

Pemodelan CAD dan Dokumentasi Teknik Sasis Shuttle Bus Listrik Berbasis Reverse Engineering

Balmero Fiskal¹, Dwi Sudarno Putra^{1*} M. Yasep Setiawan¹, Agus Baharudin¹, dan Dori Yuvenda²

¹Departemen Teknik Otomotif, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Padang

²Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Padang

Jln. Prof. Dr. Hamka Air Tawar, Padang, Sumatera Barat, Indonesia

*e-mail: dwisudarnoputra@ft.unp.ac.id

(Diajukan: 30 Agustus 2025, direvisi: 3 September 2025, disetujui: 17 November 2025, dipublikasikan: 20 November 2025)

Abstrak

Universitas Negeri Padang (UNP) telah mengoperasikan prototipe mobil listrik shuttle bus untuk mendukung program green campus, namun belum memiliki dokumentasi desain sasis dalam format digital yang komprehensif. Penelitian ini bertujuan menghasilkan dokumentasi Computer-Aided Design (CAD) sasis melalui pendekatan reverse engineering. Penelitian menggunakan metode reverse engineering dengan pengukuran langsung terhadap dimensi sasis, meliputi panjang dan lebar total, lebar batang rangka bagian depan dan tengah-belakang, serta dimensi profil rangka utama dan dudukan lantai, yang dimodelkan menggunakan SolidWorks. Hasil penelitian menunjukkan model CAD memiliki deviasi dimensi maksimal 0% terhadap hasil pengukuran fisik yang menjadi acuan input pemodelan, jauh di bawah ambang batas toleransi $\pm 2\%$, yang mengindikasikan ketelitian proses transkripsi dimensi ke dalam model CAD. Penelitian ini juga menghasilkan engineering drawing sesuai standar ISO 128 dan ISO 129, serta Bill of Materials (BOM) yang mengidentifikasi 3 jenis profil baja penyusun sasis: besi hollow 4x4, hollow 2x2, dan UNP 8x4. Dokumentasi ini menjadi aset teknis penting bagi pengembangan, perbaikan, dan replikasi sasis kendaraan listrik kampus ke depan.

Kata Kunci: dokumentasi CAD, reverse engineering, sasis, mobil listrik, shuttle bus, engineering drawing.

Abstract

Universitas Negeri Padang (UNP) has operated an electric shuttle bus prototype supporting its green campus program, but lacks comprehensive digital chassis design documentation. This study aims to produce Computer-Aided Design (CAD) chassis documentation through a reverse engineering approach. The research applies a reverse engineering approach with direct measurement of chassis dimensions: overall length and width, frame member width at front and middle-rear sections, and profile dimensions of the main frame and floor-mounting frame, then modeled in SolidWorks. Results show the CAD model has a maximum deviation of 0% from the physical measurements used as modeling input, well below the $\pm 2\%$ tolerance threshold, indicating the accuracy of the dimensional transcription process into the CAD model. The study also produced ISO 128/129-compliant engineering drawings and a Bill of Materials (BOM) identifying three steel profile types: 4x4 hollow, 2x2 hollow, and UNP 8x4 channel steel. This documentation is an important technical asset for future development, repair, and replication of campus electric vehicle chassis.

Keywords: CAD documentation, reverse engineering, chassis, electric vehicle, shuttle bus, engineering drawing.

PENDAHULUAN

Perubahan iklim global akibat emisi gas rumah kaca dari kendaraan bermotor berbahan bakar fosil menjadi tantangan lingkungan yang mendesak, mengingat sektor transportasi berkontribusi signifikan terhadap emisi karbon dioksida (CO₂) yang mendorong peningkatan suhu bumi [1]. Kondisi ini mendorong transisi global menuju sistem transportasi rendah emisi berbasis energi bersih. Pangsa pasar mobil listrik global tercatat mencapai 18% dari total penjualan mobil baru pada 2023 dengan volume sekitar 14 juta unit [2]. Di Indonesia, transisi tersebut turut didukung oleh Peraturan Presiden Nomor 55 Tahun 2019 tentang Percepatan Program Kendaraan Bermotor Listrik Berbasis Baterai, yang mencakup dukungan riset, pengembangan, dan implementasi kendaraan listrik pada berbagai sektor, termasuk transportasi kampus [3].

Perguruan tinggi memiliki peran strategis dalam mewujudkan konsep green campus melalui sistem transportasi berkelanjutan, sebagaimana tercermin pada penilaian UI Green Metric World University Rankings yang menempatkan aspek transportasi sebagai salah satu indikator keberlanjutan kampus [4]. Universitas Indonesia telah mengoperasikan bus listrik sejak 2022 [5], sementara Universitas Negeri Semarang menerapkan program *shuttle bus* kampus sebagai implementasi green economy [6]. Universitas Negeri Padang (UNP) turut mengambil langkah progresif dengan mengembangkan prototipe mobil listrik *shuttle bus* yang telah difungsikan untuk melayani mobilitas civitas akademika di lingkungan kampus.

Meskipun prototipe tersebut telah beroperasi, terdapat kendala signifikan pada aspek dokumentasi teknis, khususnya pada sasis sebagai elemen struktural utama: prototipe belum memiliki dokumentasi desain sasis dalam bentuk digital yang komprehensif, padahal dokumentasi tersebut sangat penting untuk keperluan pengembangan, modifikasi, dan replikasi struktur kendaraan di masa mendatang. Dokumentasi Computer-Aided Design (CAD) berfungsi sebagai blueprint digital yang memuat informasi geometri, dimensi, material, dan spesifikasi teknis komponen secara detail [7], sekaligus memungkinkan proses reverse engineering, analisis struktural, dan simulasi teknis lanjutan [8]–[9]. Tanpa dokumentasi CAD sasis yang lengkap, setiap upaya perbaikan atau pengembangan struktur rangka harus dimulai dari nol, yang tidak efisien dari segi waktu maupun biaya, sementara dokumentasi desain digital pada praktik industri otomotif telah terbukti menjadi aset penting yang memfasilitasi continuous improvement dan transfer pengetahuan [10].

Kontribusi utama penelitian ini terletak pada penyusunan dokumentasi teknis digital, mencakup model CAD, engineering drawing, dan Bill of Materials (BOM), untuk sasis *shuttle bus* listrik UNP, yang disusun melalui pengukuran langsung dan reverse engineering pada prototipe yang sebelumnya belum memiliki dokumentasi teknis formal.

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini bertujuan untuk: (1) membuat dokumentasi desain CAD sasis mobil listrik *shuttle bus* UNP berdasarkan hasil pengukuran prototipe fisik; (2) menghasilkan model CAD 3D dan engineering drawing dari sasis kendaraan, mencakup rangka utama (main frame) dan rangka dudukan lantai (floor frame); serta (3) menyusun Bill of Materials (BOM) sasis sebagai dokumentasi teknis pendukung pengembangan dan replikasi struktur kendaraan di masa mendatang. Penelitian ini dibatasi pada proses dokumentasi geometris sasis, mencakup model CAD,

engineering drawing, dan Bill of Materials (BOM), sehingga tidak mencakup analisis kekuatan struktur, simulasi elemen hingga (Finite Element Analysis/FEA), pengujian beban, pengujian torsi, pengujian lentur, maupun evaluasi keselamatan sasis. Hasil penelitian ini karena itu tidak dapat dijadikan sebagai bukti kelayakan struktural sasis, melainkan sebagai dasar dokumentasi teknis yang dapat dimanfaatkan untuk analisis lanjutan tersebut pada penelitian berikutnya. Penelitian ini juga tidak mencakup dokumentasi desain komponen body, sistem suspensi, sistem kemudi, dan interior, yang merupakan bagian dari cakupan skripsi secara keseluruhan namun dibahas secara terpisah pada artikel lain. Sebagai keterbatasan lain, evaluasi kelengkapan dan kelayakan dokumen teknis yang dihasilkan (model CAD, engineering drawing, dan BOM) pada penelitian ini dilakukan melalui review internal oleh dosen pembimbing serta validasi eksternal oleh satu orang ahli di bidang rekayasa konversi energi dari luar tim pembimbing (lihat Subbab Validasi Ahli Eksternal). Validasi tersebut menghasilkan simpulan “layak digunakan dengan revisi (sesuai catatan)”; sebagian catatan validator, khususnya yang berkaitan dengan penyesuaian garis dan kelengkapan dimensi pada gambar teknik, memerlukan pembaruan langsung pada berkas CAD/gambar teknik yang belum sepenuhnya dapat diakomodasi pada revisi naskah ini, sehingga ditetapkan sebagai keterbatasan dan agenda tindak lanjut penelitian. Penelitian ini juga baru melibatkan satu orang validator eksternal, sehingga validasi oleh ahli CAD atau praktisi manufaktur tambahan tetap disarankan pada penelitian lanjutan guna memperkuat kelayakan dokumen untuk keperluan replikasi atau fabrikasi.

