correctly supervise train integrity of the train and react over a integrity failure	SIL4
Incorrect area protection	SSF-6	Area protection due to operational or maintenance issues	System shall be able to ensure areas to avoid train movement due to operational or maintenance issues.	SIL4
Incorrect train door operation	SSF-7	Train doors management	System shall be able to ensure that train doors are only opened in platform at the correct train side and under safe conditions (e.g. standstill speed, platform screen doors aligned).	SIL4
Incorrect platform screen doors operation	SSF-8	Platform screen doors management	System shall be able to control platform screen doors, to detect opening/closing status and to react in case of uncontrolled opening.	SIL2
Incorrect non-functional design of the signalling equipment	SSF-9	Operational and maintenance personal protection	Signalling system shall be designed to avoid personal risks related to EMC, burns and hurts risks to the operational and maintenance staff.	SIL2

Dengan demikian, *Safety Function* dan SIL Target terkait pada tingkat sistem telah diidentifikasi berdasarkan *consequences* yang diprediksi dapat terjadi pada sistem persinyalan kereta api; dan dikumpulkan dalam *hazard log* beserta mitigasi yang harus dilakukan. *Hazard Log* akan terus dievaluasi dan diupdate sepanjang *life cycle*. Analisis yang dilakukan sepanjang *life cycle*, dimaksud untuk penentuan fungsi keselamatan subsystem dan Target SIL, dan terus digunakan untuk setiap analisis hazard subsystem. Keseluruhan *hazard* yang telah teridentifikasi harus mampu direspons oleh fungsi keselamatan untuk memastikan pemilihan komponen yang sesuai.

III. KESIMPULAN

Berdasarkan informasi faktual dan analisis dalam proses investigasi Tabrakan Rangkaian Kereta Uji Coba TS 29 dan TS 20 LRT Jabodebek di Km 12+720 antara St. Ciracas – St. Harjamukti, Jawa Barat tanggal kejadian 25 Oktober 2021, kesimpulan dari Komite Nasional Keselamatan Transportasi terkait dengan kecelakaan tersebut adalah sebagai berikut:

III.1 TEMUAN ¹

1. Jarum speedometer analog pada MC1 TS 29 berhenti pada posisi 50 Km/jam.
2. SOP langsir di mainline sesuai Taspat dan diturunkan menjadi 3 Km/jam ketika melihat kereta di depannya.
3. SOP langsir belum mengatur metode komunikasi, pada kejadian menggunakan aplikasi *Whatsapp* dari telepon seluler.
4. Teknisi TS 29 mengalami *distraction* akibat penggunaan ponsel.
5. Teknisi TS 29 tidak fokus melihat kecepatan dan posisi kereta.
6. Kompetensi Teknisi belum memenuhi persyaratan masinis LRT Jabodebek.
7. *Sun visor* tertutup membatasi pandangan bebas Teknisi.
8. Titik berhenti langsir tidak jelas.
9. Pada lengkung sebelum lokasi kecelakaan pandangan terhalang adanya pepohonan.
10. Ergonomi kabin tidak optimal (desain kursi berputar, *layout dashboard* tidak terjangkau).
11. Terdapat *plat cover* pada tombol *emergency brake*.
12. Hasil download kedua HMI TS 29 tidak sesuai dengan tanggal dan waktu kejadian.
13. SDiag sebagai *on board diagnostic* tidak *me-record* sebagaimana mestinya dan masih terdapat *alert* atau *failure events* yang terekam pada sistem HMI.
14. KP 765 Tahun 2017 sebagai dasar LRT GoA 3 berisi *spektek overall system* tidak mencakup detail *subsystem* dan komponen.
15. Sesuai *common practice* penerapan GoA 3 harus mengacu pada RAMS dan dilakukan evaluasi resiko sesuai dengan *target safety integrity level* yang ditetapkan di awal.
16. Penentuan *compliance* tidak dilakukan di seluruh proses *lifecycle* sesuai dengan RAMS, belum dilakukan analisis risiko dan evaluasi RAMS sesuai yang dipersyaratkan KP 765 Tahun 2017.

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.

