

# Konsep Desain Keandalan Gerbong Kereta Api Sebagai Dukungan Untuk Sarana Transportasi Perkotaan Yang Aman dan Berkelanjutan

Hary Soebagyo<sup>1\*</sup>, Arif Riyadi T. K<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Pancasila, Jakarta

**Abstrak.** Saat ini masyarakat menginginkan adanya kendaraan yang aman, nyaman dan ramah lingkungan, dimana kendaraan ini diharapkan dapat menjadi alat transportasi perkotaan yang berkelanjutan. Salah satu alat transportasi massal yang aman dan nyaman adalah kereta api. Kendaraan berbasis rel ini penting untuk perkotaan karena efektivitasnya yang tinggi dan kapasitasnya besar, serta ekonomis dalam pengoperasiannya. Konsep desain keandalan gerbong kereta api adalah bagian dalam perancangan kereta api sebagai kendaraan angkut massal di perkotaan. Kekuatan dari kereta api tergantung dari struktur kerangka bawah gerbongnya karena struktur ini berfungsi sebagai penopang keseluruhan beban yang diterima kereta api. Sebuah kajian literatur telah dilakukan dan dapat menunjukkan pentingnya pengujian struktur yang meliputi uji struktur terhadap beban vertikal, kompresi, twist, jacking dan pengukuran camber. Hasil kajian berupa konsep desain kekuatan struktur ini dapat menjadi bahan dasar dalam pembuatan standar untuk uji gerbong kereta api sebagai sarana transportasi massal di wilayah perkotaan. Makalah ini mendiskusikan metode dan prosedur pengujian struktur kerangka bawah kereta api berikut konsep standarisasinya yang dapat digunakan sebagai bahan awal untuk pembuatan standar nasional (Standar Nasional Indonesia) guna menjamin keandalan gerbong kereta api. Hal ini sekaligus juga berarti dapat menjadi dukungan penting dan strategis dalam penyediaan sarana transportasi massal di wilayah perkotaan secara berkelanjutan.

**Kata kunci:** keandalan, gerbong, struktur, metode pengujian, konsep standarisasi

## 1. PENDAHULUAN

Sekarang ini masyarakat di dunia selalu berangan-angan tentang adanya upaya pemenuhan kebutuhan hidup yang terkait sarana transportasi di daerah perkotaan yang baik, aman, sehat, nyaman, dan juga ramah terhadap lingkungan. Angan-angan ini sudah menjadi keinginan dan dambaan bagi seluruh warga perkotaan di hampir semua warga perkotaan di belahan dunia mamapun. Namun yang terjadi belakangan ini tuntutan tersebut telah berkembang lagi yaitu adanya tambahan keinginan dan kebutuhan akan adanya sistem dan alat transportasi yang harus dapat berkelanjutan. Transportasi berkelanjutan itu adalah merupakan suatu sistem yang lebih sempurna, melibatkan tiga komponen yang saling berhubungan, yakni lingkungan, masyarakat, dan ekonomi [1]. Alat transportasi ini tidak banyak menimbulkan emisi kendaraan, tingkat keamanan dan kenyamanannya tinggi, tidak menyebabkan kemacetan serta tidak pula menimbulkan dampak sosial dan ekonomi yang akan dapat membebani masyarakat pada generasi mendatang. Tapi kenyataan yang dihadapi sekarang ini terutama di kota-kota besar baik di dunia dan terutama di Indonesia faktanya banyak hal yang masih jauh dari impian tersebut, ada banyak masalah yang dihadapi dan harus segera dicarikan solusinya. Dipahami bersama bahwa mobilitas di hampir semua perkotaan ada banyak masalah, yaitu pada minimnya jaringan transportasi umum, penggunaan secara masif kendaraan pribadi, adanya kemacetan di banyak tempat, dan kerawanan-kerawanan lalu lintas lainnya. Ini semua berakibat negatif pada beberapa sektor terutama ekonomi dan sosial serta lingkungan. Sementara itu pengembangan sarana transportasi umum di perkotaan juga tidak mudah, ada beberapa kendala dan tantangan yang ditemui misalnya dalam hal kelembagaan, integrasi alat transportasi, dan kapasitas atau kemampuan anggaran di masing-masing wilayah. Permasalahan ini semua harus ditangani dengan baik termasuk upaya dalam penggunaan secara luas kendaraan angkut massal (*mass*

\* Corresponding author: [hary.soebagyo@univpancasila.ac.id](mailto:hary.soebagyo@univpancasila.ac.id)

*rapid transit*) yang berbasis rel dengan tenaga penggerak energi listrik seperti MRT, LRT, KRL, serta penggunaan alat transportasi massal lain yang juga ramah lingkungan seperti bus listrik.