Sasis sebagai Struktur Utama Kendaraan

Sasis (rangka) merupakan struktur utama kendaraan yang berperan sebagai penopang seluruh komponen, menyalurkan beban dari body dan muatan menuju sistem suspensi, serta menyediakan titik pemasangan bagi powertrain dan sistem pendukung lainnya [11]. Kendaraan bus pada umumnya menggunakan konfigurasi ladder frame atau space frame karena kedua jenis rangka tersebut memiliki kekuatan struktural yang memadai untuk membawa beban besar, memberikan fleksibilitas terhadap variasi desain bodi, serta relatif lebih mudah dalam proses manufaktur dan perawatan dibandingkan struktur monocoque [11]. Selain kekuatan, sasis juga harus memenuhi persyaratan kekakuan yang cukup untuk meminimalkan defleksi selama operasi serta menyediakan titik-titik pemasangan yang tepat bagi sistem suspensi, powertrain, dan body kendaraan [12]. Kekakuan lentur dan kekakuan torsi menjadi dua parameter utama yang idealnya dipertimbangkan dalam desain sasis, disertai optimasi bobot untuk meningkatkan efisiensi kendaraan [12]. Prototipe *shuttle bus* listrik UNP menggunakan sasis bertipe ladder frame berbahan baja profil yang dilas, sehingga pendokumentasian desainnya menjadi krusial mengingat perannya sebagai elemen struktural utama yang menentukan integritas kendaraan secara keseluruhan.

Material Konstruksi Sasis

Konstruksi sasis kendaraan niaga dan bus umumnya menggunakan baja profil yang dilas (mild steel), mengingat kemampuan las yang baik, kekuatan yang memadai untuk menahan beban operasional, biaya yang relatif rendah, serta ketersediaan material yang luas [13]. Penggunaan baja berkekuatan tinggi (High Strength Low Alloy/HSLA) pada bagian-bagian kritis sasis berpotensi menjadi pertimbangan lanjutan apabila pengurangan

bobot struktur menjadi prioritas, mengingat massa kendaraan berpengaruh langsung terhadap efisiensi energi kendaraan listrik [14]. Alternatif material aluminium menawarkan bobot yang jauh lebih ringan, namun memerlukan teknik pengelasan khusus dan biaya manufaktur yang lebih tinggi dibandingkan baja konvensional [15].

Dokumentasi CAD dan Reverse Engineering

Reverse engineering merupakan proses menganalisis dan mereproduksi komponen atau sistem yang sudah ada menjadi model digital [16]–[17], yang dalam konteks otomotif memungkinkan redesain cepat, optimisasi, dan reproduksi komponen kompleks [18]. Dokumentasi Computer-Aided Design (CAD) yang dihasilkan melalui proses tersebut berfungsi sebagai blueprint digital yang memuat informasi geometri, dimensi, material, dan spesifikasi teknis komponen secara detail [7], sekaligus menjadi dasar bagi analisis struktural dan simulasi teknis lanjutan seperti *Finite Element Analysis* (FEA) [8], [19].

Standar Gambar Teknik dan Bill of Materials

Engineering drawing sebagai dokumen teknis harus memenuhi standar internasional agar dapat dipahami secara konsisten oleh berbagai pihak yang berkepentingan, di antaranya ISO 128 yang mengatur aturan umum penggambaran teknik dan ISO 129 yang mengatur ketentuan dimensioning [20]. Bill of Materials (BOM) berupa Engineering BOM mendefinisikan rakitan dan komponen dari perspektif fungsional desain, dan dinilai sebagai format yang paling representatif untuk menggambarkan arsitektur produk yang kompleks [21], khususnya apabila didukung oleh kelengkapan informasi identifikasi komponen dan spesifikasi material [22].

METODE

Jenis Penelitian

Penelitian ini merupakan dokumentasi teknis berbasis reverse engineering, dengan fokus pada perekaman ulang geometri, dimensi, dan spesifikasi teknis sasis prototipe yang telah beroperasi ke dalam format digital yang komprehensif, bukan pengembangan atau perancangan sasis baru [23]. Pendekatan yang digunakan adalah design based research dengan metode reverse engineering. Metode ini dipilih karena penelitian bertujuan mentransformasikan objek fisik prototipe menjadi model CAD 3D yang akurat dan dapat diedit.

Objek dan Lokasi Penelitian

Objek penelitian adalah sasis prototipe mobil listrik *shuttle bus* UNP yang telah beroperasi di lingkungan kampus, sebagai struktur rangka utama yang menopang seluruh sistem dan komponen kendaraan, mencakup rangka utama (main frame) dan rangka dudukan lantai (floor frame). Penelitian dilaksanakan di Laboratorium CAD/Desain Teknik Otomotif UNP serta pada lokasi prototipe kendaraan, dengan durasi pelaksanaan selama 4 (empat) bulan yang terbagi dalam tahap persiapan, pengukuran dan dokumentasi, pemodelan, serta finalisasi laporan.

Alat dan Bahan Penelitian

Alat dan bahan penelitian terdiri atas perangkat keras berupa komputer/laptop dengan spesifikasi minimum Intel Core i5, RAM 8 GB, VGA dedicated 2 GB, serta alat ukur berupa meteran, jangka sorong digital, mikrometer, dan kamera digital; perangkat lunak CAD (SolidWorks dan AutoCAD) serta perangkat lunak dokumentasi (Microsoft

Word dan Excel); dan objek penelitian berupa sasis prototipe kendaraan beserta dokumentasi teknis yang tersedia.

Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian mengikuti lima tahapan reverse engineering. Tahap persiapan meliputi studi literatur mengenai sasis kendaraan dan reverse engineering, identifikasi struktur rangka, kalibrasi alat ukur, serta instalasi software CAD. Tahap pengumpulan data menggunakan metode pengukuran langsung (direct measurement), yang meskipun memerlukan waktu lebih lama dibandingkan 3D scanning, tetap efektif untuk geometri yang relatif sederhana dan memiliki akurasi baik jika dilakukan dengan cermat [24]; Pengukuran ini dilakukan 3 kali pengulangan agar mendapatkan hasil yang lebih akurat, pengukuran ini di mulai dari titik titik Main frame, panjang depan, panjang tengah, panjang belakang, lebar depan, lebar tengah dan lebar belakan Serta pengukuran Komponen Floor Frame, tahap ini meliputi dokumentasi visual sasis dari berbagai sudut pandang, pengukuran dimensi keseluruhan kendaraan sebagai referensi envelope, dimensi sasis (panjang total, lebar total, serta lebar batang rangka bagian depan dan tengah-belakang), serta dimensi profil rangka utama dan rangka dudukan lantai. Tahap pemodelan CAD mencakup tiga sub tahap, yaitu pemodelan rangka utama dan rangka dudukan lantai, penyusunan assembly sasis menggunakan fitur mate pada SolidWorks, serta verifikasi model melalui cross check dimensi dan pemeriksaan interferensi pada titik sambungan las, yang melibatkan rekonstruksi permukaan bebas (free form) atau parametrik sesuai kebutuhan. Tahap pembuatan dokumentasi teknis menghasilkan tiga dokumen utama, yaitu engineering drawing sasis sesuai standar ISO/ASME, Bill of Materials (BOM) sasis berupa Engineering BOM yang mendefinisikan rakitan dan komponen dari perspektif fungsional desain [21], serta assembly drawing sasis. Tahap finalisasi meliputi review model, review internal oleh pembimbing, validasi eksternal oleh ahli di luar tim pembimbing (lihat Subbab Validasi Ahli Eksternal), serta ekspor file CAD ke berbagai format untuk kompatibilitas.

Teknik Analisis Data

Teknik pengumpulan data menggunakan pengukuran langsung, dokumentasi visual/fotografi, pencatatan spesifikasi teknis, serta reverse engineering dari prototipe fisik. Penelitian ini tidak menggunakan analisis statistik atau simulasi numerik seperti FEA atau CFD; teknik analisis data berfokus pada verifikasi akurasi dimensi sasis (dengan deviasi maksimal yang dapat diterima sebesar $\pm 2\%$ dari pengukuran aktual), Ambang batas $\pm 2\%$ penulis tetapkan Berdasarkan pertimbangan kebutuhan fungsional dokumentasi desain bukan manufaktur presisi tinggi seperti komponen mesin. Perlu ditegaskan bahwa verifikasi dimensi pada penelitian ini bersifat pemeriksaan kesesuaian input, karena nilai dimensi pada model CAD disusun langsung berdasarkan hasil pengukuran fisik yang sama; dengan demikian, deviasi yang dihasilkan merepresentasikan ketelitian proses transkripsi data pengukuran ke dalam model CAD, bukan bukti validasi independen terhadap akurasi geometris sasis secara keseluruhan. Selain verifikasi dimensi, teknik analisis data juga mencakup verifikasi kelengkapan dokumentasi sasis, cross check konsistensi antar dokumen, serta evaluasi kesesuaian dengan standar gambar teknik internasional. Alur penelitian mengadaptasi framework Design Research Methodology

(DRM) untuk memastikan proses dokumentasi, pengukuran, pemodelan, dan verifikasi dilakukan secara terstruktur dan akurat [25].

