

TUGAS AKHIR - TI234835

**DESAIN KEANDALAN PADA *VEHICLE MAINTENANCE*
BRIDGE INSPECTION LRT JABODEBEK**

YOGA FREDI ARISKO
NRP 02411940000135

Dosen Pembimbing
Nani Kurniati, S.T., M.T., Ph.D.
NIP 197504081998022001

DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM DAN INDUSTRI
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2024



TUGAS AKHIR - TI234835

**DESAIN KEANDALAN PADA *VEHICLE MAINTENANCE*
BRIDGE INSPECTION LRT JABODEBEK**

YOGA FREDI ARISKO
NRP 02411940000135

Dosen Pembimbing
Nani Kurniati, S.T., M.T., Ph.D.
NIP 197504081998022001

Departemen Teknik Sistem dan Industri
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2024



FINAL PROJECT - TI234835

**RELIABILITY DESIGN ON VEHICLE MAINTENANCE
BRIDGE INSPECTION LRT JABODEBEK**

YOGA FREDI ARISKO
NRP 02411940000135

Advisor
Nani Kurniati, S.T., M.T., Ph.D.
NIP 197504081998022001

Department of Industrial and System Engineering
Faculty Of Industrial Technology and Systems Engineering
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2024

LEMBAR PENGESAHAN

DESAIN KEANDALAN PADA *VEHICLE MAINTENANCE BRIDGE INSPECTION* LRT JABODEBEK

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat
memperoleh gelar Sarjana Teknik pada
Program Studi S-1 Teknik Sistem dan Industri
Departemen Teknik Sistem dan Industri
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh: **YOGA FREDI ARISKO**
NRP. 02411940000135

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

1. Nani Kurniati, S.T., M.T., Ph.D.
2. Prof. Ir. Moses Laksono Singgih, M.Sc., M.Reg.Sc., Ph.D., IPU.
3. Niniet Indah Arvitrida, S.T., M.T., Ph.D., IPU.

Pembimbing

Penguji

Penguji



PERNYATAAN ORISINALITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini:

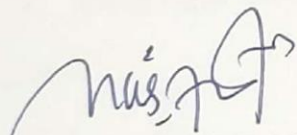
Nama mahasiswa / NRP : Yoga Fredi Arisko / 02411940000135
Program studi : Teknik Sistem dan Industri
Dosen Pembimbing / NIP : Nani Kurniati, S.T., M.T., Ph.D. / 197504081998022001

dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir dengan judul “Desain Keandalan Pada *Vehicle Maintenance Bridge Inspection* LRT Jabodebek” adalah hasil karya sendiri, bersifat orisinal, dan ditulis dengan mengikuti kaidah penulisan ilmiah.

Bilamana di kemudian hari ditemukan ketidaksesuaian dengan pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan ketentuan yang berlaku di Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

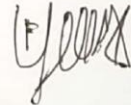
Surabaya, Agustus 2024

Mengetahui
Dosen Pembimbing



Nani Kurniati, S.T., M.T., Ph.D.
NIP 197504081998022001

Mahasiswa



Yoga Fredi Arisko
NRP 02411940000135

ABSTRAK

DESAIN KEANDALAN PADA VEHICLE MAINTENANCE BRIDGE INSPECTION LRT JABODEBEK

Nama Mahasiswa / NRP : Yoga Fredi Arisko / 02411940000135
Departemen : Teknik Sistem dan Industri FTIRS - ITS
Dosen Pembimbing : Nani Kurniati, S.T., M.T., Ph.D.

Abstrak

Vehicle Maintenance Bridge Inspection (VMBI) yang dikembangkan oleh PT INKA dirancang untuk mendukung operasional LRT Jabodebek, khususnya untuk pemeliharaan struktur bawah lintasan (*shortspan*). Konsep *reliability design* menjadi landasan utama dalam penelitian ini, dan keputusan untuk memfokuskan pada aspek keandalan menjadi krusial mengingat VMBI dalam tahap pengembangan. Pertama, *functional breakdown* digunakan untuk mengidentifikasi sistem, subsistem, dan komponen yang membentuk VMBI. Selanjutnya, *reliability block diagram* (RBD) disusun untuk menggambarkan konfigurasi antar blok dalam VMBI, juga mengukur keandalan VMBI dan masing-masing sistem penyusunnya. Selanjutnya, *failure mode and effect analysis* (FMEA) digunakan untuk mengidentifikasi mode kegagalan, dan efeknya pada setiap komponen dari sistem *bogie*. Dari analisis FMEA dan *failure rate*, dilakukan penyusunan strategi perawatan untuk setiap komponen dari sistem *bogie*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa VMBI terdiri dari sebelas sistem saling berkaitan. *Reliability* setiap sistem sangat tinggi dalam operasional selama 1 jam, dengan konfigurasi RBD paralel pada beberapa sistem yang memastikan adanya redundansi. *Reliability* VMBI mencapai 0,99930936 dengan *failure rate* sebesar 6,91E-04. Prediksi keandalan menunjukkan penurunan seiring bertambahnya waktu operasional, dengan *reliability* mencapai 0,806 setelah 1 tahun atau 312 jam. Analisis FMEA mengidentifikasi potensi kegagalan pada beberapa komponen sistem *bogie*. Strategi perawatan yang diusulkan untuk sistem *bogie* mencakup pemeliharaan preventif dan korektif untuk meminimalkan risiko kegagalan dan meningkatkan keselamatan operasional VMBI. Penelitian ini diharapkan dapat berkontribusi pada pengembangan VMBI, memastikan kendaraan dapat beroperasi secara efektif, dan memberikan manfaat optimal untuk keberlanjutan infrastruktur LRT Jabodebek.

Kata kunci: Keandalan, *functional breakdown*, FMEA, RBD, *vehicle maintenance*

ABSTRACT

RELIABILITY DESIGN ON VEHICLE MAINTENANCE BRIDGE INSPECTION LRT JABODEBEK

Student Name / NRP : Yoga Fredi Arisko / 02411940000135
Department : Teknik Sistem dan Industri FTIRS - ITS
Advisor : Nani Kurniati, S.T., M.T., Ph.D.

Abstract

The Vehicle Maintenance Bridge Inspection (VMBI) developed by PT INKA is designed to support Jabodebek LRT operations, especially for maintenance of the shortspan lower structure. The concept of reliability design is the main foundation in this research, and the decision to focus on reliability aspects is crucial, given that VMBI is in the development stage. First, a functional breakdown was used to identify the systems, subsystems and components that make up the VMBI. Next, a reliability block diagram (RBD) was developed to describe the configuration between blocks in the VMBI, as well as to measure the reliability of the VMBI and each of its constituent systems. Furthermore, failure mode and effect analysis (FMEA) was used to identify failure modes, and their effects on each component of the bogie system. From the FMEA and failure rate analysis, maintenance strategies were developed for each component of the bogie system. The results show that VMBI consists of eleven interrelated systems. Reliability of each system is very high in a 1-hour operation, with parallel RBD configurations on some systems ensuring redundancy. Reliability of VMBI reached 0.99930936 with a failure rate of $6.91E-04$. Reliability predictions show a decrease as operational time increases, with reliability reaching 0.806 after 1 year or 312 hours. FMEA analysis identified potential failures in several bogie system components. The proposed maintenance strategy for the bogie system includes preventive and corrective maintenance to minimize the risk of failure and improve the operational safety of the VMBI. This research is expected to contribute to the development of VMBI, ensure the vehicle can operate effectively, and provide optimal benefits for the sustainability of Jabodebek LRT infrastructure.

Keywords: Reliability, functional breakdown, FMEA, RBD, vehicle maintenance

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan petunjuk-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian Tugas Akhir yang berjudul “Desain Keandalan Pada *Vehicle Maintenance Bridge Inspection* LRT Jabodebek” dengan baik. Penelitian Tugas Akhir ini disusun sebagai salah satu syarat menyelesaikan studi Strata 1 Departemen Teknik Sistem dan Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Selama proses penelitian Tugas Akhir, penulis banyak mendapatkan bimbingan, bantuan, dukungan, dan motivasi oleh beberapa pihak. Oleh karena itu, izinkan penulis untuk mengucapkan terima kasih kepada:

1. Orang tua dan keluarga penulis yang senantiasa memberikan dukungan moril dan materil.
2. Nani Kurniati, S.T., M.T., Ph.D., selaku dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan dan arahan dalam penyusunan penelitian Tugas Akhir.
3. Bapak Denna, selaku pembimbing eksternal serta segenap staf unit MTPR yang banyak memberikan wawasan selama pelaksanaan magang dan pengambilan data.
4. Prof. Ir. Moses Laksono Singgih, M.Sc., M.Reg.Sc., Ph.D., IPU., selaku dosen penguji sidang Tugas Akhir yang telah memberikan kritik dan masukan terhadap penelitian ini.
5. Niniet Indah Arvitrida, S.T., M.T., Ph.D., IPU., selaku dosen penguji sidang Tugas Akhir sekaligus dosen wali yang banyak memberikan motivasi kepada penulis selama masa studi.
6. Nurhadi Siswanto, S.T., MSIE., Ph.D., selaku Kepala Departemen, seluruh dosen yang telah mengajarkan pengetahuan, serta segenap karyawan yang telah memberikan bantuan selama penulis menempuh studi di Departemen Teknik Sistem dan Industri ITS.
7. Teman-teman Baragarda TI-35 yang sudah mendukung dan membantu penulis selama masa studi.
8. Semua pihak yang telah membantu yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu.

Penulis meminta maaf apabila dalam penyusunan penelitian Tugas Akhir ini terdapat beberapa kekurangan. Oleh karena itu, penulis sangat terbuka apabila ada saran atau kritik yang membangun. Penulis berharap penelitian ini dapat bermanfaat bagi semua pihak yang membutuhkan. Akhir kata, penulis mengucapkan terima kasih.

Surabaya, Agustus 2024



Yoga Fredi Arisko
NRP 02411940000135

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN.....	i
PERNYATAAN ORISINALITAS	ii
ABSTRAK	iii
ABSTRACT	iv
KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR TABEL	ix
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Ruang Lingkup Penelitian.....	3
1.4.1 Batasan.....	3
1.4.2 Asumsi	3
1.5 Manfaat	3
1.6 Sistematika Penulisan	3
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Hasil Penelitian Terdahulu.....	5
2.2 Dasar Teori.....	5
2.2.1 Konsep Keandalan	6
2.2.1.1 Fungsi Keandalan	6
2.2.1.2 Laju Kegagalan.....	7
2.2.1.3 Mean Time to Failure (MTTF)	7
2.2.1.4 Distribusi Eksponensial	7
2.2.1.5 Distribusi Normal	8
2.2.1.6 Distribusi Lognormal.....	8
2.2.1.7 Distribusi Weibull.....	9
2.2.1.8 Component Counts	9
2.2.2 <i>Functional Breakdown</i>	9
2.2.3 FMEA	11
2.2.4 RBD	12
2.2.4.1 Sistem Seri	12
2.2.4.2 Sistem Paralel	12
2.2.5 <i>Bogie</i>	13
2.2.5.1 Fungsi Bogie.....	13
2.2.5.2 Bogie Load Test.....	14
2.2.5.3 Swimlane Diagram	15
2.2.6 Strategi Perawatan	16
BAB 3 METODOLOGI.....	17
3.1 Pengumpulan Data	17
3.2 Pengolahan Data	18
3.2.1 Identifikasi Komponen dengan <i>Functional Breakdown</i>	18
3.2.2 Penyusunan FMEA	18
3.2.3 Penyusunan RBD.....	18
3.2.4 Perhitungan Nilai Keandalan	19
3.2.5 Penyusunan Prosedur <i>Load Test</i> untuk <i>Bogie</i>	19
3.2.6 Penyusunan Strategi Perawatan untuk <i>Bogie</i>	19

3.3	Analisis dan Interpretasi Data	19
3.4	Kesimpulan dan Saran	20
BAB 4	PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA	21
4.1	Gambaran Umum Objek Penelitian.....	21
4.1.1	Profil Perusahaan.....	21
4.1.2	Profil VMBI	22
4.2	<i>Functional Breakdown</i>	23
4.3	Penyusunan RBD dan Perhitungan Nilai Keandalan	23
4.4	Penyusunan FMEA.....	33
4.5	Penyusunan Prosedur <i>Load Test</i> untuk <i>Bogie</i>	39
4.6	Penyusunan Strategi Perawatan <i>Bogie</i>	40
BAB 5	ANALISIS DAN INTERPRETASI DATA	43
5.1	Analisis <i>Functional Breakdown</i>	43
5.2	Analisis RBD dan Nilai Keandalan	44
5.3	Analisis FMEA	45
5.4	Analisis Prosedur Uji Pembebanan <i>Bogie</i>	45
5.5	Analisis Strategi Pemeliharaan <i>Bogie</i>	46
BAB 6	KESIMPULAN DAN SARAN	49
6.1	Kesimpulan.....	49
6.2	Saran	49
	DAFTAR PUSTAKA	51
	LAMPIRAN.....	53
	BIODATA PENULIS	99

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Gelagar <i>Shortspan</i> (PT Adhi Karya, 2018)	1
Gambar 1.2 Grafik Kecelakaan KA (Direktorat Jenderal Perkeretaapian, 2021)	2
Gambar 2.1 Tingkat Hirarki (Cenelec, 2017).....	10
Gambar 2.2 Contoh <i>Functional Breakdown</i> (Cenelec, 2017)	10
Gambar 2.3 Contoh RBD (Elsayed, 2021).....	12
Gambar 2.4 Sistem Seri (Penulis)	12
Gambar 2.5 Sistem Paralel (Penulis).....	13
Gambar 2.6 Komponen Penyusun <i>Bogie</i> (Okamoto, 1998).....	14
Gambar 2.7 Contoh <i>Swimlane Diagram</i> (Fonseca, 2022).....	15
Gambar 2.8 Tipe Strategi Perawatan (Calixto, 2016)	16
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian (Penulis)	17
Gambar 4.1 Struktur Organisasi Perusahaan.....	22
Gambar 4.2 VMBI 3D <i>Design</i>	23
Gambar 4.3 <i>Bridge Inspection Crane</i> RBD	24
Gambar 4.4 <i>Propulsion</i> RBD	25
Gambar 4.5 <i>Brake</i> RBD	25
Gambar 4.6 VCC RBD.....	26
Gambar 4.7 TCMS RBD	26
Gambar 4.8 <i>Auxiliary</i> RBD	27
Gambar 4.9 <i>Bogie</i> RBD.....	28
Gambar 4.10 <i>Carbody</i> RBD	28
Gambar 4.11 <i>Door</i> RBD	29
Gambar 4.12 <i>Penumatic & Hydraulic</i> RBD	29
Gambar 4.13 <i>Vehicle Linkage</i> RBD	30
Gambar 4.14 VMBI (<i>trainset</i>) RBD.....	32
Gambar 4.15 Prediksi <i>Reliability</i> dari VMBI.....	33
Gambar 4.16 Prosedur Uji Pembebanan <i>Bogie</i>	39

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Penelitian Terdahulu	5
Tabel 2.2 FMEA <i>Worksheet</i> (Warjito, Ansori, Shalahuddin, & Bismantoko, 2021)	11
Tabel 4.1 Bidang Bisnis dan Produk Perusahaan	21
Tabel 4.2 VMBI <i>Mission Profile</i>	23
Tabel 4.3 Laju Kegagalan Subsistem di Sistem <i>Bridge Inspection Crane</i>	24
Tabel 4.4 Laju Kegagalan Subsistem di Sistem <i>Propulsion</i>	25
Tabel 4.5 Laju Kegagalan Subsistem di Sistem <i>Brake</i>	25
Tabel 4.6 Laju Kegagalan Subsistem di Sistem VCC	26
Tabel 4.7 Laju Kegagalan Subsistem di Sistem TCMS.....	27
Tabel 4.8 Laju Kegagalan Subsistem di Sistem <i>Auxiliary</i>	27
Tabel 4.9 Laju Kegagalan Subsistem di Sistem <i>Bogie</i>	28
Tabel 4.10 Laju Kegagalan Subsistem di Sistem <i>Carbody</i>	28
Tabel 4.11 Laju Kegagalan Subsistem di Sistem <i>Door</i>	29
Tabel 4.12 Laju Kegagalan Subsistem di Sistem <i>Pneumatic & Hydraulic</i>	30
Tabel 4.13 Laju Kegagalan Subsistem di Sistem <i>Vehicle Linkage</i>	30
Tabel 4.14 Hasil Perhitungan <i>Reliability</i> Sistem	32
Tabel 4.15 Hasil Perhitungan <i>Reliability</i> dan <i>Failure Rate</i> dari VMBI	33
Tabel 4.16 FMEA Sistem <i>Bogie</i>	35
Tabel 4.17 Usulan Strategi Perawatan <i>Bogie</i>	40

BAB 1 PENDAHULUAN

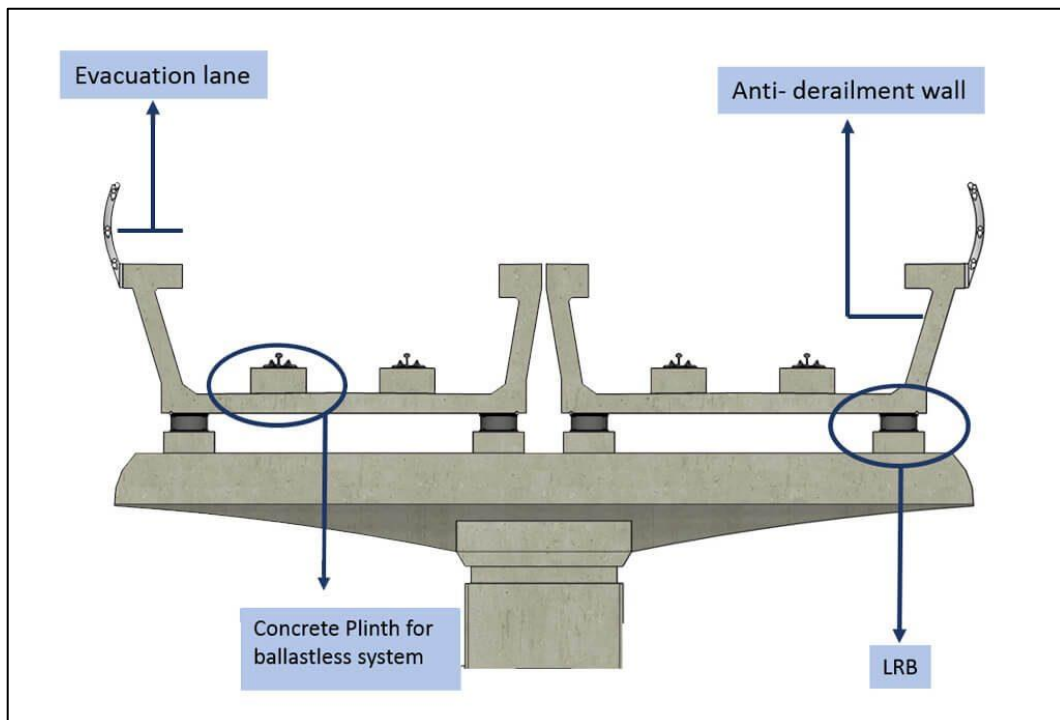
Bab 1 merupakan pendahuluan yang memuat latar belakang, perumusan masalah, tujuan penelitian, ruang lingkup penelitian yang terdiri dari batasan dan asumsi, manfaat penelitian, dan sistematika penulisan.

1.1 Latar Belakang

Kebutuhan kereta api perkotaan di Indonesia dikaji dengan pendekatan bahwa penyediaan layanannya harus tersedia di kota-kota besar yang memiliki jumlah penduduk lebih dari 1 juta jiwa atau secara pergerakan internal kota tersebut sudah memerlukan angkutan masal berupa kereta api perkotaan (Direktorat Jenderal Perkeretaapian, 2011). Salah satu upaya pemerintah dalam menyediakan transportasi umum khususnya di wilayah ibu kota dan sekitarnya adalah proyek LRT Jabodebek. Proyek yang diinisiasi sejak tahun 2015 tersebut bertujuan untuk mengatasi sejumlah masalah mobilitas perkotaan di wilayah Jakarta, Bogor, Depok, dan Bekasi yang padat penduduk.

Konstruksi LRT Jabodebek hampir seluruh lintasannya berupa jalan layang yang terdiri atas jembatan bentang panjang atau disebut juga dengan *longspan* dan jembatan bentang pendek atau *shortspan*. Untuk menjaga operasional LRT tetap dalam kondisi optimal, pemeliharaan dan pengawasan yang baik terhadap infrastruktur sangat penting untuk dilakukan. Dibutuhkan sarana pendukung yang memiliki peran untuk memastikan keamanan dan kelayakan jalur LRT.

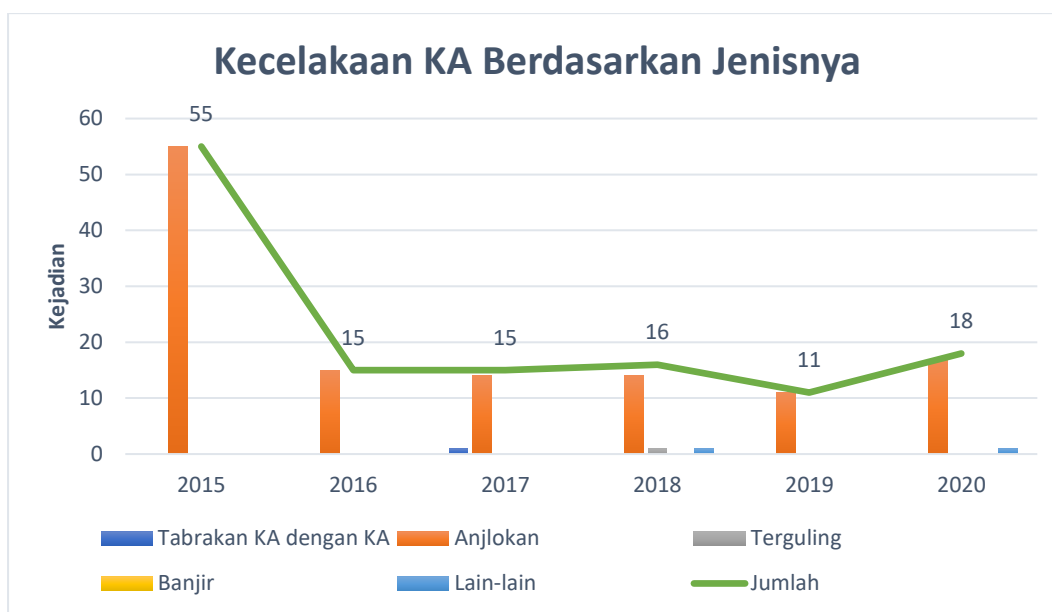
PT Industri Kereta Api (Persero) atau PT INKA sebagai industri manufaktur perkeretaapian mengembangkan *Vehicle Maintenance Bridge Inspection* (VMBI) yang ditujukan untuk mendukung operasional LRT Jabodebek. VMBI dirancang untuk mendukung pemeliharaan struktur bawah dari *shortspan* utamanya cek torsi baut *Lead Rubber Bearing* (LRB) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1.1. Keberadaan kendaraan tersebut menjadi solusi terkini dalam memastikan integritas dan keamanan infrastruktur *shortspan* LRT, yang merupakan elemen vital dalam sistem transportasi perkotaan.



Gambar 1.1 Gelagar *Shortspan* (PT Adhi Karya, 2018)

Dalam konteks transportasi kereta api, nilai keandalan (*reliability*) memainkan peran yang sangat penting dalam mencegah kecelakaan dan insiden yang dapat membahayakan keselamatan penumpang dan kru kereta. Keandalan merujuk pada kemampuan sistem atau komponen untuk berfungsi sesuai dengan yang diinginkan tanpa mengalami kegagalan. Keandalan sistem kereta api, seperti kelistrikan, rem, dan sistem penggerak, memiliki dampak langsung terhadap keamanan. Ketika sistem kereta api tidak handal, risiko kegagalan dan kecelakaan dapat meningkat secara signifikan.

Data kecelakaan kereta api berdasarkan jenisnya menunjukkan bahwa 96,92% kecelakaan adalah anjlokkan atau *derailment* (Direktorat Jenderal Perkeretaapian, 2021). Anjlokkan merupakan keluarnya kereta dari jalur rel yang dapat disebabkan oleh kegagalan mekanik utama pada komponen rel, kegagalan mekanik utama pada komponen gigi roda kereta, kesalahan desain atau pengaturan wesel, kesalahan pada geometri jalur rel, kesalahan operasi atau kesalahan sinyal, dan *human error* (Septanto, Fauzi, Rili, Pratama, & Winata, 2018).



Gambar 1.2 Grafik Kecelakaan KA (Direktorat Jenderal Perkeretaapian, 2021)

Keandalan VMBI tidak hanya berdampak pada efisiensi operasional, tetapi juga pada keselamatan dan keberlanjutan infrastruktur yang diperiksa. Konsep *reliability design* menjadi landasan utama dalam penelitian ini, dan keputusan untuk memfokuskan pada aspek keandalan menjadi krusial mengingat VMBI masih dalam tahap pengembangan.

Salah satu elemen penting dalam VMBI adalah sistem *bogie*. *Bogie* merupakan rangkaian roda dan rangka yang mendukung badan kereta, memungkinkan stabilitas dan kelancaran perjalanan kereta di atas rel. Kegagalan pada sistem *bogie*, seperti pada komponen *bearing* atau suspensi, dapat mengakibatkan gangguan serius pada operasional kereta, termasuk risiko anjlokkan yang tinggi. Sistem *bogie* merupakan salah satu sistem yang diproduksi sendiri oleh perusahaan (PT INKA, 2022). Oleh karena itu, analisis keandalan sistem *bogie* menjadi bagian penting dari penelitian ini untuk memastikan bahwa VMBI dapat beroperasi dengan aman dan efektif dalam memeriksa dan memelihara infrastruktur LRT.

Untuk mengkaji VMBI, dilakukan analisis fungsional untuk mengidentifikasi fungsi dari sistem, subsistem dan komponen menggunakan *functional breakdown*. Selanjutnya dilakukan penyusunan *reliability block diagram* (RBD) untuk menganalisis efek penggabungan komponen serta mengetahui *reliability* pada keseluruhan sistem. Selanjutnya pada sistem *bogie* dilakukan identifikasi potensi mode kegagalan dan efeknya menggunakan *failure mode and*

effect analysis (FMEA). Dari hasil analisis akan disusun strategi perawatan, khususnya pada sistem *bogie*.

Oleh karena itu, penelitian ini diharapkan mampu memberikan kontribusi nyata dalam pengembangan VMBI, terutama pada aspek keandalan. Fokus pada desain keandalan menjadi langkah awal yang penting untuk memastikan bahwa kendaraan dapat beroperasi secara efektif dan memberikan manfaat optimal serta memastikan bahwa produk menjalankan fungsi yang ditentukan dalam lingkungan tertentu untuk siklus hidup yang diharapkan.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dipaparkan, maka masalah yang akan diselesaikan adalah bagaimana melakukan perancangan atau desain keandalan pada VMBI LRT Jabodebek dengan menggunakan metode *functional breakdown, failure mode and effect analysis* (FMEA), dan *reliability block diagram* (RBD).

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian tugas akhir ini antara lain sebagai berikut:

1. Mengidentifikasi sistem, subsistem, dan komponen dari VMBI;
2. Mengukur prediksi nilai keandalan VMBI;
3. Mengidentifikasi potensi kegagalan pada sistem *bogie*; dan
4. Mengusulkan solusi untuk mencegah efek kegagalan pada sistem *bogie*.

1.4 Ruang Lingkup Penelitian

Ruang lingkup penelitian berisi batasan dan asumsi yang digunakan dalam penelitian tugas akhir ini.

1.4.1 Batasan

Batasan yang digunakan dalam penelitian tugas akhir ini adalah

- Penelitian dilakukan di Unit *Management Technology Process and RAMS* PT Industri Kereta Api (Persero);
- Objek yang diteliti berfokus pada satu *car* yaitu VMBI;
- VMBI sedang dalam tahap pengembangan; dan
- Tidak membahas terkait material bahan.

1.4.2 Asumsi

Asumsi yang digunakan dalam penelitian tugas akhir ini adalah

- Selama proses penelitian berlangsung, kebijakan perusahaan tidak mengalami perubahan.
- Laju kegagalan (*failure rate*) konstan dari waktu ke waktu; dan
- Kegagalan (*failure*) terjadi secara acak dan independen.

1.5 Manfaat

Manfaat yang dapat diperoleh dari penelitian tugas akhir ini antara lain sebagai berikut

1. Perusahaan mengetahui *reliability* dan potensi kegagalan dari VMBI; dan
2. Hasil penelitian dapat dijadikan pertimbangan oleh perusahaan dalam meningkatkan keandalan dan kinerja serta pengembangan perawatan VMBI.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan yang digunakan dalam penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

BAB 1 PENDAHULUAN

Bab 1 merupakan pendahuluan yang memuat latar belakang, perumusan masalah, tujuan penelitian, ruang lingkup penelitian yang terdiri dari batasan dan asumsi, manfaat penelitian, dan sistematika penulisan.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

Bab 2 merupakan tinjauan pustaka yang memuat penjelasan teori-teori yang relevan dan berhubungan erat dengan penelitian tugas akhir sehingga memudahkan pembaca dalam memahami konsep yang digunakan penulis. Teori yang digunakan bersumber dari buku, penelitian terdahulu, artikel ilmiah seperti jurnal dan prosiding, laporan tahunan perusahaan, dan website yang kredibel.

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

Bab 3 merupakan metodologi penelitian yang memuat alur penelitian tugas akhir dalam visualisasi diagram alir (*flowchart*) serta penjabaran setiap tahapan secara detail.

BAB 4 PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA

Bab 4 merupakan pengumpulan dan pengolahan data yang memuat beberapa data yang digunakan dalam penelitian tugas akhir dan bagaimana data-data tersebut diolah. Data diperoleh dari sumber primer seperti hasil observasi dan wawancara serta sumber sekunder seperti dokumen perusahaan dan sumber kredibel lainnya.

BAB 5 ANALISIS DAN INTERPRETASI DATA

Bab 5 merupakan analisis dan interpretasi data yang memuat hasil analisis dari beberapa data yang telah diolah berdasarkan dasar teori yang digunakan.

BAB 6 KESIMPULAN DAN SARAN

Bab 6 merupakan kesimpulan dan saran yang memuat pernyataan hasil penelitian tugas akhir sekaligus menjawab tujuan. Selain itu, bab ini juga memuat saran yang ditujukan untuk penelitian selanjutnya.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

Bab 2 merupakan tinjauan pustaka yang memuat penjelasan teori-teori yang relevan dan berhubungan erat dengan penelitian tugas akhir sehingga memudahkan pembaca dalam memahami konsep yang digunakan penulis. Teori yang digunakan bersumber dari buku, penelitian terdahulu, artikel ilmiah seperti jurnal dan prosiding, laporan tahunan perusahaan, dan website yang kredibel.

2.1 Hasil Penelitian Terdahulu

Dalam penelitian tugas akhir ini, terdapat beberapa penelitian sebelumnya yang dijadikan sebagai acuan maupun referensi dalam penulisan laporan tugas akhir ini. Berikut ini akan dijelaskan secara singkat beberapa penelitian terdahulu yang digunakan sebagai acuan dan referensi.

Tabel 2.1 Penelitian Terdahulu

Peneliti	Judul	Metode	Hasil Penelitian
(Warjito, Ansori, Shalahuddin, & Bismantoko, 2021)	<i>Reliability Analysis on The Bogie System at Indonesian High-Speed Trains in The Design Phase to Improve Service Quality</i>	FMEA, RBD	Prediksi <i>reliability</i> sistem <i>bogie</i> pada tahun ke-30 adalah 0,6. artinya sistem <i>bogie</i> mengalami penurunan keandalan di bawah target. Jika target keandalan sebesar 0,9 maka diperlukan waktu (t) yang diperoleh adalah 6 tahun, artinya dalam kurun waktu tersebut diperlukan <i>preventive maintenance</i> minimal 1 kali.
(Rosihan & Yuniarto, 2019)	<i>Reliability System Analysis with Reliability Block Diagram Approach</i>	RBD	RBD merupakan salah satu pendekatan yang dapat digunakan untuk melakukan perhitungan <i>reliability</i> sistem secara menyeluruh. <i>Reliability</i> pada sistem <i>Extrusion</i> adalah 0,00436 atau 0,436% pada t = 100 jam. Artinya bahwa dalam waktu t = 100jam sistem beroperasi sesuai dengan fungsinya sebesar 0,436%, selebihnya sistem berada kondisi <i>shutdown</i> atau gagal beroperasi.
(Badrudin, 2018)	<i>Identification And Analysis of Potential Failure in Process of Ship Safety Equipment Certificate Issuance Using FMECA</i>	FMECA	Didapatkan nilai RPN tertinggi yaitu 75 dengan 3 <i>potential cause of failure</i> yang berbeda. Kemudian dipilih empat nilai RPN tertinggi untuk dilakukan tindakan mitigasi. Jika dilakukan tindakan mitigasi, maka mampu memberikan efek sebesar 9,1% terhadap penurunan nilai RPN pada <i>potential failure mode</i> .

2.2 Dasar Teori

Berikut ini merupakan beberapa teori yang digunakan sebagai landasan penelitian tugas akhir.

2.2.1 Konsep Keandalan

Sejarah keandalan sebagai sebuah disiplin ilmu dapat ditelusuri hingga tahun. Selama Perang Dunia II, Jerman menggunakan konsep keandalan dasar untuk meningkatkan keandalan rudal V1 dan V2 mereka. Pada tahun 1950, Departemen Pertahanan AS membentuk komite ad hoc tentang keandalan, dan pada tahun 1952. Pada tahun 1957, Angkatan Udara AS (USAF) merilis spesifikasi keandalan militer pertama, yang berjudul *Reliability Assurance Program for Electronic Equipment*. Pada tahun 1962, program pascasarjana di bidang teknik keandalan dimulai oleh Air Force Institute of Technology, Dayton, Ohio (Dhillon, 2002).

Dalam pengertian yang paling luas, keandalan dikaitkan dengan ketergantungan terhadap keberhasilan operasi dan tidak adanya gangguan kegagalan. Namun, untuk analisis teknik, perlu untuk mendefinisikan keandalan secara kuantitatif sebagai probabilitas. dengan demikian, keandalan didefinisikan sebagai probabilitas bahwa sistem akan menjalankan fungsi yang ditetapkan untuk jangka waktu tertentu di bawah serangkaian kondisi yang diberikan. Sistem yang dimaksud di sini dalam arti umum sehingga definisi keandalan juga berlaku untuk semua jenis produk, subsistem, peralatan, komponen, dan suku cadang (Lewis, 1994).