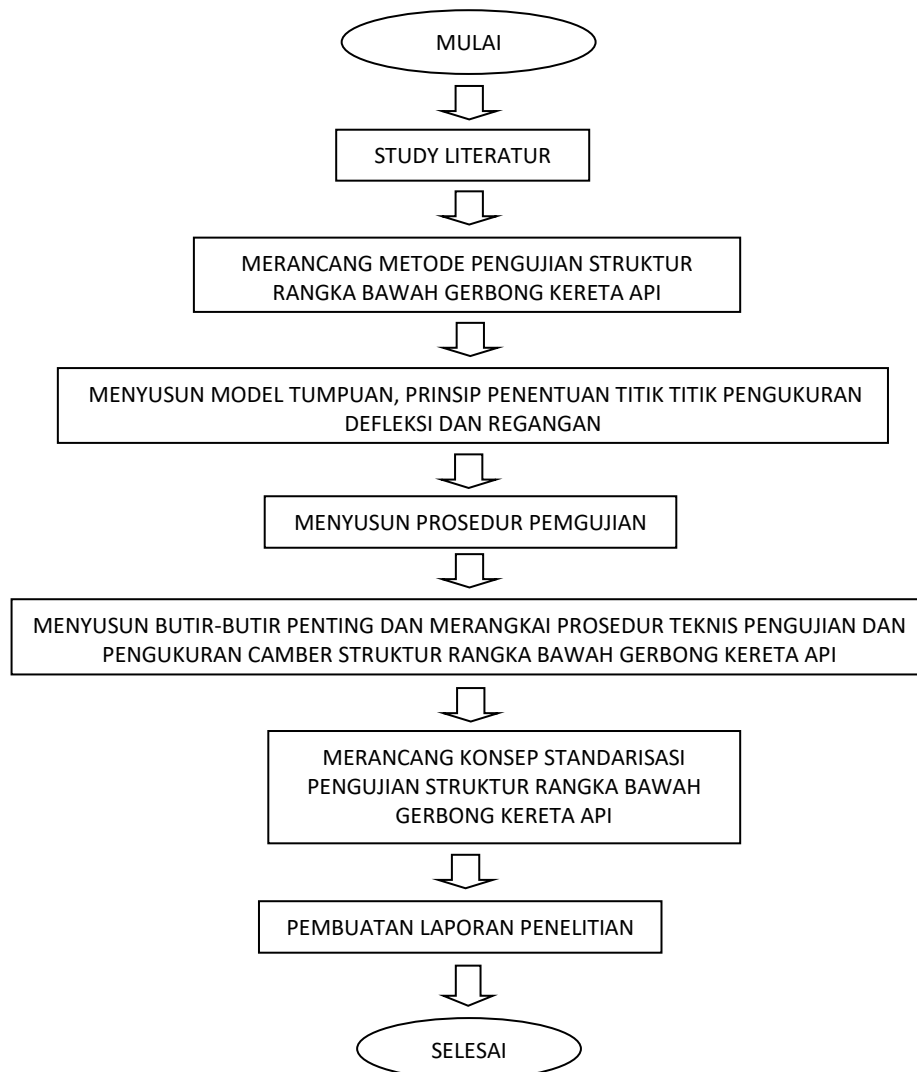
Banyak orang saat ini telah menyadari pula betapa pentingnya kendaraan umum yang bagus, aman dan nyaman menjadi solusi untuk mengurangi beban ekonomi dan mengurangi kemacetan. Hal ini lebih disadari ketika harga-harga BBM meroket naik dan adanya peningkatan penggunaan kendaraan pribadi baik itu mobil maupun sepeda motor. Harus diakui bahwa pembangunan infrastruktur transportasi di Indonesia masih sangat rendah karena berbagai kendala yang ditemui terutama minimnya anggaran, sementara itu pertumbuhan penggunaan kendaraan pribadi justru meningkat tinggi. Jadi akan tambah sulit pertumbuhan prasarana untuk menjadi se level dengan pertumbuhan sarana transportasinya, ini lah yang banyak menimbulkan kemacetan yang dampaknya sangat luas. Maka dari itu perlu segera menggenjot pertumbuhan kendaraan umum yang aman, nyaman dan ramah lingkungan. Penggunaan kendaraan berbahan bakar fosil (*internal combustion engines/ ICE*) ditransformasikan dengan penggunaan kendaraan baterai atau listrik (*electric vehicle/ EV*). Berbagai langkah kebijakan dapat dilakukan mulai dari adanya percepatan penggunaan kendaraan listrik melalui berbagai insentif, melakukan pengelolaan atau manajemen dalam penyediaan transportasi umum dan membangun infrastruktur transportasi yang inklusif hingga upaya penyiapan transportasi masa depan yang berkelanjutan.