Validasi Ahli Eksternal

Selain review internal oleh dosen pembimbing pada tahap finalisasi, kelayakan dokumentasi teknis (model CAD, engineering drawing, dan BOM) sasis pada penelitian ini juga divalidasi oleh satu orang ahli yang berada di luar tim pembimbing penelitian (validator eksternal), yaitu Dr. Dori Yuvenda, S.Pd., M.T., dosen Teknik Mesin Universitas Negeri Padang dengan bidang keahlian Rekayasa Konversi Energi. Validasi dilaksanakan pada 9 Agustus 2026 menggunakan lembar validasi berupa angket tertutup yang terdiri atas 12 butir pernyataan, tersebar ke dalam empat aspek penilaian, yaitu: (A) Model CAD/Model 3D (3 butir), (B) Gambar Teknik/Engineering Drawing (3 butir), (C) Bill of Materials/BOM (3 butir), dan (D) Kesesuaian dan Kebermanfaatan Dokumentasi (3 butir).

Setiap butir dinilai menggunakan skala 1–4, dengan kriteria: skor 4 (Sangat Baik/Sangat Layak – aspek terpenuhi dengan sangat baik, tidak perlu revisi), skor 3 (Baik/Layak – aspek terpenuhi dengan baik, sedikit revisi minor), skor 2 (Cukup/Kurang Layak – aspek cukup terpenuhi, perlu revisi yang cukup signifikan), dan skor 1 (Kurang/Tidak Layak – aspek tidak terpenuhi, perlu revisi mendasar atau penggantian). Skor rata-rata dihitung per aspek dan secara keseluruhan untuk memperoleh gambaran kelayakan dokumentasi, sementara validator juga memberikan simpulan akhir berupa salah satu dari tiga kategori (layak digunakan tanpa revisi; layak digunakan dengan revisi sesuai catatan; atau tidak layak digunakan) disertai saran dan masukan tertulis untuk perbaikan dokumentasi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pengukuran dan Dokumentasi Sasis Prototipe

Objek penelitian ini adalah sasis prototipe mobil listrik *shuttle bus* UNP, yang dikembangkan dengan konstruksi ladder frame berbahan baja profil yang dilas. Sasis ini berfungsi sebagai struktur penopang seluruh sistem kendaraan, termasuk sistem suspensi dan sistem kemudi yang mengadopsi unit donor dari kendaraan niaga produksi massal SUZUKI CARRY FUTURA, serta body kendaraan yang menggunakan rangka atap (roof frame) dengan kanopi melengkung, karakteristik tersebut sesuai dengan [Gambar 1](#) dibawah. Pemanfaatan komponen donor pada sistem suspensi dan kemudi turut memengaruhi geometri dasar sasis, khususnya pada titikudukan (mounting point) kedua sistem tersebut yang menyesuaikan dengan *platform* donor.

Hasil observasi lapangan menunjukkan bahwa struktur sasis prototipe dalam kondisi utuh, tidak ditemukan deformasi signifikan, dan operasional, namun belum memiliki dokumentasi desain teknis dalam format digital. Pengukuran dimensi dilakukan secara langsung menggunakan meteran, jangka sorong, dan mikrometer, mencakup dimensi keseluruhan kendaraan sebagai referensi envelope serta dimensi sasis itu sendiri. Rekapitulasi hasil pengukuran disajikan pada [Tabel 1–6](#).



Gambar 1. Dokumentasi visual prototipe *shuttle bus* listrik UNP

Tabel 1. Hasil pengukuran dimensi keseluruhan kendaraan

No	Parameter	Hasil Ukur
1	Panjang total	4.220 mm
2	Lebar total	1.640 mm
3	Tinggi total	2.060 mm

Tabel 2. Hasil pengukuran dimensi sasis

No	Main frame	Hasil Ukur	Floor frame	Hasil Ukur
1	Panjang Total	3.920 mm	Jumlah holow 40 x 40	10090 mm
2	Lebar Batang tengah	1.600 mm	Jumlah hollow 20 x 20	16960 mm
3	Lebar batang Depan	780 mm		
4	Lebar batang belakang	1.000 mm		
5	Panjang depan	1240 mm		
6	Panjang tengah	1700 mm		
7	Panjang belakang	980 mm		

Tabel 3. Jarak Antar Cross Member (Mengacu Gambar Atas)

No.	Kode	Posisi (Dari Depan)
1	CM-1 – CM-2	450 mm
2	CM-2 – CM-3	290 mm
3	CM-3 – CM-4	250 mm
4	CM-4 – CM-5	250 mm
5	CM-5 – CM-6	522 mm
6	CM-6 – CM-7	660 mm
7	CM-7 – CM-8	522 mm
8	CM-8 – CM-9	650 mm
9	CM-9 – Ujung Belakang	330 mm

Tabel 4. Komponen Sasis

Kode	Komponen	Posisi	Dimensi Acuan (mm)
A1	Suspensi Depan Kiri	Atas depan	Lebar suspensi atas = 1.030
A2	Suspensi Depan Kanan	Bawah depan	Lebar suspensi bawah = 1.100
B1	Steering Gear Box	Tengah depan	Lebar gear box = 606 (tampak depan)
B2	Tie Rod	Kiri & kanan	Panjang tie rod = 600
B3	Steering Column	Tengah	Panjang steering column = 600
C1	Motor Listrik & Gardan	Tengah belakang	Panjang motor = 280
D2	Box Baterai	Tengah belakang	Ukuran Box = T 320, L 350, P 680

Tabel 5. Dimensi Floor Frame Per Komponen

Modul / Komponen	Posisi	Panjang (mm)	Lebar (mm)	Tinggi dari Ground (mm)	Keterangan
FF-01 (Depan)	Area Floor Frame Utama (Depan)	1700 (dari CM-1 s/d CM-7)	1000 (lebar floor tengah)	-	Di atas main rail
FF-02 (Belakang)	Area Belakang	980 (dari CM-7 s/d CM-9)	1000 (lebar floor tengah)	-	Di atas main rail
D2 (Box Baterai)	Tengah Belakang	680 (panjang)	350 (lebar)	Top box $\pm$ 320	Duduk di atas floor frame

Tabel 6. Posisi Sambungan Las penting

Kode	Lokasi / Posisi	Komponen yang Disambung	Tipe Sambungan	Ukuran Las	Keterangan Fungsi
W-01	Main rel belakang (kiri & kanan)	Batang utama belakang dan bracket belakang	Fillet Weld	a = 6 mm	Menutup dan memperkuat sambungan pada bagian belakang rangka
W-02	Cross member (semua) ke main rail	Cross member dengan main rail (9 posisi)	Fillet Weld	a = 6 mm	Menahan beban vertikal baterai dan lantai
W-03	Dudukan motor / gardan ke rangka (kiri & kanan)	Dudukan motor / gardan dengan main rail dan bracing miring	Fillet Weld	a = 6 mm	Menahan torsi dan beban reaksi dari motor/gardan
W-04	Cross member belakang ke main rail	Cross member belakang ke main rail	Fillet Weld	a = 6 mm	Memperkuat area transisi menuju bagian belakang
W-05	Dudukan suspensi belakang ke rangka (kiri & kanan)	Bracket suspensi belakang ke main rail dan cross member	Fillet Weld	a = 6 mm	Menahan beban vertikal dan gaya dinamis suspensi belakang
W-06	Main rel depan (kiri & kanan)	Batang utama depan dan bracket depan	Fillet Weld	a = 6 mm	Mengikat rangka depan, menahan beban bending saat pengereman
W-07	Dudukan suspensi depan ke frame (kiri & kanan)	Bracket suspensi depan ke main rail dan bracing segitiga	Fillet Weld	a = 6 mm	Menahan beban vertikal dan gaya dinamis suspensi depan
W-08	Dudukan steering box ke rangka	Bracket steering box dengan main rail	Fillet Weld	a = 6 mm	Menahan gaya dari sistem kemudi

Dimensi panjang dan lebar keseluruhan prototipe mendekati dimensi dasar Suzuki Carry Futura yang menjadi basis *platform* sasis dan suspensi, sementara tinggi keseluruhan lebih rendah karena prototipe menggunakan konfigurasi rangka atap terbuka tanpa panel body atas yang masif, untuk tampilan desain menggunakan CAD dapat dilihat pada [Gambar 2](#). Jenis sambungan yang diterapkan pada seluruh titik sambungan las kritis sasis ([Tabel 6](#)) adalah *fillet weld* dengan ukuran las $a = 6$ mm, sebagaimana umum digunakan pada penyambungan profil baja pada konstruksi rangka kendaraan yang mengutamakan kekuatan sambungan sekaligus kemudahan proses pengelasan, untuk posisi dan detail sambungan pengelasan yang divisualkan CAD dapat dilihat pada [Gambar 3](#).