Keandalan adalah probabilitas bahwa suatu produk akan beroperasi atau layanan akan disediakan dengan benar untuk jangka waktu tertentu (*life design*) di bawah kondisi yang telah ditentukan tanpa kegagalan. Dengan kata lain, keandalan dapat digunakan sebagai ukuran keberhasilan sistem dalam menyediakan fungsinya dengan baik selama masa *life design* (Elsayed, 2021).

Untuk melakukan analisis keandalan, terdapat beberapa metode yang dapat digunakan. Dalam penelitian ini, metode yang digunakan yaitu *Functional Breakdown*, *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA), dan *Reliability Block Diagram* (RBD) yang akan dijelaskan lebih detail pada bagian 2.2.2, bagian 2.2.3, dan bagian 2.2.4.

2.2.1.1 Fungsi Keandalan

Keandalan merupakan ukuran suatu sistem dapat beroperasi dengan baik. Jika sebuah sistem memiliki *reliability* yang tinggi, maka semakin baik performansi sistem tersebut dalam menjalankan fungsinya. Secara matematis, keandalan dari suatu sistem dirumuskan dengan tiga persamaan berikut (Dhillon, 2002):

$$R(t) = 1 - F(t) = 1 - \int_0^t f(t)dt \quad 2.1$$

$$R(t) = \int_t^{\infty} f(t)dt \quad 2.2$$

$$R(t) = \exp \left[- \int_0^t \lambda(t)dt \right] = e^{-\lambda t} \quad 2.3$$

dengan:

$R(t)$: fungsi keandalan pada interval t

$F(t)$: CDF (*cumulative distribution function*)

$f(t)$: PDF (*probability density function*)

$\lambda(t)$: laju kegagalan (*hazard rate or time-dependent failure rate*)

t : waktu

2.2.1.2 Laju Kegagalan

Hazard rate $h(t)$ adalah probabilitas bersyarat dari kegagalan dalam interval t hingga $(t + dt)$, dengan catatan tidak ada kegagalan pada t dibagi dengan panjang interval waktu dt . *Hazard rate* juga disebut sebagai tingkat kegagalan konstan (*failure rate*). *Hazard rate* secara matematis dirumuskan dengan persamaan berikut (Elsayed, 2021):

$$h(t) = \lambda = \frac{f(t)}{R(t)} \quad 2.4$$

dengan:

$R(t)$: fungsi keandalan pada interval t

$f(t)$: PDF (*probability density function*)

$h(t)$: laju kegagalan

2.2.1.3 Mean Time to Failure (MTTF)

Salah satu parameter keandalan sistem adalah MTTF. MTTF mengacu pada waktu yang diharapkan antara dua kegagalan berurutan ketika sistem tidak dapat diperbaiki (*non-repairable*). Sementara itu, ketika sistem dapat diperbaiki, disebut sebagai *mean time between failure* (MTBF). MTTF secara matematis dirumuskan dengan tiga persamaan berikut (Elsayed, 2021):

$$MTTF = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_i \quad 2.5$$

$$MTTF = \int_0^{\infty} R(t) dt \quad 2.6$$

$$MTTF = \int_0^{\infty} e^{-\lambda t} dt = \frac{1}{\lambda} \quad 2.7$$

dengan:

$MTTF$: *mean time to failure*

$R(t)$: fungsi keandalan pada interval t

λ : laju kegagalan

t : waktu

2.2.1.4 Distribusi Eksponensial

Distribusi eksponensial digunakan ketika laju kegagalan konstan cukup menggambarkan perilaku sistem yang beroperasi secara kontinyu. Model laju kegagalan konstan untuk sistem yang beroperasi secara kontinyu mengarah pada distribusi eksponensial. Mengganti laju kegagalan yang bergantung pada waktu $\lambda(t)$ dengan λ . Berikut adalah beberapa persamaan yang digunakan dalam distribusi eksponensial (Lewis, 1994):

$$f(t) = \lambda t^{-\lambda t} \quad 2.8$$

$$F(t) = 1 - e^{-\lambda t} \quad 2.9$$

$$R(t) = e^{-\lambda t} \quad 2.10$$

$$MTTF = \frac{1}{\lambda} \quad 2.11$$

dengan:

- $f(t)$: PDF (*probability density function*)
- $F(t)$: CDF (*cumulative distribution function*)
- $R(t)$: fungsi keandalan pada interval t
- $MTTF$: *mean time to failure*

2.2.1.5 Distribusi Normal

Untuk memodelkan kegagalan awal atau efek keausan dengan lebih jelas, maka perlu beralih ke distribusi spesifik dari *time to failure*. Berbeda dengan distribusi eksponensial yang digunakan untuk kegagalan acak, distribusi ini harus memiliki setidaknya dua parameter. Meskipun distribusi normal dan lognormal sering digunakan untuk memodelkan efek penuaan, distribusi weibull mungkin yang paling banyak digunakan secara universal. Berikut adalah beberapa persamaan yang digunakan dalam distribusi normal (Lewis, 1994):

$$f(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left[-\frac{(t - \mu)^2}{2\sigma^2}\right] \quad 2.12$$

$$F(t) = \Phi\left(\frac{t - \mu}{\sigma}\right) \quad 2.13$$

$$R(t) = 1 - \Phi\left(\frac{t - \mu}{\sigma}\right) \quad 2.14$$

$$MTTF = \mu \quad 2.15$$

dengan:

- $f(t)$: PDF (*probability density function*)
- $F(t)$: CDF (*cumulative distribution function*)
- $R(t)$: fungsi keandalan pada interval t
- $MTTF$: *mean time to failure*

2.2.1.6 Distribusi Lognormal

Lognormal adalah distribusi terkait yang telah terbukti untuk menggambarkan distribusi kegagalan berbagai situasi. Jika waktu kegagalan dikaitkan dengan ketidakpastian (*uncertainty*), sehingga varians distribusi adalah sebagian besar dari MTTF, penggunaan distribusi normal menjadi bermasalah. Distribusi lognormal sering digunakan untuk menggambarkan *fatigue* dan fenomena lain yang disebabkan oleh umur atau keausan dan menyebabkan tingkat kegagalan yang meningkat seiring berjalannya waktu. Berikut adalah beberapa persamaan yang digunakan dalam distribusi lognormal (Lewis, 1994):

$$f(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\omega t} \exp\left\{-\frac{1}{2\omega^2} \left[\ln\left(\frac{t}{t_0}\right)\right]^2\right\} \quad 2.16$$

$$F(t) = \Phi\left[\frac{1}{\omega} \ln\left(\frac{t}{t_0}\right)\right] \quad 2.17$$

$$MTTF = \mu = t_0 \exp\left(\frac{\omega^2}{2}\right) \quad 2.18$$

dengan:

- $f(t)$: PDF (*probability density function*)
- $F(t)$: CDF (*cumulative distribution function*)

MTTF : mean time to failure

2.2.1.7 Distribusi Weibull

Distribusi Weibull adalah salah satu yang paling banyak digunakan dalam perhitungan keandalan, karena dengan pilihan parameter yang tepat, berbagai perilaku laju kegagalan dapat dimodelkan. Berikut adalah beberapa persamaan yang digunakan dalam distribusi weibull (Lewis, 1994):

$$f(t) = \frac{m}{\theta} \left(\frac{t}{\theta}\right)^{m-1} \exp \left[-\left(\frac{t}{\theta}\right)^m \right] \quad 2.19$$

$$F(t) = 1 - \exp \left[-\left(\frac{t}{\theta}\right)^m \right] \quad 2.20$$

$$R(t) = \exp \left[-\left(\frac{t}{\theta}\right)^m \right] \quad 2.21$$

dengan:

$f(t)$: PDF (*probability density function*)

$F(t)$: CDF (*cumulative distribution function*)

$R(t)$: fungsi keandalan pada interval t

2.2.1.8 Component Counts

Dalam beberapa kasus, data laju kegagalan (*failure rate*) mungkin tersedia pada tingkat komponen tetapi tidak untuk keseluruhan sistem. Hal disebabkan karena beberapa organisasi profesional menghimpun dan mempublikasikan estimasi laju kegagalan untuk item yang sering digunakan. Desain sistem baru dapat melibatkan konfigurasi dan jumlah item standar yang baru sehingga memungkinkan estimasi keandalan dibuat sebelum desain baru dirancang dan diuji. Apabila data laju kegagalan tingkat kegagalan komponen tersedia, estimasi keandalan yang paling mudah berasal dari metode penghitungan komponen (Lewis, 1994).

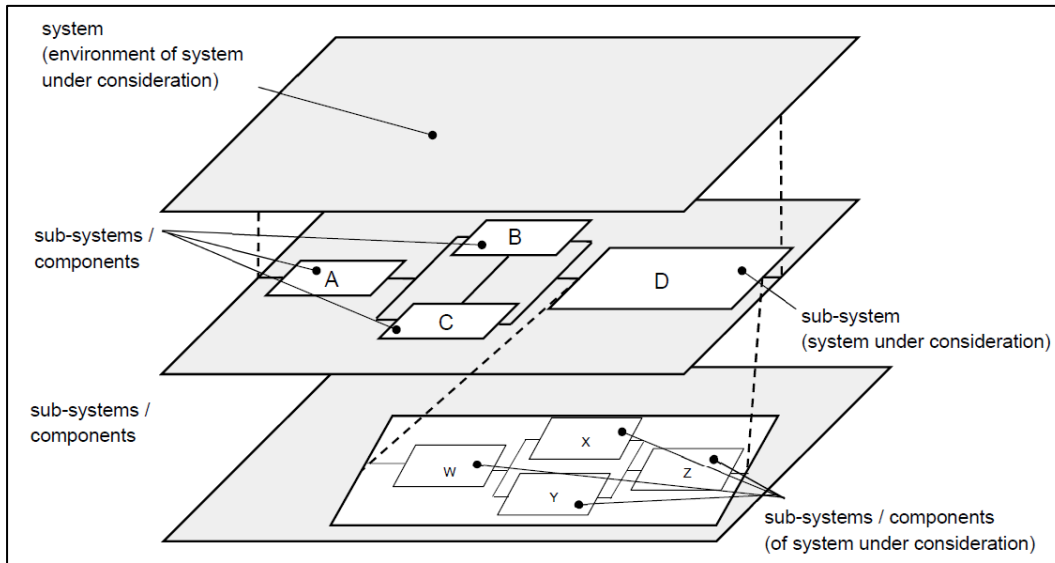
$$\lambda = \sum_j n_j \lambda_j \quad 2.22$$

dengan:

λ : laju kegagalan sistem

2.2.2 Functional Breakdown

EN 50126 merupakan standar eropa tentang aplikasi *Reliability Availability Maintainability and Safety* secara sistematis pada sektor kereta api. Berdasarkan EN 50126, susunan "sistem, subsistem, komponen" digunakan untuk menggambarkan penguraian sebuah sistem ke dalam bagian-bagian penyusunnya. Batasan yang jelas dari setiap elemen (sistem, subsistem, dan komponen), baik secara fisik maupun fungsional, akan bergantung pada desain sistem yang terkait. Untuk memudahkan, sistem *multilevel* umumnya disusun berdasarkan pengelompokan sistem pada tingkat hierarki yang berurutan seperti yang ditunjukkan Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Tingkat Hirarki (Cenelec, 2017)

Fungsi dari suatu sistem adalah tindakan atau aktivitas yang dilakukan oleh sistem secara keseluruhan. Fungsi dan struktur memberikan gambaran "internal" dari properti sistem yang menghasilkan output dan properti eksternal dan menjadi perhatian badan/entitas yang bertanggung jawab atas desain sistem. Fokusnya adalah pada perincian fungsional yang mengelompokkan fungsi-fungsi bersama sedemikian rupa sehingga dapat dilakukan oleh subsistem/produk. Dalam hal ini fungsi-fungsi sistem yang sedang dipertimbangkan (termasuk perilaku setelah kegagalan, ketika didefinisikan) harus diidentifikasi dan dijelaskan ketika definisi sistem dimulai (Cenelec, 2017).

System	Functional breakdown group	Function	(Subsystem that carries out the function)
Fixed installations	Provide traction energy for trains	Convert, distribute and control electric energy	Substation & switching stations
		Transmit electric current to vehicle	Contact line systems
	Manage access to track	Open platform screen doors when train is present in station	Platform screen door system
	Control access to station	Allow full free passage in case of evacuation	Access gate system
Rolling stock	Control speed of train	Decelerate train	Brake system
		Hold train in standstill during stop	Brake system
	Control access to train	Hold all exits closed when vehicle is moving	Door control system
Control command and Signalling	Route control	Hold position of pointwork	Interlocking
		Indication signal aspect to driver	Interlocking
	Supervise speed of train	Ensure that train does not exceed maximum speed	Train control

Gambar 2.2 Contoh *Functional Breakdown* (Cenelec, 2017)

2.2.3 FMEA

Salah satu pendekatan untuk mengidentifikasi komponen atau langkah *high-risk* dalam suatu proses adalah FMEA. FMEA adalah metode untuk mengevaluasi proses, sistem, atau produk untuk mengidentifikasi potensi kegagalan dan menilai dampaknya terhadap kinerja sistem secara keseluruhan dalam rangka mengidentifikasi komponen kritis (Elsayed, 2021).

FMEA adalah salah satu teknik yang paling banyak digunakan untuk menentukan mode yang mungkin terjadi di mana komponen dapat gagal serta untuk menelusuri karakteristik dan konsekuensi dari setiap mode kegagalan pada sistem secara keseluruhan (Lewis, 1994).

FMEA merupakan pendekatan kualitatif yang digunakan untuk mengetahui mode kegagalan peralatan dalam analisis peralatan atau pengembangan produk untuk memberikan dukungan terhadap keputusan ketika informasi dan data tidak mencukupi untuk melakukan analisis kuantitatif. Fokus FMEA adalah mode kegagalan peralatan dan memungkinkan untuk membagi unit menjadi sistem dan subsistem untuk menilai setiap peralatan dan mode kegagalannya (Calixto, 2016).

Sejarah FMEA dapat ditelusuri kembali pada awal tahun 1950an ketika masa pengembangan sistem kontrol penerbangan oleh Biro Penerbangan Angkatan Laut AS. Saat itu, dikembangkan persyaratan yang dikenal sebagai analisis kegagalan. Selanjutnya, analisis kegagalan dikenal sebagai *failure effect analysis* dan kemudian *failure modes and effect analysis*. Terdapat tujuh tahapan dalam menyusun FMEA, yaitu:

1. Tentukan batas-batas sistem dan persyaratan terkait secara rinci.
2. Buat daftar semua bagian sistem dan komponen serta subsistem.
3. Buat daftar semua mode kegagalan yang mungkin terjadi dan jelaskan serta identifikasi komponen atau bagian yang dipertimbangkan.
4. Tetapkan tingkat atau probabilitas kegagalan yang sesuai untuk setiap mode kegagalan komponen atau bagian.
5. Buat daftar efek dari setiap mode kegagalan pada subsistem dan pabrik.
6. Masukkan komentar yang sesuai untuk setiap mode kegagalan.
7. Tinjau setiap mode kegagalan kritis dan ambil tindakan yang sesuai (Dhillon, 2006).

Tabel 2.2 FMEA *Worksheet* (Warjito, Ansori, Shalahuddin, & Bismantoko, 2021)

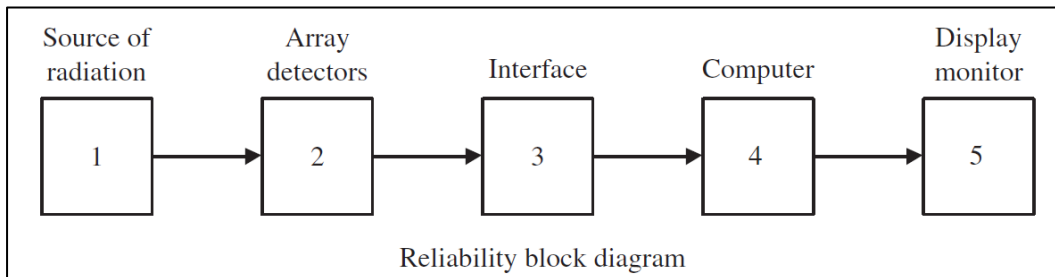
<i>Subsystem</i>	<i>Function</i>	<i>Potential Failure Mode(s)</i>	<i>Intermediate Effect(s)</i>	<i>System Effect(s)</i>	<i>Potential Cause(s) of Failure</i>

Tabel 2.2 merupakan FMEA *worksheet* yang digunakan dalam menyusun FMEA (Warjito, Ansori, Shalahuddin, & Bismantoko, 2021). Penjelasan masing-masing kolom dari FMEA *worksheet* adalah sebagai berikut

- kolom *subsystem* memuat nama subsistem atau komponen dari sistem yang diidentifikasi;
- kolom *function* menjelaskan fungsi dari subsistem atau komponen;
- kolom *potential failure mode* menjelaskan potensi kegagalan yang dapat terjadi;
- kolom *intermediate effect* menjelaskan efek kegagalan subsistem atau komponen terhadap subsistem atau komponen lainnya;
- kolom *system effect* menjelaskan efek kegagalan subsistem atau komponen terhadap sistem secara keseluruhan; dan
- kolom *potential cause of failure* menjelaskan penyebab dari kegagalan yang terjadi.

2.2.4 RBD

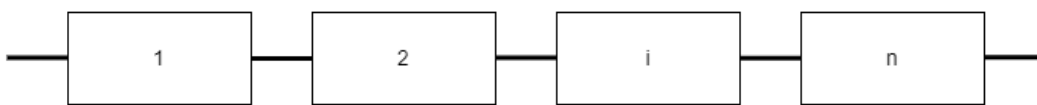
Langkah pertama dalam mengevaluasi keandalan sistem adalah membuat *reliability block diagram*, yang merupakan representasi grafis dari komponen sistem dan bagaimana mereka terhubung. Blok (diwakili oleh persegi panjang) tidak menunjukkan detail komponen atau subsistem yang diwakilinya (Elsayed, 2021). RBD dapat digunakan sebagai analisis kuantitatif untuk menghitung *reliability* sistem.



Gambar 2.3 Contoh RBD (Elsayed, 2021)

2.2.4.1 Sistem Seri

Sistem seri terdiri dari n komponen (atau subsistem) yang dihubungkan secara seri. Kegagalan pada salah satu komponen akan mengakibatkan kegagalan pada seluruh sistem (Elsayed, 2021).



Gambar 2.4 Sistem Seri (Penulis)

Keandalan sistem dapat ditentukan dengan menghitung probabilitas kegagalan sistem dan menguranginya dari kesatuan. Sistem akan gagal jika salah satu komponen gagal. Pada sistem seri, maka keandalan sistem dapat dinyatakan dengan persamaan (Dhillon, 2002):

$$R_s = R_1 R_2 R_3 \dots R_n \quad 2.23$$

dengan:

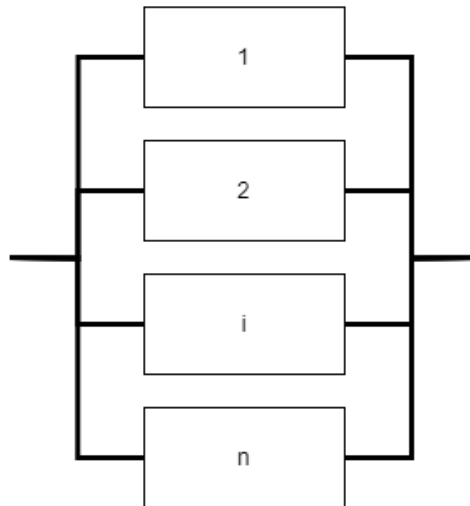
R_s : *reliability* sistem seri

n : jumlah unit

R_i : keandalan unit i yang ditunjukkan pada Gambar 2.4, untuk $i = 1, 2, 3, \dots, n$

2.2.4.2 Sistem Paralel

Sistem paralel terdapat di banyak penerapan untuk menyediakan redundansi. Keandalan sistem paralel adalah probabilitas bahwa salah satu jalur dapat beroperasi (Elsayed, 2021).



Gambar 2.5 Sistem Paralel (Penulis)

Pada sistem paralel, maka keandalan sistem dapat dinyatakan dengan persamaan (Dhillon, 2002):

$$R_{ps} = 1 - (1 - R_1)(1 - R_2)(1 - R_3) \dots (1 - R_n) \quad 2.24$$

dengan:

R_{ps} : *reliability* sistem paralel

n : jumlah unit

R_i : keandalan unit i yang ditunjukkan pada Gambar 2.5, untuk $i = 1, 2, 3, \dots, n$

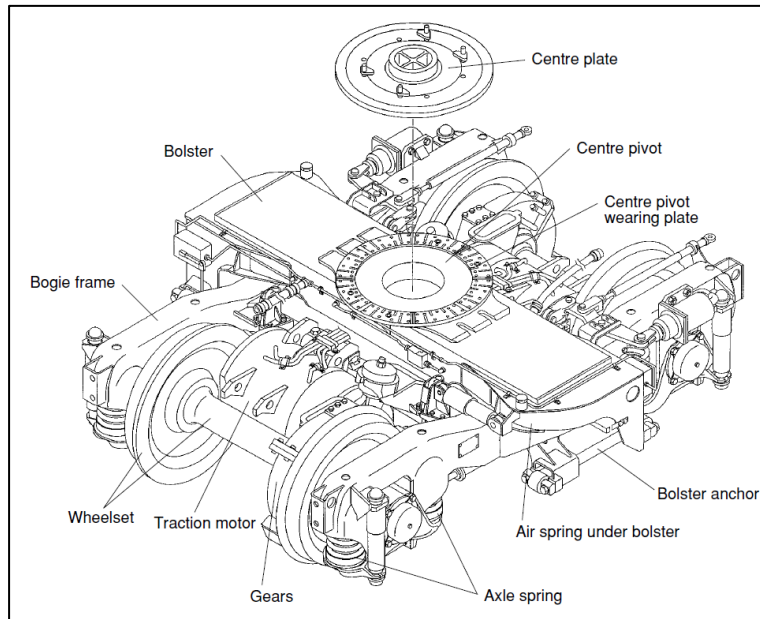
2.2.5 *Bogie*

Bogie merupakan kesatuan roda pada kereta api yang umumnya terdiri dari perangkat roda yang terhubung oleh rangka serta dilengkapi beberapa sistem seperti suspensi dan pengereman baik di kereta berpengerak maupun kereta tidak berpengerak. *Bogie* adalah bagian dari kereta yang bersentuhan langsung dengan rel. Oleh karena itu, *bogie* berfungsi untuk menjaga stabilitas kereta terhadap rel.

Bogie adalah suatu konstruksi yang terdiri dari dua perangkat roda atau lebih yang digabungkan oleh rangka yang dilengkapi dengan sistem pemegasan, pengereman, dengan atau tanpa peralatan penggerak dan anti selip, serta keseluruhan berfungsi sebagai pendukung rangka dasar dari badan kereta. *Bogie* dapat di lepas dan dipasangkan kembali jika sedang dilakukan perawatan (PT INKA, 2015).

2.2.5.1 *Fungsi Bogie*

Fungsi utama *bogie* adalah menghasilkan fleksibilitas kereta terhadap rel sehingga roda dapat tetap mengikuti arah rel saat melewati tikungan. Selain fleksibilitas, *bogie* juga dapat meredam efek yang diakibatkan oleh rel yang bergelombang naik turun. Pada kereta penumpang, *bogie* diciptakan selain untuk keamanan, juga untuk meningkatkan kenyamanan. Sedangkan pada Kereta berpengerak seperti KRD (Kereta Rel Diesel), KRL (Kereta Rel Listrik) dan Lokomotif, *bogie* berperan sebagai bagian dari penerus daya untuk menggerakkan rangkaian kereta (PT INKA, 2015).



Gambar 2.6 Komponen Penyusun *Bogie* (Okamoto, 1998)

Bogie gerbong kereta api biasanya luput dari perhatian penumpang kereta api, tetapi meskipun tidak terlihat, *bogie* ini sangat penting dalam operasi kereta api yang aman dan memiliki beberapa fungsi berikut ini

- menopang *carbody* dengan kuat;
- menjaga kereta dengan stabil di lintasan lurus dan melengkung;
- memastikan kenyamanan perjalanan dengan menyerap getaran yang dihasilkan oleh ketidakrataan lintasan dan meminimalkan dampak gaya sentrifugal saat kereta berjalan di tikungan dengan kecepatan tinggi; dan
- meminimalkan timbulnya ketidakrataan lintasan dan abrasi rel.

Bogie memiliki beberapa bagian/komponen utama. Beberapa diantaranya adalah suspensi, *frame*, *axle box*, roda, *axle*, *bearing*, transmisi, dan peralatan pengereman (Okamoto, 1998).

2.2.5.2 *Bogie Load Test*

Bogie load test atau uji pembebanan *bogie* VMBI dilakukan berdasarkan Peraturan Menteri Perhubungan No. 16 Tahun 2011 tentang Standar, Tata Cara Pengujian dan Sertifikasi Kelaikan Peralatan Khusus. Sesuai dengan pasal 4 yang berbunyi bahwa setiap peralatan khusus yang dioperasikan wajib memenuhi kelaikan operasi yang dibuktikan melalui pengujian untuk mengetahui kesesuaian antara kondisi dan fungsi dengan persyaratan teknis dan spesifikasi teknis.

Beban besar diterima *bogie frame* selama beroperasi dan dibutuhkan analisis kekuatan struktur sebagai syarat kelayakan berdasarkan Peraturan Nomor 33 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Bidang Perkeretaapian dan standar EN 13749 (Basyar, Salim, Yuwono, Utomo, & Mahfud, 2022). Pengujian beban dilaksanakan sebagai langkah untuk mengurangi risiko kecelakaan pada kereta api yang mungkin disebabkan oleh kegagalan pada sistem *bogie*. Tujuan dari pengujian beban adalah untuk mengevaluasi kondisi dan kekuatan komponen *bogie* ketika diberikan beban statis. *Bogie* pada VMBI terbagi menjadi *bogie* dengan motor dan *bogie* tanpa motor. Pengujian beban pada *bogie* melibatkan variasi dengan maksud mensimulasikan kondisi *bogie* saat menopang beban *carbody*. Pengujian beban menggunakan mesin *load press*, dengan sistem hidrolik pneumatik. Beban yang

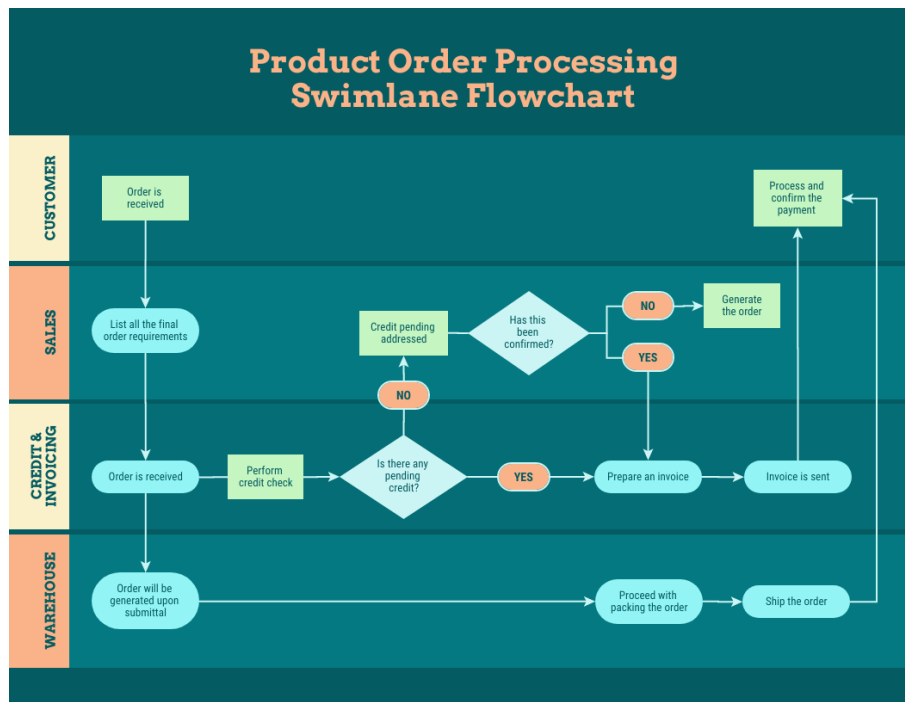
disimulasikan pada *bogie* mencakup beban kosong (*tare load*), beban normal (*normal load*), dan beban penuh (*full load*).

2.2.5.3 Swimlane Diagram

Swimlane diagram atau diagram aliran proses adalah jenis diagram alir yang membagi langkah-langkah proses ke dalam '*swimlanes*' atau kategori, sesuai dengan namanya. Kategori-kategori ini mewakili kelompok atau individu yang melakukan setiap langkah dalam proses. Tidak seperti *flowchart* sederhana, *swimlane* menggambarkan siapa yang bertanggung jawab atas setiap langkah proses. *Swimlane* dapat disusun secara horizontal atau vertical (Fonseca, 2022).

Swimlane diagram menggunakan berbagai bentuk dan simbol untuk menyatakan berbagai komponen dari suatu proses (Fonseca, 2022).

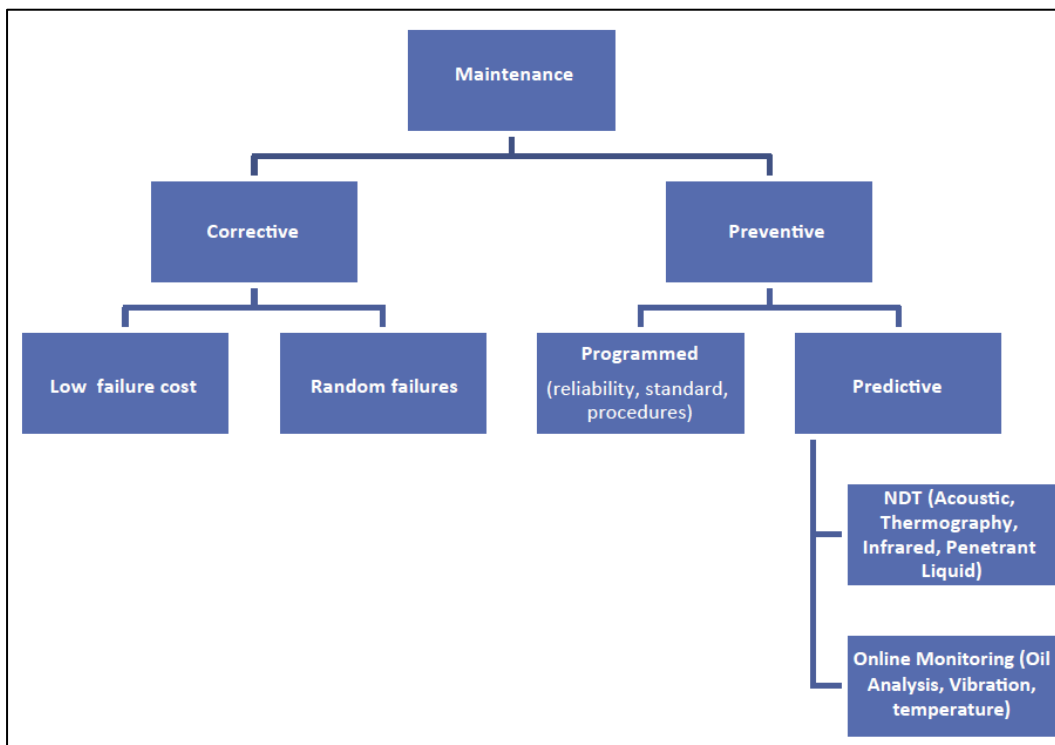
- *Start or endpoints*: Persegi panjang dengan sudut membulat yang digunakan untuk menunjukkan bahwa suatu langkah adalah awal atau akhir dari aliran proses
- *Activity shapes*: Persegi panjang yang mewakili suatu tindakan atau tugas
- *Lines or arrows*: Digunakan untuk menghubungkan langkah-langkah proses dan menggambarkan urutan yang benar dari alur proses
- *Decision shapes*: Belah ketupat yang melambangkan pertanyaan atau keputusan yang perlu dijawab dengan ya atau tidak
- *Input or output symbols*: Jajar genjang yang menandakan data yang masuk dan keluar dari aliran proses
- *Document symbols*: Persegi panjang dengan garis bergelombang di sisi bawah yang menandakan dokumen apa pun yang diperlukan untuk menyelesaikan suatu langkah proses
- *Connector symbols*: Lingkaran kecil yang menunjukkan bahwa diagram alir lain terhubung ke diagram saat ini



Gambar 2.7 Contoh *Swimlane Diagram* (Fonseca, 2022)

2.2.6 Strategi Perawatan

Strategi pemeliharaan adalah jenis pemeliharaan yang diterapkan pada aset yang berkaitan dengan fase siklus hidup aset yang berbeda. Dalam beberapa kasus, penting untuk menyadari bahwa pemeliharaan tidak akan mengembalikan ketersediaan dan keandalan operasional aset atau meningkatnya biaya operasional dari waktu ke waktu yang diperlukan untuk mengganti peralatan. Terdapat dua jenis pemeliharaan: *corrective* dan *preventive*. *Corrective maintenance* dilakukan setelah peralatan rusak sedangkan *preventive maintenance* dilakukan sebelum peralatan rusak. Tujuan melakukan pemeliharaan sebelum kegagalan peralatan adalah untuk mengurangi waktu antara kegagalan dan biaya (Calixto, 2016).