Berdasarkan latar belakang seperti yang diuraikan diatas dimana masyarakat menginginkan adanya sarana transportasi massal yang ideal dan cocok untuk angkutan massal di perkotaan padat penduduk yang telah semakin kompleks permasalahannya, memang perlu upaya untuk segera meningkatkan pertumbuhan kendaraan umum yang aman, nyaman, ramah lingkungan, salah satu kendaraan tersebut yang paling cocok adalah kereta api. Berkaitan dengan hal tersebut, fungsi kereta api akan bertambah dan menjadi sangat vital, karena meningkatnya tuntutan terhadap jaminan akan keselamatan manusia maupun barang. Jadi, kereta api semakin dituntut untuk memiliki kemampuan yang memadai sehingga tidak mengalami kerusakan saat operasinya. Perancangan dan pembuatan kereta api pun harus selalu memperhatikan aspek-aspek penting, diantaranya adalah *reliability* (keandalan), *availability* (ketersediaan), *maintainability* (perawatan), serta *safety* (keselamatan), yang dikenal dengan RAMS [2,3]. Untuk memberikan kepastian terhadap kekuatan komponen dan struktur kereta api, maka dalam proses pembuatan kereta api harus dilakukan dengan prosedur melalui beberapa rangkaian pengujian [4,5]. Untuk mendukungnya maka perlu dilakukan kegiatan yang mencakup kegiatan kajian dengan study literatur untuk mempelajari metode dan prosedur pengujian kekuatan dan keamanan struktur kerangka gerbong kereta api. Sebuah penelitian tentang stabilitas beban torsi dan pengujian camber untuk gerbong datar telah dilakukan dan hasilnya menunjukkan bahwa gerbong datar kereta api yang diberikan camber mempunyai tambahan kekuatan dan mampu menahan beban-beban torsi yang timbul saat kereta api beroperasi [6]. Penelitian yang lain juga telah dilakukan terhadap struktur kereta barang dimana hasilnya menunjukkan adanya kekuatan struktur terhadap variasi beban statis maupun beban dinamis yang diberikan pada struktur gerbong untuk kereta barang [7,8,9]. Dengan demikian dapat dipahami bahwa amatlah penting untuk melakukan pengujian-pengujian terhadap struktur rangka bawah gerbong kereta api untuk menjamin kekuatan dan keandalannya saat beroperasi. Hal yang perlu disadari pula bahwa betapa pentingnya sebuah standar pengujian wajib dipersiapkan dan diberlakukan baik untuk desain dan manufaktur gerbong kereta baru maupun untuk gerbong kereta yang mengalami peremajaan (*refurbishment*). Untuk itu cakupan kegiatan akan diperluas dengan membuat konsep desain keandalan gerbong kereta api untuk bahan dasar penyusunan Standar Nasional Indonesia (SNI) yaitu guna mendukung keselamatan dan keandalan kereta api. Standar ini sekarang masih belum tersedia dan perlu segera disiapkan dengan baik. Proses pembuatan standar tersebut akan melibatkan semua *stake holder* baik dari Pemerintah, lembaga riset, universitas, operator dan pabrikan kereta api. Dengan adanya konsep desain keandalan gerbong kereta api dan juga tersedianya standar nasional untuk pengujian gerbong kereta api, maka hal ini akan menjadi dukungan yang strategis untuk penggunaan kereta api sebagai alat transportasi massal perkotaan yang *sustainable*.

## 2. METODE

Metodologi yang dilakukan adalah dengan mempelajari literatur atau study pustaka terutama dari standar Internasional yang lazim dipakai di negara-negara maju dan juga mempelajari aturan-aturan yang telah dibuat oleh lembaga Pemerintah yang berwenang dalam hal ini adalah Kementerian Perhubungan. Study literatur adalah bagian dari penelitian atau kajian yang dimaksudkan antara lain untuk mendapatkan data dan informasi untuk analisis dalam menyelesaikan masalah yang dihadapi dalam sebuah penelitian [10,11,12]. Menyangkut keandalan dan keamanan kereta api sebagai sarana transportasi perkotaan yang harus dijamin keselamatan dan kekuatannya maka perhatian perlu ditekankan pada pada kekuatan dari gerbonngnya. Dalam hal ini perlu

study kasus yang lebih spesifik untuk mengamati komponen utama dari gerbong kereta api yaitu bagian struktur kerangka bawahnya. Metodologi penelitian dapat diuraikan mengikuti diagram alir seperti pada gambar 1.



Gambar 1 Metodologi Penyusunan Konsep Desain Keandalan Gerbong Kereta Api

Penelitian diawali dengan melakukan study literature tentang gerbong kereta api termasuk study tentang camber struktur kerangka bawah gerbong kereta api. Prinsip penelitian mengikuti diagram alir seperti diperlihatkan pada gambar 1. Perlu diketahui bahwa camber telah umum menjadi kebutuhan dalam rancang bangun struktur kerangka bawah gerbong kereta api dan banyak diberlakukan pada hampir semua jenis gerbong dan jenis kereta api yang digunakan untuk mengangkut barang maupun penumpang [2,6,8]. Semua standar yang lazim digunakan dalam penelitian dan pengujian kereta api seperti standar IUC, JIS dan AREA, serta beberapa standar lainnya juga menyebutkan manfaat pemberian camber untuk menambah kekuatan struktur kerangka bawah gerbong kereta api demi keselamatan dan keamanan kereta api [13,14,15,16]. Setiap struktur yang mengalami beban bending, umumnya dirancang dengan besaran camber tertentu, demikian pula dengan struktur gerbong datar kereta api ini.

