

Rancang Bangun Teknik Pembuatan Bodi Mobil Listrik *Shuttle bus Kampus*

Affandi Ahmad¹, Dwi Sudarno Putra^{1*}, M. Yasep Setiawan¹, Khaznel Khairat¹,
Agus Baharudin¹

¹Departemen Teknik Otomotif, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Padang
Jln. Prof. Dr. Hamka Air Tawar, Padang, Sumatera Barat, Indonesia

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

(Diajukan: 25 Agustus 2025, direvisi: 8 Desember 2025, disetujui: 10 Januari 2026, dipublikasikan: 15 Januari 2026)

Abstrak

Perubahan iklim dan tingginya emisi sektor transportasi mendorong penerapan kendaraan listrik, termasuk *shuttle bus* listrik kampus. Departemen Teknik Otomotif Universitas Negeri Padang (UNP) telah mengembangkan prototipe *shuttle bus* listrik, namun proses pembuatan bodinya belum terdokumentasi secara sistematis. Penelitian ini bertujuan merancang, membangun, menguji kelayakan, dan mengevaluasi efektivitas teknik pembuatan bodi tersebut menggunakan metode *Research and Development* (R&D) model *Borg and Gall* yang disederhanakan menjadi empat tahap: studi pendahuluan, perancangan, pengembangan produk, dan evaluasi/validasi. Bodi dibangun dari rangka baja *hollow* (pengelasan SMAW) dan panel *fiberglass* (*hand lay-up*), diselesaikan dengan pengecatan urethane. Hasil validasi ahli menunjukkan kelayakan keseluruhan 83,33% (kategori Sangat Layak, berdasarkan penilaian satu evaluator ahli), tertinggi pada aspek struktural (86,11%) dan terendah pada estetika (75,00%). Evaluator menyatakan produk layak digunakan dengan revisi pada aspek estetika, khususnya desain depan dan skema warna. Ditinjau dari kesesuaiannya dengan kapasitas peralatan bengkel pendidikan serta capaian pada indikator efektivitas teknik fabrikasi (88,89%), teknik pembuatan yang diterapkan menunjukkan potensi untuk direplikasi mahasiswa dalam pembelajaran berbasis proyek.

Kata Kunci: rancang bangun; bodi kendaraan listrik; fabrikasi; *fiberglass*; *shuttle bus*.

Abstract

Climate change and rising transportation emissions have driven adoption of electric vehicles, including campus electric shuttle buses. The Automotive Engineering Department of Universitas Negeri Padang (UNP) developed an electric shuttle bus prototype, yet its body fabrication process was undocumented. This study aims to design, build, test the feasibility of, and evaluate the effectiveness of the fabrication technique, using a simplified four-stage Borg and Gall R&D model: preliminary study, design, product development, and evaluation/validation. The body combines a hollow steel frame (SMAW welding) with fiberglass panels (hand lay-up), finished with urethane painting. Expert validation showed an overall feasibility of 83.33% (Highly Feasible category, based on a single expert evaluator), highest on the structural aspect (86.11%) and lowest on aesthetics (75.00%). The evaluator deemed the product feasible with revisions to the aesthetic aspect, particularly the front design and color scheme. Given its compatibility with the educational workshop's equipment capacity and the fabrication-technique-effectiveness score (88.89%), the applied technique shows potential for independent replication by students in project-based learning.

Keywords: design and development; electric vehicle body; fabrication; *fiberglass*; *shuttle bus*.

PENDAHULUAN

Perubahan iklim telah memberikan dampak nyata terhadap lingkungan dan kehidupan masyarakat [1]–[3]. Sektor transportasi merupakan salah satu kontributor penting terhadap emisi GRK [2]. Sebagai respons atas tantangan tersebut, Kementerian Perhubungan Republik Indonesia mendorong dekarbonisasi transportasi melalui elektrifikasi kendaraan [4], meskipun pengembangan kendaraan listrik di Indonesia masih menghadapi tantangan berupa besarnya biaya produksi dan keterbatasan infrastruktur pendukung [5]. Dalam konteks perguruan tinggi, penyediaan kendaraan operasional berpenggerak motor listrik dinilai mampu mendukung mobilitas kampus yang efisien sekaligus menekan emisi karbon, sebagaimana telah diterapkan pada perancangan kendaraan kampus di perguruan tinggi lain [6]. Departemen Teknik Otomotif Universitas Negeri Padang (UNP) telah mengembangkan prototipe *shuttle bus* listrik sebagai wujud penerapan pembelajaran berbasis proyek (*Project-Based Learning*/PjBL), pendekatan yang terbukti efektif meningkatkan keterampilan abad ke-21 dan kompetensi peserta didik dalam pendidikan vokasi [7], [8].