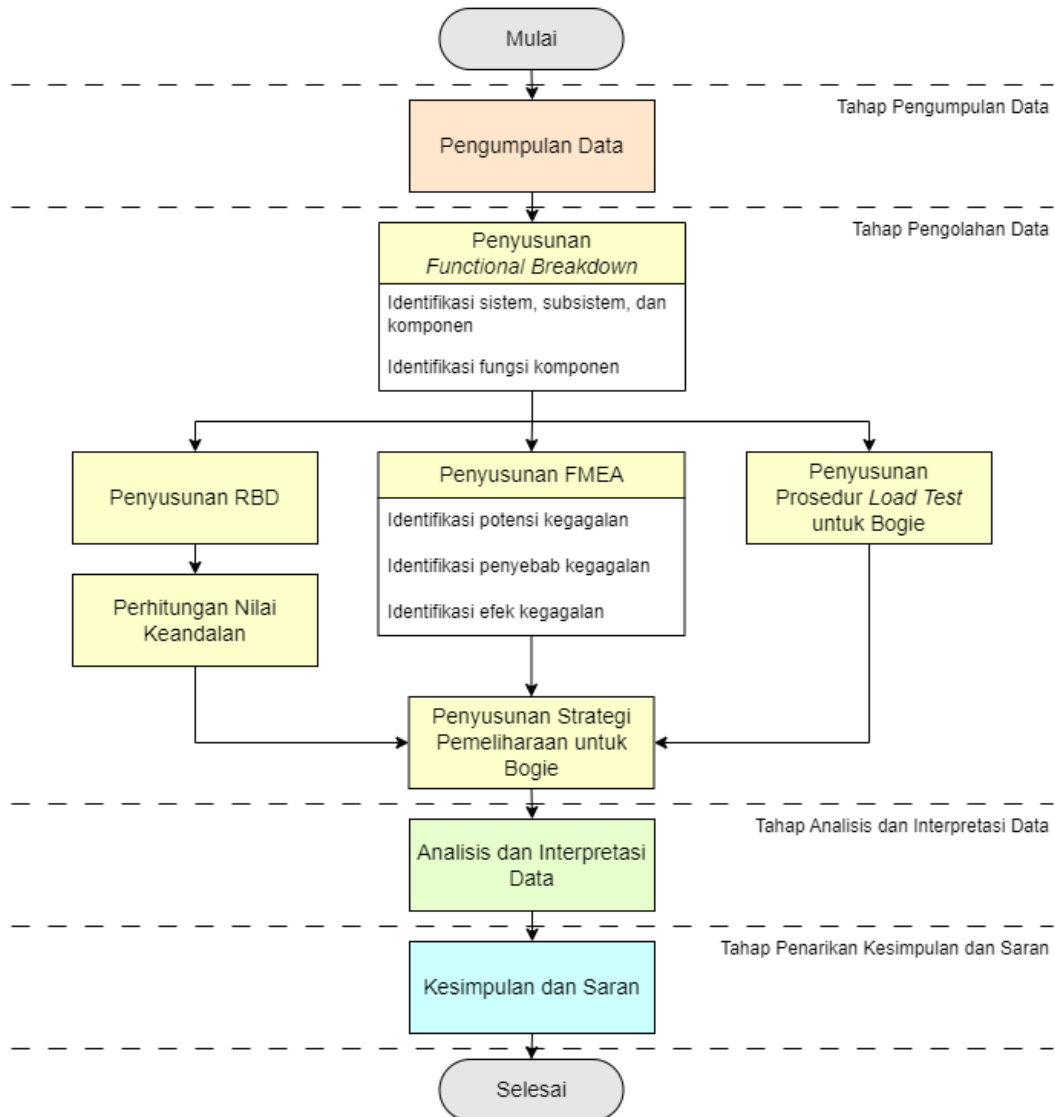


Gambar 2.8 Tipe Strategi Perawatan (Calixto, 2016)

Corrective maintenance adalah tindakan perbaikan yang dilakukan karena kegagalan atau kekurangan yang ditemukan selama pemeliharaan preventif atau sebaliknya, untuk memperbaiki item ke kondisi operasinya. Biasanya, pemeliharaan korektif adalah tindakan pemeliharaan tidak terencana yang membutuhkan perhatian mendesak yang harus ditambahkan, diintegrasikan dengan, atau diganti dengan pekerjaan yang telah dijadwalkan sebelumnya. Sedangkan *preventive maintenance* adalah perawatan dan layanan oleh personel pemeliharaan untuk menjaga fasilitas dalam kondisi operasional yang memuaskan dengan menyediakan inspeksi, deteksi, dan koreksi sistematis (Dhillon, 2006).

BAB 3 METODOLOGI

Bab 3 merupakan metodologi penelitian yang memuat alur penelitian tugas akhir dalam visualisasi diagram alir (*flowchart*) serta penjabaran setiap tahapan secara detail. Berikut ini merupakan penjelasan dari tahapan metodologi penelitian.



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian (Penulis)

3.1 Pengumpulan Data

Tahap pengumpulan data merupakan proses menghimpun data yang diperlukan untuk dilakukan pengolahan data pada tahap selanjutnya. Pengumpulan data dilakukan dengan mempelajari studi literatur yang relevan dengan objek dan metode penelitian. Selain itu, juga dilakukan observasi lapangan seperti wawancara/diskusi dengan beberapa pihak di Departemen *Engineering* serta data internal perusahaan. Beberapa data yang diperlukan adalah komponen penyusun VMBI, laju kegagalan (*failure rate*) dari komponen penyusun VMBI, *engineering drawing* dari *bogie*, target durasi pengoperasian, dan prosedur pengujian beban *bogie*.

3.2 Pengolahan Data

Pada tahap pengolahan data, dilakukan identifikasi *functional breakdown*, penyusunan FMEA, penyusunan RBD, perhitungan *reliability*, penyusunan dan perhitungan nilai prediksi keandalan (*reliability prediction*).

3.2.1 Identifikasi Komponen dengan *Functional Breakdown*

Langkah awal pengolahan data dilakukan dengan mengidentifikasi komponen-komponen penyusun VMBI. Metode yang digunakan adalah *Functional Breakdown*. Metode tersebut akan memudahkan dalam memetakan dan memahami struktur *assembly* secara sistematis. *Functional Breakdown* memiliki fungsi yang sama dengan *bill of materials* (BOM), yaitu memberikan informasi yang jelas tentang semua komponen yang diperlukan untuk membuat produk.

Functional Breakdown direpresentasikan dalam bentuk hierarki yang memperlihatkan hierarki fungsi-fungsi utama dan sub-fungsi yang mendukungnya. Hierarki yang digunakan yaitu sistem, subsistem, dan komponen sesuai dengan standar EN 50126. *Functional Breakdown* disusun menggunakan Microsoft Excel.

3.2.2 Penyusunan FMEA

FMEA merupakan metode yang bertujuan untuk meninjau potensi kegagalan komponen. Dalam menyusun FMEA, diperlukan pemahaman mengenai komponen penyusun beserta fungsinya. Setelah itu dilakukan identifikasi potensi kegagalan yang mungkin terjadi, penyebab kegagalan tersebut terjadi, dan efek karena adanya kegagalan tersebut.

Mode kegagalan (*Failure Mode/FM*) didefinisikan sebagai keadaan atau fungsi yang tidak diharapkan dari suatu sistem atau komponen dan merupakan gambaran kegagalan suatu sistem atau komponen dalam menjalankan fungsinya. FM dapat menyebabkan efek kegagalan (*failure effect*). Efek kegagalan adalah hasil dari FM pada tingkat yang lebih tinggi dari suatu sistem, yang dapat membuat sistem gagal atau mencapai probabilitas kegagalan yang tinggi. Mekanisme kegagalan (*failure mechanism*) adalah hasil fisik dari penyebab awal yang mengarah ke FM. Penyebab kegagalan (*failure cause*) adalah situasi atau kondisi yang menjelaskan penyebab mendasar dari suatu masalah yang mengarah ke mekanisme kegagalan. FMEA disusun menggunakan Microsoft Excel.

3.2.3 Penyusunan RBD

Setelah mengetahui komponen penyusun beserta fungsinya, dilakukan identifikasi keterkaitan antar komponen untuk menyusun RBD. RBD merupakan diagram yang menggambarkan hubungan logis antara komponen-komponen sistem. Penyusunan RBD dilakukan berdasarkan pengaruh setiap komponen terhadap keberhasilan sistem. RBD disusun dengan rangkaian seri jika kegagalan komponen berpengaruh besar terhadap kegagalan sistem, sedangkan rangkaian paralel, jika kegagalan komponen tidak memberikan pengaruh besar terhadap kegagalan sistem.

Penyusunan RBD dilakukan pada masing-masing sistem. RBD disusun dengan menggunakan simbol-simbol yang sesuai. Simbol persegi panjang digunakan untuk menggambarkan komponen, sedangkan simbol garis digunakan untuk menghubungkan komponen-komponen tersebut sesuai dengan keterkaitan yang telah diidentifikasi. Penyusunan RBD dilakukan dengan bantuan draw.io, yaitu sebuah *open-source* diagram daring yang memungkinkan penggunaanya untuk membuat berbagai jenis diagram.

3.2.4 Perhitungan Nilai Keandalan

Setelah VMBI dimodelkan dalam RBD, maka dilakukan perhitungan *reliability* (*initial reliability*). Nilai laju kegagalan (*failure rate*) komponen telah diketahui berdasarkan data internal perusahaan. Nilai laju kegagalan diperoleh dari beberapa sumber, yakni: data dari pemasok komponen; data operasional dari proyek perkeretaapian lainnya (data historis komponen yang serupa); *reliability online automated databook system* (ROADS); dan penilaian/estimasi (*expert judgment*). Perhitungan *reliability* dari laju kegagalan didasarkan pada rangkaian RBD yang telah disusun. Untuk menghitung *reliability*, dapat menggunakan fungsi keandalan (2.3).

Fungsi keandalan merupakan fungsi waktu dimana terdapat perubahan nilai suatu variabel terhadap waktu, dalam hal ini waktu direpresentasikan oleh variabel t . Fungsi keandalan ini digunakan untuk mengevaluasi dan memodelkan performa sistem atau komponen seiring berjalannya waktu. Karena fungsi keandalan merupakan fungsi waktu, maka akan membentuk grafik yang dinamakan grafik keandalan.

3.2.5 Penyusunan Prosedur Load Test untuk Bogie

Dalam merancang *bogie*, perlu dilakukan beberapa tahapan pengujian terhadap kekuatan komponen dan struktur kereta api. Prosedur *bogie load test* sangat penting untuk memastikan bahwa sistem memenuhi standar keamanan dan kinerja yang ditetapkan oleh peraturan perundangan-undangan yang berlaku. Penyusunan prosedur *bogie load test* memperhatikan beberapa dokumen seperti dokumen internal perusahaan, peraturan perundang-undangan, dan penelitian terdahulu. Luaran dari tahapan ini adalah *swimlane diagram* sehingga diharapkan dapat menjadi informasi yang mudah dipahami.

3.2.6 Penyusunan Strategi Perawatan untuk Bogie

Penentuan strategi perawatan *bogie* didasarkan pada analisis risiko di FMEA. Pentingnya risiko yang terkait dengan bahaya dalam sistem perkeretaapian dapat diprioritaskan dengan menggunakan indeks, yang dinamai *Risk Priority Number* (RPN). RPN mempertimbangkan tiga indikator global, yaitu: *Severity*, yaitu indikator risiko yang berhubungan dengan konsekuensi dari mode kegagalan; *Occurrence*, yaitu indikator risiko yang berhubungan dengan probabilitas terjadinya mode kegagalan; *Detectability*, yaitu indikator risiko yang berhubungan dengan probabilitas terdeteksinya mode kegagalan (pada tahap awal).

Setelah mengetahui nilai RPN dari masing-masing komponen, selanjutnya adalah menetapkan batas RPN tertentu sebagai ambang batas yang menandakan apakah suatu komponen atau kejadian memerlukan perawatan preventif atau perawatan korektif. Batas ini ditetapkan berdasarkan hasil diskusi dan kebijakan perusahaan. Jika nilai RPN tinggi, maka perawatan pencegahan yang lebih sering dan intensif diperlukan untuk mengurangi risiko kerusakan. Namun, jika nilai RPN rendah, perawatan perbaikan atau perawatan korektif akan lebih sesuai karena risiko kerusakan yang terkait dengan komponen tersebut relatif rendah. Selain itu, diperlukan evaluasi ulang secara periodik terhadap RPN untuk memastikan bahwa strategi perawatan yang diterapkan masih relevan dan efektif.

3.3 Analisis dan Interpretasi Data

Pada tahap ini dilakukan analisis dari hasil pengolahan data yang telah dilakukan yaitu, analisis hasil identifikasi FMEA, analisis hasil identifikasi RBD, analisis hasil perhitungan *reliability*, dan analisis penentuan strategi perawatan yang digunakan. Hal itu dilakukan untuk memudahkan pengintrepetasian data sehingga informasi yang ingin disampaikan akan mudah dipahami.

3.4 Kesimpulan dan Saran

Tahap terakhir dalam penelitian ini adalah kesimpulan dan saran. Penarikan kesimpulan dilakukan setelah melakukan berbagai tahapan sebelumnya. Kesimpulan menunjukkan hubungan antara tujuan penelitian dan ketercapaian dari penelitian yang dilakukan. Selain itu, terdapat saran yang dapat digunakan untuk menunjang penelitian selanjutnya.

BAB 4 PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA

Bab 4 merupakan pengumpulan dan pengolahan data yang memuat beberapa data yang digunakan dalam penelitian tugas akhir dan bagaimana data-data tersebut diolah. Data diperoleh dari sumber primer seperti hasil observasi dan wawancara serta sumber sekunder seperti dokumen perusahaan dan sumber kredibel lainnya.

4.1 Gambaran Umum Objek Penelitian

Pada subbab ini dijelaskan profil perusahaan dan profil VMBI sesuai dengan data yang diperoleh.

4.1.1 Profil Perusahaan

PT Industri Kereta Api (Persero) atau PT INKA didirikan pada 18 Mei 1981 yang merupakan perusahaan manufaktur kereta api dan transportasi terpadu pertama di Asia Tenggara. Berbagai produk yang diproduksi PT INKA mulai dari gerbong barang hingga kereta penumpang telah digunakan baik di dalam negeri, hingga di berbagai negara di dunia. PT INKA telah membangun dan memiliki fasilitas produksi yang lengkap dalam satu kawasan industri terpadu di wilayah Madiun, Jawa Timur. Fasilitas yang dimiliki oleh PT INKA meliputi fasilitas untuk perkantoran, penelitian dan pengembangan, teknologi produksi, fabrikasi dan *finishing* kereta, *quality control*, termasuk fasilitas dan alat untuk pengujian, serta pergudangan (PT INKA, 2021).

PT INKA memiliki visi yaitu, “Menjadi perusahaan manufaktur dan bisnis terkait yang memberikan solusi terpadu untuk sistem transportasi darat yang berkelanjutan” dengan misi

1. membangun manufaktur sistem transportasi dan ekosistem industri dalam rangka mendukung kemajuan industri nasional;
2. menciptakan solusi transportasi terpadu dalam sistem transportasi masal, angkutan barang dan komoditas;
3. memperluas pasar baik dalam negeri maupun luar negeri dan memperbanyak spektrum produk; dan
4. sebagai pusat kompetensi dalam industri transportasi darat yang mampu menyerap, mengimplementasikan, dan membagikan ilmunya untuk peningkatan kompetensi SDM (PT INKA, 2021).

PT INKA memiliki bidang bisnis dan produk sesuai Anggaran Dasar perusahaan seperti yang ditunjukkan oleh Tabel 4.1.

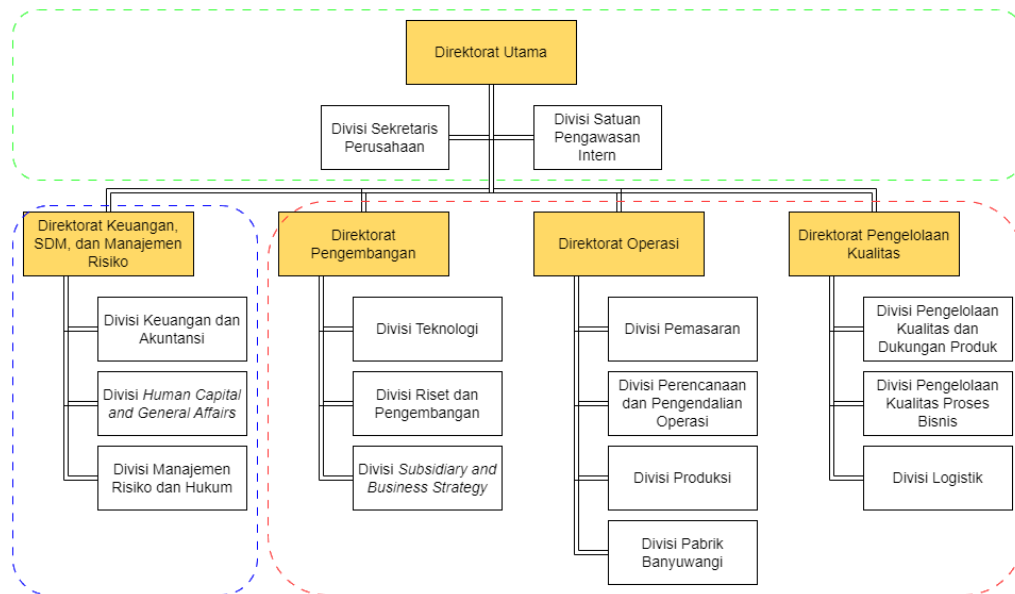
Tabel 4.1 Bidang Bisnis dan Produk Perusahaan

Bidang Bisnis	Produk
<ul style="list-style-type: none">• Manufaktur sarana kereta api• Konstruksi pengadaan rekayasa• Servis & retail• Jasa rehabilitasi atau retrofit sarana kereta api• Jasa enjinering & desain kereta api	<ul style="list-style-type: none">• Lokomotif• Kereta penumpang• Kereta berpengerak (KRL, LRT, dll)• Gerbong barang• Kereta khusus (kereta inspeksi, dll)• Produk pengembangan (bus bertenaga listrik dan trem bertenaga listrik)

Perusahaan atau organisasi tidak dapat mencapai tujuan dan bahkan tidak dapat berjalan tanpa adanya sumber daya manusia yang berkepentingan di dalamnya. Oleh karena itu, PT INKA juga memiliki struktur organisasi dengan masing-masing peran yang memiliki satu tujuan bersama. Struktur organisasi PT INKA seperti pada Gambar 4.1. Struktur

organisasi PT INKA dapat diklasifikasikan berdasarkan *framework* CIMOSA. Klasifikasi tersebut meliputi *manage process*, *core process* dan *support process*.

Manage process berkaitan dengan pengelolaan strategis perusahaan seperti pengambilan keputusan strategis, perencanaan, pengorganisasian, dan pengawasan. Pada Gambar 4.1 ditunjukkan dengan kotak berwarna hijau yang mencakup Direktorat Utama. *Core process* merupakan inti dari kegiatan bisnis perusahaan. Pada Gambar 4.1 ditunjukkan dengan kotak berwarna merah yang mencakup Direktorat Pengembangan, Direktorat Operasi, dan Direktorat Pengelolaan Kualitas. *Support process* mendukung jalannya operasional perusahaan seperti aktivitas-aktivitas yang tidak langsung terkait dengan produksi atau layanan. Pada Gambar 4.1 ditunjukkan dengan kotak berwarna biru yang mencakup Direktorat Keuangan, SDM, dan Manajemen Risiko.



Gambar 4.1 Struktur Organisasi Perusahaan

4.1.2 Profil VMBI

VMBI merupakan kendaraan khusus yang digunakan untuk melakukan perawatan aset infrastruktur, khususnya untuk material pada struktur bawah lintasan LRT Jabodebek (*lead rubber bearings/LRB*, saluran drainase vertikal, beton tumpuan LRB, dan lain-lain). Setiap peralatan dalam seri VMBI dirancang untuk tidak menimbulkan EMI (*Electro Magnetic Interference*) yang dapat mengganggu sistem persinyalan, perangkat pengaman pintu peron (PSD) dan sistem telekomunikasi. Pengukuran kerapatan gelombang elektromagnetik di dalam ruang kabin didesain tidak melebihi 1×10^{-3} Tesla (10 Gauss) yang dibuktikan dengan surat/sertifikat hasil pengujian (Bayu, 2022).

VMBI merupakan kereta berpengerak yang menggunakan tenaga mesin diesel sebagai penggeraknya dan memiliki 2 (dua) kabin masinis. Kendaraan ini dilengkapi *telescopic crane system* dengan fungsi mengangkat personil untuk melakukan perawatan struktur bawah pada jalur LRT Jabodebek. VMBI didesain untuk beroperasi di atas rel dengan ukuran 1435 mm (Standar Indonesia). *Maximum design speed* adalah 90 km/jam dan *operational creep speed* adalah 3-5 km/jam, dengan berat gerbong maksimum 12 ton. Sumber tenaga menggunakan mesin diesel dengan kapasitas mesin minimum 336 kW. Mesin diesel dilengkapi dengan sistem kontrol menggunakan mikroprosesor elektronik dengan sistem manajemen daya untuk mengoptimalkan konsumsi bahan bakar (Bayu, 2022).



Gambar 4.2 VMBI 3D Design

VMBI diasumsikan beroperasi satu minggu sekali, enam jam per minggu, dan 52 minggu per tahun. Tabel merupakan asumsi untuk *mission profile* VMBI (Ariyani, 2023).

Tabel 4.2 VMBI *Mission Profile*

<i>Fleet size (TS)</i>	1
<i>Train yearly Mileage (km)</i>	8448
<i>Train yearly Hours (hour/year)</i>	312
<i>Fleet Yearly Hours (hour/year)</i>	312

4.2 *Functional Breakdown*

Pada subbab ini, ditampilkan *Functional Breakdown* dari elemen-elemen yang menyusun VMBI. Penyusunan ini dilakukan untuk memetakan dan memahami secara rinci struktur *assembly* dari VMBI, yang nantinya akan digunakan sebagai dasar dalam analisis keandalan.

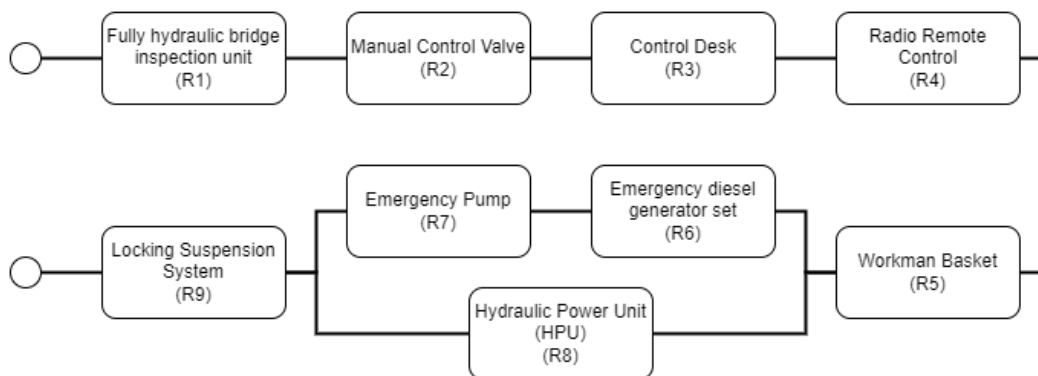
Metode *Functional Breakdown* ini mengadopsi standar EN 50126, yang mengorganisir komponen dalam hierarki yang terdiri dari sistem, subsistem, dan komponen. Proses penyusunan dilakukan dengan menggunakan Microsoft Excel untuk memudahkan pengelolaan data dan visualisasi hierarki. Dalam tabel yang disajikan berikut, setiap komponen VMBI diidentifikasi dan dikategorikan sesuai dengan fungsinya dalam sistem keseluruhan. Hierarki ini dimulai dari tingkat tertinggi, yaitu *trainset* VMBI, yang kemudian dipecah menjadi beberapa sistem utama. Masing-masing sistem tersebut kemudian dipecah menjadi subsistem dan masing-masing subsistem dipecah menjadi komponen-komponen yang lebih spesifik. Penyusunan secara hierarkis ini memberikan gambaran yang jelas dan terstruktur mengenai semua elemen yang membentuk VMBI. *Functional Breakdown* VMBI dapat dilihat pada Lampiran A.

4.3 *Penyusunan RBD dan Perhitungan Nilai Keandalan*

Reliability Block Diagram (RBD) merupakan representasi grafis dari sistem yang menunjukkan bagaimana komponen/subsistem/sistem saling berkaitan. Dalam penelitian ini, RBD disusun untuk masing-masing sistem dalam VMBI. Setiap sistem diuraikan menjadi blok-blok yang menggambarkan komponen atau subsistem penyusunnya. Total terdapat sebelas RBD yang menggambarkan masing-masing sistem, ditambah satu RBD yang menggambarkan keseluruhan *trainset*.

RBD digunakan sebagai *tools* dalam menentukan reliabilitas sistem dengan mengidentifikasi komponen atau subsistem yang memiliki pengaruh kinerja keseluruhan. Setiap blok dalam RBD menunjukkan komponen atau subsistem yang memiliki laju kegagalan (*failure rate*) tertentu. Data *failure rate* ini diperoleh dari berbagai sumber seperti pemasok (*supplier*), pengalaman operasional dari proyek lain yang serupa, basis data (seperti ROADS, NPRD-2023, EPRD-2014, dan FMD-2016), standar internasional, dan estimasi berdasarkan *engineering judgment*.

Gambar 4.3 merupakan RBD dari sistem *bridge inspection Crane*. Setiap subsistem dalam sistem ini memiliki nilai laju kegagalan (*failure rate*) masing-masing yang dapat dilihat pada tabel 4.3. Selanjutnya, dapat dihitung *reliability* masing-masing subsistem menggunakan persamaan (2.3).



Gambar 4.3 *Bridge Inspection Crane* RBD

Tabel 4.3 Laju Kegagalan Subsistem di Sistem *Bridge Inspection Crane*

ID	Subsystem	Failure Rate (failure/hour)	Qty	R(t)
<i>Bridge Inspection Crane</i>				
1.1	<i>Fully hydraulic bridge inspection unit</i>	1,07E-04	1	0,99989312
1.2	<i>Manual control valve</i>	3,48E-07	1	0,99999965
1.3	<i>Control desk</i>	1,27E-06	1	0,99999873
1.4	<i>Radio remote control</i>	2,40E-07	1	0,99999976
1.5	<i>Workman basket</i>	4,60E-06	1	0,99999954
1.6	<i>Hydraulic power unit (HPU)</i>	2,69E-05	1	0,9999731
1.7	<i>Emergency pump</i>	2,96E-06	1	0,99999704
1.8	<i>Emergency diesel generator set</i>	2,95E-05	1	0,99997048
1.9	<i>Locking suspension system</i>	8,17E-05	1	0,99991829

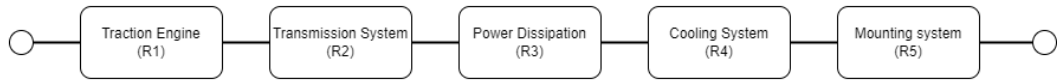
Contoh perhitungan *reliability* subsistem:

Diketahui *failure rate* dari *fully hydraulic bridge inspection unit*, maka:

$$R_{(t)} = e^{-(1,07E-04 \times 1)}$$

$$R_{(t)} = 0,99989312$$

Gambar 4.4 merupakan RBD dari sistem *propulsion*. Setiap subsistem dalam sistem ini memiliki nilai laju kegagalan (*failure rate*) masing-masing yang dapat dilihat pada tabel 4.4. Selanjutnya, dapat dihitung *reliability* masing-masing subsistem menggunakan persamaan (2.3).



Gambar 4.4 Propulsion RBD

Tabel 4.4 Laju Kegagalan Subsystem di Sistem Propulsion

ID	Subsystem	Failure Rate (failure/hour)	Qty	R(t)
<i>Propulsion</i>				
2.1	Traction engine	2,61E-05	1	0,99997387
2.2	Transmission system	3,53E-06	1	0,99999647
2.3	Power dissipation	5,96E-06	1	0,99999404
2.4	Cooling system	8,19E-06	1	0,99999181
2.5	Mounting system	1,49E-06	1	0,99999851

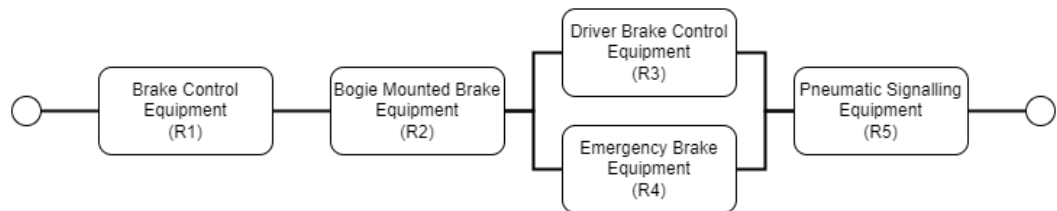
Contoh perhitungan *reliability* subsystem:

Diketahui *failure rate* dari *traction engine*, maka:

$$R_{(t)} = e^{-(2,61E-05 \times 1)}$$

$$R_{(t)} = 0,99997387$$

Gambar 4.5 merupakan RBD dari sistem *brake*. Setiap subsystem dalam sistem ini memiliki nilai laju kegagalan (*failure rate*) masing-masing yang dapat dilihat pada tabel 4.5. Selanjutnya, dapat dihitung *reliability* masing-masing subsystem menggunakan persamaan (2.3).



Gambar 4.5 Brake RBD

Tabel 4.5 Laju Kegagalan Subsystem di Sistem Brake

ID	Subsystem	Failure Rate (failure/hour)	Qty	R(t)
<i>Brake</i>				
3.1	Brake control equipment	5,47E-06	1	0,99999453
3.2	Bogie mounted brake equipment	7,67E-07	1	0,99999923
3.3	Driver brake control equipment	2,30E-05	1	0,99997704
3.4	Emergency brake equipment	3,88E-06	1	0,99999612
3.5	Pneumatic signalling equipment	4,46E-06	1	0,99999554

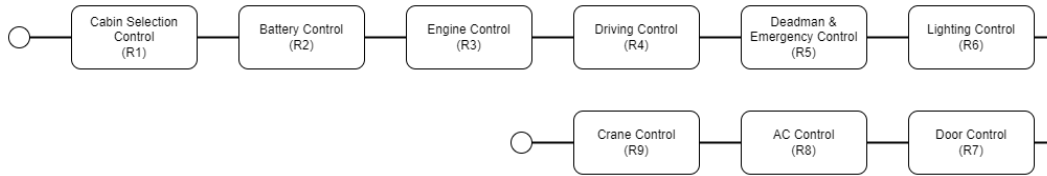
Contoh perhitungan *reliability* subsystem:

Diketahui *failure rate* dari *brake control equipment*, maka:

$$R_{(t)} = e^{-(5,47E-06 \times 1)}$$

$$R_{(t)} = 0,99999453$$

Gambar 4.6 merupakan RBD dari sistem *vehicle control unit*. Setiap subsistem dalam sistem ini memiliki nilai laju kegagalan (*failure rate*) masing-masing yang dapat dilihat pada tabel 4.6. Selanjutnya, dapat dihitung *reliability* masing-masing subsistem menggunakan persamaan (2.3).



Gambar 4.6 VCC RBD

Tabel 4.6 Laju Kegagalan Subsistem di Sistem VCC

ID	Subsystem	Failure Rate (failure/hour)	Qty	R(t)
4.1	Cabin selection control	1,51E-07	1	0,99999985
4.2	Battery control	8,33E-08	1	0,99999992
4.3	Engine control	6,87E-08	1	0,99999993
4.4	Driving control	5,82E-07	1	0,99999942
4.5	Deadman & emergency control	8,08E-05	1	0,99991923
4.6	Lighting control	2,75E-07	1	0,99999972
4.7	Door control	2,70E-06	1	0,9999973
4.8	AC control	2,58E-07	1	0,99999974
4.9	Crane control	7,50E-08	1	0,99999993

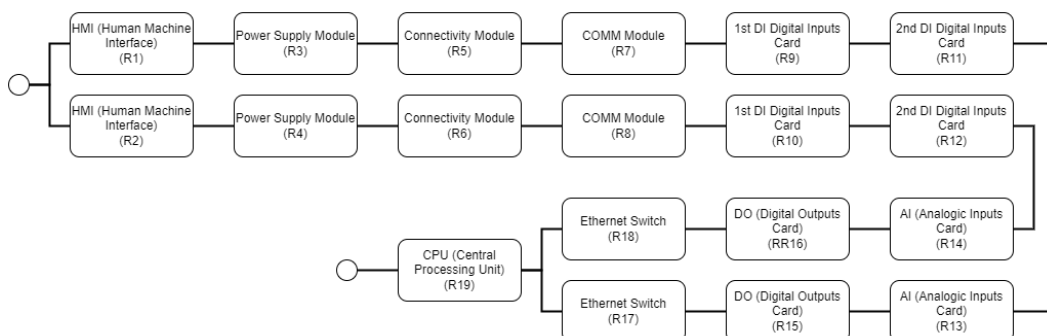
Contoh perhitungan *reliability* subsistem:

Diketahui *failure rate* dari *cabin selection control*, maka:

$$R(t) = e^{-(1,51E-07 \times 1)}$$

$$R(t) = 0,99999985$$

Gambar 4.7 merupakan RBD dari sistem TCMS. Setiap subsistem dalam sistem ini memiliki nilai laju kegagalan (*failure rate*) masing-masing yang dapat dilihat pada tabel 4.7. Selanjutnya, dapat dihitung *reliability* masing-masing subsistem menggunakan persamaan (2.3).



Gambar 4.7 TCMS RBD

Tabel 4.7 Laju Kegagalan Subsystem di Sistem TCMS

ID	Subsystem	Failure Rate (failure/hour)	Qty	R(t)
TCMS				
5.1	HMI (Human Machine Interface)	1,00E-06	2	0,999999
5.2	Power supply module	1,63E-06	2	0,99999837
5.3	Connectivity module	1,63E-06	2	0,99999837
5.4	COMM Module	6,38E-07	2	0,99999936
5.5	1st DI digital inputs card	3,86E-07	2	0,99999961
5.6	2nd DI digital inputs card	3,86E-07	2	0,99999961
5.7	DO (Digital Outputs Card)	3,86E-07	2	0,99999961
5.8	AI (Analogic Inputs Card)	3,86E-07	2	0,99999961
5.9	CPU (Central Processing Unit)	3,48E-07	1	0,99999965
5.10	Ethernet switch	1,40E-05	2	0,99998601

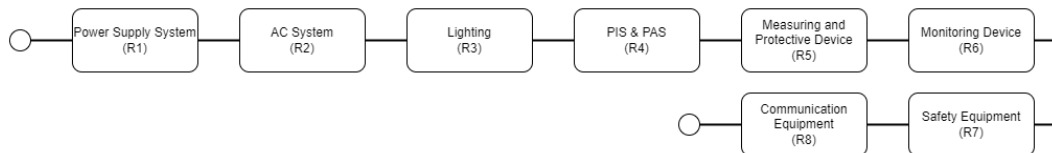
Contoh perhitungan *reliability* subsystem:

Diketahui *failure rate* dari HMI, maka:

$$R_{(t)} = e^{-(1,00E-06 \times 1)}$$

$$R_{(t)} = 0,999999$$

Gambar 4.8 merupakan RBD dari sistem *auxiliary*. Setiap subsystem dalam sistem ini memiliki nilai laju kegagalan (*failure rate*) masing-masing yang dapat dilihat pada tabel 4.8. Selanjutnya, dapat dihitung *reliability* masing-masing subsystem menggunakan persamaan (2.3).