Tahapan kegiatan kajian berikutnya dapat dilanjutkan dengan merancang dan menetapkan metode pengujian struktur rangka bawah gerbong kereta api berikut metode pengukuran cambernya. Model tumpuan, penentuan titik pengukuran defleksi dan regangan juga menjadi bahan perhatian.

Langkah kegiatan kajian selanjutnya adalah melakukan pembuatan prosedur pengujian dengan memberikan beban pada struktur dengan berbagai variasi beban yang mensimulasikan kondisi seperti saat operasinya. Beban vertikal pada struktur akan mensimulasikan beban muatan yang disangga oleh struktur.

Beban vertikal ini merupakan mayoritas beban yang diterima oleh struktur karena adanya muatan baik barang maupun penumpang KA. Pengukuran camber juga dilakukan guna mengetahui besaran camber atau deflesi yang terjadi pada saat pemberian beban vertical. Pembebanan berikutnya adalah pemberian beban kompresi, dimana beban kompresi ini mensimulasikan beban akibat percepatan dan perlambatan, serta proses penggandengan antar gerbong. Sementara itu beban jacking diberikan guna mensimulasikan beban yang terjadi karena proses di bengkel perbaikan dan kondisi darurat di lapangan, Berikutnya ada pula pemberian pembebanan twist yang dimaksudkan untuk mensimulasikan beban puntir pada struktur akibat kerusakan dari rel, bogie ataupun roda kereta api. Berikutnya, yaitu tahap penyusunan butir-butir penting dan merangkai prosedur-prosedur tersebut diatas sedemikian rupa hingga terbentuk sebuah konsep untuk standar pengujian struktur kerangka bawah kereta api.

Sebagai rangkaian langkah kegiatan yang terakhir adalah penyusunan laporan hasil penelitian yaitu pertanggungjawaban kegiatan kajian, dimana dari laporan ini akan dapat ditindaklanjuti dengan berbagai hal seperti penyampaian makalah di jurnal ilmiah dan penyampaian konsep standar nasional keandalan gerbong kereta api sebagai dukungan terhadap penggunaannya sebagai sarana transportasi massal perkotaan yang berkelanjutan.

### 3. HASIL

Setelah dilakukan perencanaan dalam penyusunan prosedur pengujian, kemudian dibuat konsep dasar yang mendasari bagaimana prosedur itu akan diterapkan secara teknis, selanjutnya disusun konssep desain standar pengujian gerbong kereta api. Perlu diketahui bahwa prosedur tersebut dapat dibuat dalam dua kategori utama, yaitu kategori pengujian dan kategori pengukuran. Pengujian dilakukan melalui serangkaian proses dari penentuan titik tumpu dari camber hingga pelaksanaan pembebanan yang dalam hal ini adalah pemberian beban vertikal yang terjadi akibat adanya muatan yang diterima oleh gerbong kereta api. Sementara itu untuk pengukuran, dalam hal ini dilakukan pengukuran terhadap besaran mekanis dari camber struktur kerangka bawah gerbong kereta api. Pengukuran ini melibatkan pengukuran beban atau gaya dalam arah vertikal, kemudian dilakukan pengukuran defleksi yang terjadi di titik posisi camber dan tumpuan-tumpuan. Berikutnya yang dilakukan adalah pengukuran regangan menggunakan pengukur regangan yang posisinya akan berada pada daerah yang dianggap kritis yaitu terutama di pusat titik camber. Selanjutnya prosedur teknis dan tahapan tersebut dapat diuraikan dan dibahas sebagai berikut,

Gerbong kereta api ditumpu oleh roda dengan menggunakan rangkaian bogie, bolster, swing arm, dan roda. Struktur gerbong dihubungkan dengan rangkaian bogie dengan menggunakan bolster. Dengan demikian, maka untuk pengujian beban vertikal titik tumpuan ditetapkan pada titik tumpuan bolster. Sistem tumpuan antara struktur gerbong dengan bolster adalah berupa tumpuan yang memungkinkan adanya pergerakan arah longitudinal dan rolling.

Sebagai simulasi uji struktur gerbong akibat fungsinya sebagai sarana transportasi maka dilakukan uji beban vertikal. Uji beban vertikal ini mensimulasi beban akibat adanya muatan berupa orang atau barang yang membebani struktur gerbong kereta api. Ada beban vertikal yang disangga dalam 2 kondisi, yaitu kondisi beban kosong (*tare load*) dan kondisi beban penuh (*full load*). Kondisi beban kosong mensimulasikan kondisi dimana kereta dalam keadaan kosong (tanpa muatan), sehingga besar beban kondisi kosong hanya berupa komponen-komponen yang berada diatas struktur rangka bawah gerbong. Kondisi kedua yaitu kondisi beban penuh, diartikan struktur gerbong menerima beban maksimum yang direncanakan mampu ditopang oleh struktur gerbong. Pembebanan dilakukan dengan membebani struktur gerbong dimana beban diletakkan diatas gerbong dan didistribusikan secara merata.