Meskipun prototipe telah berhasil dikembangkan, kajian teknis yang komprehensif dan terdokumentasi mengenai proses pembuatan bodinya belum tersedia. Proses pembuatan bodi masih dilakukan secara manual/semi-manual tanpa dokumentasi sistematis, sementara jenis material, tahapan produksi, serta kelebihan dan kekurangan teknik yang diterapkan belum pernah dikaji [9]. Kebaruan penelitian ini terletak pada dokumentasi teknis rancang bangun bodi *shuttle bus* listrik berbasis kombinasi rangka baja *hollow* dan panel *fiberglass* secara sistematis dalam konteks bengkel pendidikan, yang belum tersedia pada penelitian-penelitian rancang bangun bodi kendaraan listrik sejenis [10].

Kebutuhan penyediaan moda transportasi kampus berbasis listrik ini diperkuat oleh temuan bahwa penerapan bus listrik di lingkungan kampus terbukti meningkatkan efisiensi operasional sekaligus mendukung target keberlanjutan institusi pendidikan tinggi [11], sebagaimana juga ditemukan pada penerapan serupa di berbagai universitas yang mengadopsi bus listrik sebagai bagian dari strategi mobilitas berkelanjutan [12]. Meskipun demikian, keberhasilan pengembangan purwarupa kendaraan listrik di lingkungan pendidikan vokasi kerap tidak diiringi pendokumentasian teknis yang memadai, sehingga pengetahuan mengenai pemilihan material, parameter fabrikasi, dan evaluasi [13] kelayakan produk cenderung tersimpan secara tatap pada individu pelaksana dan sulit direplikasi oleh mahasiswa maupun peneliti berikutnya [14]. Kondisi inilah yang mengukuhkan urgensi dilakukannya rancang bangun sekaligus dokumentasi teknis yang sistematis terhadap bodi *shuttle bus* listrik UNP, agar proses dan capaian yang telah dihasilkan dapat diverifikasi, direplikasi, dan menjadi acuan bagi pengembangan kendaraan listrik serupa di institusi pendidikan lain [15].

Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk: (1) merancang teknik pembuatan bodi yang meliputi pemilihan material, tahapan fabrikasi, dan proses *finishing*; (2) membangun bodi melalui proses rancang bangun yang sistematis; (3) menguji kelayakan produk berdasarkan aspek fungsional, struktural, dan estetika; serta (4) mengevaluasi efektivitas teknik pembuatan yang diterapkan.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan penelitian dan pengembangan (*Research and Development/R&D*) dengan produk berupa bodi mobil listrik *shuttle bus* UNP beserta dokumentasi teknis rancang bangunnya. Model R&D yang digunakan adalah model *Borg and Gall* yang disederhanakan menjadi empat tahap utama [6], yaitu: (1) studi pendahuluan, (2) perancangan (*design*), (3) pengembangan dan pembuatan produk (*development*), dan (4) evaluasi dan validasi produk. Penelitian dilaksanakan di Bengkel Program Studi Teknik Otomotif, Departemen Teknik Otomotif, Fakultas Teknik UNP. Perlu ditegaskan bahwa prototipe bodi *shuttle bus* listrik UNP telah selesai dibangun sebelum penelitian dilaksanakan, sehingga keempat tahap R&D di sini merupakan dokumentasi teknis dan evaluasi produk jadi (bukan rancang bangun penuh dari tahap konseptual), yakni penyusunan ulang dan sistematisasi proses yang telah dilaksanakan sebelumnya oleh tim mahasiswa dan teknisi bengkel.

Kerangka berfikir penelitian ini menghubungkan tuntutan transisi transportasi kampus yang rendah emisi [16] dengan kondisi bahwa prototipe bodi *shuttle bus* listrik UNP telah selesai dibangun namun belum memiliki dokumentasi teknis rancang bangun yang sistematis. Kesenjangan inilah yang mendasari pemilihan pendekatan R&D model Borg and Gall yang disederhanakan menjadi empat tahap, di mana keempat tahap tersebut diarahkan bukan untuk merancang produk baru, melainkan untuk merekonstruksi, mendokumentasikan, dan mengevaluasi produk yang telah ada secara sistematis [17]. Dengan demikian, alur berfikir penelitian bergerak dari identifikasi kebutuhan dokumentasi teknis pada tahap studi pendahuluan, menuju penyusunan ulang proses rancang bangun berdasarkan kajian aspek fungsional, struktural, dan estetika bodi kendaraan pada tahap perancangan dan pengembangan, hingga evaluasi kelayakan produk oleh ahli sebagai bentuk validasi pada tahap akhir.