17. Proses sertifikasi hanya dilakukan di tahap akhir sebelum *test and commissioning*, pada kereta GoA 3 *failure test* terhadap *system* dan *subsystem* sebaiknya dilakukan dengan skenario *predicted failures mode and effect analysis* baik *on paper* maupun secara *real*.
18. *Compatibility* dan *interchangeability* komponen *control unit* dengan produk serupa atau sejenis untuk menjamin ketersediaan komponen dan *parts*. Hal ini dikarenakan terlalu banyak jenis pabrikan kereta serta sistem maupun komponen, keadaan ini akan sangat menyulitkan penyediaan *part*, *training*, peralatan *workshop* dll untuk pengoperasian, sehingga *reliability* dan *safety* kereta akan sulit dicapai
19. Document ICD yang berubah beberapa kali, hal ini seharusnya sudah didefinisikan sejak *pradesign*, konsekuensi atas hal ini akan mempengaruhi fungsi kerja integrasi dari masing-masing *subsystem* maupun vendor dalam pengoperasian GoA 3.

III.2 FAKTOR – FAKTOR YANG BERKONTRIBUSI ²

1. Berdasarkan temuan-temuan dan hasil analisis, kecelakaan disebabkan Teknisi TS 29 tidak fokus dalam menjalankan kereta dan terjadi *distraction* yang disebabkan penggunaan telepon seluler.
2. Sesaat sebelum kereta berjalan menuju arah Stasiun Harjamukti, Teknisi TS 29 menurunkan *sun visor* mengakibatkan terhalangnya pandangan ke depan.
3. Selanjutnya kereta berjalan dengan kondisi *sun visor* sebagian tertutup sehingga tidak melihat TS 20 yang berhenti dan selanjutnya terjadi tabrakan dengan kecepatan lebih dari 50 Km/ jam.

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

IV.1 TERHADAP DRAFT LAPORAN AKHIR

Hingga disusunnya Laporan Akhir, Komite Nasional Keselamatan Transportasi telah mendapatkan pemberitahuan akan *safety actions* yang dilakukan oleh penerima rekomendasi sebagai berikut:

IV.1.1 Direktorat Jenderal Perkeretaapian

1. Direktorat Jenderal Perkeretaapian telah menyampaikan bahwa pengaturan faktor ergonomi sarana perkeretaapian telah diatur dalam Peraturan Menteri Perhubungan Nomor PM 175 Tahun 2015.
2. Penyediaan Depo sebagai fasilitas perawatan baik saat uji coba ataupun saat operasional telah dilakukan sesuai dengan jadwal pekerjaan dan akan diselesaikan sebelum dioperasikannya LRT Jabodebek.
3. Direktorat Jenderal Perkeretaapian juga telah melakukan review prosedur kegawatdaruratan untuk evakuasi penumpang serta agar dilakukan *tabletop exercise*.
4. Selain itu, Direktorat Jenderal Perkeretaapian juga melakukan uji fungsional jalur *longspan* bersama KKJTJ, memperlengkapi peralatan *Seismic Detector Alarm System* (SDAS) dan memperlengkapi dokumen rencana mitigasi kondisi *blankout* listrik sebagai sumber daya LRT Jabodebek.

IV.1.2 PT. Kereta Api Indonesia (Persero)

1. PT. Kereta Api Indonesia (Persero) telah menyusun kriteria dan mempersiapkan personel sebagai train driver untuk operasional maupun testing LRT Jabodebek.
2. PT. Kereta Api Indonesia (Persero) juga menyusun materi pelatihan untuk menjamin kompetensi personel train driver LRT Jabodebek.
3. Pembaharuan prosedur langsir dan pengujian kereta dengan memperhitungkan ketika terjadi suatu kegagalan dan telah diperjelas mekanisme alur koordinasi pelaksanaannya.
4. PT. Kereta Api Indonesia (Persero) telah melakukan *review* prosedur kegawatdaruratan untuk evakuasi penumpang serta agar dilakukan *tabletop exercise*.

IV.1.3 PT. Adhi Karya (Persero)

1. PT. Adhi Karya (Persero) telah melakukan dokumentasi hasil pengujian baik itu subsystem maupun system secara keseluruhan.
2. PT. Adhi Karya (Persero) telah melakukan *review* prosedur kegawatdaruratan untuk evakuasi penumpang serta agar dilakukan *tabletop exercise*.