Sementara itu akibat adanya percepatan, perlambatan, dan proses penggandengan antar gerbong maka perlu ada uji beban kompresi untuk mensimulasikannya. Ada persyaratan dari standar Internasional untuk perancangan struktur gerbong tentang besaran kompresinya dimana tegangannya tidak boleh melebihi 90% dari tegangan yield. Kemudian sesuai peraturan menteri perhubungan, struktur gerbong harus mampu menahan beban kompresi dengan tegangan yang tidak boleh melebihi 75% dari tegangan yield nya. Uji beban kompresi struktur gerbong ini dapat dibedakan menjadi 2 (dua) kondisi, yaitu: beban kompresi dengan beban vertikal dalam kondisi kosong dan beban kompresi dengan beban vertikal dalam kondisi penuh.

Berikutnya, untuk simulasi dari struktur gerbong pada saat dilakukan perbaikan di bengkel maupun pada saat darurat di lapangan, maka perlu dilakukan uji beban yang disebut uji beban jacking. Perbaikan di bengkel disimulasikan dengan kondisi beban vertikal dalam keadaan kosong, sedangkan simulasi di lapangan

dilakukan dengan kondisi beban vertikal yang maksimum, caranya adalah dengan mengangkat kedua titik jacking sehingga struktur gerbong terangkat hingga terjadi beban pada lokasi titik tumpuan bolster.

Guna mensimulasikan kondisi struktur gerbong ketika mengalami beban puntir yang terjadi pada saat perbaikan maupun kondisi darurat akibat kerusakan dari rel, bogie maupun roda dilakukan dengan uji beban twist. Metodenya adalah dengan membebani struktur gerbong melalui beban vertikal dalam keadaan kosong dan sistem tumpuan bekerja hanya dengan 3 titik tumpuan dari 4 lokasi titik jacking, sehingga dengan demikian terjadi beban twist atau puntir pada struktur gerbong.

Dalam hal pengukuran camber, pada prinsipnya tujuan dari pengujian atau pengukuran camber ini terutama adalah untuk mengetahui defleksi dari lebar gerbong baik dalam kondisi terbebani karena ada muatan yang disangga oleh gerbong maupun saat kondisi beban dilepas kembali atau dalam kondisi beban dibongkar. Metode ini juga dapat diperuntukkan pada gerbong baru yang dibuat dengan merujuk pada standar EN 12663-2:2010.

Pada saat kereta api beroperasi terkadang banyak hal yang ditemui selama proses pengangkutan, karena pada kenyataannya ada berbagai macam produk atau komoditas yang diangkut dan tidak bisa memberikan beban muatan yang seragam, distribusi bebannya tidak merata. Untuk itu kadang juga perlu kombinasi penempatan produk atau barang dan kadang juga menimbulkan beban eksentrik yang ditransport. Untuk itu perlu perhatian terhadap beban puntir serta perlu batasan-batasan tertentu serta perlu data dari uji atau hasil dari pengukuran cambernya akibat distribusi beban yang tidak merata guna menghindari hal yang tidak diinginkan terhadap bogie kereta api utamanya pada saat operasinya yang sangat dinamis. Juga, ada hal lain yang perlu diperhatikan adalah kemungkinan adanya kemiringan roda terutama dari arah vertikal bila ditinjau dari bagian depan kereta api. Ketika roda miring keluar di bagian atas, cambernya bernilai positif, saat miring ke dalam di bagian atas maka cambernya akan menjadi negatif. Nilai kemiringan dapat dinyatakan dalam derajat yang diambil dari arah vertikal. Hal tentang camber ini penting karena dapat mempengaruhi kontrol arah dan keausan dari roda kereta api. Besar camber positif yang tinggi dapat mengakibatkan keausan dini pada bagian luar roda dan hal tersebut akan menyebabkannya keausan berlebihan pada bagian suspensi gerbong kereta api. Demikian pula halnya dengan nilai camber negatif yang besar, dimana hal ini dapat mengakibatkan keausan dini pada bagian dalam roda dan juga dapat menyebabkan keausan berlebihan pada bagian dalam dari sistem suspensi roda dari gerbong kereta api. Sementara itu camber dari sisi ke sisi yang tidak sama sebesar  $1^\circ$  atau lebih akan dapat menyebabkan gerbong menarik atau mengarahkan ke sisi dengan camber paling positif. Dalam hal ini perlu perhatian terhadap hasil uji torsi serta perhatian terhadap prosedur uji cambernya.