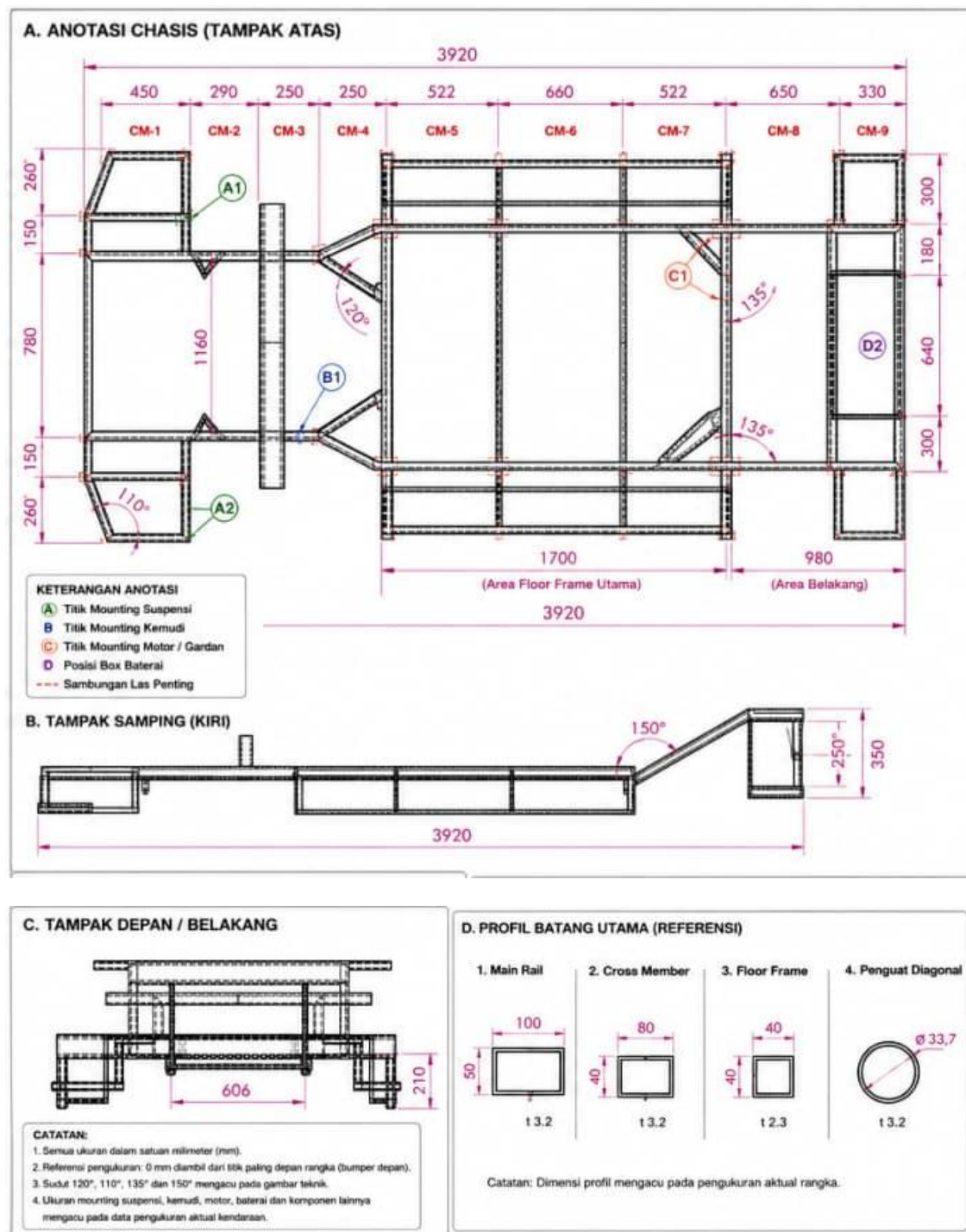
Nilai panjang total sasis (3.920 mm) dan lebar total sasis (1.600 mm) pada [Tabel 2](#) secara berurutan lebih kecil dibandingkan panjang total dan lebar total kendaraan pada [Tabel 1](#), selisih tersebut merepresentasikan bagian overhang depan-belakang serta panel body yang berada di luar struktur rangka utama. Perbedaan lebar batang depan (780 mm) dengan lebar batang tengah dan belakang (1.000 mm) menunjukkan bahwa rangka utama tidak berbentuk persegi penuh, melainkan menyempit pada bagian depan, konfigurasi yang umum dijumpai pada rangka jenis ladder frame untuk mengakomodasi ruang gerak sistem kemudi serta menyesuaikan lebar dudukan suspensi depan, Dan Jarak cross member bervariasi pada desain sasis menyesuaikan kebutuhan dan titik sambungan Pada Main frame sasis.