Gambar 4.8 Auxiliary RBD

Tabel 4.8 Laju Kegagalan Subsystem di Sistem Auxiliary

ID	Subsystem	Failure Rate (failure/hour)	Qty	R(t)
Auxiliary				
6.1	Power supply system	4,43E-05	1	0,99995571
6.2	AC system	4,68E-08	1	0,99999995
6.3	Lighting	5,96E-06	1	0,99999404
6.4	PIS & PAS	4,35E-05	1	0,99995655
6.5	Measuring and protective device	1,48E-05	1	0,9999852
6.6	Monitoring device	8,91E-05	1	0,9999109
6.7	Safety equipment	9,14E-09	1	0,99999999
6.8	Communication equipment	1,16E-07	1	0,99999988

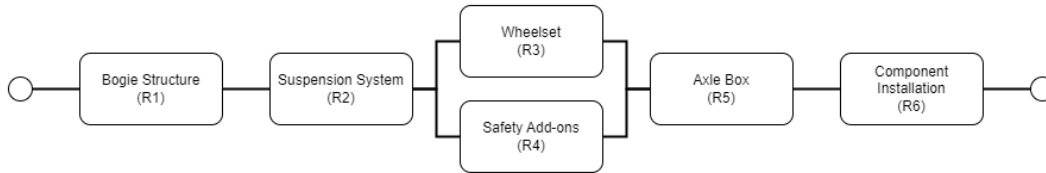
Contoh perhitungan *reliability* subsystem:

Diketahui *failure rate* dari *power supply system*, maka:

$$R_{(t)} = e^{-(4,43E-05 \times 1)}$$

$$R_{(t)} = 0,99995571$$

Gambar 4.9 merupakan RBD dari sistem *bogie*. Setiap subsistem dalam sistem ini memiliki nilai laju kegagalan (*failure rate*) masing-masing yang dapat dilihat pada tabel 4.9. Selanjutnya, dapat dihitung *reliability* masing-masing subsistem menggunakan persamaan (2.3).



Gambar 4.9 *Bogie* RBD

Tabel 4.9 Laju Kegagalan Subsistem di Sistem *Bogie*

ID	Subsystem	Failure Rate (failure/hour)	Qty	R(t)
<i>Bogie</i>				
7.1	<i>Bogie structure</i>	3,82E-06	1	0,99999618
7.2	<i>Suspension system</i>	6,96E-06	1	0,99999304
7.3	<i>Wheelset</i>	2,56E-05	1	0,9999744
7.4	<i>Axle box</i>	1,64E-07	1	0,99999984
7.5	<i>Component installation</i>	5,05E-05	1	0,9999495
7.6	<i>Safety add-ons</i>	3,16E-06	1	0,99999684

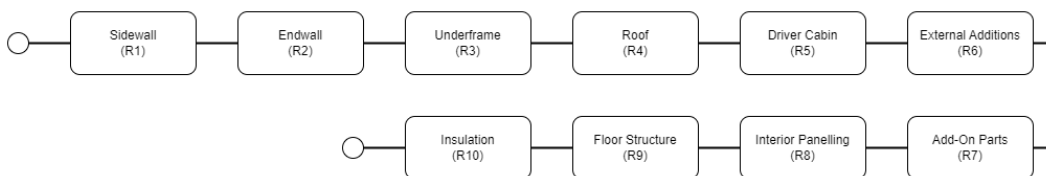
Contoh perhitungan *reliability* subsistem:

Diketahui *failure rate* dari *bogie structure*, maka:

$$R_{(t)} = e^{-(3,82E-06 \times 1)}$$

$$R_{(t)} = 0,99999618$$

Gambar 4.10 merupakan RBD dari sistem *carbody*. Setiap subsistem dalam sistem ini memiliki nilai laju kegagalan (*failure rate*) masing-masing yang dapat dilihat pada tabel 4.10. Selanjutnya, dapat dihitung *reliability* masing-masing subsistem menggunakan persamaan (2.3).



Gambar 4.10 *Carbody* RBD

Tabel 4.10 Laju Kegagalan Subsistem di Sistem *Carbody*

ID	Subsystem	Failure Rate (failure/hour)	Qty	R(t)
<i>Carbody</i>				
8.1	<i>Sidewall</i>	1,53E-07	1	0,99999985
8.2	<i>Endwall</i>	9,63E-08	1	0,9999999
8.3	<i>Roof</i>	5,38E-12	1	1
8.4	<i>Underframe</i>	2,63E-07	1	0,99999974
8.5	<i>Driver cab</i>	6,38E-08	1	0,99999994
8.6	<i>Add on-parts</i>	1,94E-12	1	1

ID	Subsystem	Failure Rate (failure/hour)	Qty	R(t)
8.7	Floor structure	5,38E-12	1	1
8.8	Insulation	2,19E-08	1	0,99999998
8.9	Interior panelling	3,50E-07	1	0,99999965
8.10	External additions	6,25E-07	1	0,99999938

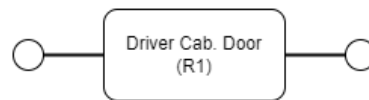
Contoh perhitungan *reliability* subsistem:

Diketahui *failure rate* dari *sidewall*, maka:

$$R_{(t)} = e^{-(1,53E-07 \times 1)}$$

$$R_{(t)} = 0,99999985$$

Gambar 4.11 merupakan RBD dari sistem *door*. Setiap subsistem dalam sistem ini memiliki nilai laju kegagalan (*failure rate*) masing-masing yang dapat dilihat pada tabel 4.11. Selanjutnya, dapat dihitung *reliability* masing-masing subsistem menggunakan persamaan (2.3).



Gambar 4.11 *Door* RBD

Tabel 4.11 Laju Kegagalan Subsistem di Sistem *Door*

ID	Subsystem	Failure Rate (failure/hour)	Qty	R(t)
<i>Door</i>				
9.1	Driver cabin door	1,96E-07	1	0,99999998

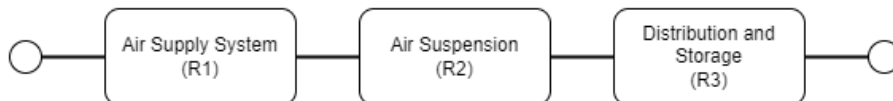
Contoh perhitungan *reliability* subsistem:

Diketahui *failure rate* dari *driver cabin door*, maka:

$$R_{(t)} = e^{-(1,96E-07 \times 1)}$$

$$R_{(t)} = 0,99999998$$

Gambar 4.12 merupakan RBD dari sistem *pneumatic & hydraulic*. Setiap subsistem dalam sistem ini memiliki nilai laju kegagalan (*failure rate*) masing-masing yang dapat dilihat pada tabel 4.12. Selanjutnya, dapat dihitung *reliability* masing-masing subsistem menggunakan persamaan (2.3).



Gambar 4.12 *Pneumatic & Hydraulic* RBD

Tabel 4.12 Laju Kegagalan Subsistem di Sistem *Pneumatic & Hydraulic*

ID	Subsystem	Failure Rate (failure/hour)	Qty	R(t)
<i>Pneumatic & Hydraulic</i>				
10.1	<i>Air supply system</i>	4,85E-06	1	0,99999515
10.2	<i>Air suspension</i>	2,31E-05	1	0,99997687
10.3	<i>Distribution and storage</i>	3,23E-06	1	0,99999677

Contoh perhitungan *reliability* subsistem:

Diketahui *failure rate* dari *air supply system*, maka:

$$R_{(t)} = e^{-(4,85E-06 \times 1)}$$

$$R_{(t)} = 0,99999515$$

Gambar 4.13 merupakan RBD dari sistem *vehicle linkage*. Setiap subsistem dalam sistem ini memiliki nilai laju kegagalan (*failure rate*) masing-masing yang dapat dilihat pada tabel 4.13. Selanjutnya, dapat dihitung *reliability* masing-masing subsistem menggunakan persamaan (2.3).



Gambar 4.13 *Vehicle Linkage* RBD

Tabel 4.13 Laju Kegagalan Subsistem di Sistem *Vehicle Linkage*

ID	Subsystem	Failure Rate (failure/hour)	Qty	R(t)
<i>Vehicle Linkage</i>				
11.1	<i>Coupler head assy</i>	3,45E-05	1	0,99996548
11.2	<i>Coupler yoke assy</i>	7,21E-07	1	0,99999928
11.3	<i>Draft gear assy</i>	1,18E-05	1	0,99998817
11.4	<i>Coupler support assy</i>	2,53E-07	1	0,99999975
11.5	<i>Suspension assy</i>	1,08E-06	1	0,99999893
11.6	<i>Electrical coupler assy</i>	3,48E-08	1	0,99999997

Contoh perhitungan *reliability* subsistem:

Diketahui *failure rate* dari *coupler head assy*, maka:

$$R_{(t)} = e^{-(3,45E-05 \times 1)}$$

$$R_{(t)} = 0,99996548$$

Setelah *reliability* untuk masing-masing subsistem diketahui, maka dilakukan perhitungan *reliability* untuk masing-masing sistem dan keseluruhan VMBI (*trainset*) menggunakan persamaan 2.23 atau persamaan 2.24. Berdasarkan konfigurasi RBD pada Gambar 4.3 dan laju kegagalan pada Tabel 4.3, maka *reliability* dari *bridge inspection crane*:

$$R_{bridge\ insp.\ crane} = R_1 \times R_2 \times R_3 \times R_4 \times R_5 \times [1 - (1 - R_6 \times R_7)(1 - R_8)] \times R_9$$

$$R_{bridge\ insp.\ crane} = 0,99980496$$

Berdasarkan konfigurasi RBD pada Gambar 4.4 dan laju kegagalan pada Tabel 4.4, maka *reliability* dari *propulsion*:

$$R_{propulsion} = R_1 \times R_2 \times R_3 \times R_4 \times R_5$$

$$R_{propulsion} = 0,999954703$$

Berdasarkan konfigurasi RBD pada Gambar 4.5 dan laju kegagalan pada Tabel 4.5, maka *reliability* dari *brake*:

$$R_{brake} = R_1 \times R_2 \times R_3 \times R_4 \times R_5$$

$$R_{brake} = 0,999989303$$

Berdasarkan konfigurasi RBD pada Gambar 4.6 dan laju kegagalan pada Tabel 4.6, maka *reliability* dari VCC:

$$R_{VCC} = R_1 \times R_2 \times R_3 \times R_4 \times R_5 \times R_6 \times R_7 \times R_8 \times R_9$$

$$R_{VCC} = 0,999915042$$

Berdasarkan konfigurasi RBD pada Gambar 4.7 dan laju kegagalan pada Tabel 4.7, maka *reliability* dari TCMS:

$$R_{TCMS} = [1 - (1 - R_1 \times R_3 \times R_5 \times R_7 \times R_9 \times R_{11} \times R_{13} \times R_{15} \times R_{17})^2] \times R_{19}$$

$$R_{TCMS} = 0,999999651$$

Berdasarkan konfigurasi RBD pada Gambar 4.8 dan laju kegagalan pada Tabel 4.8, maka *reliability* dari *auxiliary*:

$$R_{auxiliary} = R_1 \times R_2 \times R_3 \times R_4 \times R_5 \times R_6 \times R_7 \times R_8$$

$$R_{auxiliary} = 0,999802244$$

Berdasarkan konfigurasi RBD pada Gambar 4.9 dan laju kegagalan pada Tabel 4.9, maka *reliability* dari *bogie*:

$$R_{bogie} = R_1 \times R_2 \times [1 - (1 - R_3)(1 - R_4)] \times R_5 \times R_6$$

$$R_{bogie} = 0,999938558$$

Berdasarkan konfigurasi RBD pada Gambar 4.10 dan laju kegagalan pada Tabel 4.10, maka *reliability* dari *carbody*:

$$R_{carbody} = R_1 \times R_2 \times R_3 \times R_4 \times R_5 \times R_6 \times R_7 \times R_8 \times R_9 \times R_{10}$$

$$R_{carbody} = 0,999998427$$

Berdasarkan konfigurasi RBD pada Gambar 4.11 dan laju kegagalan pada Tabel 4.11, maka *reliability* dari *door*:

$$R_{door} = R_1$$

$$R_{door} = 0,999999804$$

Berdasarkan konfigurasi RBD pada Gambar 4.12 dan laju kegagalan pada Tabel 4.12, maka *reliability* dari *pneumatic & hydraulic*:

$$R_{pneumatic \& hydraulic} = R_1 \times R_2 \times R_3$$

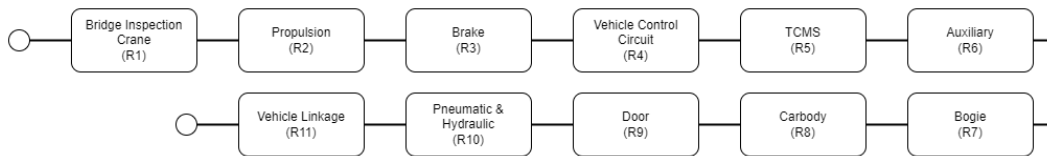
$$R_{pneumatic \& hydraulic} = 0,999968788$$

Berdasarkan konfigurasi RBD pada Gambar 4.13 dan laju kegagalan pada Tabel 4.13, maka *reliability* dari *vehicle linkage*:

$$R_{vehicle \ linkage} = R_1 \times R_2 \times R_3 \times R_4 \times R_5 \times R_6$$

$$R_{vehicle \ linkage} = 0,999937686$$

Rekapitulasi hasil perhitungan masing-masing *reliability* sistem ditunjukkan pada Tabel 4.14. Selanjutnya dilakukan perhitungan *reliability* dari VMBI berdasarkan konfigurasi RBD pada Gambar 4.14.



Gambar 4.14 VMBI (*trainset*) RBD

Tabel 4.14 Hasil Perhitungan *Reliability* Sistem

ID	System	R(t)
1	Bridge Inspection Crane	0,99980496
2	Propulsion	0,99995470
3	Brake	0,99998930
4	VCC	0,99991504
5	TCMS	0,99999965
6	Auxiliary	0,99980224
7	Bogie	0,99993856
8	Carbody	0,99999843
9	Door	0,99999980
10	Pneumatic & Hydraulic	0,99996879
11	Vehicle Linkage	0,99993769

Berdasarkan Gambar 4.14, konfigurasi RBD dari VMBI (*trainset*) adalah seri, sehingga perhitungan *reliability* adalah:

$$R_{VMBI} = R_1 \times R_2 \times R_3 \times R_4 \times R_5 \times R_6 \times R_7 \times R_8 \times R_9 \times R_{10} \times R_{11}$$

$$R_{VMBI} = 0,99930936$$

Jika *reliability* dan waktu (t) telah diketahui, maka *failure rate* dari VMBI dapat dihitung, yaitu:

$$\lambda = -\frac{\ln(R_{VMBI})}{t}$$

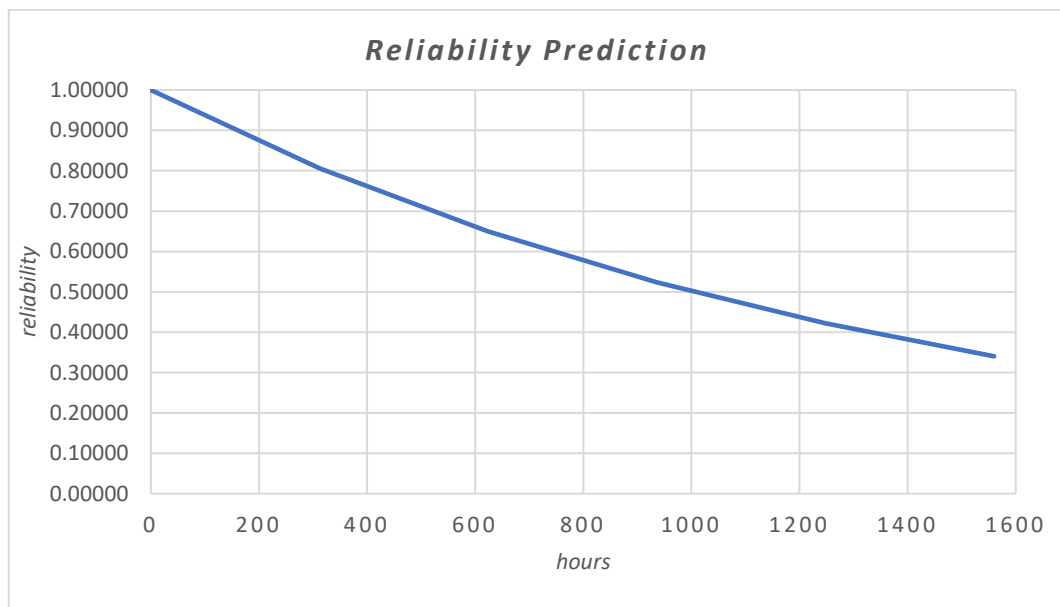
$$\lambda = -\frac{\ln(0.99930936)}{1}$$

$$\lambda = 6,91E - 04$$

Tabel 4.15 Hasil Perhitungan *Reliability* dan *Failure Rate* dari VMBI

<i>R(t)</i>	<i>Failure Rate (failure/hours)</i>
0,99930936	6,91E-04

Berdasarkan *mission profile* pada Tabel 4.1, VMBI diharapkan untuk beroperasi selama enam jam per hari dan satu hari per minggu atau 312 jam per tahun. Dengan nilai *failure rate* pada Tabel 4.15, maka didapatkan grafik *reliability prediction* seperti pada Gambar 4.15. Grafik tersebut menunjukkan bahwa *reliability* akan semakin menurun seiring bertambahnya waktu operasional.



Gambar 4.15 Prediksi *Reliability* dari VMBI

4.4 Penyusunan FMEA

Pada subbab ini, ditampilkan *Failure Modes and Effects Analysis* (FMEA) yang berfungsi untuk mengidentifikasi dan menganalisis potensi kegagalan. FMEA ini berfokus pada salah satu dari sebelas sistem penyusun VMBI, yaitu sistem *bogie*. Fokus pada sistem *bogie* dipilih karena memiliki peran krusial dalam menjamin keselamatan dan stabilitas operasional dari suatu kereta/*trainset* dengan bogie berpengerak. Selain itu, *bogie* merupakan salah satu sistem hasil produksi perusahaan. Sehingga, dengan mengidentifikasi dan menganalisis potensi kegagalan pada sistem *bogie*, diharapkan dapat memberikan pemahaman yang mendalam tentang risiko utama yang dapat mempengaruhi kinerja keseluruhan VMBI.

Format tabel FMEA yang digunakan sesuai dengan tabel 2.2 yang terdiri dari beberapa kolom. Kolom *subsystem*, *component*, dan *function* diambil dari *functional breakdown* pada subbab 4.2. Kolom *subsystem* merujuk pada bagian besar dari sistem yang dianalisis. Ini merupakan langkah awal dalam menguraikan sistem menjadi bagian-bagian yang lebih kecil. Kolom *component* merinci komponen spesifik dalam setiap subsistem yang akan dianalisis.

Mengidentifikasi komponen secara tepat sangat penting untuk memastikan analisis yang mendetail dan komprehensif. Kolom *function* menggambarkan fungsi utama dari setiap komponen yang teridentifikasi. Ini membantu dalam memahami tujuan dan peran setiap komponen dalam sistem secara keseluruhan.

Kolom *intermediate effect* dan *system effect* menjelaskan dampak dari mode kegagalan tersebut. *Intermediate effect* merujuk pada dampak langsung dari mode kegagalan terhadap komponen atau subsistem itu sendiri, sedangkan *system effect* menguraikan dampak lebih luas atau sistemik dari mode kegagalan terhadap keseluruhan operasi VMBI. Terakhir, kolom *potential cause of failure* mengidentifikasi kemungkinan penyebab dari setiap mode kegagalan. Ini bisa mencakup faktor-faktor seperti kualitas material, kesalahan manusia, atau kondisi lingkungan yang ekstrem. Berikut adalah tabel FMEA:

Tabel 4.16 FMEA Sistem *Bogie*

<i>Subsystem</i>	<i>Component</i>	<i>Function</i>	<i>Potential Failure Mode(s)</i>	<i>Intermediate Effect(s)</i>	<i>System Effect(s)</i>	<i>Potential Cause(s) of Failure</i>
<i>Bogie Structure</i>						
	<i>Motor Bogie Frame</i>	Menopang berat kereta, menyalurkan gaya traksi dari mesin dan memungkinkan kereta berbelok.	Keretakan	Tidak berdampak langsung pada <i>bogie</i> tetapi berpotensi menyebabkan retakan semakin besar.	Kereta masih dapat beroperasi namun sangat berisiko (berpotensi patah dan tergelincir), sehingga perlu mengurangi kecepatan kereta.	Material keropos dan korosi
	<i>Trailer Bogie Frame</i>	Menopang berat kereta dan memungkinkan kereta berbelok.	Keretakan	Tidak berdampak langsung pada <i>bogie</i> tetapi berpotensi menyebabkan retakan semakin besar.	Kereta masih dapat beroperasi namun sangat berisiko (berpotensi patah dan tergelincir), sehingga perlu mengurangi kecepatan kereta.	Material keropos dan korosi
<i>Suspension System</i>						
	<i>Primary Suspension (Rubber bounded)</i>	Meredam getaran dari roda terhadap <i>bogie frame</i> .	Kerusakan pada sistem pegas udara (kempes)	Dapat mengurangi umur <i>bogie</i> karena beban yang tidak seimbang.	Tidak perlu membatalkan perjalanan kereta, namun dalam jangka waktu perkiraan 6 bulan akan mempengaruhi kestabilan gerak kereta.	Penurunan karena efek <i>material housing</i> atau kerusakan <i>seal</i> karena efek <i>thermal cycling</i> yang menyebabkan <i>fatigue</i> dan keausan
	<i>Secondary Suspension (Air spring)</i>	Meredam getaran dari <i>bogie frame</i> terhadap <i>carbody</i> , menahan gerakan <i>carbody</i> secara longitudinal dan lateral.	Kerusakan	Tidak ada peredaman antara <i>bogie</i> dan <i>carbody</i> .	Kereta miring sehingga harus mengurangi kecepatan kereta dan mengurangi kenyamanan perjalanan, namun tidak perlu pembatalan perjalanan.	Keretakan pada karet di bawah

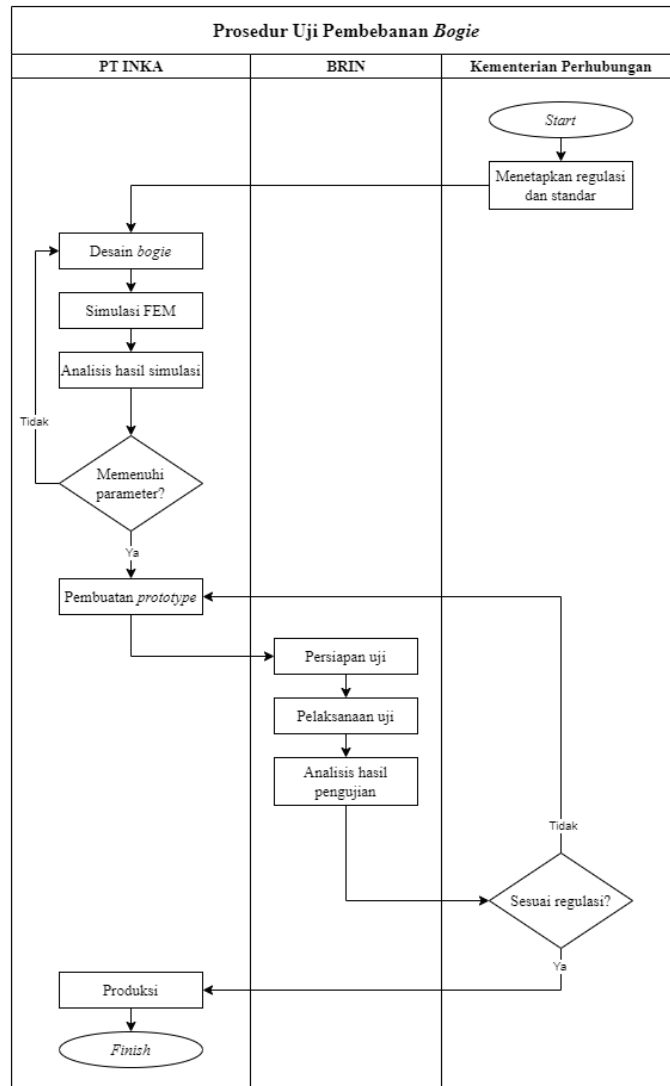
<i>Subsystem</i>	<i>Component</i>	<i>Function</i>	<i>Potential Failure Mode(s)</i>	<i>Intermediate Effect(s)</i>	<i>System Effect(s)</i>	<i>Potential Cause(s) of Failure</i>
	<i>Leveling Assembly</i>	Menjaga <i>underframe</i> tetap lurus.	Kerusakan pada <i>lateral damper</i>	<i>Secondary suspension</i> tidak dapat memberikan <i>set point</i> yang benar.	Tidak berdampak pada operasional kereta api, namun berdampak pada kenyamanan penumpang.	<i>Leveling valve</i> rusak
	<i>Lateral oil damper</i>	Sebagai peredam getaran <i>carbody</i> ke arah lateral.	Kerusakan pada <i>lateral bump stop</i>	Beban kejut pada <i>bogie frame</i> ke arah lateral.	Tidak berdampak pada operasional kereta api, namun berdampak pada kenyamanan penumpang.	Kerusakan seal karena efek <i>thermal cycling</i> yang menyebabkan <i>fatigue</i> dan keausan
	<i>Lateral Rubber Stopper</i>	Menahan benturan antara komponen sambungan <i>bogie</i> ke <i>carbody</i> dan <i>bogie frame</i> .	<i>Lateral bump stop</i> rusak	Dampak guncangan yang tinggi pada <i>bogie frame</i> dan <i>bolster structure</i> .	Tidak berdampak pada operasional kereta api, namun berdampak pada kenyamanan penumpang.	Keausan dan <i>fatigue</i>
	<i>Side Bearer</i>	Mengurangi gesekan antara <i>carbody</i> dan <i>bogie frame</i>	Keausan	Terdapat gesekan antara <i>carbody</i> dan <i>bogie frame</i> .	Tidak berdampak pada operasional kereta api, namun berdampak pada kenyamanan penumpang.	Umur komponen
	<i>Traction Rod</i>	Menyalurkan traksi dari <i>bogie</i> ke <i>carbody</i> .	Keretakan	Getaran lateral yang tidak teredam pada <i>carbody</i> dan <i>bogie</i> .	Tidak berdampak pada operasional kereta api, namun berdampak pada kenyamanan penumpang.	Material keropos dan korosi
<i>Wheelset</i>						
	<i>Wheel</i>	Menyalurkan beban dan torsi dari <i>axle</i> ke rel.	Usang	Gerakan tidak stabil pada salah satu <i>bogie</i> .	Kereta berpotensi tergelincir	Tergelincir dan kelebihan beban
	<i>Motorized axle</i>	Menjaga kecepatan rotasi roda pada setiap <i>axle</i> agar sama, mendistribusikan gaya traksi dari <i>gearbox</i> ke roda dan menerima beban <i>gearbox</i> .	Keretakan	Tidak berdampak langsung pada <i>bogie</i> tetapi berpotensi menyebabkan retakan semakin besar.	Kereta masih dapat beroperasi namun sangat berisiko (berpotensi patah dan tergelincir). Sehingga perlu mengurangi kecepatan kereta.	Material keropos dan <i>fatigue</i>

<i>Subsystem</i>	<i>Component</i>	<i>Function</i>	<i>Potential Failure Mode(s)</i>	<i>Intermediate Effect(s)</i>	<i>System Effect(s)</i>	<i>Potential Cause(s) of Failure</i>
	<i>Trailer axle</i>	Menjaga kecepatan rotasi roda pada setiap <i>axle</i> agar tetap sama.	Keretakan	Tidak berdampak langsung pada <i>bogie</i> tetapi berpotensi menyebabkan retakan semakin besar.	Kereta masih dapat beroperasi namun sangat berisiko (berpotensi patah dan tergelincir). Sehingga perlu mengurangi kecepatan kereta.	Material keropos dan <i>fatigue</i>
	<i>Cardan shaft</i>	Menyalurkan tenaga dari <i>gearbox</i> ke <i>gearbox</i> lainnya.	Usang	Mengurangi kemampuan <i>cardan shaft</i> untuk mentransmisikan putaran dari <i>gearbox</i> ke <i>gearbox</i> lainnya.	Mengurangi gaya traksi kereta api. Berpotensi mundur pada jalur menanjak, namun <i>fast break</i> harus dapat mengimbangnya.	Material keropos, korosi, kerusakan <i>seal</i> , dan gesekan rotasi
<i>Axle Box</i>						
	<i>Housing</i>	Menutupi semua komponen yang menyusun <i>axle box</i> .	Keretakan	Mengurangi kapasitas beban.	Kereta masih dapat beroperasi namun sangat berisiko (potensi patah dan tergelincir). Sehingga perlu mengurangi kecepatan kereta.	Material keropos dan korosi
	<i>Compact TBU (Bearing) / Journal Bearing</i>	Memungkinkan <i>wheelset</i> berputar dan menyalurkan gaya longitudinal, lateral, dan vertikal dari <i>wheelset</i> .	Kegagalan berotasi	<i>Wheelset</i> tidak stabil.	Laju kereta tidak mulus (sedikit goyang) sehingga tidak berdampak pada operasional kereta, namun berpengaruh pada kenyamanan penumpang.	Kegagalan mekanis, pelumas bocor, keausan, dan <i>fatigue</i>
	<i>Retainer Ring</i>	Menahan <i>axle box bearing</i> .	Keretakan	<i>Axle box bearing</i> dapat ditahan <i>retainer ring</i> lainnya.	Tidak berdampak pada operasional kereta, namun perlu dilakukan pemeliharaan.	Material keropos dan <i>fatigue</i>
	<i>Distance Ring</i>	Menahan <i>wheelset</i> ke <i>axle box</i> .	Keretakan	<i>Wheelset</i> ke <i>axle box</i> dapat ditahan <i>distance ring</i> lainnya.	Tidak berdampak pada operasional kereta, namun perlu dilakukan pemeliharaan.	Material keropos dan <i>fatigue</i>

<i>Subsystem</i>	<i>Component</i>	<i>Function</i>	<i>Potential Failure Mode(s)</i>	<i>Intermediate Effect(s)</i>	<i>System Effect(s)</i>	<i>Potential Cause(s) of Failure</i>
<i>Component Instalation</i>						
	<i>Speed sensor & earthing brush bracket</i>	Menahan sensor kecepatan & rumah <i>earthing brush</i> agar tidak berputar dengan <i>axle</i> .	Keretakan	Tidak berdampak langsung pada sensor kecepatan dan <i>earthing brush</i> tetapi berpotensi menyebabkan retakan semakin besar.	Tidak berdampak pada operasional kereta, namun perlu dilakukan pemeliharaan.	Material keropos dan <i>fatigue</i>
	<i>Speed sensor & earthing brush cover</i>	Sensor kecepatan & pelindung <i>earthing brush</i> .	Keretakan	Tidak berdampak langsung pada sensor kecepatan dan <i>earthing brush</i> tetapi berpotensi menyebabkan retakan semakin besar.	Tidak berdampak pada operasional kereta, namun perlu dilakukan pemeliharaan.	Material keropos dan <i>fatigue</i>
<i>Safety Add-ons</i>						
	<i>Safety chain cardan shaft</i>	Pengaman <i>cardan shaft</i> jika terpisah dari <i>gearbox</i> .	Kegagalan menahan gaya berat	Tidak ada redundansi ketika <i>cardan shaft</i> terlepas dari <i>gearbox</i> .	<i>Cardan shaft</i> jatuh ke rel dan mengenai komponen <i>underframe</i> , berpotensi anjloknya kereta.	Berkarat

4.5 Penyusunan Prosedur *Load Test* untuk *Bogie*

Prosedur uji beban *bogie* merupakan langkah krusial dalam memastikan bahwa desain dan produksi *bogie* pada VMBI memenuhi standar keandalan dan keselamatan yang telah ditetapkan. Penyusunan dalam *swimlane diagram* dimaksudkan agar prosedur mudah lebih dipahami oleh pembaca. Prosedur ini melibatkan beberapa tahap mulai dari desain awal hingga produksi, dan melibatkan berbagai *stakeholder*, termasuk Kementerian Perhubungan (Direktorat Jenderal Perkeretaapian), PT INKA, dan Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN). Setiap tahapan dalam prosedur memiliki peran dalam menguji dan memvalidasi desain *bogie* sebelum diproduksi dan digunakan secara luas. Kementerian Perhubungan berperan sebagai regulator yang menetapkan standar dan persyaratan yang harus dipenuhi, sementara PT INKA bertanggung jawab atas desain dan produksi *bogie*. BRIN, di sisi lain, bertindak sebagai *inspector* yang melaksanakan pengujian prototipe untuk memastikan bahwa desain memenuhi semua kriteria yang diperlukan. *Swimlane diagram* pada Gambar 4.16 berikut menggambarkan alur kerja yang terlibat dalam prosedur uji beban *bogie*, mencakup tugas dan tanggung jawab dari masing-masing *stakeholder* yang terlibat.



Gambar 4.16 Prosedur Uji Pembebanan *Bogie*

4.6 Penyusunan Strategi Perawatan Bogie

Usulan strategi perawatan ini didasarkan pada mode kegagalan serta efeknya terhadap VMBI yang diidentifikasi melalui FMEA pada subbab 4.4 dan juga *failure rate* pada subbab 4.3. Apabila sebuah komponen memiliki *failure rate* tinggi dan efeknya mempengaruhi operasional VMBI, perawatan preventif lebih diutamakan. Apabila *failure rate* tinggi tetapi tidak berefek langsung pada operasional, perawatan korektif akan diutamakan. Penentuan strategi perawatan ini tidak mempertimbangkan harga komponen karena data tersebut bersifat *private* bagi perusahaan. Berikut merupakan usulan strategi perawatan bogie:

Tabel 4.17 Usulan Strategi Perawatan Bogie

<i>Subsystem</i>	<i>Component</i>	<i>Maintenance Strategy</i>	<i>Maintenance Task</i>
<i>Bogie Structure</i>	<i>Motor Bogie Frame</i>	<i>Preventive</i>	Melakukan inspeksi berkala dan mengaplikasikan lapisan anti-korosi.
	<i>Trailer Bogie Frame</i>	<i>Preventive</i>	Melakukan inspeksi retakan secara berkala.
<i>Suspension System</i>	<i>Primary Suspension (Rubber bounded)</i>	<i>Corrective</i>	Mengganti <i>komponen</i> saat kegagalan terdeteksi.
	<i>Secondary Suspension (Air spring)</i>	<i>Preventive</i>	Melakukan inspeksi kebocoran dan tingkat tekanan udara secara berkala.
	<i>Leveling Assembly</i>	<i>Preventive</i>	Melakukan inspeksi berkala dan mengganti komponen yang <i>fatigue</i>
	<i>Lateral oil damper</i>	<i>Corrective</i>	Mengganti komponen yang aus saat kegagalan terdeteksi.
	<i>Lateral Rubber Stopper</i>	<i>Corrective</i>	Mengganti komponen yang aus atau patah.
	<i>Side Bearer</i>	<i>Preventive</i>	Melumasi komponen secara rutin untuk mencegah keausan berlebih.
	<i>Traction Rod</i>	<i>Corrective</i>	Mengganti komponen yang retak saat terdeteksi kegalalan.
<i>Wheelset</i>	<i>Wheel</i>	<i>Preventive</i>	Memantau pola keausan dan mengganti roda sebelum mencapai batas keausan.
	<i>Motorized axle</i>	<i>Preventive</i>	Melakukan pengujian non-destruktif (NDT) untuk retakan dan <i>fatigue</i> .
	<i>Trailer axle</i>	<i>Preventive</i>	Melakukan pengujian non-destruktif (NDT) untuk retakan dan <i>fatigue</i> .
	<i>Cardan shaft</i>	<i>Preventive</i>	Melumasi komponen untuk mengurangi gesekan dan melakukan inspeksi berkala.
<i>Axle Box</i>	<i>Housing</i>	<i>Corrective</i>	Mengganti komponen yang retak saat terdeteksi kegalalan.