Selanjutnya dalam pengujian struktur gerbong, parameter yang diukur itu adalah beban (gaya), regangan dan defleksi. Parameter regangan dan defleksi diukur pada setiap tahap pengujian untuk uji beban vertikal, kompresi, twist, dan jacking. Sementara itu regangan digunakan untuk menghitung tegangan sebagai dasar dalam evaluasi kekuatan struktur. Regangan diukur dengan menggunakan sensor regangan (*strain gauge*). Guna mendapatkan hasil yang optimal, pengukuran regangan dilakukan pada bagian kritis dari struktur gerbong, yaitu pada daerah yang diperkirakan sangat kritis atau daerah yang mengalami tegangan relatif sangat besar. Perlu diketahui bahwa sensor regangan dipasang pada titik yang diukur dengan cara direkatkan, sehingga pergerakan atau regangan yang terjadi pada lokasi tersebut dapat terukur oleh strain gauge. Besarnya luaran sensor regangan yang berupa sinyal listrik akan setara dengan tegangan yang equivalent dengan besaran regangan (perpanjangan) dari benda uji, selanjutnya data direkam menggunakan sebuah *data logger*. Berikutnya untuk mengetahui perubahan nilai camber terutama karena beban vertikal digunakan dengan menggunakan peralatan *linear variable displacement transducer* yang kemudian hasilnya juga direkam pada sebuah data logger.

Dengan mengetahui kekuatan dan keamanan struktur kerangka bawah kereta api melalui serangkaian pengujian sesuai metode dan prosedur yang tepat maka dapat diperoleh tingkat kepastian keandalan kereta api yang akan menjadi sarana transportasi massal di wilayah perkotaan ini. Demikian pula bila kereta api tersebut mempunyai "*strength to weight ratio*" yang tinggi dan disertai pula dengan penggunaan system penggerak yang ramah lingkungan, maka kendaraan berbasis rel ini akan menyumbangkan peran penting untuk lingkungan yang lebih baik dan berkesinambungan, serta aman bagi generasi masa depan.

Selanjutnya dari pengamatan dan uraian yang dipelajari dan mencermati metode yang harus dilakukan maka diperoleh rumusan dari penelitian atau kajian ini, yaitu berupa konsep desain tentang standar uji Keandalan Struktur Kerangka Bawah Gerbong Kereta Api. Standar uji ini bersifat umum, artinya dapat



diberlakukan untuk pengujian kekuatan struktur kerangka bawah dari berbagai variasi kereta api yang digunakan sebagai sarana transportasi massal di wilayah perkotaan secara berkelanjutan. Butir-butir penting konsep standarisasi tersebut adalah seperti pada table 1:

Tabel 1 Prosedur Teknis Standar Uji Keandalan Kerangka Bawah Gerbong Kereta Api

No.	Bab	Pokok Bahasan Dalam Standar
1	Pengantar	Didalam Bab Pengantar ini isi tulisan harus memuat secara umum tentang pentingnya keselamatan dan keamanan kereta api sebagai sarana transportasi publik, pentingnya pengujian struktur untuk menjamin keandalan kereta api, uraian manfaat standarisasi dalam industri perkereta-apian nasional.
2	Pendahuluan	Didalam Bab Pendahuluan ini harus diuraikan latar belakang tentang kebutuhan dan peran penting kereta api sebagai sarana transportasi publik di perkotaan. Kemudian juga harus diuraikan secara umum filosofi desain perancangan kereta api mengikuti pokok kaidah RAMS. Bab ini menguraikan secara ringkas prinsip metode yang digunakan untuk menguji keandalan kereta api untuk mendukung keselamatan dan keamanan kereta api dalam operasinya. Selanjutnya, dituliskan secara ringkas apa syarat keberterimaan hasil pengujian yang dilakukan.
3	Maksud dan Tujuan	Dalam Bab ini harus dituliskan tentang maksud dan tujuan pengujian struktur kerangka bawah gerbong kereta api.
4	Ruang Lingkup	Uraikan Ruang Lingkup kegiatan yang dilakukan mulai dari metode dan prosedur untuk tahap persiapan pengujian seperti penyampaian informasi tentang spesifikasi benda uji, peralatan pengujian, serta penyediaan protokol pengujian hingga pelaksanaan pengujiannya yang meliputi pembebanan, pengelolaan data, serta pelaporan hasil pengujiannya.
5	Acuan Normatif	Sebutkan Acuan atau Dokumen yang relevan untuk prosedur pengujian struktur gerbong bawah kereta api.
6	Istilah dan Definisi	Tuliskan Peristilahan dan Definisi yang digunakan pada prosedur standar ini agar jelas apa yang dimaksudkannya.
7	Jenis Struktur	Uraikan Jenis Struktur kereta api yang dimaksud dan lengkapi dengan memberikan skets atau ilustrasi dari struktur kerangka bawah gerbong kereta api.
8	Bahan Struktur	Uraikan Bahan atau material yang lazim digunakan untuk struktur kerangka bawah gerbong kereta api.
9	Metode Uji	Uraikan dengan detil Metode dan Prosedur pengujian melalui tahapan-tahapan pembebanan dan pengukuran camber, pencatatan dan pengamatan selama pengujian, peralatan-peralatan yang digunakan, serta pelaporan hasil pengujian yang telah dilakukan.
10	Keberterimaan / Syarat Lulus Uji	Sebutkan hal atau alasan yang paling penting yang mendasari bahwa hasil pengujian kerangka struktur bawah kereta api ini telah memenuhi syarat lulus dan dapat diproduksi serta aman digunakan dalam ruang publik.