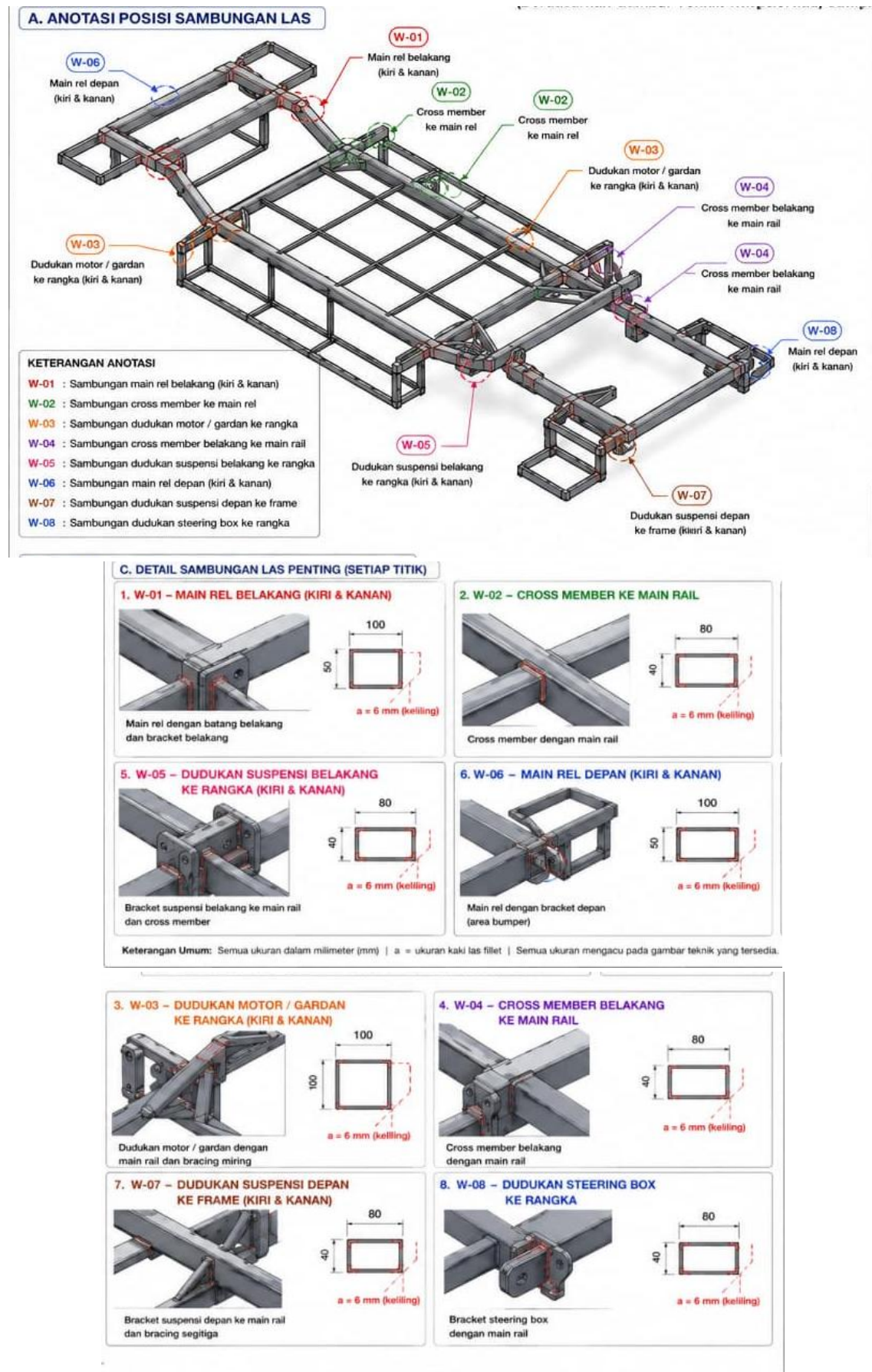
Hasil Pemodelan CAD 3D Sasis

Data pengukuran sasis selanjutnya ditransformasikan menjadi model digital tiga dimensi menggunakan SolidWorks, dimulai dari pemodelan rangka utama, dilanjutkan penyusunan assembly rangka, dan diakhiri verifikasi model terhadap data pengukuran fisik. Model 3D sasis dibuat menggunakan fitur weldment untuk mencakup rangka utama (main frame) serta rangka dudukan lantai (floor frame), sebagaimana disajikan pada [Gambar 4](#) yang menunjukkan sasis kendaraan yang terdiri atas rangkaian profil baja membentuk grid penopang, dilengkapi dengan rangka penyangga pada sisi belakang yang berfungsi sebagai dudukan tambahan komponen serta titik tumpu struktural. Konstruksi rangka grid ini dirancang untuk mendistribusikan beban penumpang dan beban interior secara merata ke seluruh struktur sasis utama.

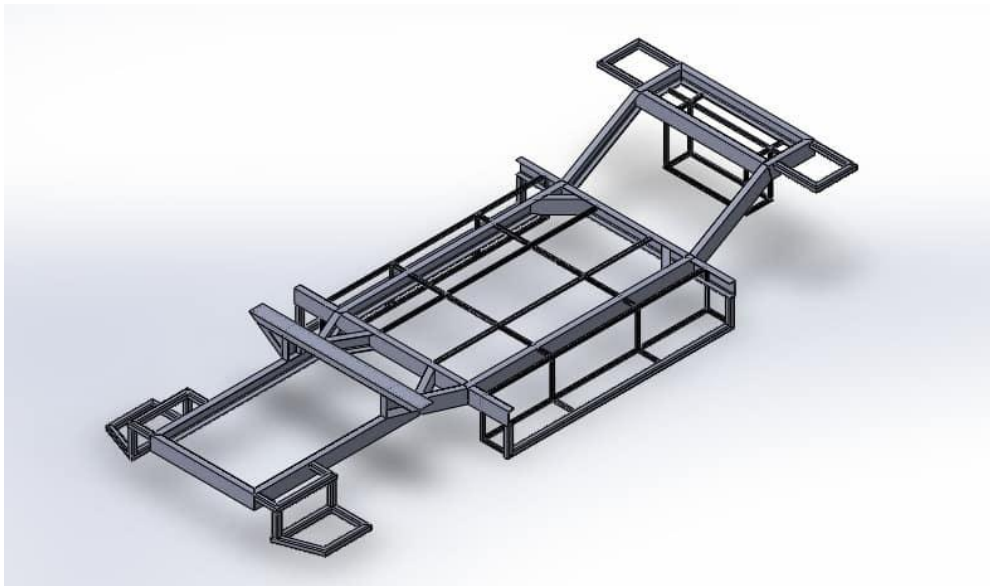
Hasil Engineering Drawing dan Bill of Materials Sasis

Model CAD sasis yang telah diverifikasi selanjutnya dijadikan dasar penyusunan engineering drawing. Sasis digambarkan menggunakan proyeksi ortogonal third-angle yang terdiri atas tampak depan, tampak samping, dan tampak atas, dilengkapi assembly drawing yang menunjukkan posisi relatif rangka utama dan rangka dudukan lantai dalam kondisi terpasang, sebagaimana disajikan pada [Gambar 5](#). Seluruh engineering drawing dievaluasi kesesuaiannya terhadap standar ISO 128 (aturan umum penggambaran teknik) dan ISO 129 (ketentuan dimensioning), mencakup jenis dan ketebalan garis, sistem proyeksi, penempatan dimensi, kelengkapan title block, serta skala gambar. Hasil evaluasi menunjukkan bahwa seluruh aspek yang dinilai telah memenuhi ketentuan kedua standar tersebut, sehingga engineering drawing sasis yang dihasilkan dinilai layak digunakan sebagai dokumen acuan teknis. Verifikasi model CAD sasis dilakukan dengan membandingkan dimensi kritis model digital terhadap hasil pengukuran fisik pada [Tabel 7](#) dengan gambar teknik.

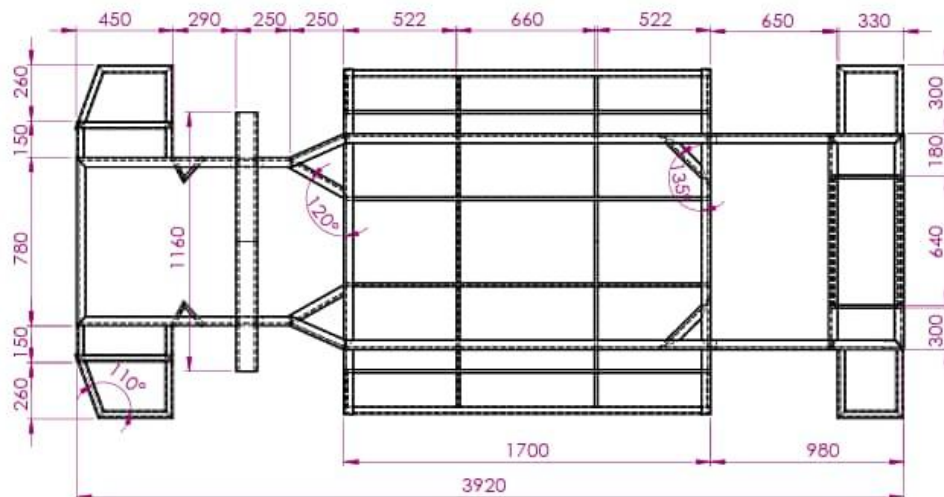
Gambar 2. Desain sasis prototipe *shuttle bus* listrik UNP



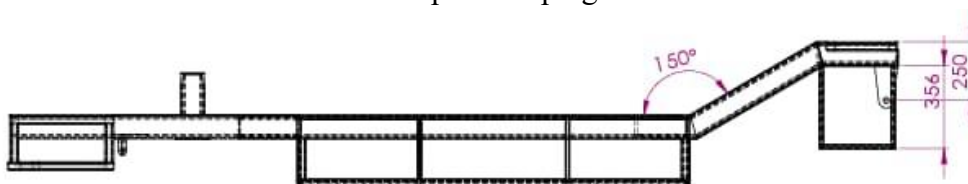
Gambar 3. Posisi dan detail sambungan pengelasan

Gambar 4. Model 3D sasis *shuttle bus*

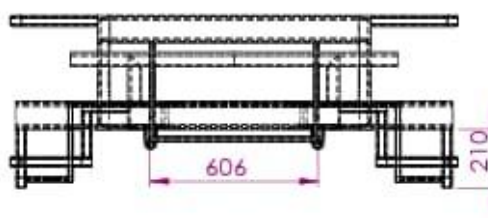
Tampak Atas



Tampak Samping



Tampak Depan



Gambar 5. Proyeksi Ortogonal Sasis Kendaraan (Tampak Depan, Samping, dan Atas)

Tabel 7. Perbandingan hasil pengukuran dengan gambar teknik

No	Parameter	Hasil Ukur	CAD	Deviasi	Persentase (%)
1	Panjang Total	3.920 mm	3.920 mm	0	0
2	Lebar Batang tengah	1.600 mm	1.600 mm	0	0
3	Lebar batang Depan	780 mm	780 mm	0	0
4	Lebar batang belakang	1.000 mm	1.000 mm	0	0
5	Panjang depan	1240 mm	1.240 mm	0	0
6	Panjang tengah	1700 mm	1.700 mm	0	0
7	Panjang belakang	980 mm	980 mm	0	0