<i>Subsystem</i>	<i>Component</i>	<i>Maintenance Strategy</i>	<i>Maintenance Task</i>
	<i>Compact TBU (Bearing) / Journal Bearing</i>	<i>Preventive</i>	Melakukan inspeksi kebocoran secara berkala
	<i>Retainer Ring</i>	<i>Corrective</i>	Mengganti komponen yang retak saat terdeteksi kegalalan.
	<i>Distance Ring</i>	<i>Corrective</i>	Mengganti komponen yang retak saat terdeteksi kegalalan.
<i>Component Instalation</i>	<i>Speed sensor & earthing brush bracket</i>	<i>Corrective</i>	Mengganti komponen yang retak saat terdeteksi kegalalan.
	<i>Speed sensor & earthing brush cover</i>	<i>Corrective</i>	Mengganti komponen yang retak saat terdeteksi kegalalan.
<i>Safety Add-ons</i>	<i>Safety chain cardan shaft</i>	<i>Preventive</i>	Melakukan inspeksi berkala terhadap karat dan kekuatan komponen.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB 5 ANALISIS DAN INTERPRETASI DATA

Bab 5 merupakan analisis dan interpretasi data yang memuat hasil analisis dari beberapa data yang telah diolah berdasarkan dasar teori yang digunakan.

5.1 Analisis *Functional Breakdown*

VMBI merupakan *trainset* yang dirancang untuk melakukan inspeksi jembatan LRT Jabodebek. Sebagai *trainset*, VMBI terdiri dari berbagai sistem yang saling berkaitan untuk memastikan fungsionalitas yang optimal. Identifikasi sistem, subsistem, dan komponen dilakukan untuk memastikan semua elemen bekerja sesuai dengan spesifikasi yang telah ditentukan. Terdapat sebelas sistem yang menyusun VMBI, yaitu *bridge inspection crane*, *propulsion system*, *brake system*, *vehicle control circuit*, TCMS, *auxiliary*, *bogie*, *carbody*, *door system*, *pneumatic & hydraulic*, dan *vehicle linkage*.

Bridge inspection crane merupakan sistem yang berfungsi sebagai sistem inspeksi. Sistem ini memiliki beberapa subsistem yang mendukung fungsi operasionalnya seperti unit hidrolik, sistem kontrol, dan kerangka struktural yang mendukung fungsi inspeksi jembatan LRT Jabodebek. *Propulsion* merupakan sistem yang bertanggung jawab untuk memberikan daya gerak pada VMBI. Komponen utama dalam sistem ini seperti motor traksi, inverter, dan sistem penggerak roda yang memastikan VMBI dapat bergerak dengan lancar di sepanjang rel.

Brake merupakan sistem untuk mengendalikan dan menghentikan laju VMBI. Sistem rem berfungsi untuk memastikan keselamatan operasional, memungkinkan kendaraan berhenti dengan aman sesuai kebutuhan operasional. *Vehicle control circuit* merupakan jaringan yang menghubungkan semua komponen elektronik pada VMBI, termasuk sistem pengendalian utama, subsistem komunikasi, dan perangkat sensor yang mengirimkan data *real-time* untuk *monitoring* dan kontrol.

Train control and management system (TCMS) merupakan sistem pengendalian pusat yang mengatur keseluruhan keadaan kereta, termasuk *crane*, elektrik, pintu, dan lainnya. TCMS berfungsi sebagai sistem *monitoring* yang memastikan kelancaran dan keselamatan operasional kereta api. *Auxiliary* merupakan sistem yang mendukung operasional utama VMBI mencakup kelistrikan, pencahayaan tambahan, perangkat komunikasi, dan peralatan darurat yang memastikan kesiapan operasional dalam berbagai situasi.

Bogie merupakan bagian struktural yang mendukung pergerakan VMBI di atas rel. Sistem ini mencakup komponen seperti roda dan sumbu yang memungkinkan kendaraan bergerak dengan stabil dan aman di sepanjang rel. *Carbody* merupakan kerangka utama VMBI yang memberikan dukungan struktural untuk semua sistem dan komponen yang terpasang. *Carbody* dirancang dengan kekuatan dan daya tahan yang cukup untuk menahan beban dinamis dan statis selama operasi.

Door merupakan sistem yang berfungsi memastikan akses yang aman dan mudah ke dalam VMBI. Pintu-pintu ini dirancang untuk keamanan maksimum dan kemudahan penggunaan, serta dilengkapi dengan sistem penguncian. *Pneumatic & Hydraulic* berfungsi untuk menggerakkan berbagai aktuator pada VMBI. Sistem ini terdiri dari pompa, katup, selang, dan silinder yang saling terkait untuk memberikan daya gerak pada berbagai komponen mekanis.

Dalam pemahaman mendalam tentang struktur VMBI, penting untuk memperhitungkan setiap elemen dalam skenario kegagalan dan perbaikan. Hal ini bertujuan untuk mendukung penelitian dalam meningkatkan keandalan dan keselamatan operasional VMBI. Identifikasi sistem, subsistem, dan komponen menjadi langkah penting dalam desain keandalan, termasuk analisis FMEA dan RBD. Setiap komponen memiliki peran yang krusial dalam fungsi pengoperasian *crane*, pengendalian, transmisi daya, hingga stabilitas dan keamanan operasional.

5.2 Analisis RBD dan Nilai Keandalan

Berdasarkan data pada Tabel 4.14, dapat dilihat bahwa *reliability* setiap sistem sangat tinggi pada operasional selama 1 jam, dengan nilai berkisar antara 0,99980224 untuk *Auxiliary* hingga 0,99999980 untuk *Door*. *Reliability* yang tinggi menunjukkan bahwa setiap sistem didesain baik, sehingga dapat diandalkan untuk operasional selama 1 jam tanpa mengalami kegagalan.

Beberapa sistem memiliki konfigurasi RBD paralel yaitu, *bridge inspection crane*, *brake*, TCMS, dan *bogie*. Konfigurasi redundansi tersebut memungkinkan adanya beberapa blok yang dapat diambil untuk menghindari kegagalan total jika salah satu blok mengalami masalah. Sebagai contoh, sistem TCMS memiliki konfigurasi RBD paralel menghasilkan *reliability* yang sangat tinggi sebesar 0,99999651. Dengan adanya redundansi, kegagalan pada salah satu subsistem tidak langsung menyebabkan kegagalan pada keseluruhan sistem.

Keandalan keseluruhan VMBI (*trainset*) dipengaruhi oleh keandalan dari setiap sistemnya. Dapat diketahui bahwa setiap sistem berkontribusi terhadap keandalan *trainset*. Berdasarkan konfigurasi RBD pada Gambar 4.14, *reliability* dari *trainset* adalah 0,99930936. Nilai tersebut sedikit lebih rendah dibandingkan dengan keandalan masing-masing sistem karena *trainset* memiliki konfigurasi RBD seri. Dalam konfigurasi seri, kegagalan satu blok dapat menyebabkan kegagalan seluruh, sehingga nilai keandalannya cenderung lebih rendah dibandingkan dengan konfigurasi paralel. Berdasarkan Tabel 4.15, diketahui bahwa laju kegagalan (*failure rate*) untuk VMBI adalah $6,91E-04$ *failure* per jam.

Grafik prediksi keandalan yang disajikan pada Gambar 4.15 menunjukkan bagaimana *reliability* keseluruhan VMBI berubah seiring dengan berubahnya waktu operasional. Dari grafik tersebut, dapat dilihat bahwa *reliability* menurun secara eksponensial seiring dengan bertambahnya waktu. Awalnya, *reliability* berada di angka yang sangat tinggi, mendekati 1 pada operasional selama 1 jam. Hal tersebut menunjukkan bahwa pada saat awal operasional, kemungkinan kegagalan sangat kecil. Namun, seiring dengan berjalannya waktu, *reliability* mulai menurun.

Berdasarkan Tabel 4.1, diketahui bahwa VMBI didesain untuk beroperasi selama enam jam per hari dan satu hari per minggu. Dengan demikian, jumlah jam operasional VMBI per tahun adalah 312 jam. Setelah 1 tahun operasional atau 312 jam, *reliability* menurun menjadi 0,806093719. Pada kondisi tersebut, VMBI masih sangat dapat diandalkan. Namun, penurunan sekitar 19,32% dari nilai awal menunjukkan bahwa beberapa komponen mulai menunjukkan potensi kegagalan.

Pada tahun kedua atau setelah 624 jam operasional, *reliability* menurun menjadi 0,649787083 yang menunjukkan bahwa menunjukkan bahwa risiko kegagalan mulai meningkat. Setelah mencapai tahun ketiga atau melewati 936 jam operasional, *reliability* mencapai 0,523789286. Hingga tahun kelima atau setelah 1560 jam operasional, *reliability* turun menjadi 0,34035151. Pada titik tersebut, risiko kegagalan VMBI sangat tinggi.

Benchmarking dengan penelitian serupa dilakukan untuk mengetahui perbandingan nilai, yaitu dengan penelitian terdahulu terkait analisis RAMS pada kereta cepat Indonesia yang juga dilakukan pada fase desain. Dalam studi tersebut, target yang ditetapkan adalah 0,95. Namun, hasil *reliability* kereta cepat Indonesia dalam kurun waktu satu tahun adalah 0,155. Hal ini menunjukkan bahwa target tersebut tidak tercapai tanpa upaya pemeliharaan yang signifikan sebelum satu tahun beroperasi.

Hasil ini menggarisbawahi pentingnya strategi pemeliharaan dalam menjaga kinerja optimal sistem. Risiko kegagalan yang mungkin timbul dapat diminimalkan melalui pemeliharaan rutin dan inspeksi yang terencana. Pemeliharaan yang dilakukan secara berkala akan memastikan bahwa komponen-komponen yang mendekati akhir masa pakainya dapat diganti sebelum menyebabkan gangguan operasional. Selain itu, inspeksi terencana

memungkinkan identifikasi dini terhadap potensi masalah sehingga tindakan pencegahan dapat segera diambil.

Program pemeliharaan preventif yang mencakup inspeksi rutin dan perawatan berkala sangat penting untuk mempertahankan kinerja VMBI. Melalui langkah-langkah ini, tidak hanya dapat mengurangi risiko kegagalan tetapi juga meningkatkan *reliability* dan umur operasional sistem secara keseluruhan. Dalam konteks VMBI, implementasi program pemeliharaan preventif ini menjadi krusial untuk memastikan sistem tetap beroperasi dengan efisien dan andal, serta mampu memenuhi standar keandalan yang telah ditetapkan.

5.3 Analisis FMEA

Pada tabel 4.16 dapat dilihat bahwa sistem *bogie* memiliki beberapa mode kegagalan yang perlu mendapat perhatian khusus untuk menjaga keandalan dan keselamatan operasional VMBI. FMEA memberikan penjelasan tentang bagaimana berbagai komponen dapat gagal, apa penyebab utama kegagalan tersebut, serta dampak yang mungkin timbul.

Salah satu komponen kritis yang dianalisis adalah *motor bogie frame* dan *trailer bogie frame* dalam subsistem *bogie structure*. Kedua komponen ini memiliki potensi kegagalan berupa keretakan yang disebabkan oleh material yang keropos dan korosi. Keretakan pada bagian ini dapat menyebabkan penurunan kekuatan struktural dan akhirnya berdampak pada kestabilan kereta. Jika keretakan tidak terdeteksi dan ditangani dengan cepat, risiko terbesar adalah tergelincirnya kereta yang dapat menimbulkan kecelakaan serius.

Dalam subsistem *suspension*, komponen seperti *primary suspension* dan *secondary suspension* juga menunjukkan kerentanan terhadap kerusakan. Kerusakan pada komponen suspensi ini dapat mengurangi kemampuan sistem untuk meredam getaran dan guncangan, sehingga mempengaruhi kenyamanan penumpang dan kestabilan operasional kereta. Misalnya, kerusakan pada *primary suspension* yang menggunakan sistem pegas udara dapat menyebabkan distribusi beban yang tidak merata, yang pada akhirnya bisa merusak komponen lain dalam sistem *bogie*. Selain itu, kerusakan pada *secondary suspension* yang berfungsi meredam getaran terhadap *carbody* dapat meningkatkan keausan pada komponen lain dan memperpendek umur operasional sistem.

Wheelset juga menjadi subsistem yang diidentifikasi dalam FMEA ini. Komponen seperti *Wheel* dan *Motorized Axle* dapat mengalami usang dan keretakan yang mengakibatkan ketidakstabilan pada rotasi roda. Usang pada roda dapat menyebabkan gerakan tidak stabil dan meningkatkan risiko tergelincirnya kereta. Sementara itu, keretakan pada *motorized axle* dapat menyebabkan kegagalan transmisi daya dari *gearbox* ke roda, yang berpotensi menyebabkan kereta berhenti mendadak atau kehilangan kendali.

Selain itu, analisis juga menunjukkan bahwa komponen *safety add-ons* seperti *safety chain cardan shaft* memiliki potensi kegagalan dalam hal menahan gaya berat. Kegagalan pada komponen ini bisa disebabkan oleh berbagai faktor termasuk kelebihan beban atau material berkualitas rendah. Meskipun memiliki sistem redundansi, kegagalan *safety chain* dapat berakibat serius jika tidak segera ditangani, karena berfungsi sebagai pengaman jika *cardan shaft* terpisah dari *gearbox*.

5.4 Analisis Prosedur Uji Pembebanan *Bogie*

Berdasarkan Gambar 4.16, prosedur dimulai dengan tahap desain, di mana PT INKA melakukan simulasi menggunakan metode elemen hingga (*Finite Element Method - FEM*). Proses ini bertujuan untuk menilai kekuatan desain *bogie* terhadap berbagai jenis pembebanan. Tahapan ini melibatkan beberapa sub-tahap. Pertama adalah *pre-processing*, yang mencakup penentuan model material yang akan digunakan, pembuatan desain 3D dari *bogie*, proses

meshing untuk membagi desain menjadi elemen-elemen kecil, dan penentuan parameter yang akan diterapkan pada simulasi.

Selanjutnya, pada tahap *processing, software* simulasi FEM melakukan perhitungan pembebanan pada desain *bogie*. Perhitungan ini mencakup berbagai skenario pembebanan untuk memastikan bahwa *bogie* dapat menahan beban sesuai dengan standar yang ditetapkan. Pada tahap *post-processing*, hasil dari simulasi tersebut dianalisis dengan *plotting* sebaran tegangan pada desain *bogie* dan pencatatan data nilai tegangan berdasarkan standar EN 13749. Standar tersebut merupakan panduan yang harus diikuti untuk mencapai desain *bogie frame* yang memadai, mencakup prosedur desain, metode penilaian, verifikasi, dan persyaratan kualitas produksi. Data yang diperoleh dianalisis untuk memastikan bahwa desain *bogie* telah memenuhi semua kriteria kekuatan dan keandalan yang diperlukan sebelum melanjutkan ke tahap berikutnya.

PT INKA bekerja sama dengan BRIN dan Kementerian Perhubungan untuk melakukan pengujian prototipe *bogie*. Pengujian ini berfungsi untuk menjamin bahwa desain yang telah disimulasikan dapat berfungsi dengan baik dalam kondisi nyata. Proses pengujian dimulai dengan persiapan uji, di mana sensor ditempatkan pada titik-titik tertentu pada *bogie* yang telah ditentukan. Sensor ini bertujuan untuk mengukur respon *bogie* terhadap pembebanan yang diterapkan selama pengujian.

Pengujian beban dilakukan dengan menggunakan mesin *load press* yang dilengkapi dengan sistem hidrolik pneumatik. Pengujian ini melibatkan pemberian beban secara bertahap pada *bogie*, mulai dari beban tara (*tare load*), beban normal (*normal load*), hingga beban penuh (*full load*). Variasi beban ini bertujuan untuk mensimulasikan kondisi *bogie* saat menopang beban *carbody*. Beban ini diterapkan untuk mensimulasikan berbagai kondisi operasional yang mungkin dialami oleh *bogie* selama penggunaan. Sensor yang terpasang pada *bogie* kemudian mengirimkan data melalui kabel transmisi ke *data logger* yang berada di pusat kendali. Data ini digunakan untuk analisis lebih lanjut oleh tim dari BRIN.

Pengujian dilakukan di Balai Besar Teknologi Kekuatan Struktur (B2TKS) Puspiptek BRIN, yang dilengkapi dengan fasilitas dan peralatan canggih untuk melakukan pengujian kekuatan dan keandalan struktur. Validasi hasil pengujian tersebut merupakan salah satu persyaratan yang harus dipenuhi oleh PT INKA untuk memenuhi regulasi yang ditetapkan oleh Kementerian Perhubungan, khususnya mengacu pada Peraturan Menteri Perhubungan No. 16 Tahun 2011 tentang Standar, Tata Cara Pengujian dan Sertifikasi Kelaikan Peralatan Khusus. Hasil pengujian yang menunjukkan bahwa *bogie* memenuhi semua kriteria kekuatan dan keandalan yang diperlukan akan memungkinkan PT INKA melanjutkan ke tahap produksi.

Setelah desain dan prototipe *bogie* berhasil melewati semua tahap pengujian, PT INKA dapat melanjutkan ke tahap produksi. Produksi ini dilakukan dengan mengikuti standar dan spesifikasi yang telah ditetapkan selama tahap desain dan pengujian. Proses produksi melibatkan serangkaian langkah mulai dari pengadaan bahan baku, pembuatan komponen, hingga perakitan *bogie* yang sesuai dengan desain yang telah divalidasi.

5.5 Analisis Strategi Pemeliharaan *Bogie*

Untuk mengidentifikasi potensi kegagalan pada sistem *bogie* dan mengusulkan solusi untuk mencegah efek kegagalan tersebut, dilakukan penyusunan strategi perawatan untuk setiap komponennya. Hasil dari strategi ini melibatkan kombinasi antara perawatan preventif dan korektif, yang dirancang untuk meminimalkan risiko kegagalan serta memastikan keandalan

dan keamanan operasi VMBI. Strategi perawatan ini didasarkan pada hasil FMEA, yang mengidentifikasi mode kegagalan serta efeknya terhadap VMBI. Selain itu, nilai *failure rate* juga menjadi pertimbangan utama dalam menentukan strategi perawatan.

Untuk komponen *Motor Bogie Frame* dan *Trailer Bogie Frame*, strategi pemeliharaan yang dipilih adalah preventif. Hal ini dikarenakan kedua komponen ini merupakan struktur utama dari sistem *bogie* serta memiliki *failure rate* yang tinggi, yaitu $2,81E-06$ dan $1,01E-06$. Kegagalan pada komponen dapat menyebabkan *derailment* atau tergelincirnya kereta dari rel. Oleh karena itu, inspeksi berkala dan penerapan lapisan anti-korosi serta pemeriksaan retakan secara rutin sangat penting untuk mencegah kegagalan yang berpotensi fatal.

Untuk *Primary Suspension*, pemeliharaan korektif dipilih karena *failure rate* yang rendah $2,61E-08$ dan dampak kegagalannya tidak langsung berpengaruh pada faktor keselamatan. Penggantian komponen dilakukan saat kegagalan terdeteksi. Sementara itu, untuk *Secondary Suspension*, strategi preventif dipilih meskipun tingkat kegagalannya rendah $8,09E-08$, karena kegagalan pada komponen ini dapat menyebabkan *derailment*. Inspeksi kebocoran dan tekanan udara secara berkala dilakukan untuk memastikan keandalan komponen. Pada *Leveling Assembly* juga dilakukan pemeliharaan preventif karena memiliki fungsi penting dalam menjaga stabilitas kereta. Kegagalan komponen akan berdampak pada kenyamanan dan keselamatan, sehingga inspeksi berkala dan penggantian komponen yang mengalami *fatigue* sangat diperlukan.

Lateral oil damper dan *Lateral Rubber Stopper* direkomendasikan menerapkan strategi pemeliharaan korektif. Kedua komponen tersebut memiliki *failure rate* yang rendah yaitu $1,66E-07$ dan $8,31E-08$ serta dampak kegagalan komponen tidak langsung pada faktor keselamatan. Penggantian komponen yang aus atau patah dilakukan saat kegagalan terdeteksi. *Side Bearer* diusulkan menerapkan strategi pemeliharaan preventif karena memiliki *failure rate* yang tinggi $6,31E-06$. Melumasi komponen secara rutin untuk mencegah keausan berlebih adalah langkah preventif yang efektif. *Traction Rod* direkomendasikan menerapkan strategi korektif karena dampak kegagalan komponen ini lebih berpengaruh pada kenyamanan daripada keselamatan. Penggantian komponen yang retak dilakukan saat kegagalan terdeteksi.

Untuk *wheelset*, komponen *Wheel* diusulkan menerapkan pemeliharaan preventif. Meskipun memiliki *failure rate* yang rendah $4,1E-08$, roda memiliki dampak langsung ke faktor keselamatan. Apabila kegagalan terjadi, berpotensi menyebabkan *derailment*, sehingga memantau pola keausan dan mengganti roda sebelum mencapai batas keausan adalah hal yang esensial. *Motorized axle* dan *Trailer axle* juga direkomendasikan menerapkan strategi preventif karena memiliki fungsi penting dalam stabilitas kereta. Pengujian non-destruktif (NDT) untuk mendeteksi retakan dan *fatigue* dilakukan secara berkala. *Cardan shaft*, dengan *failure rate* yang tinggi $2,53E-05$, diusulkan menerapkan pemeliharaan preventif karena komponen ini juga memiliki fungsi penting dalam transmisi daya. Melumasi komponen untuk mengurangi gesekan dan melakukan inspeksi berkala sangat diperlukan.

Pada *axle box*, *Housing* direkomendasikan menerapkan pemeliharaan korektif karena komponen ini memiliki *failure rate* yang rendah $4,1E-08$ dan efek kegagalan tidak berpengaruh langsung ke faktor keselamatan. Penggantian komponen yang retak dilakukan saat kegagalan terdeteksi. Untuk *Compact TBU (Bearing) / Journal Bearing*, strategi preventif dipilih meskipun memiliki *failure rate* yang rendah $4,1E-08$. Akan tetapi komponen tersebut memiliki

fungsi krusial dalam stabilitas pergerakan kereta, dan apabila kerusakan terjadi, berpotensi menyebabkan *derailment*. Inspeksi kebocoran secara berkala dilakukan untuk memastikan keandalan *bearing*. *Retainer Ring* dan *Distance Ring* juga diusulkan menerapkan strategi korektif karena memiliki *failure rate* yang rendah $4,1E-08$ dan redundansi pada *bearing support*. Penggantian komponen yang retak dilakukan saat kegagalan terdeteksi.

Pada instalasi komponen, *Speed sensor & earthing brush bracket* serta *Speed sensor & earthing brush cover* direkomendasikan menerapkan pemeliharaan korektif. Meskipun memiliki *failure rate* yang tinggi $2,53E-05$, efek kegagalan tidak berdampak pada operasional kereta. Penggantian komponen yang retak dilakukan saat kegagalan terdeteksi. *Safety chain cardan shaft* direkomendasikan menerapkan pemeliharaan preventif karena memiliki *failure rate* yang tinggi $3,16E-06$ dan fungsinya yang krusial yaitu untuk mencegah terlepasnya *cardan shaft* dari *gearbox*. Inspeksi berkala terhadap karat dan kekuatan komponen sangat penting untuk memastikan keandalan dan keselamatan.

BAB 6 KESIMPULAN DAN SARAN

Bab 6 merupakan kesimpulan dan saran yang memuat pernyataan hasil penelitian tugas akhir sekaligus menjawab tujuan. Selain itu, bab ini juga memuat saran yang ditujukan untuk penelitian selanjutnya.

6.1 Kesimpulan

Subbab ini menyajikan kesimpulan yang dapat diambil dari hasil penelitian yang telah dilakukan. Kesimpulan dari penelitian ini antara lain:

1. Berdasarkan analisis *functional breakdown* pada VMBI, dapat diidentifikasi sebelas sistem yang menyusun VMBI, yaitu *bridge inspection crane, propulsion system, brake system, vehicle control circuit, train control and management system (TCMS), auxiliary, bogie, carbody, door system, pneumatic & hydraulic*, dan *vehicle linkage*. Masing-masing sistem tersebut terdiri dari beberapa subsistem, sedangkan subsistem terdiri dari berbagai komponen. Subsistem dan komponen saling terkait untuk memastikan operasional yang optimal dan aman.
2. Berdasarkan analisis RBD dan perhitungan nilai keandalan, sebelas sistem penyusun VMBI menunjukkan nilai *reliability* antara 0,99980224 hingga 0,9999998 pada operasional 1 jam. Konfigurasi RBD paralel pada beberapa sistem meningkatkan *reliability* karena menyediakan redundansi. *Reliability* keseluruhan VMBI adalah 0,99930936. Nilai *failure rate* yang diperoleh menunjukkan keandalan jangka panjang, namun *reliability* menurun secara eksponensial seiring waktu, mencapai 0,34035151 setelah lima tahun operasional atau 1560 jam, menandakan perlunya strategi pemeliharaan yang tepat untuk menjaga performa VMBI.
3. Analisis FMEA menunjukkan bahwa beberapa komponen kritis seperti *motor bogie frame, trailer bogie frame, secondary suspension, wheelset*, dan *safety add-ons* memiliki potensi kegagalan signifikan yang dapat mempengaruhi keandalan dan keselamatan operasional VMBI. Keretakan pada *bogie frame*, kerusakan pada suspensi, serta keausan pada *wheelset* dapat menyebabkan risiko tergelincirnya kereta, berkurangnya kenyamanan penumpang, dan ketidakstabilan operasional. Kegagalan pada *safety add-ons* juga berpotensi serius meskipun ada sistem redundansi.
4. Dengan penerapan strategi perawatan yang terstruktur dan berdasarkan *failure rate* serta dampak dari masing-masing komponen terhadap VMBI, risiko kegagalan yang berpotensi mengganggu operasional atau membahayakan keselamatan diharapkan dapat diminimalisir. Strategi ini memastikan bahwa komponen kritis seperti *motor bogie frame, trailer bogie frame*, dan elemen-elemen vital lainnya mendapat perhatian yang tepat, baik melalui inspeksi berkala, pengujian non-destruktif (NDT), maupun penggantian komponen saat kegagalan terdeteksi. Dengan demikian, penerapan strategi perawatan yang tepat diharapkan dapat menjaga keandalan VMBI dalam jangka panjang.

6.2 Saran

Subbab ini menyajikan saran dan masukan untuk penelitian selanjutnya, antara lain:

1. Penelitian lebih lanjut dapat dilakukan terkait alternatif konfigurasi RBD yang dapat meningkatkan *reliability* sistem secara keseluruhan. Mengkaji ulang desain sistem dengan mempertimbangkan redundansi tambahan pada komponen-komponen tertentu dapat membantu meningkatkan *reliability* VMBI.
2. Penelitian lebih lanjut diperlukan untuk mengembangkan strategi pemeliharaan yang lebih optimal dengan menggunakan data yang lebih lengkap, karena saat ini penentuan strategi perawatan masih terbatas pada analisis FMEA dan nilai *failure rate*.

(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)

DAFTAR PUSTAKA

- Ariyani, O. (2023). *Failure Mode, Effects and Criticality Analysis Report Vehicle Maintenance Bridge Inspection LRT Jabodebek*. Madiun: PT INKA.
- Badruddin. (2018). *Identifikasi dan Analisis Potensi Kegagalan pada Proses Penerbitan Sertifikat Alat Safety Kapal Menggunakan FMECA (Studi Kasus: PT. Surya Segara Safety Marine)*. Surabaya: Undergraduate Thesis: Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Retrieved from <http://repository.its.ac.id/id/eprint/53536>
- Basyar, K. A., Salim, A. T., Yuwono, I., Utomo, A. P., & Mahfud, M. Z. (2022). Analisis Kekuatan Desain Struktur Bogie Frame Kereta Ukur pada Kondisi Beban Normal Service dengan Metode Elemen Hingga. *Jurnal Perkeretaapian Indonesia*.
- Bayu, A. (2022). *VM – Bridge Inspection LRT Jabodebek*. Madiun: PT INKA.
- Calixto, E. (2016). *Gas and Oil Reliability Engineering: Modeling and Analysis* (2nd ed.). Oxford: Elsevier.
- Cenelec. (2017). *BS EN 50126-1:2017*. London: BSI Standards Limited.
- Dhillon, B. S. (2002). *Engineering Maintenance : A Modern Approach*. Boca Raton: CRC Press.
- Dhillon, B. S. (2006). *Maintainability, Maintenance, and Reliability for Engineers*. Boca Raton: Taylor & Francis Group.
- Direktorat Jenderal Perkeretaapian. (2011). *Rencana Induk Perkeretaapian Nasional 2030*. Jakarta Pusat: Kementerian Perhubungan.
- Direktorat Jenderal Perkeretaapian. (2021). *Buku Statistik Bidang Perkeretaapian 2021*. Jakarta Pusat: Kementerian Perhubungan.
- Elsayed, E. A. (2021). *Reliability Engineering* (3rd ed.). Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- Fonseca, L. (2022, April 6). *Swimlane Diagram: Ultimate Guide to Designing Better Business Processes*. Retrieved from Vengage: <https://venngage.com/blog/swimlane-diagram/>
- Lewis, E. E. (1994). *Introduction to Reliability Engineering* (2nd ed.). New York: John Wiley & Sons Inc.
- Okamoto, I. (1998). How Bogies Work. (K. Wako, Ed.) *Japan Railway & Transport Review*, 52-61.
- PT Adhi Karya. (2018, April 26). *Ketebalan Pada U-Shape Girder (Turn In Turn Out)*. Retrieved from LRT Jabodebek Adhi: <https://lrtjabodebek.adhi.co.id/ketebalan-pada-u-shape-girder-turn-in-turn-out/>
- PT INKA. (2015, Maret 10). *Mengenal Istilah Bogie Pada Kereta Api (Bag.1)*. Retrieved from INKA Web site: <https://www.inka.co.id/berita/58>
- PT INKA. (2017). *Struktur Organisasi*. Retrieved from INKA: <https://www.inka.co.id/corporation/59>
- PT INKA. (2021). *Annual Report*. Retrieved September 21, 2023, from INKA Web site: <https://www.inka.co.id/corporation/19>
- PT INKA. (2022). *Vehicle Maintenance Kereta Inspection Bridge: Tinjauan Eksternal [PowerPoint Slides]*. Madiun: PT Industri Kereta Api.
- PT INKA. (2023). *Departemen Pengelolaan Organisasi dan SDM PT Industri Kereta Api (Persero)*. Power Point Slides, PT INKA.
- Rosihan, R. I., & Yuniarto, H. A. (2019, Desember 22). Analisis Sistem Reliability dengan Pendekatan Reliability Block Diagram. *Jurnal Tekno Sains*, 9(1), 57-67. doi:<https://doi.org/10.22146/teknoains.36758>

- Septanto, J., Fauzi, F., Rili, R., Pratama, U., & Winata, N. S. (2018). Pencegahan Anjlokkan Terkait Perubahan Track Layout Baru di Stasiun Manggarai. *Jurnal Penelitian Sekolah Tinggi Angkatan Darat*, IX(2), 59-72. Retrieved from <http://jurnal.ptdisttd.net/index.php/jpsttd/article/view/66>
- Warjito, Ansori, I., Shalahuddin, L., & Bismantoko, S. (2021, Desember 29). Reliability Analysis on The Bogie System at Indonesian High-Speed Trains in The Design Phase to Improve Service Quality. *Majalah Ilmiah Pengkajian Industri*, 15(3), 153-160. doi:<https://doi.org/10.29122/mipi.v15i3.5010>

LAMPIRAN

Lampiran A. Functional Breakdown

Bridge Inspection Crane Functional Breakdown

ID	1-System	Qty	2-Subsystem	Qty	3-Components	Qty	4	Qty	Function
1	Bridge Inspection Crane	1							
1.1			Fully hydraulic bridge inspection unit	1					
1.1.1					Hydraulic Hose equipment	1			Selang hidrolik mentransmisikan daya hidrolik ke semua aktuator pada crane termasuk workman basket
1.1.2					Cable equipment	1			Kabel listrik mengirimkan daya dan kontrol listrik ke semua aktuator pada crane termasuk workman basket
1.1.3					Circular Base	1			Bertindak sebagai penyangga untuk mencegah buckling effect dan sambungan dari crane ke dasar kendaraan
1.1.4					Crane Column	1			Struktur utama yang dapat melakukan gerakan mengayun bersama dengan beban penyeimbang yang terpasang
1.1.5					Boom no.1	1			Boom yang terhubung dengan crane column dan memiliki silinder hidrolik sebagai aktuator
1.1.6					Boom no.2	1			Boom yang terhubung bersama dengan Boom no.1 dan memiliki sambungan
1.1.7					Boom no.3	1			Boom yang terhubung dengan Boom no. 2, memiliki sambungan dan terhubung dengan workman basket
1.1.8					Electronic Control System	1			Berisi sensor stabilitas untuk mengontrol dan memantau unit untuk memastikan keamanan operasional