Subjek penelitian meliputi satu evaluator ahli di bidang teknik bodi dan pengecatan kendaraan, serta dua narasumber wawancara yaitu teknisi bengkel dan mahasiswa pelaksana proyek. Penggunaan satu evaluator ahli mempertimbangkan keterbatasan sumber daya pada penelitian skala prototipe di bengkel pendidikan; evaluator dipilih karena memiliki pengalaman langsung dan kompetensi teknis pada bidang bodi dan pengecatan kendaraan yang relevan dengan objek penelitian, sedangkan aspek struktural dan material dinilai melalui triangulasi dengan observasi, wawancara teknisi, dan kajian literatur sebagaimana dijelaskan pada bagian Validitas Instrumen. Pengumpulan data menggunakan empat teknik yang saling melengkapi: observasi terstruktur pada setiap tahapan rancang bangun, wawancara semi-terstruktur, dokumentasi foto/video, dan lembar validasi ahli. Lembar validasi ahli menggunakan skala Likert 1-4 yang mencakup empat aspek penilaian (fungsional, struktural, estetika, dan efektivitas teknik fabrikasi), masing-masing terdiri dari 9 indikator dengan skor maksimal 4, sehingga skor maksimal keseluruhan adalah 144.

Data kualitatif (observasi, wawancara, dokumentasi) dianalisis menggunakan model analisis interaktif Miles dan Huberman (reduksi data, penyajian data, dan penarikan kesimpulan) [18], sedangkan data hasil lembar validasi ahli dianalisis secara deskriptif kuantitatif dengan rumus persentase kelayakan (%) = (skor yang diperoleh / skor maksimal) x 100%. Kriteria kelayakan produk ditetapkan menjadi lima kategori agar

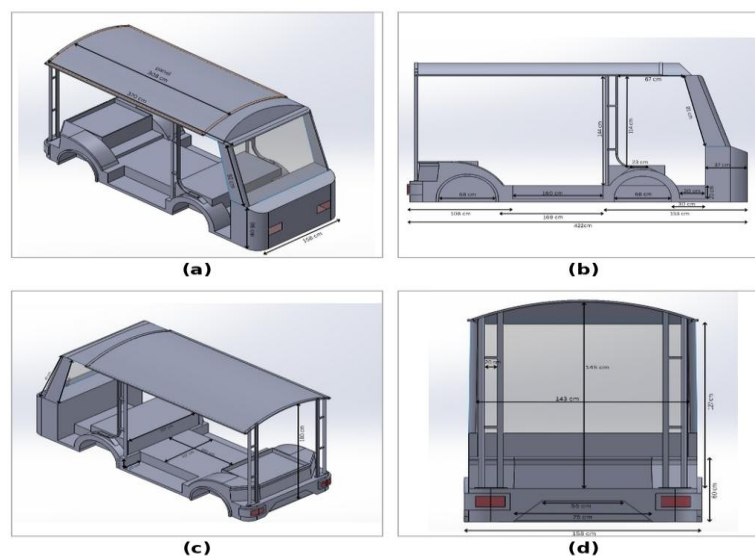
interpretasi hasil lebih rinci dan informatif, yaitu: skor 0-20% Tidak Layak, 21-40% Kurang Layak, 41-60% Cukup Layak, 61-80% Layak, dan 81-100% Sangat Layak. Produk dinyatakan layak digunakan apabila persentase kelayakan mencapai minimal kategori Layak ($\geq 61\%$) pada seluruh aspek penilaian.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Sebagaimana telah dijelaskan pada bagian Metode, tahapan R&D pada penelitian ini berfokus pada penyusunan dokumentasi teknis rancang bangun secara sistematis berdasarkan observasi terhadap produk jadi, wawancara dengan teknisi dan mahasiswa pelaksana, dokumentasi yang tersedia, serta kajian literatur sebagai pembanding teoretis.

Rancangan dan Proses Pembuatan Bodi

Desain bodi dikembangkan dalam bentuk gambar kerja yang mencakup dimensi keseluruhan kendaraan, konfigurasi struktural rangka, dan bentuk panel bodi eksterior tampak samping, depan, belakang, dan atas, sebagaimana ditunjukkan pada [Gambar 1](#). Dimensi utama bodi dirancang dengan panjang total ± 4.220 mm, lebar ± 1.580 mm, tinggi total ± 2.060 mm, dan kapasitas 8-10 tempat duduk termasuk pengemudi. Rangka struktural menggunakan baja *hollow* profil 40x40x2 mm dan 30x30x2 mm, dipilih karena kekuatan tinggi, kemampuan pengelasan yang baik, serta ketersediaan material secara lokal. Pemilihan material rangka logam dibandingkan alternatif lain juga mempertimbangkan faktor keamanan struktural yang telah dikaji pada rancangan rangka kendaraan listrik sejenis. Panel bodi eksterior menggunakan *fiberglass (chopped strand mat 300 g/m²)* dengan resin *polyester*, dipilih karena bobotnya yang ringan, fleksibilitas pembentukan geometri kompleks, dan kemudahan produksi pada skala prototipe, sejalan dengan penerapan material serupa pada beberapa rancang bangun bodi kendaraan listrik lain.