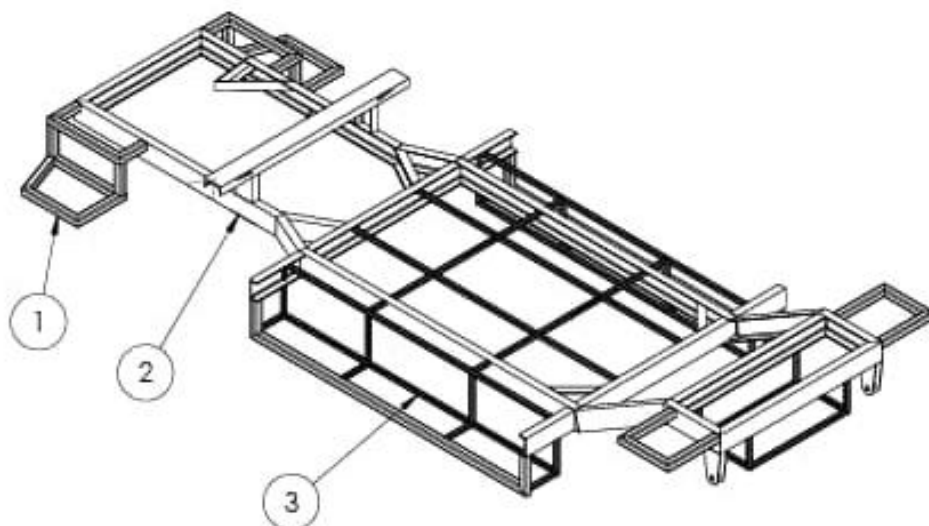
Hasil verifikasi menunjukkan deviasi 0% pada seluruh parameter dimensi kritis sasis yang dibandingkan, jauh di bawah ambang batas toleransi $\pm 2\%$ yang ditetapkan. Nilai deviasi 0% ini konsisten dengan prosedur pemodelan yang digunakan, yaitu dimensi model CAD diinput langsung berdasarkan hasil pengukuran fisik pada [Tabel 2](#), sehingga hasil pada [Tabel 8](#) lebih tepat dimaknai sebagai bukti kesesuaian antara data pengukuran dengan nilai yang diterapkan pada model CAD (ketelitian transkripsi dan proses pemodelan), bukan sebagai validasi independen terhadap akurasi geometris sasis secara keseluruhan.

Tabel 8. Kesesuaian gambar dengan standar acuan

No	Aspek yang di evaluasi	Standar acuan	Status	Keterangan
1	Jenis dan ketebalan garis	ISO 128	sesuai	Garis objek digambar tebal-kontinu, sesuai konvensi jenis garis pada ISO 128
2	Sistem proyeksi	ISO 128	sesuai	Seluruh gambar teknik menggunakan third-angle projection secara konsisten
3	Penempatan dan format dimensi	ISO 129	sesuai	Garis ukur, garis bantu, dan anak panah dimensi ditempatkan tanpa tumpang tindih; satuan dan skala dimensi seragam pada seluruh gambar
4	Skala gambar	ISO 128	sesuai	Setiap gambar memiliki skala yang sama

Bill of Materials (BOM) sasis disusun dengan struktur multi level hierarkis, mengelompokkan komponen berdasarkan sub-rakitan penyusun sasis, yaitu rangka utama (main frame) dan rangka dudukan lantai (floor frame). Setiap jenis bahan dilengkapi nomor part unik, jumlah kebutuhan, jenis material, serta referensi file CAD dan nomor gambar teknik terkait, sehingga BOM juga berfungsi sebagai indeks yang menghubungkan seluruh dokumen teknis sasis. Rekapitulasi jumlah komponen sasis disajikan pada [Gambar 6](#).

ITEM NO	PART NUMBER	DESCRIPTION	LENGHT	QTY.
1	FRAME 1	HOLLOW 40 X 40	10090 mm	2
2	FRAME 2	HOLLOW 20 X 20	16960 mm	3
3	FRAME 3	UNP 80 X40	16230 mm	3



NO PART	NAMA KOMPONEN	KOMPONEN	MATERIAL	PANJANG TOTAL	SATUAN	JUMLAH	STATUS	KETERANGAN
CH 01	CHASIS		AISI 1010 DAN 1020	43280	MM	8	MAKE	PERAKITAN YANG DILAKUKAN DENGAN PENGELASAN MMA
FRAME 1	HOLOW	40X40 MM	AISI 1010	10090	MM	2	BUY	-
FRAME 2	UNP	80X40 MM	AISI 1020	16230	MM	3	BUY	-
FRAME 3	HOLOW	20X20 MM	AISI 1010	16960	MM	3	BUY	-

Gambar 6. Bill of Material

Hasil Validasi Ahli Eksternal

Hasil validasi oleh Dr. Dori Yuvenda, S.Pd., M.T. (dosen Teknik Mesin UNP, bidang keahlian Rekayasa Konversi Energi) terhadap dokumentasi teknis sasis (model CAD, engineering drawing, dan BOM) disajikan pada Tabel 9. Skor rata-rata keseluruhan sebesar 3,42 dari skala 1–4 menunjukkan bahwa dokumentasi berada pada kategori Baik/Layak, dengan skor tertinggi pada aspek Model CAD (3,67) yang mengindikasikan struktur assembly dan deviasi dimensi model dinilai sangat baik, sementara aspek Gambar Teknik, BOM, serta Kesesuaian dan Kebermanfaatan Dokumentasi masing-masing memperoleh skor 3,33.

Tabel 9. Ringkasan Hasil Validasi Ahli Eksternal

Aspek Penilaian	Skor Rata-rata	Kategori
Model CAD (Model 3D)	3,67	Baik/Layak
Gambar Teknik (Engineering Drawing)	3,33	Baik/Layak
Bill of Materials (BOM)	3,33	Baik/Layak
Kesesuaian dan Kebermanfaatan Dokumentasi	3,33	Baik/Layak
Rata-rata Keseluruhan (12 butir)	3,42	Baik/Layak

Validator menyimpulkan dokumentasi “layak digunakan dengan revisi (sesuai catatan)”, dengan lima catatan perbaikan: (1) memeriksa kembali kesesuaian proporsi model CAD terhadap kondisi prototipe fisik yang sebenarnya; (2) menyesuaikan garis pada gambar teknik dengan garis sumbu sesuai kaidah gambar teknik; (3) melengkapi dan memperjelas pemberian dimensi pada gambar teknik; (4) melengkapi keterangan jenis material yang digunakan; serta (5) mencantumkan jenis sambungan yang digunakan. Catatan (4) dan (5) telah diakomodasi pada dokumentasi ini, masing-masing melalui identifikasi jenis profil dan material pada [Gambar 6](#) dan penambahan keterangan jenis sambungan las pada bagian Hasil Pengukuran dan Dokumentasi Sasis Prototipe. Catatan (1), (2), dan (3) memerlukan pembaruan langsung pada berkas model CAD dan gambar teknik di luar cakupan revisi naskah ini, sehingga ditetapkan sebagai keterbatasan penelitian dan agenda tindak lanjut sebagaimana diuraikan pada bagian Kesimpulan dan Saran.

Pembahasan

Ditinjau dari tahap pengumpulan data, metode pengukuran langsung terbukti efektif untuk mendokumentasikan geometri sasis prototipe, sebagaimana ditunjukkan oleh seluruh hasil verifikasi dimensi yang berada di bawah ambang batas $\pm 2\%$. Hal ini sejalan dengan pandangan bahwa pengukuran manual menggunakan caliper, mikrometer, dan pita ukur relatif sederhana namun tetap efektif untuk mengukur dimensi utama dan fitur geometris yang mudah diakses, khususnya pada objek dengan geometri yang tidak terlalu kompleks seperti sasis *shuttle bus* [\[24\]](#). Penggunaan data spesifikasi Suzuki Carry Futura sebagai pembanding turut memperkuat validitas hasil pengukuran dimensi keseluruhan kendaraan pada [Tabel 1](#), mengingat *platform* sasis dan sistem suspensi-kemudi prototipe mengadopsi *platform* donor tersebut.

Pada tahap pemodelan, tingkat akurasi model CAD sasis yang tinggi terhadap prototipe fisik menunjukkan bahwa pendekatan pemodelan bertahap-mulai dari rangka utama hingga assembly rangka dudukan lantai-efektif dalam menjaga konsistensi dan ketelusuran data hasil reverse engineering. Keberhasilan pemeriksaan interferensi assembly sasis turut merepresentasikan salah satu bentuk verifikasi desain, sebagaimana ditekankan bahwa pemeriksaan kelayakan rakitan kendaraan dapat dilakukan melalui pemeriksaan interferensi antar komponen tanpa harus selalu melibatkan pembuatan physical mockup [\[18\]](#).