IV.1.4 PT. INKA (Persero)

1. PT. INKA (Persero) bersama dengan PT. KAI telah menyusun kriteria dan materi pelatihan untuk menjamin kompetensi personel train driver LRT Jabodebek.
2. Pembaharuan prosedur langsir dan pengujian kereta dengan memperhitungkan ketika terjadi suatu kegagalan dan telah diperjelas mekanisme alur koordinasi pelaksanaannya.
3. PT. INKA (Persero) bersama PT. KAI dan PT Adhi Karya telah melakukan *review* prosedur kegawatdaruratan untuk evakuasi penumpang serta agar dilakukan *tabletop exercise*.
4. PT. INKA (Persero) juga telah melakukan melakukan pengunduhan secara berkala terhadap sistem perekaman di dalam TCMS (SDiag sebagai *on board diagnostic* dan HMI) dan di-review untuk mengetahui semua fungsi kereta, terutama sistem software bekerja sesuai dengan standar yang diinginkan.

IV.2 TERHADAP REKOMENDASI SEGERA

Berdasarkan surat Ketua Komite Nasional Keselamatan Transportasi No. IK.001/3/11 KNKT 2021 perihal Rekomendasi Segera, KNKT telah mengirimkan rekomendasi segera terhadap investigasi Tabrakan Rangkaian Kereta Uji Coba TS 29 dan TS 20 LRT Jabodebek di Km 12+720 antara St. Ciracas – St. Harjamukti, Jawa Barat tanggal kejadian 25 Oktober 2021. KNKT meminta pihak regulator dan operator serta manufaktur sebagai pihak penerima rekomendasi untuk menjalankan tindakan keselamatan yang akan dan/atau telah dilakukan untuk mencegah terulangnya kecelakaan yang serupa.

1. Direktorat Jenderal Perkeretaapian, PT. Kereta Api Indonesia (Persero) dan PT. INKA (Persero) menyampaikan *safety actions* yang dilakukan sebagai tindak lanjut rekomendasi keselamatan yang telah diberikan KNKT dalam rapat pembahasan tanggal 14 Desember 2021.
2. *Safety actions* mencakup *testing procedures*, aspek teknis sarana, ergonomi, prosedur komunikasi, pembinaan SDM dan monitoring pergerakan sarana selama testing.
3. Terhadap perkembangan teknologi LRT, direncanakan dilakukan pembaharuan regulasi terkait pengujian sarana perkeretaapian yang saat ini telah dilaksanakan dalam manufaktur pembuatan LRT Jabodebek.

V. REKOMENDASI

Komite Nasional Keselamatan Transportasi telah menerima tindakan keselamatan (*safety actions*) Direktorat Jenderal Perkeretaapian, PT. Kereta Api Indonesia (Persero), PT. Adhi Karya (Persero) dan PT. INKA (Persero), dan KNKT menyadari bahwa *safety actions* yang dilakukan semata-mata dimaksudkan untuk peningkatan keselamatan. Meskipun demikian, KNKT masih mengidentifikasi *safety issues* dari kejadian kecelakaan dan untuk itu KNKT menyusun rekomendasi keselamatan agar kecelakaan serupa tidak terjadi di kemudian hari ditujukan kepada:

V.1 DIREKTORAT JENDERAL PERKERETAAPIAN

1. KP 765 Tahun 2017 mencakup keseluruhan sistem (*overall system*), agar dapat dibuat peraturan turunan yang lebih detail untuk subsystem. Hal ini dapat menjadi dasar penentuan kesesuaian standar (*compliance*) sesuai dengan norma penentuan keselamatan *subsystem*.
2. Menerapkan proses sertifikasi melalui tahap verifikasi dan validasi sesuai dengan *life cycle* yang terdapat dalam *RAMS procedures* sesuai analisis *safety critical items* yang ditetapkan di awal desain.
3. Hasil evaluasi RAMS untuk subsystem maupun integrasi sistemnya harus terdokumentasi dengan baik mengacu pada RAM Plan dan Safety Plan.