<i>ID</i>	<i>1-System</i>	<i>Qty</i>	<i>2-Subsystem</i>	<i>Qty</i>	<i>3-Components</i>	<i>Qty</i>	<i>4</i>	<i>Qty</i>	<i>Function</i>
1.1.9					<i>Counterweight</i>	1			Memberikan bobot tambahan untuk meningkatkan faktor stabilitas hingga 5 ton
1.2			<i>Manual Control Valve</i>	1					Dengan kontrol simultan yang sangat baik dan karakteristik sirkuit ganda, dengan sistem penyeimbang tekanan di penutup saluran masuk dan di setiap bagian
1.3			<i>Control Desk</i>	1					Meja kontrol tambahan yang dipasang lepas, dengan penutup yang dapat dikunci, untuk pemasangan di samping unit
1.4			<i>Radio Remote Control</i>	1					Sistem kendali jarak jauh nirkabel yang terpasang dan siap dioperasikan untuk meningkatkan aksesibilitas saat mengoperasikan <i>crane</i>
1.5			<i>Workman Basket</i>	1					
1.5.1					<i>Illumination</i>	1			untuk dinyalakan dan dimatikan dari <i>workman basket</i> , lampu kerja LED 24V Daya Tinggi, termasuk sakelar yang dipasang di bawah <i>workman basket</i>
1.5.2					<i>Working Light</i>	1			Lampu kerja LED 24V Daya Tinggi pada tiang teleskopik
1.5.3					<i>Electrical socket</i>	1			Memberikan daya listrik
1.6			<i>Hydraulic Power Unit (HPU)</i>	1					
1.6.1					<i>Hydraulic Pump</i>	1			Mengubah energi mekanik menjadi energi hidrolik
1.6.2					<i>Electric Motor</i>	1			Memutar pompa hidrolik
1.6.3					<i>Oil Tank</i>	1			Menyimpan oli hidrolik
1.6.4					<i>Oil Cooler</i>	1			Mendinginkan oli bekas sebelum disimpan di tangki oli menggunakan kipas listrik dan sirip radiator
1.6.5					<i>Control Panel</i>	1			Terdiri dari katup selenoid, indikator, dan pengukur untuk mengendalikan dan monitor selama operasional sistem ini

<i>ID</i>	<i>1-System</i>	<i>Qty</i>	<i>2-Subsystem</i>	<i>Qty</i>	<i>3-Components</i>	<i>Qty</i>	<i>4</i>	<i>Qty</i>	<i>Function</i>
1.7			<i>Emergency Pump</i>	1					Pompa tangan manual untuk keadaan darurat untuk mengalirkan aliran oli
1.8			<i>Emergency diesel generator set</i>	1					Paket daya yang menyalurkan tenaga hidrolis dan akan memulihkan <i>crane</i> kembali ke posisi penyimpanan dalam waktu 10 menit dalam situasi darurat
1.9			<i>Locking Suspension System</i>	1					
1.9.1					<i>Locking Suspension Frame</i>	1			Konstruksi yang dilas
1.9.2					<i>Locking System Cylinder</i>	3			Silinder untuk mengunci gerakan
1.9.3					<i>Up-Down System Cylinder 1</i>	3			Silinder untuk gerakan ke atas
1.9.4					<i>Up-Down System Cylinder 2</i>	3			Silinder untuk gerakan turun
1.9.5					<i>Check Valve</i>	10			Katup untuk mencegah aliran balik
1.9.6					<i>Flow Control</i>	2			Katup untuk mengontrol kecepatan aliran oli
1.9.7					<i>Pressure transmitter</i>	2			Sensor untuk memonitor tekanan oli hidrolis
1.9.8					<i>Pressure switch</i>	4			Sensor yang akan memberikan sinyal jika tekanan pengaturan sudah tercapai
1.9.9					<i>Solenoid valve</i>	4			Katup hidraulik yang dikendalikan oleh sinyal listrik
1.9.10					<i>Oil Filter</i>	2			Menyaring kotoran
1.9.11					<i>Gate Valve</i>	2			katup manual untuk tujuan pemeliharaan
1.9.12					<i>Mechanical Lock (pin)</i>	3			Pin untuk mengunci posisi rangka hingga ketinggian target

Propulsion Fuctional Breakdown

<i>ID</i>	<i>1-System</i>	<i>Qty</i>	<i>2-Subsystem</i>	<i>Qty</i>	<i>3-Components</i>	<i>Qty</i>	<i>4</i>	<i>Qty</i>	<i>Function</i>
2	<i>Propulsion System</i>								
2.1			<i>Traction Engine</i>	1					
2.1.1					<i>Base Engine</i>	1			
2.1.1.1							<i>Piston</i>	1	Menghasilkan torsi dari ruang bakar
2.1.1.2							<i>Engine Bearing</i>	1	mendukung <i>crankshaft</i> dan memungkinkan rotasi selama pengoperasian mesin
2.1.1.3							<i>O-Ring</i>	1	Mengurangi gaya gesekan antara piston dan sisi pembakaran
2.1.1.4							<i>Drive Belt</i>	1	Fungsi utamanya adalah menyalurkan tenaga dari sumber primer, ke unit penggerak sekunder
2.1.2					<i>Intake System</i>	1			
2.1.2.1							<i>Turbocharger Compressor</i>	1	Mengompresi udara, sebelum masuk ke ruang bakar
2.1.2.2							<i>Intake Solenoid Valve</i>	1	Mengontrol volume dan tekanan asupan udara
2.1.2.3							<i>Air Intake Filter</i>	1	Menyaring udara dari lingkungan
2.1.3					<i>Cooled System</i>	1			
2.1.3.1							<i>Radiator</i>	1	Menampung pendingin air
2.1.3.2							<i>Water Pump</i>	1	Menghasilkan gerakan atau aliran cairan untuk pengembangan tekanan air pendingin
2.1.3.3							<i>Heat exchanger (Water manifold)</i>	1	Menguras cairan pendingin dan menukar mesin bersuhu panas
2.1.3.4							<i>Heat exchanger (Cooled manifold) for oil Cooler</i>	1	Menguras cairan pendingin dan menukar mesin bersuhu panas
2.1.3.5							<i>Coolant Filter</i>	1	Menyaring pendingin udara
2.1.3.6							<i>Thermostat</i>	1	Mengontrol jumlah yang masuk ke dalam perpipaan

<i>ID</i>	<i>1-System</i>	<i>Qty</i>	<i>2-Subsystem</i>	<i>Qty</i>	<i>3-Components</i>	<i>Qty</i>	<i>4</i>	<i>Qty</i>	<i>Function</i>
2.1.4					<i>Fuel System</i>	1			
2.1.4.1							<i>Fuel Tank</i>	1	Menahan bahan bakar
2.1.4.2							<i>Fuel Water separator (Filter)</i>	1	Menyaring bahan bakar
2.1.4.3							<i>Fuel Inject Pump</i>	1	Memberikan tenaga untuk menyuntikkan bahan bakar ke ruang bakar
2.1.5					<i>Lube oil System</i>	1			
2.1.5.1							<i>Lube oil Tank</i>	1	Menahan minyak pelumas
2.1.5.2							<i>Lube oil Pump</i>	1	Menghasilkan gerakan atau aliran cairan guna mengembangkan tekanan untuk menginjeksikan minyak pelumas
2.1.5.3							<i>Lube oil Filter</i>	1	Menyaring minyak pelumas
2.1.5.4							<i>Engine oil Rifle Pressure</i>	1	Mendeteksi tekanan oli
2.1.6					<i>Exhaust System</i>	1			
2.1.6.1							<i>Exhaust Valve Port</i>	1	Saluran keluar pembakaran
2.1.6.2							<i>Exhaust Manifold</i>	1	Aliran yang terhubung ke <i>turbocharger</i>
2.1.6.3							<i>Turbocharger Turbine</i>	1	Memutar <i>turbocharger</i> kompresor untuk menghasilkan udara bertekanan ke dalam ruang bakar
2.1.6.4							<i>Engine Control Module (ECM)</i>	1	Menerima perintah dari TCMS dan mengirimkan perintah ke mesin
2.2			<i>Transmission System</i>	1					
2.2.1					<i>Transmission drive</i>	1			Transmisi hidrodinamis
2.2.2					<i>Cardan shaft - Transmission to gearbox</i>	1			Menghubungkan torsi dari transmisi ke kotak roda gigi

<i>ID</i>	<i>1-System</i>	<i>Qty</i>	<i>2-Subsystem</i>	<i>Qty</i>	<i>3-Components</i>	<i>Qty</i>	<i>4</i>	<i>Qty</i>	<i>Function</i>
2.2.3					<i>Cardan shaft - gearbox to gearbox</i>	1			Menghubungkan torsi antara gearbox di <i>bogie</i>
2.2.4					<i>Gearbox Intermediate</i>	1			Menghubungkan puntiran antara poros ke roda pertama
2.2.5					<i>Gearbox end</i>	1			Menghubungkan torsi antara poros ke roda kedua
2.2.6					<i>Electronic transmission control</i>				
2.2.6.1							<i>I/O CAN Gateway</i>	1	Menerima input dari sinyal throttle analog dan mengeluarkan perintah dari diagnostic interface ke VTDC railpack
2.2.6.2							<i>Diagnostic Interface</i>	1	Mendiagnosis dan memberikan output ke I / O CAN Gateway
2.2.6.3							<i>Railpack</i>	1	Melakukan penginderaan suhu dan level oli transmisi, serta menjalankan perintah yang diberikan oleh output gateway I/O
2.3			<i>Power Dissipation</i>	1					
2.3.1					<i>Retarder</i>	1			Untuk memperlambat kecepatan kendaraan
2.3.2					<i>Earthing / return current</i>	1			Membumikan/membumikan semua perangkat listrik
2.4			<i>Cooling system</i>	1					
2.4.1					<i>Heat exchanger for transmission</i>	1			Memindahkan panas antara oli transmisi dan oli hidrostatik
2.4.2					<i>Radiator cooling system</i>	1			Penukar panas yang digunakan untuk mendinginkan mesin pembakaran internal
2.4.3					<i>Temperature sensor</i>	1			Mengukur suhu oli transmisi dari kotak roda gigi ke pompa hidrolis
2.4.4					<i>Expansion tank</i>	1			Tangki sementara untuk mengalirkan cairan radiator
2.5			<i>Mounting system</i>	1					

<i>ID</i>	<i>1-System</i>	<i>Qty</i>	<i>2-Subsystem</i>	<i>Qty</i>	<i>3-Components</i>	<i>Qty</i>	<i>4</i>	<i>Qty</i>	<i>Function</i>
2.5.1					<i>Engine Frame</i>	1			Pemasangan mesin
2.5.2					<i>Transmission mounting</i>	1			Mengurangi getaran (transmisi)
2.5.3					<i>Rubber Mounting</i>	1			Mengurangi getaran (mesin)

Brake Functional Breakdown

<i>ID</i>	<i>1-System</i>	<i>Qty</i>	<i>2-Subsystem</i>	<i>Qty</i>	<i>3-Components</i>	<i>Qty</i>	<i>4</i>	<i>Qty</i>	<i>Function</i>
3	<i>Brake System</i>	1							
3.1			<i>Brake control equipment</i>	1					
3.1.1					<i>Ballcock SK-DN12E-SM G1/2</i>	1			Mengisolasi unit EP
3.1.2					<i>Check Valve RV-10 G1/2</i>	3			Memungkinkan udara terkompresi mengalir dari pipa utama ke saluran BC dalam satu arah dan menghentikan refluks udara di arah lain
3.1.3					<i>Precontrol Valve KBRXI-T</i>	1			Menyesuaikan tekanan <i>precontrol</i> Cv dalam tujuh langkah yang sama dari 0 bar ke nilai maksimum
3.1.4					<i>Pipe Bracket for KBR XI-T</i>	1			Sebagai penutup untuk tekanan <i>port</i> di katup <i>precontrol</i>
3.1.5					<i>Press. Reduc. Valve DMV7A/7,5 G1/2</i>	1			Mengurangi tekanan udara yang masuk ke katup <i>precontrol</i> KBRXI-T (<i>port</i> Ps)
3.1.6					<i>Test Fitting K11 G1/4</i>	1			Memverifikasi kontrol tekanan untuk katup <i>precontrol</i>
3.1.7					<i>Press. Transformer EDU110/041</i>	2			Mengatur tekanan silinder rem C sebagai fungsi dari tekanan <i>precontrol</i> Cv
3.1.8					<i>Pressure Governor 0,6-0,4 Bar</i>	2			Untuk memonitor tekanan silinder rem dan melaporkan status " <i>brake applied</i> "
3.1.9					<i>Magnet Valve Without Plug</i>	1			Mengisolasi pneumatic <i>brake</i> ketika <i>dynamic brake</i> tersedia

<i>ID</i>	<i>1-System</i>	<i>Qty</i>	<i>2-Subsystem</i>	<i>Qty</i>	<i>3-Components</i>	<i>Qty</i>	<i>4</i>	<i>Qty</i>	<i>Function</i>
3.1.10					<i>Test Fitting T2 G1/4</i>	6			Memverifikasi tekanan dalam sistem pneumatik pada jalur BC
3.1.11					<i>Press. Reduc. Valve DMV6A R1/4"</i>	1			Mengurangi tekanan udara yang masuk ke saluran <i>parking brake</i>
3.1.12					<i>Impulse Valve WIMHV5-N Exhaust G1/4</i>	1			Mengaktifkan atau membuka <i>parking brake</i>
3.1.13					<i>Double Check Valve AE4103 R1/2"</i>	1			Mengelola gabungan tekanan untuk <i>service brake</i> dari B03 dan B42
3.1.14					<i>Double Check Valve DRV-1/1 Doppelt G1/4</i>	1			Mengatur kombinasi tekanan untuk <i>parking brake</i> dari EDU <i>bogie 1</i> dan EDU <i>bogie 2</i>
3.1.15					<i>Double Check Valve DRV-1/1 Doppelt G1/4</i>	1			Mencegah gabungan gaya <i>service brake</i> dan gaya <i>parking brake</i>
3.1.16					<i>Pressure Governor 4,7/4,2 Bar</i>	1			Memantau tekanan <i>parking brake</i> dan melaporkan status " <i>parking brake applied/released</i> "
3.1.17					<i>Ballcock SK-DN8E-SM G1/4</i>	1			Mengisolasi <u><i>parking brake</i></u>
3.1.18					<i>Check Valve RV-10 G1/2</i>	1			Memungkinkan udara terkompresi mengalir dari pipa utama ke unit rem parkir di satu arah dan menghentikan refluks udara di arah lain
3.1.19					<i>Ballcock SK-DN12E-SM G1/2</i>	2			Mengisolasi <i>pneumatic brake</i> berdasarkan <i>bogie</i>
3.1.20					<i>Ballcock SK-DN12 G1/2 With Lever Handle</i>	1			Mengisolasi katup distributor
3.1.21					<i>Press. Reduc. Valve DMV9/T1-3.6</i>	1			Mengurangi tekanan udara yang masuk ke katup distributor

<i>ID</i>	<i>1-System</i>	<i>Qty</i>	<i>2-Subsystem</i>	<i>Qty</i>	<i>3-Components</i>	<i>Qty</i>	<i>4</i>	<i>Qty</i>	<i>Function</i>
3.1.22					<i>Distributor Valve KE1DVSL(P) GG With Handle</i>	1			Mengontrol perubahan tekanan sesuai dengan tekanan pipa rem
3.1.23					<i>Test Fitting K1-ES G1/4</i>	1			Memverifikasi tekanan dalam sistem pneumatik pada katup distributor
3.1.24					<i>Check Valve RV-10 G1/2</i>	1			Memungkinkan udara terkompresi mengalir dari B12 ke katup distributor dalam satu arah dan menghentikan refluks udara di arah lain
3.2			<i>Bogie mounted brake equipment</i>	1					
3.2.1					<i>Thread Brake Unit</i>	4			Mengaktifkan <i>friction brake</i> , khusus digunakan untuk <i>service/emergency brake</i>
3.2.2					<i>Thread Brake Unit with Spring Actuator 7"</i>	4			Mengaktifkan <i>friction brake</i> , khususnya digunakan untuk <i>service/emergency brake</i> , dan <i>parking brake</i>
3.2.3					<i>Brake Block Sole</i>	8			Melepaskan energi kinetik dengan menggesekkan ke permukaan gesekan
3.3			<i>Driver brake control equipment</i>	1					
3.3.1					<i>Driv. Brake Valve FB11</i>	2			Mengontrol <i>indirect pneumatic brake</i> selama mode pengangkutan
3.3.2					<i>Check Valve G3/4 W. Rubber Gasket</i>	2			Memungkinkan udara terkompresi mengalir dari pipa utama ke katup rem pengemudi di satu arah dan menghentikan refluks udara di arah lain
3.3.3					<i>Press. Reduc. Valve DMV9/T1-5.0</i>	2			Mengurangi tekanan udara yang masuk ke katup <i>driver brake</i>
3.3.4					<i>Gauge PG-80D</i>	2			Memantau tekanan pipa utama dan pipa rem
3.3.5					<i>Gauge PG-81D</i>	2			Memantau tekanan silinder rem

<i>ID</i>	<i>1-System</i>	<i>Qty</i>	<i>2-Subsystem</i>	<i>Qty</i>	<i>3-Components</i>	<i>Qty</i>	<i>4</i>	<i>Qty</i>	<i>Function</i>
3.3.6					<i>Ballcock SK-DN20E-SM G3/4</i>	2			Mengisolasi katup <i>driver brake</i>
3.3.7					<i>Choke 8 mm</i>	2			Menstabilkan pembacaan tekanan silinder rem
3.4			<i>Emergency brake equipment</i>	1					
3.4.1					<i>Deadman's Valve SVI-1T 24 V</i>	1			Memicu <i>emergency brake</i> setelah diperintahkan oleh <i>vigilance control system</i>
3.4.2					<i>Emerg. Applic. Valve EVA1-1</i>	2			Memicu <i>emergency brake</i> secara mekanis
3.4.3					<i>Emerg. Brake Valve NB11</i>	1			Memicu <i>emergency brake</i>
3.4.4					<i>Em. Brake Pull-Box NPZ1-S Pneumatic with Switch</i>	2			Memicu <i>emergency brake</i> dari ruang pengemudi/staf melalui kontrol elektronik
3.5			<i>Pneumatic signalling equipment</i>	1					
3.5.1					<i>Ballcock SK-DN8E G1/4 W. Ventilation with Lever Handle</i>	2			Mengisolasi aliran tekanan udara ke <i>Tyfon</i>
3.5.2					<i>Magnet Valve G1/4 24 V</i>	2			Mengaktifkan klakson di dalam kereta
3.5.3					<i>Tyfon</i>	2			Pemancar suara bertenaga udara

VCC Functional Breakdown

<i>ID</i>	<i>1-System</i>	<i>Qty</i>	<i>2-Subsystem</i>	<i>Qty</i>	<i>3-Components</i>	<i>Qty</i>	<i>4</i>	<i>Qty</i>	<i>Function</i>
4	<i>Vehicle Control Circuit</i>	1							
4.1			<i>Cabin Selection Control</i>	1					

<i>ID</i>	<i>1-System</i>	<i>Qty</i>	<i>2-Subsystem</i>	<i>Qty</i>	<i>3-Components</i>	<i>Qty</i>	<i>4</i>	<i>Qty</i>	<i>Function</i>
4.1.1					<i>KEYSW</i>	2			Tombol kontaktor, yang berfungsi untuk menyalakan kabin yang dipilih
4.1.2					<i>CpAR1 (C1)</i>	2			Perangkat terkontrol yang membuka dan menutup kontak listrik, atau mengaktifkan dan menonaktifkan pengoperasian perangkat lain di sirkuit listrik yang sama atau yang lain terhubung ke <i>relay CpAR1</i>
4.1.3					<i>CpAR2 (C2)</i>	2			Perangkat terkontrol yang membuka dan menutup kontak listrik, atau mengaktifkan dan menonaktifkan pengoperasian perangkat lain di sirkuit listrik yang sama atau sirkuit listrik lainnya terhubung ke <i>relay CpAR2</i>
4.1.4					<i>RR1 (C2)</i>	2			Menerima arus dari <i>Cabin Selection Signal</i> dan memberikan perintah <i>Applied / Release</i> pada Kontaktor RR1 untuk mengirim status <i>rare cabin</i> ke kereta
4.1.5					<i>RR2 (C2)</i>	2			Menerima arus dari <i>Cabin Selection Signal</i> dan memberikan perintah <i>Applied / Release</i> pada Kontaktor RR2 3-11 untuk mengontrol aktivasi <i>Emergency Engine Stop</i>
4.1.6					<i>RR3 (C2)</i>	2			Menerima arus dari <i>Cabin Selection Signal</i> dan memberikan perintah <i>Applied / Release</i> pada kontak RR3 (kabin <i>D1 1</i> atau <i>2</i>) untuk menonaktifkan kontrol penyalan dari kabin belakang dan melepaskan EB
4.1.7					<i>FRAR (C3)</i>	2			Menerima arus dari 24 VDC, mengirim <i>Cabin Selection Signal</i> ke jalur kereta, dan mengaktifkan <i>relay RR</i> di kabin lain
4.1.8					<i>FR1 (C3)</i>	2			Menerima arus dari 24 VDC, mengirim status kabin depan ke TCMS dan memberi daya pada <i>loop EB</i>
4.1.9					<i>FR2 (C3)</i>	2			Menerima arus dari 24 VDC, memberi energi pada <i>loop TDR</i> , sakelar <i>train wash</i> , sakelar UT, dan sakelar <i>door interlock</i>

<i>ID</i>	<i>1-System</i>	<i>Qty</i>	<i>2-Subsystem</i>	<i>Qty</i>	<i>3-Components</i>	<i>Qty</i>	<i>4</i>	<i>Qty</i>	<i>Function</i>
4.1.10					<i>FR3 (C3)</i>	2			Menerima arus dari <i>Cabin Selection Signal</i> dan memberikan perintah <i>Applied / Release</i> pada Kontaktor FR3 (C7 di kabin 1 atau 2) Kontrol Pengemudian, Kontaktor FR3 (C2-3-4-5 di kabin 1 atau 2) Lampu utama dan lampu kabut
4.1.11					<i>FR4 (C3)</i>	2			Menerima arus dari <i>Cabin Selection Signal</i> dan memberikan perintah <i>Applied / Release</i> pada kontaktor FR4 (C6 di kabin 1 atau 2) Lampu utama dan lampu kabut, kontaktor FR4 6-8 AC Control
4.2			<i>Battery Control</i>	1					
4.2.1					<i>BatSON Button(B7)</i>	2			Menghubungkan Daya Listrik yang mengarah ke <i>Batt on</i>
4.2.2					<i>BattSOFF Button(B6)</i>	2			Menghubungkan Arus Listrik pada saluran 24 vdc yang mengarah ke Saluran <i>Batt off</i>
4.2.3					<i>BatLpR (C2)</i>	2			Menerima arus dari 24 Vdc ke sinyal <i>batt on</i> 24 vdc dan memberikan perintah <i>Applied / Release</i> pada Kontaktor BatLpR 4-12, 3-13 pada Lampu indikator <i>Batt</i>
4.2.4					<i>BatR (B3)</i>	2			Menerima arus dari Sinyal BatSON dan memberikan perintah pada Kontaktor BatR ke Terapan di baris 9-11 untuk memberi energi pada BatK (C3)
4.2.5					<i>BatK (C4)</i>	1			Menerima arus dari <i>Sinyal Batt On</i> dan memberikan perintah pada Kontaktor BatK 1-2 untuk Menghidupkan <i>Batt On</i> 24 vdc
4.2.6					<i>BatCK</i>	1			Menghubungkan Arus Listrik pada Jalur <i>Batt On</i> 24 Vdc untuk Mengisi Daya Baterai
4.3			<i>Engine Control</i>	1					
4.3.1					<i>EESoS Button(C8)</i>	2			Sebagai cadangan untuk mematikan mesin
4.3.2					<i>ESoTR (D7)</i>	1			Menerima arus dari jalur kereta <i>Engine Stop</i> dan memberikan sinyal berhenti ke panel ECM dan SwOnR

<i>ID</i>	<i>1-System</i>	<i>Qty</i>	<i>2-Subsystem</i>	<i>Qty</i>	<i>3-Components</i>	<i>Qty</i>	<i>4</i>	<i>Qty</i>	<i>Function</i>
4.3.3					<i>ESaTR (D7)</i>	1			Menerima arus dari <i>trainline Engine Start</i> dan memberikan sinyal start ke panel ECM
4.3.4					<i>EESoR (D7)</i>	1			Menerima arus dari jalur kereta <i>Emergency Engine Stop</i> dan memberikan sinyal berhenti ke panel ECM
4.3.5					<i>AWR (D3)</i>	1			Menerima sinyal dari <i>port AMBER ECM</i> dan memberikan perintah <i>Release / Applied</i> pada <i>AWR Switch</i>
4.3.6					<i>RStR (D3)</i>	1			Menerima sinyal dari <i>port ECM RED STOP</i> dan memberikan perintah <i>Release / Applied</i> pada Kontaktor <i>RStR 5-7</i> dan <i>4-12</i> ,
4.3.7					<i>EOR (D3)</i>	1			Menerima sinyal dari <i>port ECM Engine Run</i> dan memberikan perintah <i>Release / Applied</i> pada Kontaktor <i>EOR 5-7</i> dan <i>3-13</i>
4.3.8					<i>SwOnR (D4)</i> <i>[Contactor On Relay]</i>	1			Menerima sinyal dari parameter <i>engine switch on</i> dan memberikan perintah <i>Release / Applied</i> pada Kontaktor <i>SwOnR 3-11</i> dan <i>4-12</i>
4.3.9					<i>CLRS Very Low Switch (C4)</i>	1			Menghubungkan Daya Mesin 24 vdc ke <i>CLVRR (1-2 D4)</i>
4.3.10					<i>CLVRR (D4)</i>	1			Menerima sinyal dari <i>CLRS</i> dan memberikan perintah <i>Release / Applied</i> pada Kontaktor <i>CLVRR 3-11</i>
4.3.11					<i>CLRS Contactor 3-4</i>	1			Menghubungkan Daya 24 vdc Mesin ke <i>CLRR (1-2 D5)</i>
4.3.12					<i>CLRR (1-2 D5)</i>	1			Menerima arus dari Daya 24 vdc
4.3.13					<i>CLRS (max) Contactor 7-8</i>	1			Menghubungkan Daya 24 vdc Mesin ke <i>CLRR (1-2 D5)</i>
4.3.14					<i>CLMRR (1-2 D5)</i>	1			Menerima arus dari Daya 24 vdc
4.3.15					<i>ESR (D5)</i>	1			Menerima sinyal dari kebutuhan menghidupkan mesin dan memberikan perintah <i>Release / Applied</i> pada Kontaktor <i>ESR 3-11</i>

<i>ID</i>	<i>1-System</i>	<i>Qty</i>	<i>2-Subsystem</i>	<i>Qty</i>	<i>3-Components</i>	<i>Qty</i>	<i>4</i>	<i>Qty</i>	<i>Function</i>
4.3.16					<i>ERR</i>	1			Menerima sinyal dari EOR dan memberikan perintah <i>Release / Applied</i> pada Kontaktor ESR 3-11
4.3.17					<i>ISCR (D2)</i>	1			Jalur komunikasi antara VTDC dan ECM terkait fungsi kontrol kecepatan menengah
4.3.18					<i>ESSS (B6)</i>	2			
4.4			<i>Driving Control</i>	1					
4.4.1					<i>Master Control</i>	1			Perangkat operasi yang dipasang di konsol pengemudi di dalam kabin dan digunakan untuk mengirimkan arah perjalanan dan perintah penyalaan/pengereman untuk kendaraan
4.4.2					<i>TSR (D7)</i>	1			Menerima sinyal dari sinyal persyaratan aman traksi dan memberikan perintah ke kontaktor TSR 3-11 dan 4-12
4.4.3					<i>DiRAR (D2)</i>	2			Menerima sinyal Maju dari pegangan arah dan memberikan sinyal ke kontaktor DiRAR (D8) untuk memberi daya pada jalur kereta Arah A
4.4.4					<i>DiRBR (D2)</i>	2			Menerima sinyal Mundur dari pegangan arah dan memberikan sinyal ke kontaktor DiRBR (D8) untuk memberi energi pada jalur kereta Arah B
4.4.5					<i>EmBSRR2 (F4)</i>	1			Menerima sinyal dari kontrol master dan memberikan sinyal penonaktifan rem HD ke VTDC
4.4.6					<i>BCR3 (F4)</i>	2			Menerima sinyal langkah pengereman dari <i>master control</i> dan mengirimkannya ke katup <i>precontrol (B03)</i>
4.4.7					<i>BCR2 (F4)</i>	2			Menerima sinyal langkah pengereman dari <i>master control</i> dan mengirimkannya ke katup <i>precontrol (B03)</i>
4.4.8					<i>BCR1 (F5)</i>	2			Menerima sinyal langkah pengereman dari <i>master control</i> dan mengirimkannya ke katup <i>precontrol (B03)</i>

<i>ID</i>	<i>1-System</i>	<i>Qty</i>	<i>2-Subsystem</i>	<i>Qty</i>	<i>3-Components</i>	<i>Qty</i>	<i>4</i>	<i>Qty</i>	<i>Function</i>
4.4.9					<i>TCR3 (F5)</i>	2			Menerima sinyal langkah penyalan dari <i>master control</i> dan memberikan input ke VTDC sebagai sinyal <i>notch set point C</i>
4.4.10					<i>TCR2 (F5)</i>	2			Menerima sinyal langkah penyalan dari kontrol utama dan memberikan input ke VTDC sebagai sinyal <i>notch set point B</i>
4.4.11					<i>TCR1 (F5)</i>	2			Menerima sinyal langkah penyalan dari <i>master control</i> dan memberikan input ke VTDC sebagai sinyal <i>notch set point A</i>
4.4.12					<i>PCER (F5)</i>	2			Menerima sinyal pengaktifan daya dari <i>master control</i> dan mengirimkannya ke jalur kereta
4.4.13					<i>NR (F5)</i>	2			Menerima sinyal netral dari <i>master control</i> dan mengirimkannya ke jalur kereta
4.4.14					<i>BCER Relay 1 2</i>	2			Menerima sinyal pengaktifan perintah rem dari <i>master control</i> dan mengirimkannya ke jalur kereta
4.4.15					<i>SRR</i>	2			Menerima sinyal pengurangan kecepatan dari VTDC dan mengirimkannya ke lampu <i>speed reduction</i> dan pegangan daya/pengereman
4.4.16					<i>RCR Relay</i>	2			Menerima sinyal pembalikan lengkap dari VTDC dan mengirimkannya ke <i>loop TSR</i> dan lampu <i>reversing complete</i>
4.5			<i>Deadman & Emergency Control</i>	1					
4.5.1					<i>DMS Switch</i>	2			Tombol yang terletak di pegangan dan dirancang untuk diaktifkan jika tidak ditekan dalam interval 6 detik atau terus ditekan selama 60 detik
4.5.2					<i>DMFS Switch</i>	2			Sakelar yang terletak di sekitar kaki pengemudi dan dirancang untuk diaktifkan jika tidak ditekan dalam interval 6 detik atau terus ditekan selama 60 detik

<i>ID</i>	<i>1-System</i>	<i>Qty</i>	<i>2-Subsystem</i>	<i>Qty</i>	<i>3-Components</i>	<i>Qty</i>	<i>4</i>	<i>Qty</i>	<i>Function</i>
4.5.3					<i>DMTR1 (E2)</i>	1			Setelah diaktifkan oleh sakelar deadman, memulai temporalisasi sebelum membuka kontak (C4) hingga diteruskan ke <i>relay</i> EmTR (E4)
4.5.4					<i>DMTR2 (E2)</i>	1			Setelah diaktifkan oleh sakelar deadman, mulai temporalisasi sebelum membuka kontak (C4) hingga diteruskan ke <i>relay</i> EmTR (E4)
4.5.5					<i>DMEEmR (E2)</i>	1			Relai ini diaktifkan oleh TCMS pada saat aktivasi deadman untuk membuka kontak (D4) dan mengaktifkan <i>relay</i> EmTR (E4)
4.5.6					<i>EmBSR1 (E5)</i>	2			Ketika tidak ada perangkat aktivasi EB manual di dalam mobil yang diaktifkan, relai diaktifkan dan menutup kontaktor EmBSR1 di <i>loop EB</i>
4.5.7					<i>EmBSR2 (E5)</i>	2			Ketika tidak ada perangkat aktivasi EB manual di dalam mobil yang diaktifkan, relai diberi daya dan menutup kontaktor EmBSR2 di <i>loop EB</i>
4.5.8					<i>DMCTR (E4)</i>	1			Setelah diaktifkan oleh DMTR1 atau DMTR2, memulai temporalisasi sebelum menutup kontak (C5) untuk mengaktifkan <i>relay</i> EmTR (E4)
4.5.9					<i>EmTR1 (E4)</i>	1			Saat diaktifkan oleh DMCTR, memulai temporalisasi sebelum membuka kontak (C6) di <i>loop EB</i>
4.5.10					<i>EmTR2 (E5)</i>	1			Saat diaktifkan oleh DMCTR, memulai temporalisasi sebelum membuka kontak (D6) di <i>loop EB</i>
4.5.11					<i>EmBApR1 (E7)</i>	1			Ketika <i>loop EB Applied</i> dinonaktifkan, <i>relay</i> di kabin 1 tidak diberi daya dan melepaskan kontak (D3) sebagai input ke katup rem darurat (N01), dan pencahayaan lampu meja pengemudi sebagai pemantauan pengemudi
4.5.12					<i>EmBApR2 (E7)</i>	1			Sebagai redundansi untuk menerapkan EB

<i>ID</i>	<i>1-System</i>	<i>Qty</i>	<i>2-Subsystem</i>	<i>Qty</i>	<i>3-Components</i>	<i>Qty</i>	<i>4</i>	<i>Qty</i>	<i>Function</i>
4.5.13					<i>CISR (E8)</i>	1			Ketika Rem <i>Bogie</i> tidak diisolasi, <i>relay</i> aktif untuk menutup kontak (C10) yang dibaca oleh TCMS, membuka (C8) untuk memutus <i>loop</i> NTR, dan membuka kontak (D12) untuk mengisolasi lampu sebagai pemantauan pengemudi
4.5.14					<i>PBISR (E8)</i>	1			Ketika Rem Parkir tidak diisolasi, <i>relay</i> aktif untuk menutup kontak (C10) yang dibaca oleh TCMS, dan membuka kontak (C9) ke lampu isolasi rem parkir sebagai pemantauan pengemudi
4.5.15					<i>BISR (E9)</i>	1			Ketika Rem tidak terisolasi, <i>relay</i> aktif untuk menutup kontak (C10) yang dibaca oleh TCMS, membuka (B8) untuk memotong <i>loop</i> NTR, dan membuka kontak (C12) untuk mengisolasi lampu sebagai pemantauan pengemudi
4.5.16					<i>BPPSR (E9)</i>	1			Ketika BP diberi tekanan di dalam kereta, <i>relay</i> aktif untuk menutup kontak (C10) yang dibaca oleh TCMS, dan menutup kontak (E6) di <i>loop</i> TSR sebagai sinyal siap traksi
4.5.17					<i>BCPSR (E10)</i>	1			Ketika Silinder Rem tidak bertekanan di dalam kereta, <i>relay</i> aktif untuk menutup kontak (C10) yang dibaca oleh TCMS dan menutup kontak (E6) di <i>loop</i> TSR sebagai sinyal siap traksi
4.5.18					<i>PaBPSR (E10)</i>	1			Ketika Rem Parkir dilepaskan di dalam kereta, relai aktif untuk menutup kontak (C11) yang dibaca oleh TCMS, dan menutup kontak (E6) di <i>loop</i> TSR sebagai sinyal siap traksi
4.5.19					<i>MRPSR Relay 1-2</i>	1			Ketika tekanan <i>reservoir</i> OK, <i>relay</i> aktif untuk menutup kontak (C11) yang dibaca oleh TCMS, dan menutup kontak (E6) di <i>loop</i> TSR sebagai sinyal siap traksi
4.5.20					<i>NTR (B9)</i>	2			Menutup/membuka <i>loop</i> NTR yang digunakan oleh pegangan arah untuk mengizinkan/memutus aliran listrik, sesuai kondisi (<i>bogie</i> yang terisolasi, rem yang terisolasi...) dengan kontak (C3)