Pada tahap pembuatan dokumentasi teknis, pemenuhan standar ISO 128 dan ISO 129 pada engineering drawing sasis menjadi penting agar dokumentasi dapat dipahami secara konsisten oleh berbagai pihak yang berkepentingan [\[20\]](#). BOM sasis dengan struktur multi level hierarkis yang disusun terbukti mampu merepresentasikan struktur rangka utama dan rangka dudukan lantai secara sistematis dan berfungsi sebagai indeks dokumentasi yang mengintegrasikan seluruh dokumen teknis sasis, sejalan dengan pandangan bahwa format tersebut paling representatif untuk menggambarkan arsitektur produk yang kompleks [\[21\]](#) serta didukung oleh kelengkapan informasi identifikasi komponen dan spesifikasi material [\[22\]](#).

Ditinjau dari aspek material, konstruksi rangka menggunakan baja profil yang dilas konsisten dengan praktik umum penggunaan mild steel pada sasis kendaraan niaga dan bus, mengingat kemampuan las yang baik, kekuatan yang memadai untuk menahan beban

operasional, biaya yang relatif rendah, serta ketersediaan material yang luas [13]. Penggunaan baja berkekuatan tinggi (High Strength Low Alloy/HSLA) pada bagian-bagian kritis sasis berpotensi menjadi pertimbangan lanjutan apabila pengurangan bobot struktur menjadi prioritas, mengingat massa kendaraan berpengaruh langsung terhadap efisiensi energi kendaraan listrik [15], sementara alternatif material aluminium menawarkan bobot yang jauh lebih ringan namun memerlukan teknik pengelasan khusus dan biaya manufaktur yang lebih tinggi [14]. Dari aspek kekakuan struktural, sasis idealnya mempertimbangkan kekakuan lentur dan kekakuan torsi sebagai parameter utama, disertai optimasi bobot untuk meningkatkan efisiensi kendaraan [12], sehingga model CAD sasis yang dihasilkan pada penelitian ini dapat dijadikan basis bagi analisis kekakuan tersebut pada penelitian lanjutan.

Dokumentasi CAD, engineering drawing, dan BOM sasis yang dihasilkan memberikan dasar teknis yang dapat dimanfaatkan untuk berbagai keperluan pengembangan lanjutan, seperti analisis kekuatan struktur menggunakan metode elemen hingga (Finite Element Analysis/FEA) maupun analisis aerodinamika menggunakan Computational Fluid Dynamics (CFD), yang umum tersedia pada *platform* CAD modern [19], [27]. Lebih jauh, tersedianya dokumentasi desain digital sasis yang komprehensif menjawab permasalahan mendasar yang melatarbelakangi penelitian ini, yaitu belum tersedianya dokumentasi teknis berbasis CAD untuk struktur rangka prototipe *shuttle bus* listrik UNP, sehingga pengetahuan teknis mengenai desain sasis tidak lagi bergantung pada keberadaan prototipe fisik maupun individu yang terlibat dalam pembangunan awal prototipe, dan turut mendukung kontinuitas pengembangan teknologi kendaraan listrik di lingkungan kampus.

Deviasi dimensi model CAD terhadap pengukuran fisik yang berada pada 0% mengindikasikan bahwa proses pemodelan telah mentranskripsikan hasil pengukuran ke dalam model CAD secara akurat, sehingga model CAD sasis yang dihasilkan dapat diandalkan sebagai representasi digital dari dimensi yang terukur; nilai ini bukan merupakan bukti validasi independen terhadap akurasi geometris sasis terhadap objek fisik secara keseluruhan, melainkan indikator ketelitian proses input dan pemodelan. Deviasi ini juga berpotensi terakumulasi apabila direplikasi pada komponen bersambung seperti rangka utama dan rangka dudukan lantai, sehingga verifikasi ulang pada titik sambungan kritis tetap disarankan sebelum replikasi skala penuh dilakukan. Metode pengukuran manual menggunakan meteran dan jangka sorong, yang digunakan pada penelitian ini memiliki keterbatasan berupa potensi human error pada pembacaan skala serta keterbatasan jangkauan alat ukur konvensional pada area yang sulit diakses, sehingga hasil pengukuran pada bagian tersebut perlu diperlakukan dengan tingkat kehati-hatian lebih tinggi dibandingkan bagian rangka yang mudah diakses. Model CAD sasis yang telah diverifikasi pada penelitian ini juga berpotensi dimanfaatkan sebagai basis analisis elemen hingga (Finite Element Analysis/FEA) untuk mengevaluasi distribusi tegangan pada titik sambungan las, maupun sebagai dasar optimasi struktur untuk pengurangan bobot rangka, sehingga akurasi geometris yang telah dicapai pada tahap dokumentasi ini menjadi prasyarat penting bagi validitas hasil analisis tersebut pada penelitian lanjutan.

Beberapa saran diajukan untuk pengembangan penelitian selanjutnya. Pertama, dokumentasi CAD sasis yang dihasilkan disarankan untuk dimanfaatkan lebih lanjut

sebagai basis analisis kekuatan struktur menggunakan metode elemen hingga (FEA), khususnya untuk mengevaluasi distribusi tegangan pada titik sambungan las antara rangka utama dan rangka dudukan lantai. Kedua, penelitian lanjutan disarankan untuk melengkapi dokumentasi desain komponen kendaraan lain yang belum dibahas dalam artikel ini, yaitu body, sistem suspensi, sistem kemudi, dan interior, sehingga dokumentasi CAD kendaraan *shuttle bus* listrik UNP dapat tersusun secara utuh sebagai satu kesatuan sistem. Ketiga, penggunaan metode pengukuran berbantuan teknologi seperti 3D scanning atau photogrammetry dapat dipertimbangkan pada penelitian selanjutnya untuk mempercepat proses akuisisi data pada titik sambungan rangka yang sulit dijangkau. Keempat, mengingat validasi eksternal pada penelitian ini baru melibatkan satu orang validator, penelitian lanjutan disarankan untuk melibatkan validator tambahan dari kalangan ahli CAD atau praktisi manufaktur guna memperkuat kelayakan dokumen untuk keperluan replikasi atau fabrikasi. Kelima, catatan validator eksternal terkait penyesuaian garis gambar dengan garis sumbu serta kelengkapan pemberian dimensi pada engineering drawing perlu segera ditindaklanjuti melalui pembaruan berkas CAD/gambar teknik sebelum dokumentasi direplikasi atau difabrikasi. Keenam, pengujian kekakuan sasis secara eksperimental, sebagaimana pernah dilakukan pada kendaraan listrik prototipe sejenis [28], disarankan sebagai tindak lanjut untuk melengkapi analisis elemen hingga (FEA) yang direncanakan pada model CAD hasil penelitian ini.

SIMPULAN

Berdasarkan temuan dan pembahasan penelitian, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut: (1) Model CAD 3D sasis yang dihasilkan, mencakup rangka utama (main frame) dan rangka dudukan lantai (floor frame), menunjukkan deviasi 0% terhadap hasil pengukuran fisik pada seluruh parameter yang diverifikasi, jauh di bawah ambang batas toleransi $\pm 2\%$; nilai ini mengindikasikan ketelitian proses transkripsi data pengukuran ke dalam model CAD, dan bukan merupakan bukti validasi independen terhadap akurasi geometris sasis secara keseluruhan; (2) Engineering drawing sasis yang dihasilkan berupa proyeksi ortogonal tampak depan, tampak samping, dan tampak atas telah memenuhi standar ISO 128 dan ISO 129; (3) Bill of Materials (BOM) sasis yang disusun mengidentifikasi 3 jenis profil baja sebagai material penyusun sistem sasis, yaitu besi hollow 4x4, besi hollow 2x2, dan besi UNP 8x4. Ketiga dokumen teknis tersebut secara bersama-sama membentuk satu kesatuan dokumentasi sasis yang dapat dijadikan acuan bagi pengembangan, perbaikan, maupun replikasi struktur rangka kendaraan di masa mendatang, sekaligus menjawab kesenjangan dokumentasi teknis sasis yang menjadi latar belakang penelitian ini. Perlu ditegaskan bahwa hasil penelitian ini merupakan dokumentasi geometris teknis sasis dan belum dapat digunakan untuk menyimpulkan kelayakan struktural sasis, mengingat penelitian ini tidak mencakup analisis elemen hingga (FEA), pengujian kekuatan, pengujian beban, torsi, maupun lentur secara eksperimental. Selain review internal, kelayakan dokumentasi ini turut dikonfirmasi oleh validasi ahli eksternal (Dr. Dori Yuvenda, S.Pd., M.T., bidang keahlian Rekayasa Konversi Energi) yang menghasilkan skor rata-rata 3,42 dari skala 1–4 (kategori Baik/Layak) dengan simpulan “layak digunakan dengan revisi (sesuai catatan)”.