Tabel 1 di atas memberikan arahan butir-butir penting apa saja yang perlu disebut dan ditulis secara sistematis dalam Standar Nasional Indonesia (SNI) untuk pengujian keandalan struktur kerangka bawah gerbong kereta api.

Di dalam Bab Pengantar harus dimuat antara lain tentang pentingnya keselamatan dan kenyamanan perjalanan kereta api baik untuk mengangkut penumpang maupun barang. Selanjutnya perlu diuraikan hal terkait keandalan gerbong kereta api dimana komponen pentingnya adalah bagian struktur kerangka bawah dari gerbongnya. Uraikan pula penerapan filosofi RAMS sebagai acuan dalam pembuatan kereta api guna menjamin keamanan, keselamatan operasi kereta api sebagai sarana transportasi massal di ruang publik.

Di Bab Pendahuluan pada dasarnya pendahuluan itu memuat latar belakang dan alasan mengapa perlu ada standar untuk keandalan kereta api, memuat metode dan cara-cara menguji kereta api terhadap beban-beban yang diterima selama operasinya, bagaimana RAMS diterapkan dalam perancangan dan manufaktur gerbong kereta api, kemudian juga diuraikan apa yang menjadi target pengujian dan syarat-syarat keberterimaannya agar dapat diberikan sertifikasi kelayakan produksi dari lembaga yang berwenang yang dalam hal ini adalah Kementerian Perhubungan.

Kemudian di Bab Maksud dan Tujuan harus disebutkan bahwa maksud dari adanya standar ini adalah untuk menguji kekuatan struktur dan mengukur camber dari struktur kerangka bawah gerbong kereta api. Sementara tujuannya adalah untuk mengetahui kekuatan dan nilai camber struktur kerangka bawah gerbong kereta api terhadap beban yang diterima seperti pada saat operasinya.

Sementara itu pada Bab Ruang Lingkup dari standar ini adalah merupakan uraian tentang rangkaian apa saja yang dilakukan seperti pelaksanaan serangkaian pengujian dan juga termasuk melakukan pengukuran camber dari struktur kerangka bawah gerbong kereta api, kemudian tentang analisisnya seperti apa berikut metode pelaporan hasil-hasilnya.

Pada Bab Acuan Utama harus dituliskan apa saja sumber yang diacu dalam standar seperti buku, jurnal atau hasil-hasil penelitian yang dapat dijadikan acuan. Ada beberapa standar yang dapat dipakai sebagai acuan karena bersifat umum dan sering digunakan yaitu standar IUC, standar SEN, standar IEC, Peraturan Nasional yang dikeluarkan oleh Kementerian Perhubungan.

Untuk Bab Peristilahan maka peristilahan yang muncul dan digunakan dalam standar ini adalah istilah-istilah yang lazim digunakan pada perkeretapiian yang merujuk pada peraturan dari Kementerian Perhubungan, yaitu: kereta, gerbong, struktur rangka bawah gerbong kereta api, camber, pembebanan dan pengukuran. Sementara itu pada Bab Jenis Struktur sudah jelas yang dimaksud adalah struktur kerangka bawah gerbong kereta api. Pada bab ini harus dilengkapi pula dengan gambar atau sketsa struktur rangka bawah berikut keterangan atau penjelasannya. Dalam hal Bab Bahan atau Material maka dalam hal ini yang dimaksud adalah Bahan atau Material yang digunakan atau dimaksud dalam prosedur yaitu bahan baja yang lazim dan khusus untuk struktur rangka bawah gerbong kereta api, atau material lain yang harus dijelaskan spesifikasinya dengan detail.

Pada Bab Metode Uji maka yang harus diuraikan dengan jelas adalah prosedur uji secara eksperimental yang dilakukan terhadap benda uji yang mewakili kondisi sesungguhnya dari struktur dan uraian bagaimana memberikan pembebanan dengan beban vertikal pada struktur rangka bawah gerbong kereta api, serta mengukur besaran-besaran teknis yang timbul seperti gaya, regangan dan defleksi.

Terakhir adalah Bab Keberterimaan, yaitu menguraikan apa yang menjadi Syarat Lulus Uji atau Keberterimaan dari proses standarisasi ini. Dianggap lulus uji bila semua pembebanan dan pengukuran camber hasilnya memenuhi syarat utama, yaitu: struktur dianggap kuat dan tahan terhadap beban-beban pengujian mekanis yang diberikan, yaitu beban vertikal, beban kompresi, beban twist dan beban jacking, serta tidak ada retak, patah defleksi yang besar terjadi di bagian dari struktur. Kemudian cambernya juga tidak melebihi (1/2000) dari panjang struktur gerbong (*car body*) saat dalam kondisi kosong tanpa beban.