<i>ID</i>	<i>1-System</i>	<i>Qty</i>	<i>2-Subsystem</i>	<i>Qty</i>	<i>3-Components</i>	<i>Qty</i>	<i>4</i>	<i>Qty</i>	<i>Function</i>
4.6			<i>Lighting Control</i>	1					
4.6.1					<i>CLpS (D2)</i>	2			Kontaktor yang dikontrol secara elektrik yang digunakan untuk mengalihkan daya listrik untuk semua lampu kabin
4.6.2					<i>RLpS (D3)</i>	2			Kontaktor yang dikontrol secara elektrik yang digunakan untuk mengalihkan daya listrik untuk semua lampu ruangan
4.6.3					<i>RLpK (C4)</i>	1			Menerima arus dari <i>R Lamp Switch On trainline</i> , dan memberikan perintah <i>Release/Applied</i> pada Kontaktor RLpK (C4 & C5) untuk mengaktifkan Lampu Ruangan, Lampu Jalan Kerja, Lampu Darurat, Lampu Mesin, dan Lampu <i>Gangway</i>
4.6.4					<i>EmLpTR (D6)</i>	1			Menerima arus dari Saklar Lampu R pada jalur kereta untuk mengaktifkan lampu darurat
4.6.5					<i>HLpS (C2)</i>	2			Sakelar yang digunakan untuk mengaktifkan daya listrik untuk menyalakan Lampu Utama 1 dan 2
4.6.6					<i>HLpS (C3)</i>	2			Sakelar yang digunakan untuk mengaktifkan daya listrik untuk menyalakan Lampu Utama 3 dan 4 (Lampu Utama Rendah)
4.6.7					<i>HLpK (C2)</i>	2			Menerima sinyal dari HLpS untuk menyalakan/mematikan Lampu Utama 1 dan 2
4.6.8					<i>HLpK (C3)</i>	2			Menerima sinyal dari HLpS untuk menyalakan/mematikan Lampu Utama 3 dan 4 (Lampu Utama Rendah)
4.6.9					<i>FLpS (C4)</i>	2			Sakelar yang digunakan untuk mengaktifkan daya listrik untuk menyalakan Lampu Kabut
4.6.10					<i>FLpK (C4)</i>	2			Menerima sinyal dari FLpS untuk menyalakan/mematikan Lampu Kabut
4.6.11					<i>InLpS (C5)</i>	2			Sakelar yang digunakan untuk mengaktifkan daya listrik untuk menyalakan Lampu Inspeksi
4.6.12					<i>InLpK (C5)</i>	2			Menerima sinyal dari InLpS untuk menyalakan/mematikan Lampu Inspeksi

<i>ID</i>	<i>1-System</i>	<i>Qty</i>	<i>2-Subsystem</i>	<i>Qty</i>	<i>3-Components</i>	<i>Qty</i>	<i>4</i>	<i>Qty</i>	<i>Function</i>
4.6.13					<i>RtLpS (C6)</i>	2			Sakelar yang digunakan untuk menyalakan Lampu Rotari dan memberi daya pada saluran sirine
4.6.14					<i>SrS (C6)</i>	2			Sakelar yang digunakan untuk menyalakan Sirine
4.6.15					<i>SLpS (B2)</i>	2			Sakelar yang digunakan untuk mengaktifkan daya listrik untuk menyalakan Lampu Sinyal
4.6.16					<i>RSLpR (B4)</i>	2			Ketika Sakelar Mode Manual diaktifkan, menerima perintah dari TCMS untuk menutup kontaktor (C3) dan menyalakan RSLp1 di kabin belakang
4.6.17					<i>SLpRR (B4)</i>	2			Saat Sakelar Mode Manual diaktifkan, menerima perintah dari TCMS untuk menutup kontaktor (C2) dan menyalakan lampu sein di kabin belakang
4.6.18					<i>SLpGR (B4)</i>	2			Saat Sakelar Mode Manual diaktifkan, menerima perintah dari TCMS untuk menutup kontaktor (C2) dan menyalakan lampu sinyal samping di kabin belakang
4.7			<i>Door Control</i>	1					
4.7.1					<i>DIS (C6)</i>	2			Mengaktifkan door interlock relay untuk menghindari status pintu tertutup
4.7.2					<i>DIR (C6)</i>	1			Menerima sinyal dari DIS, <i>close contact</i> (C6) yang diterima oleh TCMS, <i>close contact</i> (C5) untuk mengaktifkan DCR dalam <i>loop</i> TSR
4.7.3					<i>DCR Relay (D5)</i>	1			Menerima sinyal dari DSR (1 dan 2) atau DIR, untuk menginformasikan status penutupan pintu ke TCMS dan lampu indikator
4.7.4					<i>DS1 (C4)</i>	1			Sakelar yang diaktifkan saat pintu tertutup, mengirim sinyal ke DSR1 untuk menginformasikan status pintu 1 tertutup ke TCMS

<i>ID</i>	<i>1-System</i>	<i>Qty</i>	<i>2-Subsystem</i>	<i>Qty</i>	<i>3-Components</i>	<i>Qty</i>	<i>4</i>	<i>Qty</i>	<i>Function</i>
4.7.5					<i>DS2 (C4)</i>	1			Sakelar yang diaktifkan saat pintu tertutup, mengirim sinyal ke DSR2 untuk menginformasikan status pintu 2 tertutup ke TCMS
4.7.6					<i>DSR1 (D4)</i>	1			Menerima sinyal dari DS1 untuk menutup kontaktor (C5) dalam loop DCR dan menutup kontaktor (C7) yang diterima oleh TCMS
4.7.7					<i>DSR2 (D4)</i>	1			Menerima sinyal dari DS2 untuk menutup kontaktor (C5) di loop DCR dan menutup kontaktor (C7) yang diterima oleh TCMS
4.7.8					<i>Door Locking Coil 1 (D4)</i>	1			Menerima sinyal dari <i>loop</i> SSR untuk mengunci/membuka kunci pintu 1, menutup kontaktor (D6) yang diterima oleh TCMS
4.7.9					<i>Door Locking Coil 2 (D3)</i>	1			Menerima sinyal dari loop SSR untuk mengunci / membuka kunci pintu 2, tutup kontaktor (D6) yang diterima oleh TCMS
4.8			<i>AC Control</i>	1					
4.8.1					<i>ACOnS (B1)</i>	2			Disuplai oleh 24 VDC untuk mengaktifkan ACONR dan memberi energi pada jalur kereta 421C
4.8.2					<i>ACONR (C1)</i>	2			Menerima sinyal dari ACONS, menutup kontaktor (B3) dan selanjutnya memberi energi pada <i>loop control AC</i>
4.8.3					<i>PHCR (C2)</i>	2			Menerima tegangan dari saluran 3 Fase untuk memeriksa tegangan, jika tidak ada tegangan berlebih / kurang maka tutup kontaktor PHCR-OUV (B2), dan kirim sinyal M256 ke TCMS
4.8.4					<i>PL1 (D3)</i>	2			Menunjukkan Kontrol AC diterapkan
4.8.5					<i>OUFR (C3)</i>	2			Disuplai oleh saluran A11, tutup Kontaktor OUFR (B3), dan kirim sinyal M274 ke TCMS

<i>ID</i>	<i>1-System</i>	<i>Qty</i>	<i>2-Subsystem</i>	<i>Qty</i>	<i>3-Components</i>	<i>Qty</i>	<i>4</i>	<i>Qty</i>	<i>Function</i>
4.8.6					<i>AC CONT-SW (C3)</i>	2			Disuplai oleh 24 VDC untuk mengaktifkan EVCHR (C3) dan/atau CR1 (C3) dan/atau CR2 (C3)
4.8.7					<i>EVCHR (C3)</i>	1			Disuplai oleh saluran A11A untuk mengaktifkan kontaktor (C3) pada saluran A11B dan saluran A52 dan selanjutnya mengaktifkan evaporator
4.8.8					<i>CR1 (C3)</i>	2			Disuplai oleh jalur A11C untuk mengaktifkan kontaktor (C3) pada jalur A11D dan jalur A71 dan selanjutnya mengaktifkan kompresor AC
4.8.9					<i>CR2 (C3 - cab 1 only)</i>	1			Disuplai oleh jalur A11E untuk mengaktifkan kontaktor (C3) pada jalur A72 dan selanjutnya mengaktifkan kompresor AC
4.8.10					<i>EVK 11 (D3)</i>	1			Disuplai oleh jalur A61 untuk mengaktifkan kontaktor (E2), kontaktor (C4) pada jalur A73 dan selanjutnya mengaktifkan EV11 dan kipas kondensor AC 11 dan 12
4.8.11					<i>EVK 12 (D4)</i>	1			Disuplai oleh saluran A63 untuk mengaktifkan kontaktor (E2), kontaktor (C4) pada saluran A74 dan selanjutnya mengaktifkan EV12 dan kipas kondensor AC 11 dan 12
4.8.12					<i>EVK 21 (D3)</i>	1			Disuplai oleh saluran A61 untuk mengaktifkan kontaktor (E2), kontaktor (C4) pada saluran A82 dan selanjutnya mengaktifkan EV21
4.8.13					<i>CTR1 (C4)</i>	2			Disuplai oleh jalur A71 untuk mengaktifkan kontaktor (B5) dan selanjutnya mengaktifkan kompresor AC 11 atau 12
4.8.14					<i>CTR2 (C4 - cab 1 only)</i>	1			Disuplai oleh jalur A72 untuk mengaktifkan kontaktor (B5) dan selanjutnya mengaktifkan kompresor AC 11 atau 12
4.8.15					<i>ACRR (C4)</i>	1			Disuplai oleh jalur A71 untuk mengaktifkan kontaktor (B5) pada jalur A33 dan selanjutnya mengontrol operasi alternatif kompresor AC selama mode setengah

<i>ID</i>	<i>1-System</i>	<i>Qty</i>	<i>2-Subsystem</i>	<i>Qty</i>	<i>3-Components</i>	<i>Qty</i>	<i>4</i>	<i>Qty</i>	<i>Function</i>
4.8.16					<i>CFK11 (D4)</i>	1			Disuplai oleh jalur A313 untuk mengaktifkan kontaktor (C5) dan selanjutnya mengaktifkan kompresor AC 11 dan 12, serta mengaktifkan kontaktor (E3) untuk mengaktifkan kipas kondensor 11 dan 12
4.8.17					<i>CFK21 (D4)</i>	1			Disuplai oleh jalur A313 untuk mengaktifkan Kontaktor (C5) dan selanjutnya mengaktifkan kompresor AC 21, dan juga mengaktifkan kontaktor (E3) untuk mengaktifkan kipas kondensor 21 dan 22
4.8.18					<i>CPK11 (C5)</i>	1			Disuplai oleh jalur A110 untuk mengaktifkan kontaktor (E4) untuk mengaktifkan kompresor AC 11
4.8.19					<i>CPK12 (C5)</i>	1			Disuplai oleh jalur A131 untuk mengaktifkan kontaktor (E4) untuk mengaktifkan kompresor AC 12
4.8.20					<i>CPK21 (C5)</i>	1			Disuplai oleh jalur A111 untuk mengaktifkan kontaktor (E4) untuk mengaktifkan kompresor AC 21
4.8.21					<i>CPN11 (C5 - trip coil)</i>	1			Menerima sinyal dari HPS1 atau LPS1 untuk mematikan kompresor 11 untuk mengindikasikan masalah pada unit AC
4.8.22					<i>CPN12 (C5 - trip coil)</i>	1			Menerima sinyal dari HPS2 atau LPS2 untuk mematikan kompresor 12 untuk mengindikasikan masalah pada unit AC
4.8.23					<i>CPN21 (C5 - trip coil)</i>	1			Menerima sinyal dari HPS1 atau LPS1 untuk mematikan kompresor 21 untuk mengindikasikan masalah pada unit AC
4.9			<i>Crane Control</i>	1					
4.9.1					<i>CCSN</i>	1			Menyediakan 24 VDC ke sistem kontrol derek
4.9.2					<i>COpN</i>	1			Menyediakan 24 VDC ke fungsi operasi derek
4.9.3					<i>PSLN</i>	1			Menyalurkan 24 VDC ke catu daya kontrol derek dan sistem derek penerangan
4.9.4					<i>WBSN</i>	1			Menyediakan 24 VDC ke fungsi keranjang pekerja sistem kontrol derek

<i>ID</i>	<i>1-System</i>	<i>Qty</i>	<i>2-Subsystem</i>	<i>Qty</i>	<i>3-Components</i>	<i>Qty</i>	<i>4</i>	<i>Qty</i>	<i>Function</i>
4.9.5					<i>CrOR</i>	1			Mengaktifkan derek
4.9.6					<i>CSR</i>	1			Mengaktifkan derek (mode operasi perayapan / kecepatan terbatas)
4.9.7					<i>ETCSR</i>	1			Mengaktifkan status operasi perayapan
4.9.8					<i>TrPR</i>	1			Mengaktifkan status posisi pengangkutan
4.9.9					<i>5VSR</i>	1			Mengaktifkan batas kecepatan pada 5 km / jam

TCMS Functional Breakdown

<i>ID</i>	<i>1-System</i>	<i>Qty</i>	<i>2-Subsystem</i>	<i>Qty</i>	<i>3-Components</i>	<i>Qty</i>	<i>4</i>	<i>Qty</i>	<i>Function</i>
5	<i>TCMS</i>	1							
5.1			HMI (Human Machine Interface)	2					Menyediakan pengawasan dan kontrol kepada pengemudi
5.2			Power Supply Module	2					Memberi daya pada kartu di dalam modul CCU
5.3			Connectivity Module	2					Interface komunikasi antara sistem TCMS dan berbagai komponen dan sistem perkeretaapian lainnya
5.4			COMM Module	2					Mengelola interface MVB dengan I/O, CCU, OBCU di dalam gerbong yang sama.
5.5			1st DI Digital Inputs Card	2					Mengelola Input Digital (tunggal atau redundan)
5.6			2nd DI Digital Inputs Card	2					Mengelola Input Digital (tunggal atau redundan)
5.7			DO (Digital Outputs Card)	2					Mengelola Keluaran Digital (tunggal atau redundan)
5.8			AI (Analogic Inputs Card)	2					Mengelola input analog mobil MC (Kecepatan, Tegangan, Arus)
5.9			CPU (Central Processing Unit)	1					Menghitung Input fungsional untuk mengirimkan Output

<i>ID</i>	<i>1-System</i>	<i>Qty</i>	<i>2-Subsystem</i>	<i>Qty</i>	<i>3-Components</i>	<i>Qty</i>	<i>4</i>	<i>Qty</i>	<i>Function</i>
5.10			Ethernet Switch	2					Mengirimkan data dari jaringan Ethernet ke SDIAG, CCU, TCU, HMI, jika ada.

Auxiliary Fuctional Brekdown

<i>ID</i>	<i>1-System</i>	<i>Qty</i>	<i>2-Subsystem</i>	<i>Qty</i>	<i>3-Components</i>	<i>Qty</i>	<i>4</i>	<i>Qty</i>	<i>Function</i>
6	Auxiliary	1							
6.1			Power Supply System	1					
6.1.1					ECM Engine (Genset Engine)	1			Sumber Penggerak Alternator 380 Vac dan Alternator 24 VDC
6.1.2					Alternator Charge 24 VDC (Genset)	1			Untuk suplai 24 VDC dari putaran mesin genset yang diubah menjadi energi listrik 24 VDC dan untuk pengisian baterai starter.
6.1.3					Motor Starter ECM Engine	1			Menghidupkan mesin genset untuk pertama kalinya
6.1.4					Battery Starter ECM Engine 24 VDC 100 Ah	1			Menyimpan energi listrik untuk menghidupkan motor starter genset
6.1.5					Alternator 380 Volt	1			Sumber 380 Vac memasok komponen listrik tambahan
6.1.6					Alternator Charge 24 VDC Main Engine	1			Untuk suplai 24 VDC dari putaran mesin utama yang diubah menjadi energi listrik 24 VDC dan untuk pengisian baterai
6.1.7					Battery Starter Main Engine 24 VDC 200 Ah	1			Menyimpan energi listrik untuk memulai motor starter menjalankan mesin
6.1.8					Motor Starter Main Engine	1			Menghidupkan mesin utama untuk pertama kalinya
6.1.9					Battery Control Main Engine 24 VDC 100 Ah	1			Menyimpan energi listrik untuk suplai kontrol
6.2			AC System	1					

<i>ID</i>	<i>1-System</i>	<i>Qty</i>	<i>2-Subsystem</i>	<i>Qty</i>	<i>3-Components</i>	<i>Qty</i>	<i>4</i>	<i>Qty</i>	<i>Function</i>
6.2.1					<i>AC Compressor</i>	4			Mengompresi tekanan refrigeran
6.2.2					<i>Condenser Fan</i>	4			Meniupkan udara melalui koil kondensor
6.2.3					<i>Evaporator Fan</i>	2			Menghisap udara ruangan untuk dihembuskan melalui koil evaporator
6.2.4					<i>Condenser Coil</i>	4			Mendinginkan suhu refrigeran dengan udara sekitar
6.2.5					<i>Evaporator Coil</i>	2			Mendinginkan suhu udara ruangan oleh refrigeran
6.2.6					<i>Main Frame & Cover</i>	1			Menutupi Komponen AC
6.2.7					<i>Filter Drier</i>	4			Menyaring uap air yang terkandung dalam refrigeran
6.2.8					<i>Strainer</i>	4			Menyaring kotoran yang terkandung di dalam refrigeran
6.2.9					<i>TX Valves</i>	4			Menurunkan tekanan refrigeran
6.2.10					<i>Sight glass</i>	4			Memantau aliran dan kebocoran refrigeran
6.2.11					<i>Accumulator</i>	4			Menurunkan tekanan refrigeran saat berada dalam kondisi suhu tinggi
6.3			<i>Lighting</i>	1					
6.3.1					<i>Train Head lamp</i>	1			Menerangi jalan kereta api
6.3.2					<i>Inspection lamp</i>	2			Penerangan selama aktivitas inspeksi
6.3.3					<i>Signal light</i>	3			Lampu sinyal untuk menentukan arah kereta api
6.3.4					<i>Rotary Light</i>	1			Identitas kendaraan untuk memantau sarana dan prasarana lalu lintas
6.3.5					<i>Fog lamp</i>	2			Meningkatkan penglihatan atau jarak pandang pengemudi di jalan berkabut
6.3.6					<i>Driver Cab Light</i>	1			Menerangi ruang kabin
6.3.7					<i>Emergency Light</i>	2			Menerangi kondisi darurat
6.4			<i>PIS & PAS</i>	1					
6.4.1					<i>Rear View CCTV</i>	1			Memantau kondisi spion di luar kendaraan
6.4.2					<i>Rear View Display</i>	2			Menampilkan video spion CCTV dalam kondisi langsung

<i>ID</i>	<i>1-System</i>	<i>Qty</i>	<i>2-Subsystem</i>	<i>Qty</i>	<i>3-Components</i>	<i>Qty</i>	<i>4</i>	<i>Qty</i>	<i>Function</i>
6.4.3					<i>Master Unit Intercom</i>	1			Komunikasi darurat di kabin pengemudi
6.4.4					<i>Intercom</i>	2			Komunikasi darurat di ruang kontrol kompartemen
6.4.5					<i>Microphone</i>	1			Perangkat untuk input suara pengemudi sebagai penyiar publik
6.4.6					<i>Speaker</i>	2			Perangkat untuk menyiarkan pengumuman
6.4.7					<i>Power Amplifier</i>	1			Memperkuat suara, biasanya berasal dari input mikrofon
6.5			<i>Measuring and Protective Device</i>	1					
6.5.1					<i>Temperature Monitoring</i>	1			Memantau suhu mesin
6.5.2					<i>Fuel level sensor</i>	1			Mengukur tingkat bahan bakar
6.5.3					<i>Smoke Detector</i>	1			Mendeteksi asap
6.5.4					<i>Speed Sensor</i>	1			Mengukur kecepatan kereta api
6.6			<i>Monitoring Device</i>	1					
6.6.1					<i>Ammeter</i>	1			Menunjukkan nilai saat ini
6.6.2					<i>Brake Indicator</i>	1			Menunjukkan nilai tekanan rem
6.6.3					<i>Fuel gauge</i>	1			Menunjukkan tingkat bahan bakar
6.6.4					<i>Speedometer</i>	1			Menunjukkan kecepatan kereta
6.6.5					<i>Voltmeter</i>	1			Menunjukkan nilai tegangan
6.6.6					<i>Engine Display</i>	1			Menunjukkan status mesin
6.7			<i>Safety Equipment</i>	1					
6.7.1					<i>Deadman device</i>	2			Memicu rem darurat setelah diperintahkan oleh vigilance control system
6.7.2					<i>Horn</i>	2			sebagai tanda peringatan bahwa kereta api siap untuk dijalankan, segala sesuatu tanda peringatan di depan kereta api
6.7.3					<i>Siren</i>	2			memberikan sinyal urgensi

<i>ID</i>	<i>1-System</i>	<i>Qty</i>	<i>2-Subsystem</i>	<i>Qty</i>	<i>3-Components</i>	<i>Qty</i>	<i>4</i>	<i>Qty</i>	<i>Function</i>
6.8			<i>Communication Equipment</i>	1					
6.8.1					<i>Radio Communication</i>	1			Komunikasi radio untuk melakukan komunikasi dengan OCC

Bogie Fuctional Breakdown

<i>ID</i>	<i>1-System</i>	<i>Qty</i>	<i>2-Subsystem</i>	<i>Qty</i>	<i>3-Components</i>	<i>Qty</i>	<i>4</i>	<i>Qty</i>	<i>Function</i>
7	<i>Bogie</i>	1							
7.1			<i>Bogie Structure</i>	1					
7.1.1					<i>Motor Bogie Frame</i>	1			Menopang berat kereta, menyalurkan gaya traksi dari mesin dan memungkinkan kereta berbelok.
7.1.2					<i>Trailer Bogie Frame</i>	1			Menopang berat kereta dan memungkinkan kereta berbelok.
7.2			<i>Suspension System</i>	1					
7.2.1					<i>Primary Suspension (Rubber bounded)</i>	16			Meredam getaran dari roda terhadap <i>bogie</i> frame.
7.2.2					<i>Secondary Suspension (Air spring)</i>	4			Meredam getaran dari <i>bogie</i> frame terhadap carbody, menahan gerakan carbody secara longitudinal dan lateral.
7.2.3					<i>Leveling Assembly</i>	4			Menjaga underframe tetap lurus.
7.2.4					<i>Lateral oil damper</i>	2			Sebagai peredam getaran carbody ke arah lateral.
7.2.5					<i>Lateral Rubber Stopper</i>	2			Menahan benturan antara komponen sambungan bogie ke carbody dan bogie frame.
7.2.6					<i>Side Bearer</i>	4			Mengurangi gesekan antara carbody dan bogie frame
7.2.7					<i>Traction Rod</i>	2			Menyalurkan traksi dari bogie ke carbody.
7.3			<i>Wheelset</i>	1					
7.3.1					<i>Wheel</i>	8			Menyalurkan beban dan torsi dari axle ke rel.

<i>ID</i>	<i>1-System</i>	<i>Qty</i>	<i>2-Subsystem</i>	<i>Qty</i>	<i>3-Components</i>	<i>Qty</i>	<i>4</i>	<i>Qty</i>	<i>Function</i>
7.3.2					<i>Motorized axle</i>	2			Menjaga kecepatan rotasi roda pada setiap axle agar sama, mendistribusikan gaya traksi dari gearbox ke roda dan menerima beban gearbox.
7.3.3					<i>Trailer axle</i>	2			Menjaga kecepatan rotasi roda pada setiap axle agar tetap sama.
7.3.4					<i>Cardan shaft</i>	1			Menyalurkan tenaga dari gearbox ke gearbox lainnya.
7.4			<i>Axle Box</i>	1					
7.4.1					<i>Housing</i>	8			Menutupi semua komponen yang menyusun axle box.
7.4.2					<i>Compact TBU (Bearing) / Journal Bearing</i>	8			Memungkinkan wheelset berputar dan menyalurkan gaya longitudinal, lateral, dan vertikal dari wheelset.
7.4.3					<i>Retainer Ring</i>	8			Menahan axle box bearing.
7.4.4					<i>Distance Ring</i>	8			Menahan wheelset ke axle box.
7.5			<i>Component Installation</i>	1					
7.5.1					<i>Speed sensor & earthing brush bracket</i>	1			Menahan sensor kecepatan & rumah earthing brush agar tidak berputar dengan axle.
7.5.2					<i>Speed sensor & earthing brush cover</i>	1			Sensor kecepatan & pelindung earthing brush.
7.6			<i>Safety Add-ons</i>	1					
7.6.1					<i>Safety chain cardan shaft</i>	1			Pengaman cardan shaft jika terpisah dari gearbox.

Carbody Fuctional Breakdown

<i>ID</i>	<i>1-System</i>	<i>Qty</i>	<i>2-Subsystem</i>	<i>Qty</i>	<i>3-Components</i>	<i>Qty</i>	<i>4</i>	<i>Qty</i>	<i>Function</i>
8	<i>Carbody</i>	1							
8.1			<i>Sidewall</i>	1					

<i>ID</i>	<i>1-System</i>	<i>Qty</i>	<i>2-Subsystem</i>	<i>Qty</i>	<i>3-Components</i>	<i>Qty</i>	<i>4</i>	<i>Qty</i>	<i>Function</i>
8.1.1					<i>Sidewall Frame Assy</i>	1			Rangka yang berfungsi memberi bentuk dan penyangga pada dinding samping
8.1.2					<i>Door Lintle Assy</i>	6			Menyangga antara dinding samping dan pintu
8.2			<i>Endwall</i>	1					
8.2.1					<i>Endwall Frame</i>	2			Rangka yang berfungsi untuk memberikan bentuk dan penyangga pada dinding ujung
8.2.2					<i>Bracket At Endwall</i>	2			Untuk menopang komponen pada dinding ujung
8.3			<i>Roof</i>	1					
8.3.1					<i>Roof Frame Assy</i>	2			Rangka yang berfungsi memberi bentuk dan penyangga pada atap
8.3.2					<i>Bracket On Roof</i>	4			Untuk menopang komponen pada atap
8.4			<i>Underframe</i>	1					
8.4.1					<i>End Frame</i>	1			Rangka yang memberikan penyangga pada kedua ujung carbody
8.4.2					<i>Front End</i>	1			Rangka bawah yang menopang kabin pengemudi
8.4.3					<i>Front Centersill</i>	2			Rangka yang memberikan penyangga pada ujung depan
8.4.4					<i>Centersill</i>	1			Rangka yang memberikan penyangga pada rangka bawah yang memanjang sepanjang carbody
8.4.5					<i>Middle Frame</i>	1			Bagian yang menopang ambang tengah untuk menyangga beban pengemudi/staf
8.5			<i>Driver Cab</i>	1					
8.5.1					<i>Driver Cab Framing</i>	2			Rangka yang berfungsi memberi bentuk dan penyangga pada kabin pengemudi
8.5.2					<i>Bracket At Front Mask</i>	2			Untuk menopang pelindung bagian depan
8.5.3					<i>Windshield</i>	2			Berfungsi untuk mencegah masuknya debu angin kencang, hingga serangga masuk ke dalam kabin pengemudi. Kaca depan juga memberikan visibilitas yang baik bagi pengemudi

<i>ID</i>	<i>1-System</i>	<i>Qty</i>	<i>2-Subsystem</i>	<i>Qty</i>	<i>3-Components</i>	<i>Qty</i>	<i>4</i>	<i>Qty</i>	<i>Function</i>
8.5.4					<i>Wiper</i>	2			Untuk membersihkan kaca mobil dan memudahkan pengemudi terutama dalam kondisi hujan dan berkabut
8.6			<i>Add On-Parts</i>	1					
8.6.1					<i>Rain gutter</i>	6			Mengumpulkan dan mengalirkan air hujan
8.7			<i>Floor Structure</i>	1					
8.7.1					<i>Keystone</i>	2			Pelat baja bergelombang sebagai alas lantai
8.7.2					<i>Floor compound</i>	2			Lapisan lantai terdiri dari unitex, glasswool, subdue
8.7.3					<i>Floor Cover</i>	2			Menutupi permukaan lantai
8.8			<i>Insulation</i>	1					
8.8.1					<i>Carbody insulation</i>	2			Meredam kebisingan dari luar kereta
8.8.2					<i>Ducting insulation</i>	2			Menghilangkan panas dari saluran udara
8.8.3					<i>Heat insulation (engine)</i>	1			Menghilangkan Panas dari Mesin
8.9			<i>Interior Panelling</i>	1					
8.9.1					<i>Driver Cab Interior Panel</i>	2			tempat untuk meletakkan panel perintah di kabin
8.9.2					<i>Return Air Grill</i>	2			mengalirkan udara dari AC ke kabin
8.9.3					<i>Ceiling Interior Panel</i>	2			penutup kabel komponen listrik, dan saluran AC serta komponennya ditempatkan di atasnya
8.9.4					<i>Profil Extrusion Panel</i>	2			tempat pemasangan komponen mobil
8.10			<i>External Additions</i>	1					
8.10.1					<i>Ladder to roof</i>	4			tangga untuk naik ke atap kereta
8.10.2					<i>Cow Catcher</i>	2			memblokir rintangan di depan kereta
8.10.3					<i>Signal handle</i>	4			Penanda arah kereta

Door Functional Brekdown

<i>ID</i>	<i>1-System</i>	<i>Qty</i>	<i>2-Subsystem</i>	<i>Qty</i>	<i>3-Components</i>	<i>Qty</i>	<i>4</i>	<i>Qty</i>	<i>Function</i>
9	<i>Door System</i>	1							
9.1			<i>Driver cab door</i>	1					
9.1.1					<i>Window</i>	4			Pengubah panas visibilitas dan aliran udara
9.1.2					<i>Hinge</i>	4			Bantalan mekanis yang memungkinkan pintu berputar pada satu sisi saat membuka dan menutup, sehingga memungkinkan gerakan rotasi terbatas pada objek yang dipasang
9.1.3					<i>Handle</i>	4			Digunakan untuk membuka atau menutup pintu
9.1.4					<i>Door closer</i>	4			Perangkat hidrolik yang digunakan untuk menutup pintu secara otomatis setelah dibuka, serta membantu mencegah angin kencang
9.1.5					<i>Locking device</i>	2			Sistem interlock untuk mengunci pintu saat kereta melaju dan mencegah kereta beroperasi saat tidak tertutup sepenuhnya

Pneumatic & Hydraulic Functional Breakdown

<i>ID</i>	<i>1-System</i>	<i>Qty</i>	<i>2-Subsystem</i>	<i>Qty</i>	<i>3-Components</i>	<i>Qty</i>	<i>4</i>	<i>Qty</i>	<i>Function</i>
10	<i>Pneumatic & Hydraulic</i>	1							
10.1			<i>Air supply system</i>	1					
10.1.1					<i>Compressor</i>	1			Memasok tekanan udara ke sistem pneumatik
10.1.2					<i>Air Dryer Unit</i>	1			Menghilangkan kelembapan dari tekanan udara untuk menurunkan titik embun tekanan
10.1.3					<i>Air Reservoir A125-400-UIC</i>	1			Tekanan udara sementara utama dari kompresor
10.1.4					<i>Ballcock SK-DN8 G1/4 With Handle</i>	1			Menguras Tekanan Udara dari Reservoir Utama

<i>ID</i>	<i>1-System</i>	<i>Qty</i>	<i>2-Subsystem</i>	<i>Qty</i>	<i>3-Components</i>	<i>Qty</i>	<i>4</i>	<i>Qty</i>	<i>Function</i>
10.1.5					<i>Safety Valve SV1810 G3/4" (12 bar)</i>	1			Melindungi sistem pneumatik dari tekanan berlebihan
10.1.6					<i>Safety Valve SV1810 G3/4" (10,5 bar)</i>	1			Melindungi sistem pneumatik dari tekanan berlebihan
10.1.7					<i>Ballcock SK-DN25 G1/2</i>	1			Mengisolasi tekanan dari MR ke pipa utama
10.2			<i>Air Suspension</i>	1					
10.2.1					<i>Ballcock G1/2"</i>	1			Mengisolasi tekanan dari pipa utama
10.2.2					<i>Air filter</i>	1			Menyaring kotoran dan debu
10.2.3					<i>Overflow valve</i>	1			Mengurangi Tekanan dan aliran tekanan udara
10.2.4					<i>Air reservoir</i>	1			Tempat tekanan udara sementara dari pipa utama
10.2.5					<i>Ballcock g1/4"</i>	1			Menguras Tekanan Udara dari Penampung Udara L04
10.2.6					<i>Levelling valve</i>	1			Katup modulasi digunakan untuk mengontrol ketinggian kendaraan secara otomatis dengan mengembungkan dan mengempiskan suspensi udara di bawah untuk penyesuaian
10.2.7					<i>Overflow valve</i>	1			Mengurangi Tekanan dan aliran tekanan udara
10.2.8					<i>Test fitting</i>	1			Memverifikasi tekanan dalam sistem pneumatik pada saluran suspensi udara
10.3			<i>Distribution and Storage</i>	1					
10.3.1					<i>Air Reservoir 50 L</i>	1			Penyimpanan tekanan udara sementara dari pipa utama
10.3.2					<i>Air Reservoir 100 L</i>	1			Penyimpanan tekanan udara sementara dari pipa utama
10.3.3					<i>Pneumatic Piping kit</i>	1			Menguras semua tekanan udara