DAFTAR RUJUKAN

- [1] C. D. W. Putri, K. S. N. Hayati, I. W. O. Widitya, M. H. Ramadhani, D. W. Nurdiansyah, A. K. Sanjaya, M. K. Fuadi, and R. H. Afanin, “Penggunaan kendaraan listrik terhadap pengurangan emisi karbon di Indonesia,” *Jurnal Angka*, vol. 2, no. 1, 2025.
- [2] L. P. Faizhata and K. Huda, “Tinjauan mini: Perkembangan teknologi dan tantangan mobil listrik dalam dekade terakhir,” *Panthera: J. Ilm. Pendidik. Sains dan Terap.*, vol. 5, no. 3, pp. 854–862, 2025, doi: 10.36312/panthera.v5i3.609.
- [3] A. I. Nur and A. D. Kurniawan, “Proyeksi masa depan kendaraan listrik di Indonesia: Analisis perspektif regulasi dan pengendalian dampak perubahan iklim yang berkelanjutan,” *J. Huk. Lingkung. Indones.*, vol. 7, no. 2, pp. 197–220, 2021, doi: 10.38011/jhli.v7i2.260.
- [4] C. Effendi and M. Mardiana, “Peran universitas dalam mendukung pencapaian SDGs,” *J. Account., Finance, Tax. Audit. (JAFTA)*, vol. 6, no. 1, 2024, doi: 10.28932/jafta.v6i1.8695.
- [5] R. Anastasya and S. B. Putri, “SDGs 7: Efektivitas program penggunaan bus listrik guna mendorong transportasi publik ramah lingkungan,” *J. Environ. Econ. Sustain.*, vol. 1, no. 3, p. 13, 2024, doi: 10.47134/jees.v1i3.343.
- [6] M. F. Sari, E. T. Al-Hanif, M. G. B. Wicaksana, T. Nurcahyono, A. J. Berliana, and O. K. Sabikoh, “The relevance of campus transportation shuttle to the realization of green economy and conservation of Universitas Negeri Semarang,” *J. Reg. Rural Dev. Plan.*, vol. 9, no. 2, pp. 209–226, 2025, doi: 10.29244/jp2wd.2025.9.2.209-226.
- [7] B. E. R. Ellyandrew and N. Setiyawati, “Perancangan 3D printer dan implementasi IoT menggunakan smartphone Android sebagai host server,” *JIPi: J. Ilm. Penelit. dan Pembelajaran Inform.*, vol. 10, no. 3, pp. 2090–2103, 2025, doi: 10.29100/jipi.v10i3.6354.
- [8] R. Yazid, “Modifikasi komponen cover handle pintu mobil dengan metode pemasangan plug,” B.S. thesis, Univ. Islam Indonesia, Yogyakarta, Indonesia, 2024.
- [9] A. A. G. Putra and S. Ramdhani, “Desain ergonomis alat pemotong tahu berbasis pneumatik menggunakan reverse engineering untuk mengurangi kelelahan kerja pada industri skala kecil,” *J. Integrasi Sist. Ind.*, vol. 12, no. 2, pp. 259–272, 2025, doi: 10.24853/jisi.12.2.259-272.
- [10] A. Wibowo, *Manajemen Transformasi Digital Industri 4.0*. Semarang, Indonesia: Penerbit Yayasan Prima Agus Teknik, 2025.
- [11] I. S. Wahyudi, Kosjoko, and N. A. Mufarida, “Desain dan analisis kekuatan model ladder frame dengan bahan baja AISI 1015, 1018, 1020,” *R.E.M. Rekayasa Energi Manuf. J.*, vol. 9, no. 2, pp. 71–80, 2024, doi: 10.21070/r.e.m.v9i2.1703.
- [12] D. Satrijo, A. Dwiyanto, T. Prahasto, A. Widodo, and O. Kurdi, “Analisis torsional stiffness chassis untuk kendaraan last-mile transportation menggunakan metode elemen hingga,” in *Pros. Simp. Nas. Rekayasa Apl. Peranc. dan Ind.*, 2021, pp. 215–222.
- [13] A. A. Alit Triadi, T. Rachmanto, I. M. Mara, I. G. N. K. Yudhyadi, and N. Kaliwanto, “Perancangan chasis kendaraan listrik Universitas Mataram,” *Energy Mater. Prod. Des.*, vol. 2, no. 1, pp. 93–98, 2023.
- [14] D. Rahayu, “Efek proses quenching dan partitioning terhadap sifat mekanik dan

- struktur mikro pada baja HSLA,” B.S. thesis, Fakultas Teknik, Univ. Sultan Ageng Tirtayasa, Banten, Indonesia, 2025.
- [15] L. Ulfiyah and M. Fathorrozi, “Analisis paduan Al dan Cu untuk material chassis kendaraan,” *ELEMEN: J. Tek. Mesin*, vol. 7, no. 1, pp. 17–22, 2020, doi: 10.34128/je.v7i1.112.
- [16] J. A. Kiawan and I. Syafaat, “Analisis beban statis chassis ladder frame MB OH menggunakan software CAD,” in *Pros. Semin. Nas. Sains dan Teknol.*, vol. 15, no. 1, pp. 300–305, 2025, doi: 10.36499/psnst.v15i1.14859.
- [17] T. P. N. Sahabman, “Pemodelan implan pengganti tulang lutut (TKR) 3D dengan metode rekayasa terbalik berbantuan pemindai tomografi komputer dan boundary surface,” M.S. thesis, Univ. Lampung, Bandar Lampung, Indonesia, 2023.
- [18] E. B. Kurniawan and A. G. Wailanduw, “Analisis struktur pada desain chassis mobil listrik roda tiga menggunakan metode elemen hingga,” *J. Tek. Mesin*, vol. 14, no. 1, 2025.
- [19] R. N. A. Kurniawan, D. Romahadi, and M. Fitri, “Implementasi metode elemen hingga menggunakan Solidworks untuk mengoptimalkan desain pelek depan sepeda motor tipe casting wheel,” *J. Tek. Mesin*, vol. 12, no. 2, pp. 96–106, 2023, doi: 10.22441/jtm.v12i2.16676.
- [20] Thoharudin, C. Budiyanoro, Sunardi, M. B. N. Rahman, F. A. K. Yudha, and J. W. Joharwan, “Pelatihan gambar teknik standar ISO menggunakan Solidworks bagi guru sekolah menengah kejuruan,” *JMM: J. Masy. Mandiri*, vol. 7, no. 4, pp. 3984–3994, 2023, doi: 10.31764/jmm.v7i4.15387.
- [21] S. S. T. Utomo, Pratikto, P. B. Santoso, and Sugiono, “Alternatif penerapan teknologi informasi dalam penentuan supplier industri manufaktur berbasis BoM dan GT,” Ph.D. dissertation, Univ. Brawijaya, Malang, Indonesia, 2021.
- [22] M. A. Muflikhun, B. Arifvianto, M. Mahardika, and U. A. Salim, *Metrologi dalam Industri Manufaktur*. Yogyakarta, Indonesia: UGM Press, 2022, ISBN 978-623-359-064-8.
- [23] F. Tamimi, “Perancangan chassis/rangka pada kendaraan mobil listrik,” B.S. thesis, Fakultas Teknik, Univ. Medan Area, Medan, Indonesia, 2025.
- [24] E. T. Astuti, E. Mahendrawan, I. Solihat, E. H. Sutopo, and A. D. Setyowati, “Pelatihan pembacaan alat ukur dimensi jangka sorong dan mikrometer skrup untuk pengukuran teknik di SMK Sasmita Jaya 2, Pamulang Barat, Kota Tangerang Selatan,” *Garda J. Pengabd. Kpd. Masy.*, vol. 1, no. 2, pp. 7–16, 2021.
- [25] Z. A. Pratama and D. Sukma, “Metodologi perancangan layanan teknologi informasi menggunakan kombinasi design research methodology dan system engineering,” *J. POLEKTRO: J. Power Elektron.*, vol. 12, no. 3, pp. 180–187, 2023, doi: 10.30591/polektro.v12i3.6040.
- [26] A. W. Aditya, “Pengelasan bimetal material baja AISI 1040 dan baja AISI 1020 menggunakan metode shielded metal arc welding dengan elektroda AWS E 7016,” B.S. thesis, Univ. Lampung, Bandar Lampung, Indonesia.
- [27] A. P. Rangga, “Analisis aerodinamika body mobil listrik dengan metode computational fluid dynamic (CFD) pada variasi frontal area dan kecepatan aliran udara menggunakan software ANSYS Fluent,” B.S. thesis, Univ. Malikussaleh,

Aceh, Indonesia, 2024.

- [28] A. M. Faris, “TA: Proses pembuatan dan pengujian kekakuan chassis mobil listrik KMLI,” B.S. thesis, Institut Teknologi Nasional Bandung, Bandung, Indonesia, 2020.