Uraian metode dan prosedur serta persyaratan-persyaratan pada standar ini akan sangat membantu pabrikan, supplier, operator, regulator dan stakeholder lain dalam kesamaan pandang dan menjadi acuan bersama baik untuk pembuatan (desain dan manufaktur) kereta api, pembuatan komponen-komponen kereta api, penyediaan material, serta operasional dari kereta api itu sendiri.

#### **4. KESIMPULAN**

Dari pembahasan kajian yang telah dilakukan dapat diperoleh kesimpulan bahwa dengan desain konsep yang dapat memastikan kekuatan mekanis struktur gerbong kereta api melalui penerapan metode dan tahapan pengujian berdasarkan acuan standar baku meliputi serangkaian pengujian kekuatan terhadap beban vertical, beban kompresi, beban jacking serta beban twist, maka keandalan kereta api dalam operasinya akan lebih terjamin. Sementara itu dengan adanya standar nasional yang memuat metode dan tahapan pengujian struktur kerangka bawah kereta api akan dapat bermanfaat bagi pabrikan, regulator, operator dan stakeholder lain dalam bidang perkereta-apian nasional utamanya sebagai acuan baik untuk desain, manufaktur maupun pengoperasian kereta api dalam penggunaannya sebagai angkutan transportasi massal di wilayah perkotaan secara berkelanjutan.

#### **UCAPAN TERIMA KASIH**

Kami sampaikan terima kasih kepada pimpinan Universitas Pancasila yang telah memberikan kesempatan kepada kami untuk melakukan kegiatan penelitian ini. Terima kasih juga kami sampaikan kepada teman-teman Jurusan Teknik Mesin, Universitas Pancasila, teman-teman dari Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) serta teman-teman dari PT. INKA yang telah banyak membantu dalam kegiatan penelitian hingga dapat dituliskannya artikel ini.

---

**DAFTAR PUSTAKA**

- [1] Ofyar Z. Tamin, Menuju Terciptanya Sistem Transportasi Berkelanjutan Di Kota-Kota Besar Di Indonesia, Jurnal Transportasi, Penerbit ITB, Bandung, 2007.
- [2] CEN-CENELEC, Railway Applications - The Specification and Demonstration of Reliability, Availability, Maintainability and Safety (RAMS), BS EN 50126-1, Brussels, 2017.
- [3] Committee on Technical Cooperation in the Development of the Rail Transport System, Reliability, Availability, Maintainability, Safety (RAMS) and Life Cycle Costs (LCC), S. Wollny, July 2017.
- [4] Peraturan Menteri Perhubungan RI No. PM.17 tahun 2011 tentang Standar, Tata Cara Pengujian dan Sertifikasi Kelaikan Gerbong, Jakarta, 2011.
- [5] Peraturan Menteri Perhubungan RI No. KM.43 tahun 2010 tentang Standar Spesifikasi Teknik Gerbong, Jakarta, 2010.
- [6] Apurba Das, Investigation of Torsional Stability and Camber Test on a Meter Gauge Flat Wagon, Proceedings of 63<sup>d</sup> International Congress of ISTAM, Dayananda Sagar University, Bangalore, 2018.
- [7] Anwar dan Ade Ruhimat, Analisis Kekuatan Struktur Kereta Barang, Jurnal Material dan Konstruksi, BPPT, Jakarta, 2014.
- [8] Anwar dan M. Gozali, Analisis Kerusakan Gerbong Datar “Ppcw”42 Ton Akibat Beban Operasi, Jurnal Material dan Konstruksi, BPPT, Jakarta, 2021.
- [9] Teddy Andreas et all, Analisis Kekuatan Struktur pada Gerbong Datar, Universitas Trisakti Published, Jakarta, 2019.
- [10] Muri Yusuf, Metode Penelitian, Kuantitatif Kualitatif & Penelitian Gabungan, Prenada Media Grup, Jakarta, 2015.
- [11] Sherri L. Jackson, Research Methods A Modular Approach, Wadsworth/ Cengage Learning, Belmont, USA, 2010.
- [12] Suharsimi Arikunto, Prosedur Penelitian, Suatu Pendekatan Praktek, Rineka Cipta, Jakarta, 2014.
- [13] Amtrak Mechanical Department Bureau of Rolling Stock Engineering, Specification for Trainset, PRIIA Specification No. 305-007 AMTRAK Specification No. 979, August 2, 2011.
- [14] PT. INKA, Testing Procedure of Vertical Load Test, Doc.Nr. 005/P.MK/G.028/ 2010, Madiun, 2010.
- [15] PT. INKA, Testing Procedure of Compression Load Test, Doc.Nr. 003/P.MK/ G.028/ 2010, Madiun, 2010.
- [16] Jong-Duk Chung and Jang-Sik Pyun, A Study on Analysis Method Considering Camber for the Carbody Deflection of the Urban Transit Vehicles, Advanced Materials Research Vol. 871 (2014) pp 323-329 Online: 2013-12-19 © (2014) Trans Tech Publications, Switzerland, 2014.