Vehicle Linkage Functional Breakdown

ID	1-System	Qty	2-Subsystem	Qty	3-Components	Qty	4	Qty	Function
11	Vehicle Linkage	1							
11.1			Coupler Head Assy	1					
11.1.1					Coupling Link	2			Mengirimkan gaya traksi dan mengunci hook plate
11.1.2					Tension Spring	2			Menarik couple link ke arah hook plate yang berputar selama proses pelepasan sambungan dan menahan sambungan dan couple link setelah keduanya dipasangkan
11.1.3					Hook Plate and main pin	2			Memutar dan menyambungkan dengan couple link
11.1.4					Air hose Coupling	4			Untuk mengalirkan tekanan udara ke coupler head assy
11.1.5					Stiff Tube	2			Sebagai kerangka untuk katup MRP, katup BP, dan katup UC
11.1.6					Manual Uncoupling Device	1			Pelepasan manual secara mekanis
11.1.7					Socket Joint	2			Untuk menghubungkan subsistem coupler
11.1.8					Uncoupling Cylinder	2			Menerima sinyal listrik dari kabin dan membuat hook plate berputar
11.1.9					Pivot Anchor	2			untuk menyerap energi saat dipasangkan
11.2			Coupler Yoke Assy	2					Sebagai kerangka bagi draft gear
11.3			Draft Gear Assy	2					Untuk menyerap beban yang ditimbulkan oleh aksi kereta api
11.4			Coupler Support Assy	2					Sebagai alas/penyangga coupler body
11.5			Suspension Assy	2					sebagai penahan pada saat coupler digerakkan secara vertikal sehingga coupler body tidak membentur spacer
11.6			Electrical Coupler Assy	1					

<i>ID</i>	<i>1-System</i>	<i>Qty</i>	<i>2-Subsystem</i>	<i>Qty</i>	<i>3-Components</i>	<i>Qty</i>	<i>4</i>	<i>Qty</i>	<i>Function</i>
11.6.1					<i>Electrical Coupler Actuator</i>	2			Untuk mendorong pasangan listrik ke depan
11.6.2					<i>Electric Coupler</i>	2			Untuk mendeteksi status kopling dan pelepasan kereta

Lampiran B. Data *Failure Rate* Subsystem dan Komponen

<i>ID</i>	<i>Subsystem</i>	<i>Components</i>	<i>Failure Rate (failure/hour)</i>
<i>Bridge Inspection Crane</i>			
1.1	<i>Fully hydraulic bridge inspection unit</i>		1.07E-04
1.1.1		<i>Hydraulic Hose equipment</i>	4.60E-05
1.1.2		<i>Cable equipment</i>	3.48E-06
1.1.3		<i>Circular Base</i>	4.67E-05
1.1.4		<i>Crane Column</i>	3.48E-08
1.1.5		<i>Boom no.1</i>	3.03E-06
1.1.6		<i>Boom no.2</i>	3.03E-06
1.1.7		<i>Boom no.3</i>	3.03E-06
1.1.8		<i>Electronic Control System</i>	1.51E-06
1.1.9		<i>Counter Weight</i>	1.19E-07
1.2	<i>Manual Control Valve</i>		3.48E-07
1.3	<i>Control Desk</i>		1.27E-06
1.4	<i>Radio Remote Control</i>		2.40E-07
1.5	<i>Workman Basket</i>		4.60E-06
1.5.1		<i>Illumination</i>	6.12E-07
1.5.2		<i>Working Light</i>	3.96E-06
1.5.3		<i>Electrical socket</i>	3.64E-08
1.6	<i>Hydraulic Power Unit (HPU)</i>		2.69E-05
1.6.1		<i>Hydraulic Pump</i>	4.41E-06
1.6.2		<i>Electric Motor</i>	4.23E-07
1.6.3		<i>Oil Tank</i>	1.10E-05
1.6.4		<i>Oil Cooler</i>	8.26E-06
1.6.5		<i>Control Panel</i>	2.86E-06
1.7	<i>Emergency Pump</i>		2.96E-06
1.8	<i>Emergency diesel generator set</i>		2.95E-05
1.9	<i>Locking Suspension System</i>		8.17E-05
1.9.1		<i>Locking Suspension Frame</i>	1.21E-06
1.9.2		<i>Locking System Cylinder</i>	5.21E-06
1.9.3		<i>Up-Down System Cylinder 1</i>	5.21E-06
1.9.4		<i>Up-Down System Cylinder 2</i>	5.21E-06
1.9.5		<i>Check Valve</i>	4.11E-07
1.9.6		<i>Flow Control</i>	2.39E-06
1.9.7		<i>Pressure transmitter</i>	4.29E-06
1.9.8		<i>Pressure switch</i>	4.01E-06
1.9.9		<i>Solenoid valve</i>	5.34E-06
1.9.10		<i>Oil Filter</i>	4.67E-05

<i>ID</i>	<i>Subsystem</i>	<i>Components</i>	<i>Failure Rate (failure/hour)</i>
1.9.11		Gate Valve	8.46E-07
1.9.12		Mechanical Lock (pin)	8.72E-07
Propulsion			
2.1	<i>Traction Engine</i>		2.61E-05
2.1.1		Base Engine	5.01E-06
2.1.1.1		Piston	2.02E-06
2.1.1.2		Engine Bearing	2.39E-06
2.1.1.3		O-Ring	1.71E-07
2.1.1.4		Drive Belt	4.23E-07
2.1.2		Intake System	6.20E-06
2.1.2.1		Turbocharger Compressor	3.93E-06
2.1.2.2		Intake Solenoid Valve	2.27E-06
2.1.2.3		Air Intake Filter	7.28E-05
2.1.3		Cooled System	4.75E-06
2.1.3.1		Radiator	3.90E-06
2.1.3.2		Water Pump	2.06E-07
2.1.3.3		Heat exchanger (Water manifold)	5.54E-07
2.1.3.4		Heat exchanger (Cooled manifold) for oil Cooler	2.19E-08
2.1.3.5		Coolant Filter	7.28E-05
2.1.3.6		Thermostat	6.97E-08
2.1.4		Fuel System	9.93E-07
2.1.4.1		Fuel Tank	5.66E-07
2.1.4.2		Fuel Water separator (Filter)	4.19E-07
2.1.4.3		Fuel Inject Pump	7.73E-09
2.1.5		Lube oil System	6.15E-06
2.1.5.1		Lube oil Tank	4.23E-07
2.1.5.2		Lube oil Pump	1.16E-07
2.1.5.3		Lube oil Filter	4.29E-06
2.1.5.4		Engine oil Rifle Pressure	1.32E-06
2.1.6		Exhaust System	3.03E-06
2.1.6.1		Exhaust Valve Port	1.29E-09
2.1.6.2		Exhaust Manifold	4.30E-10
2.1.6.3		Turbocharger Turbine	2.61E-06
2.1.6.4		Engine Control Module (ECM)	4.23E-07
2.2	<i>Transmission System</i>		3.53E-06
2.2.1		Transmission drive	1.16E-07
2.2.2		Cardan shaft - Transmission to gearbox	8.71E-08
2.2.3		Cardan shaft - gearbox to gearbox	8.71E-08
2.2.4		Gearbox Intermediate	4.23E-07
2.2.5		Gearbox end	4.23E-07
2.2.6		Electronic transmission control	2.39E-06
2.2.6.1		I/O CAN Gateaway	1.23E-06
2.2.6.2		Diagnostic Interface	8.70E-07
2.2.6.3		Railpack	2.93E-07

ID	Subsystem	Components	Failure Rate (failure/hour)
2.3	<i>Power Dissipation</i>		5.96E-06
2.3.1		<i>Retarder</i>	1.74E-07
2.3.2		<i>Earthing / return current</i>	5.78E-06
2.4	<i>Cooling system</i>		8.19E-06
2.4.1		<i>Heat exchanger for transmission</i>	7.11E-06
2.4.2		<i>Radiator cooling system</i>	3.48E-07
2.4.3		<i>Temperature sensor</i>	1.74E-07
2.4.4		<i>Expansion tank</i>	5.54E-07
2.5	<i>Mounting system</i>		1.49E-06
2.5.1		<i>Engine Frame</i>	1.50E-07
2.5.2		<i>Transmission mounting</i>	6.71E-07
2.5.3		<i>Rubber Mounting</i>	6.71E-07
Brake			
3.1	<i>Brake control equipment</i>		5.47E-06
3.1.1		<i>Ballcock SK-DN12E-SM G1/2</i>	3.20E-07
3.1.2		<i>Check Valve RV-10 G1/2</i>	2.16E-07
3.1.3		<i>Precontrol Valve KBRXI-T</i>	1.33E-06
3.1.4		<i>Pipe Bracket for KBR XI-T</i>	1.33E-06
3.1.5		<i>Press. Reduc. Valve DMV7A/7,5 G1/2</i>	6.47E-07
3.1.6		<i>Test Fitting K11 G1/4</i>	9.75E-08
3.1.7		<i>Press. Transformer EDU110/041</i>	6.64E-07
3.1.8		<i>Pressure Governor 0,6-0,4 Bar</i>	2.63E-07
3.1.9		<i>Magnet Valve Without Plug</i>	2.97E-07
3.1.10		<i>Test Fitting T2 G1/4</i>	2.40E-07
3.1.11		<i>Press. Reduc. Valve DMV6A R1/4"</i>	9.35E-07
3.1.12		<i>Impulse Valve WIMHV5-N Exhaust G1/4</i>	1.20E-06
3.1.13		<i>Double Check Valve AE4103 R1/2"</i>	1.33E-06
3.1.14		<i>Double Check Valve DRV-1/1 Doppelt G1/4</i>	7.43E-07
3.1.15		<i>Double Check Valve DRV-1/1 Doppelt G1/4</i>	7.43E-07
3.1.16		<i>Pressure Governor 4,7/4,2 Bar</i>	9.35E-07
3.1.17		<i>Ballcock SK-DN8E-SM G1/4</i>	3.61E-06
3.1.18		<i>Check Valve RV-10 G1/2</i>	3.77E-07
3.1.19		<i>Ballcock SK-DN12E-SM G1/2</i>	4.35E-07
3.1.20		<i>Ballcock SK-DN12 G1/2 With Lever Handle</i>	1.33E-06
3.1.21		<i>Press. Reduc. Valve DMV9/T1-3.6</i>	1.33E-06
3.1.22		<i>Distributor Valve KE1DVSL(P) GG With Handle</i>	1.33E-06
3.1.23		<i>Test Fitting K1-ES G1/4</i>	1.33E-06
3.1.24		<i>Check Valve RV-10 G1/2</i>	1.33E-06
3.2	<i>Bogie mounted brake equipment</i>		7.67E-07
3.2.1		<i>Thread Brake Unit</i>	5.67E-08
3.2.2		<i>Thread Brake Unit With Spring Actuator 7"</i>	1.35E-07
3.2.3		<i>Brake Block Sole</i>	3.95E-08

ID	Subsystem	Components	Failure Rate (failure/hour)
3.3	<i>Driver brake control equipment</i>		2.30E-05
3.3.1		<i>Driv. Brake Valve FB11</i>	1.80E-06
3.3.2		<i>Check Valve G3/4 W. Rubber Gasket</i>	1.80E-06
3.3.3		<i>Press. Reduc. Valve DMV9/T1-5.0</i>	1.80E-06
3.3.4		<i>Gauge PG-80D</i>	7.43E-07
3.3.5		<i>Gauge PG-81D</i>	1.80E-06
3.3.6		<i>Ballcock SK-DN20E-SM G3/4</i>	3.41E-07
3.3.7		<i>Choke 8 mm</i>	1.80E-06
3.4	<i>Emergency brake equipment</i>		3.88E-06
3.4.1		<i>Deadman's Valve SVI-IT 24 V</i>	1.94E-06
3.4.2		<i>Emerg. Applic. Valve EVA1-1</i>	1.80E-06
3.4.3		<i>Emerg. Brake Valve NB11</i>	1.94E-06
3.4.4		<i>Em. Brake Pull-Box NPZ1-S Pneumatic With Switch</i>	1.59E-07
3.5	<i>Pneumatic signalling equipment</i>		4.46E-06
3.5.1		<i>Ballcock SK-DN8E G1/4 W. Ventilation With Lever Handle</i>	7.43E-07
3.5.2		<i>Magnet Valve G1/4 24 V</i>	7.43E-07
3.5.3		<i>Tyfon</i>	7.43E-07
VCC			
4.1	<i>Cabin Selection Control</i>		1.51E-07
4.1.1		<i>KEYSW</i>	8.33E-09
4.1.2		<i>CpAR1 (C1)</i>	1.74E-10
4.1.3		<i>CpAR2 (C2)</i>	1.74E-10
4.1.4		<i>RR1 (C2)</i>	8.33E-09
4.1.5		<i>RR2 (C2)</i>	8.33E-09
4.1.6		<i>RR3 (C2)</i>	8.33E-09
4.1.7		<i>FRAR (C3)</i>	8.33E-09
4.1.8		<i>FR1 (C3)</i>	8.33E-09
4.1.9		<i>FR2 (C3)</i>	8.33E-09
4.1.10		<i>FR3 (C3)</i>	8.33E-09
4.1.11		<i>FR4 (C3)</i>	8.33E-09
4.2	<i>Battery Control</i>		8.33E-08
4.2.1		<i>BatSOn Button(B7)</i>	8.33E-09
4.2.2		<i>BattSOff Button(B6)</i>	8.33E-09
4.2.3		<i>BatLpR (C2)</i>	8.33E-09
4.2.4		<i>BatR (B3)</i>	8.33E-09
4.2.5		<i>BatK (C4)</i>	8.33E-09
4.2.6		<i>BatCK</i>	8.33E-09
4.3	<i>Engine Control</i>		6.87E-08
4.3.1		<i>EESoS Button(C8)</i>	1.74E-10
4.3.2		<i>ESoTR (D7)</i>	1.74E-10
4.3.3		<i>ESaTR (D7)</i>	8.33E-09

<i>ID</i>	<i>Subsystem</i>	<i>Components</i>	<i>Failure Rate (failure/hour)</i>
4.3.4		<i>EESoR (D7)</i>	1.74E-10
4.3.5		<i>AWR (D3)</i>	1.74E-10
4.3.6		<i>RSrR (D3)</i>	1.74E-10
4.3.7		<i>EOR (D3)</i>	8.33E-09
4.3.8		<i>SwOnR (D4)</i> <i>[Contactor On Relay]</i>	8.33E-09
4.3.9		<i>CLRS Very Low Switch (C4)</i>	1.74E-10
4.3.10		<i>CLVRR (D4)</i>	1.74E-10
4.3.11		<i>CLRS Contactor 3-4</i>	1.74E-10
4.3.12		<i>CLRR (1-2 D5)</i>	1.74E-10
4.3.13		<i>CLRS (max) Contactor 7-8</i>	1.74E-10
4.3.14		<i>CLMRR (1-2 D5)</i>	8.33E-09
4.3.15		<i>ESR (D5)</i>	8.33E-09
4.3.16		<i>ERR</i>	8.33E-09
4.3.17		<i>ISCR (D2)</i>	1.74E-10
4.3.18		<i>ESSS (B6)</i>	8.33E-09
4.4	<i>Driving Control</i>		5.82E-07
4.4.1		<i>Master Control</i>	3.48E-07
4.4.2		<i>TSR (D7)</i>	8.33E-09
4.4.3		<i>DiRAR (D2)</i>	8.33E-09
4.4.4		<i>DiRBR (D2)</i>	8.33E-09
4.4.5		<i>EmBSRR2 (F4)</i>	8.33E-09
4.4.6		<i>BCR3 (F4)</i>	8.33E-09
4.4.7		<i>BCR2 (F4)</i>	8.33E-09
4.4.8		<i>BCR1 (F5)</i>	8.33E-09
4.4.9		<i>TCR3 (F5)</i>	8.33E-09
4.4.10		<i>TCR2 (F5)</i>	8.33E-09
4.4.11		<i>TCR1 (F5)</i>	8.33E-09
4.4.12		<i>PCER (F5)</i>	8.33E-09
4.4.13		<i>NR (F5)</i>	8.33E-09
4.4.14		<i>BCER Relay 1 2</i>	8.33E-09
4.4.15		<i>SRR</i>	8.33E-09
4.4.16		<i>RCR Relay</i>	8.33E-09
4.5	<i>Deadman & Emergency Control</i>		8.08E-05
4.5.1		<i>DMS Switch</i>	2.00E-05
4.5.2		<i>DMFS Switch</i>	2.00E-05
4.5.3		<i>DMTR1 (E2)</i>	1.74E-10
4.5.4		<i>DMTR2 (E2)</i>	1.74E-10
4.5.5		<i>DMEEmR (E2)</i>	1.74E-10
4.5.6		<i>EmBSR1 (E5)</i>	1.74E-10
4.5.7		<i>EmBSR2 (E5)</i>	1.74E-10
4.5.8		<i>DMCTR (E4)</i>	1.74E-10
4.5.9		<i>EmTR1 (E4)</i>	1.74E-10

ID	Subsystem	Components	Failure Rate (failure/hour)
4.5.10		<i>EmTR2 (E5)</i>	1.74E-10
4.5.11		<i>EmBApR1 (E7)</i>	1.74E-10
4.5.12		<i>EmBApR2 (E7)</i>	1.74E-10
4.5.13		<i>CISR (E8)</i>	1.74E-10
4.5.14		<i>PBISR (E8)</i>	1.74E-10
4.5.15		<i>BISR (E9)</i>	1.74E-10
4.5.16		<i>BPPSR (E9)</i>	1.74E-10
4.5.17		<i>BCPSR (E10)</i>	3.85E-07
4.5.18		<i>PaBPSR (E10)</i>	3.85E-07
4.5.19		<i>MRPSR Relay 1-2</i>	1.74E-10
4.5.20		<i>NTR (B9)</i>	1.74E-10
4.6	<i>Lighting Control</i>		2.75E-07
4.6.1		<i>CLpS (D2)</i>	8.33E-09
4.6.2		<i>RLpS (D3)</i>	8.33E-09
4.6.3		<i>RLpK (C4)</i>	8.33E-09
4.6.4		<i>EmLpTR (D6)</i>	1.74E-10
4.6.5		<i>HLpS (C2)</i>	8.33E-09
4.6.6		<i>HLpS (C3)</i>	8.33E-09
4.6.7		<i>HLpK (C2)</i>	8.33E-09
4.6.8		<i>HLpK (C3)</i>	8.33E-09
4.6.9		<i>FLpS (C4)</i>	8.33E-09
4.6.10		<i>FLpK (C4)</i>	8.33E-09
4.6.11		<i>InLpS (C5)</i>	8.33E-09
4.6.12		<i>InLpK (C5)</i>	8.33E-09
4.6.13		<i>RtLpS (C6)</i>	8.33E-09
4.6.14		<i>SrS (C6)</i>	8.33E-09
4.6.15		<i>SLpS (B2)</i>	8.33E-09
4.6.16		<i>RSLpR (B4)</i>	8.33E-09
4.6.17		<i>SLpRR (B4)</i>	8.33E-09
4.6.18		<i>SLpGR (B4)</i>	8.33E-09
4.7	<i>Door Control</i>		2.70E-06
4.7.1		<i>DIS (C6)</i>	1.74E-10
4.7.2		<i>DIR (C6)</i>	1.74E-10
4.7.3		<i>DCR Relay (D5)</i>	3.85E-07
4.7.4		<i>DS1 (C4)</i>	3.85E-07
4.7.5		<i>DS2 (C4)</i>	3.85E-07
4.7.6		<i>DSR1 (D4)</i>	3.85E-07
4.7.7		<i>DSR2 (D4)</i>	3.85E-07
4.7.8		<i>Door Locking Coil 1 (D4)</i>	3.85E-07
4.7.9		<i>Door Locking Coil 2 (D3)</i>	3.85E-07
4.8	<i>AC Control</i>		2.58E-07
4.8.1		<i>ACOnS (B1)</i>	8.33E-09
4.8.2		<i>ACONR (C1)</i>	8.33E-09
4.8.3		<i>PHCR (C2)</i>	8.33E-09

ID	Subsystem	Components	Failure Rate (failure/hour)
4.8.4		<i>PL1 (D3)</i>	8.33E-09
4.8.5		<i>OUIFR (C3)</i>	8.33E-09
4.8.6		<i>AC CONT-SW (C3)</i>	8.33E-09
4.8.7		<i>EVCHR (C3)</i>	8.33E-09
4.8.8		<i>CR1 (C3)</i>	8.33E-09
4.8.9		<i>CR2 (C3 - cab 1 only)</i>	8.33E-09
4.8.10		<i>EVK 11 (D3)</i>	8.33E-09
4.8.11		<i>EVK 12 (D4)</i>	8.33E-09
4.8.12		<i>EVK 21 (D3)</i>	8.33E-09
4.8.13		<i>CTR1 (C4)</i>	8.33E-09
4.8.14		<i>CTR2 (C4 - cab 1 only)</i>	8.33E-09
4.8.15		<i>ACRR (C4)</i>	8.33E-09
4.8.16		<i>CFK11 (D4)</i>	8.33E-09
4.8.17		<i>CFK21 (D4)</i>	8.33E-09
4.8.18		<i>CPK11 (C5)</i>	8.33E-09
4.8.19		<i>CPK12 (C5)</i>	8.33E-09
4.8.20		<i>CPK21 (C5)</i>	8.33E-09
4.8.21		<i>CPN11 (C5 - trip coil)</i>	8.33E-09
4.8.22		<i>CPN12 (C5 - trip coil)</i>	8.33E-09
4.8.23		<i>CPN21 (C5 - trip coil)</i>	8.33E-09
4.9	<i>Crane Control</i>		7.50E-08
4.9.1		<i>CCSN</i>	8.33E-09
4.9.2		<i>COpN</i>	8.33E-09
4.9.3		<i>PSLN</i>	8.33E-09
4.9.4		<i>WBSN</i>	8.33E-09
4.9.5		<i>CrOR</i>	8.33E-09
4.9.6		<i>CSR</i>	8.33E-09
4.9.7		<i>ETCSR</i>	8.33E-09
4.9.8		<i>TrPR</i>	8.33E-09
4.9.9		<i>5VSR</i>	8.33E-09
TCMS			
5.1	<i>HMI (Human Machine Interface)</i>		1.00E-06
5.2	<i>Power Supply Module</i>		1.63E-06
5.3	<i>Connectivity Module</i>		1.63E-06
5.4	<i>COMM Module</i>		6.38E-07
5.5	<i>1st DI Digital Inputs Card</i>		3.86E-07
5.6	<i>2nd DI Digital Inputs Card</i>		3.86E-07
5.7	<i>DO (Digital Outputs Card)</i>		3.86E-07
5.8	<i>AI (Analogic Inputs Card)</i>		3.86E-07

<i>ID</i>	<i>Subsystem</i>	<i>Components</i>	<i>Failure Rate (failure/hour)</i>
5.9	<i>CPU (Central Processing Unit)</i>		3.48E-07
5.10	<i>Ethernet Switch</i>		1.40E-05
Auxiliary			
6.1	<i>Power Supply System</i>		4.43E-05
6.1.1		<i>ECM Engine (Genset Engine)</i>	3.00E-05
6.1.2		<i>Alternator Charge 24 VDC (Genset)</i>	6.80E-06
6.1.3		<i>Motor Starter ECM Engine</i>	5.80E-06
6.1.4		<i>Battery Starter ECM Engine 24 VDC 100 Ah</i>	1.03E-04
6.1.5		<i>Alternator 380 Volt</i>	6.80E-06
6.1.6		<i>Alternator Charge 24 VDC Main Engine</i>	6.80E-06
6.1.7		<i>Battery Starter Main Engine 24 VDC 200 Ah</i>	1.03E-04
6.1.8		<i>Motor Starter Main Engine</i>	5.80E-06
6.1.9		<i>Battery Control Main Engine 24 VDC 100 Ah</i>	1.03E-04
6.2	<i>AC System</i>		4.68E-08
6.2.1		<i>AC Compressor</i>	2.24E-06
6.2.2		<i>Condenser Fan</i>	2.58E-06
6.2.3		<i>Evaporator Fan</i>	2.75E-06
6.2.4		<i>Condenser Coil</i>	4.11E-07
6.2.5		<i>Evaporator Coil</i>	1.26E-06
6.2.6		<i>Main Frame & Cover</i>	4.17E-08
6.2.7		<i>Filter Drier</i>	1.02E-06
6.2.8		<i>Strainer</i>	2.22E-07
6.2.9		<i>TX Valves</i>	3.48E-07
6.2.10		<i>Sight glass</i>	1.52E-07
6.2.11		<i>Accumulator</i>	1.02E-06
6.3	<i>Lighting</i>		5.96E-06
6.3.1		<i>Train Head lamp</i>	4.15E-07
6.3.2		<i>Inspection lamp</i>	2.41E-06
6.3.3		<i>Signal light</i>	3.96E-06
6.3.4		<i>Rotary Light</i>	3.96E-06
6.3.5		<i>Fog lamp</i>	2.41E-06
6.3.6		<i>Driver Cab Light</i>	1.58E-06
6.3.7		<i>Emergency Light</i>	3.96E-06
6.4	<i>PIS & PAS</i>		4.35E-05
6.4.1		<i>Rear View CCTV</i>	6.71E-06
6.4.2		<i>Rear View Display</i>	5.42E-06
6.4.3		<i>Master Unit Intercom</i>	2.48E-05
6.4.4		<i>Intercom</i>	2.48E-05
6.4.5		<i>Microphone</i>	4.06E-06
6.4.6		<i>Speaker</i>	8.23E-07
6.4.7		<i>Power Amplifier</i>	7.72E-06

ID	Subsystem	Components	Failure Rate (failure/hour)
6.5	<i>Measuring and Protective Device</i>		1.48E-05
6.5.1		<i>Temperature Monitoring</i>	7.64E-06
6.5.2		<i>Fuel level sensor</i>	5.46E-06
6.5.3		<i>Smoke Detector</i>	4.23E-07
6.5.4		<i>Speed Sensor</i>	1.28E-06
6.6	<i>Monitoring Device</i>		8.91E-05
6.6.1		<i>Ammeter</i>	2.53E-06
6.6.2		<i>Brake Indicator</i>	1.72E-06
6.6.3		<i>Fuel gauge</i>	4.29E-07
6.6.4		<i>Speedometer</i>	1.72E-06
6.6.5		<i>Voltmeter</i>	3.16E-06
6.6.6		<i>Engine Display</i>	7.96E-05
6.7	<i>Safety Equipment</i>		9.14E-09
6.7.1		<i>Deadman device</i>	4.67E-07
6.7.2		<i>Horn</i>	3.48E-07
6.7.3		<i>Siren</i>	5.39E-06
6.8	<i>Communication Equipment</i>		1.16E-07
6.8.1		<i>Radio Communication</i>	1.16E-07
Bogie			
7.1	<i>Bogie Structure</i>		3.82E-06
7.1.1		<i>Motor Bogie Frame</i>	2.81E-06
7.1.2		<i>Trailer Bogie Frame</i>	1.01E-06
7.2	<i>Suspension System</i>		6.96E-06
7.2.1		<i>Primary Suspension (Rubber bounded)</i>	2.61E-08
7.2.2		<i>Secondary Suspension (Air spring)</i>	8.09E-08
7.2.3		<i>Leveling Assembly</i>	8.31E-08
7.2.4		<i>Lateral oil damper</i>	1.66E-07
7.2.5		<i>Lateral Rubber Stopper</i>	8.31E-08
7.2.6		<i>Side Bearer</i>	6.31E-06
7.2.7		<i>Traction Rod</i>	2.10E-07
7.3	<i>Wheelset</i>		2.56E-05
7.3.1		<i>Wheel</i>	4.10E-08
7.3.2		<i>Motorized axle</i>	1.42E-07
7.3.3		<i>Trailer axle</i>	1.94E-07
7.3.4		<i>Cardan shaft</i>	2.53E-05
7.4	<i>Axle Box</i>		1.64E-07
7.4.1		<i>Housing</i>	4.10E-08
7.4.2		<i>Compact TBU (Bearing) / Journal Bearing</i>	4.10E-08
7.4.3		<i>Retainer Ring</i>	4.10E-08
7.4.4		<i>Distance Ring</i>	4.10E-08
7.5	<i>Component Installation</i>		5.05E-05

ID	Subsystem	Components	Failure Rate (failure/hour)
7.5.1		Speed sensor & earthing brush bracket	2.53E-05
7.5.2		Speed sensor & earthing brush cover	2.53E-05
7.6	Safety Add-ons		3.16E-06
7.6.1		Safety chain cardan shaft	3.16E-06
Carbody			
8.1	Sidewall		1.53E-07
8.1.1		Sidewall Frame Assy	2.19E-08
8.1.2		Door Lintle Assy	2.19E-08
8.2	Endwall		9.63E-08
8.2.1		Endwall Frame	2.63E-08
8.2.2		Bracket At Endwall	2.19E-08
8.3	Roof		5.38E-12
8.3.1		Roof Frame Assy	4.38E-08
8.3.2		Bracket On Roof	4.38E-08
8.4	Underframe		2.63E-07
8.4.1		End Frame	4.38E-08
8.4.2		Front End	4.38E-08
8.4.3		Front Centersill	4.38E-08
8.4.4		Centersill	4.38E-08
8.4.5		Middle Frame	4.38E-08
8.5	Driver Cab		6.38E-08
8.5.1		Driver Cab Framing	4.38E-08
8.5.2		Bracket At Front Mask	4.38E-08
8.5.3		Windshield	2.50E-07
8.5.4		Wiper	1.40E-05
8.6	Add On-Parts		1.94E-12
8.6.1		Rain gutter	2.63E-08
8.7	Floor Structure		5.38E-12
8.7.1		Keystone	4.38E-08
8.7.2		Floor compound	4.38E-08
8.7.3		Floor Cover	4.38E-08
8.8	Insulation		2.19E-08
8.8.1		Carbody insulation	2.19E-08
8.8.2		Ducting insulation	2.19E-08
8.8.3		Heat insulation (engine)	2.19E-08
8.9	Interior Panelling		3.50E-07
8.9.1		Driver Cab Interior Panel	4.38E-08
8.9.2		Return Air Grill	4.38E-08
8.9.3		Ceiling Interior Panel	4.38E-08
8.9.4		Profil Extrusion Panel	4.38E-08
8.10	External Additions		6.25E-07
8.10.1		Ladder to roof	1.97E-05
8.10.2		Cow Catcher	6.30E-07
8.10.3		Signal handle	2.51E-06

<i>ID</i>	<i>Subsystem</i>	<i>Components</i>	<i>Failure Rate (failure/hour)</i>
Door			
9.1	<i>Driver Cabin Door</i>		1.96E-07
9.1.1		<i>Window</i>	4.39E-06
9.1.2		<i>Hinge</i>	1.24E-06
9.1.3		<i>Handle</i>	2.22E-06
9.1.4		<i>Door closer</i>	4.42E-06
9.1.5		<i>Locking device</i>	6.59E-07
Pneumatic & Hydraulic			
10.1	<i>Air supply system</i>		4.85E-06
10.1.1		<i>Compressor</i>	4.66E-07
10.1.2		<i>Air Dryer Unit</i>	1.02E-06
10.1.3		<i>Air Reservoir A125-400-UIC</i>	1.02E-06
10.1.4		<i>Ballcock SK-DN8 G1/4 With Handle</i>	1.33E-06
10.1.5		<i>Safety Valve SV1810 G3/4" (12 bar)</i>	3.48E-07
10.1.6		<i>Safety Valve SV1810 G3/4" (10,5 bar)</i>	3.48E-07
10.1.7		<i>Ballcock SK-DN25 G1/2</i>	3.20E-07
10.2	<i>Air Suspension</i>		2.31E-05
10.2.1		<i>Ballcock G1/2"</i>	3.20E-07
10.2.2		<i>Air filter</i>	8.24E-07
10.2.3		<i>Overflow valve</i>	5.34E-06
10.2.4		<i>Air reservoir</i>	1.02E-06
10.2.5		<i>Ballcock g1/4"</i>	3.61E-06
10.2.6		<i>Levelling valve</i>	5.34E-06
10.2.7		<i>Overflow valve</i>	5.34E-06
10.2.8		<i>Test fitting</i>	1.33E-06
10.3	<i>Distribution and Storage</i>		3.23E-06
10.3.1		<i>Air Reservoir 50 L</i>	1.02E-06
10.3.2		<i>Air Reservoir 100 L</i>	1.02E-06
10.3.3		<i>Pneumatic Piping kit</i>	1.19E-06
Vehicle Linkage			
11.1	<i>Coupler Head Assy</i>		3.45E-05
11.1.1		<i>Coupling Link</i>	5.85E-06
11.1.2		<i>Tension Spring</i>	3.48E-07
11.1.3		<i>Hook Plate and main pin</i>	2.10E-07
11.1.4		<i>Air hose Coupling</i>	6.13E-07
11.1.5		<i>Stiff Tube</i>	2.33E-06
11.1.6		<i>Manual Uncoupling Device</i>	8.15E-07
11.1.7		<i>Socket Joint</i>	1.02E-06
11.1.8		<i>Uncoupling Cylinder</i>	5.68E-06
11.1.9		<i>Pivot Anchor</i>	2.03E-07
11.2	<i>Coupler Yoke Assy</i>		7.21E-07
11.3	<i>Draft Gear Assy</i>		1.18E-05

<i>ID</i>	<i>Subsystem</i>	<i>Components</i>	<i>Failure Rate (failure/hour)</i>
11.4	<i>Coupler Support Assy</i>		2.53E-07
11.5	<i>Suspension Assy</i>		1.08E-06
11.6	<i>Electrical Coupler Assy</i>		3.48E-08
11.6.1		<i>Electrical Coupler Actuator</i>	8.82E-06
11.6.2		<i>Electric Coupler</i>	1.76E-06

Lampiran C. Perhitungan *Reliability Prediction*

<i>Operational Time</i>		<i>R(t)</i>
<i>Years</i>	<i>Hours</i>	
	1	0.99931
1	312	0.80609
2	624	0.64979
3	936	0.52379
4	1248	0.42222
5	1560	0.34035

BIODATA PENULIS



Lahir di Tulungagung pada tanggal 28 Oktober 1999 dengan nama Yoga Fredi Arisko, penulis merupakan anak pertama dari tiga bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal yaitu di SDN 1 Kampungdalem Tulungagung, SMPN 1 Tulungagung, dan SMAN 1 Boyolangu Tulungagung. Pada tahun 2019, penulis mengikuti SBMPTN dan diterima di Departemen Teknik Industri FTIRS - ITS.

Selama menjadi mahasiswa, penulis bergabung di Unit Kegiatan Mahasiswa (UKM) Unit Kegiatan Tari dan Karawitan (UKTK) sebagai staf Departemen Produksi tahun 2020 dan Kepala Divisi Karawitan tahun 2021. Dalam organisasi kemahasiswaan, penulis bergabung sebagai staf *Sports Club* HMTI ITS di tahun 2021. Selain itu, penulis pernah terlibat sebagai ketua tim dalam KKN Pengabdian Masyarakat bertema "Pemanfaatan Air Wudhu untuk Hidroponik dan Aquaponik" yang diselenggarakan di Desa Wates, Sumbergempol, Tulungagung tahun 2021.

Untuk mengimplementasikan keilmuan Teknik Industri, penulis berkesempatan melaksanakan Kerja Praktik di PT Lamong Energi Indonesia (Departemen Pengembangan Bisnis dan Komersial) selama satu bulan dan magang di PT Industri Kereta Api (Departemen *Engineering*) selama lima bulan.

Email: frediarisko@gmail.com