V.2 PT. KERETA API INDONESIA (PERSERO)

1. Alur *feedback* hasil pengujian baik itu *subsystem* maupun *system* secara keseluruhan agar didokumentasikan secara baik agar terjamin *traceability*-nya, sehingga dapat dijadikan referensi untuk evaluasi dalam proses *certification*.
2. Menerapkan proses sertifikasi melalui tahap verifikasi dan validasi sesuai dengan *life cycle* yang terdapat dalam *RAMS procedures* sesuai analisis *safety critical items* yang ditetapkan di awal desain.
3. Hasil evaluasi RAMS untuk *subsystem* maupun *system* integrasinya harus terdokumentasi dengan baik mengacu pada *RAM Plan* dan *Safety Plan*.
4. Melakukan *subsystem test* serta *overall system test* menggunakan *software* maupun secara *real scenario* sesuai *predicted failure mode* dan untuk mengetahui *effect* serta *response to failure*. Hal ini untuk menjamin kesesuaian *safety integrity level* sesuai analisis *critical items* pada *system* dan *subsystem*.

5. Memberikan pelatihan pemahaman digitalisasi pada seluruh personel atau SDM yang berkaitan dengan pengoperasian, perawatan dan penjaminan kualitas mengingat kompleksitas pengoperasian GoA 3.

V.3 PT. INKA (PERSERO)

1. Hasil evaluasi RAMS untuk *subsystem* maupun *system* integrasinya harus terdokumentasi dengan baik mengacu pada *RAM Plan* dan *Safety Plan*.
2. Melakukan *subsystem test* serta *overall system test* menggunakan *software* maupun secara *real scenario* sesuai *predicted failure mode* dan untuk mengetahui *effect* serta *response to failure*. Hal ini untuk menjamin kesesuaian *safety integrity level* sesuai analisis *critical items* pada *system* dan *subsystem*.
3. Memberikan pelatihan pemahaman digitalisasi pada seluruh personel atau SDM yang berkaitan dengan pengoperasian, perawatan dan penjaminan kualitas mengingat kompleksitas pengoperasian GoA 3.

DAFTAR REFERENSI

- Chanwoo Park, Donbum Choi, Sanglog Kwak. *Layout of Drivers' Cab in Asian Rail Vehicle*, 2015.
- Chris Bearman, Anjum Nawweed, Jillian Dorrian, Janette Rose, Drew Dawson, *Evaluation of Rail Technology, A Practical Human Factors Guide*, Ashgate, 2013.
- Christopher D. Wickens, *Attentional Tunneling and Task Management*, 2005.
- EN 50128 *Railway applications - Communication, signalling and processing systems - Software for railway control and protection systems*.
- EN 50126 *Railway Applications - The Specification and Demonstration of Reliability, Availability, Maintainability and Safety (RAMS) - Part 1: Generic RAMS Process*.
- EN 50129 *Railway applications - Communication, signalling and processing systems - Safety related electronic systems for signaling*.
- EN 62267 *Railway applications - Automated urban guided transport (AUGT) - Safety Requirement*.
- EN 62290 *Railway applications – Urban guided transport management and command/control systems*.
- IEC 61508 *Functional Safety of Electrical/Electronic/Programmable Electronic Safety-related Systems (E/E/PE, or E/E/PES)*.
- Jong-Gyu Hwang, *Review of Safety Activity Process for Safety Enhancement of Railway Signaling System*, 2011.
- Keputusan Menteri Perhubungan Nomor KP 567 Tahun 2016 tentang Penetapan Kriteria Desain dan Spektek Pembangunan Kereta LRT Terintegrasi di Wilayah Jabodebek.
- Keputusan Menteri Perhubungan Nomor KP 765 Tahun 2017 tentang Perubahan atas Keputusan Menteri Perhubungan Nomor KP 567 Tahun 2016 tentang Penetapan Kriteria Desain dan Spektek Pembangunan Kereta LRT Terintegrasi di Wilayah Jabodebek.
- Peter Wigger, *Independent Safety Assessment - Benefit and Methodology*, 2012.
- S Diag Service and Functionalities*, CAF Power & Automation v01.00, 2018.
- Spesifikasi Teknik Kereta Api Ringan (Light Rail Transit) di Wilayah Jabodebek*, PT. INKA (Persero) Tahun 2018.
- RSSB, *Application Note 4 Independent Safety Assessment*, 2012.
- SNI IEC 62278:2002 Aplikasi Perkeretaapian – Spesifikasi dan Demonstrasi RAMS (*reliability, availability, maintainability and safety*).
- UIC Code 651, *Layout of Driver's cabs in locomotives, railcars, multiple unit trains and driving trailers*.

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