Gambar 1. Desain bodi *shuttle bus* listrik UNP, a) tampak depan (label: akrilik pelindung depan), b) tampak samping (label: rangka *hollow*, dan akses keluar masuk penumpang terbuka tanpa pintu), c) tampak atas (label: tata letak kursi memanjang/*bench* berkapasitas 8-10 penumpang termasuk pengemudi), dan d) tampak belakang (label: panel lampu), dengan ukuran utama sesuai paragraf sebelumnya.

Rincian spesifikasi seluruh material yang digunakan dalam pembuatan bodi disajikan pada [Tabel 1](#). Proses pembuatan bodi dilaksanakan melalui tiga tahapan utama yang berurutan. Fabrikasi rangka baja meliputi penandaan dan pemotongan, pembengkokan (dengan *overbending* 5-10 derajat untuk mengompensasi *springback*), serta perakitan melalui *fit-up/tack welding* untuk memastikan kesejajaran komponen sebelum pengelasan penuh. Pengelasan utama menggunakan proses SMAW/MMA dengan elektroda terbungkus E6010 (diameter 2,6 mm untuk material tipis dan 3,2 mm untuk sambungan utama), arus 70-100 A (elektroda 2,6 mm) dan 90-130 A (elektroda 3,2 mm), polaritas DC+ (DCEP), serta sudut elektroda 70-80 derajat terhadap benda kerja, mengacu pada standar AWS D1.1, dengan parameter arus dan posisi pengelasan yang turut memengaruhi sifat mekanik sambungan pada baja sejenis, serta penggilingan dan *finishing* permukaan las. Urutan pengelasan dilaksanakan mulai dari bagian tengah rangka menyebar ke arah ujung komponen untuk meminimalkan distorsi termal, dan seluruh sambungan las diperiksa secara visual untuk mendeteksi cacat berupa porositas, *lack of fusion*, atau geometri las yang tidak sempurna.

Tabel 1. Spesifikasi Material Bodi *Shuttle bus* Listrik UNP

No	Material	Jenis/Spesifikasi	Fungsi & Alasan Pemilihan
1	Baja <i>Hollow</i>	<i>Square tube</i> 40x40x2 mm dan 30x30x2 mm	Rangka struktural utama; Kekuatan tinggi, mudah dilas, tersedia lokal
2	<i>Fiberglass Mat</i>	<i>Chopped Strand Mat</i> (CSM) 300 g/m ²	Panel bodi eksterior; Ringan, mudah dibentuk, tahan korosi
3	<i>Resin Polyester</i>	<i>General Purpose</i> (GP) Resin + Katalis MEKP 1-2%	Matrix komposit <i>fiberglass</i> ; Mudah diperoleh, <i>curing</i> pada suhu ruang
4	<i>Gelcoat</i>	<i>Polyester Gelcoat</i> putih	Lapisan terluar panel <i>fiberglass</i> ; Permukaan halus, tahan abrasi
5	Cat Primer	Epoxy Primer 2K	Lapisan dasar pengecatan; Daya rekat baik pada <i>fiberglass</i> dan baja
6	Cat <i>Finishing</i>	Cat <i>Urethane</i> kuning (warna khas UNP)	Lapisan akhir estetika; Tahan cuaca, tahan UV, hasil halus
7	Akrilik	Lembaran akrilik bening 3 mm	Komponen kaca depan dan penutup lampu; Transparan, ringan, mudah dipotong/dibentuk
8	Besi Plat Lembaran	Lembaran plat 0,8 mm 4x8	Bodi bagian belakang dan samping; Mudah dioperasikan dan dibentuk pada benda kerja

Panel bodi *fiberglass* dibuat dengan teknik *hand lay-up*: persiapan cetakan yang dilapisi release agent (*wax/mold release*) sebanyak 3-4 lapisan tipis untuk mencegah produk menempel pada cetakan, aplikasi *gelcoat polyester* sebagai lapisan terluar, laminasi bertahap minimal 3 lapis *chopped strand mat* dengan resin *polyester general purpose* dan katalis MEKP pada perbandingan 100:1,5, rasio yang konsisten dengan kajian pengaruh perbandingan resin-katalis terhadap kekuatan tarik komposit *fiberglass*, pengerasan (*curing*) pada suhu ruang hingga ketebalan panel mencapai 3-5 mm, serta pelepasan dari cetakan dan pengerjaan akhir berupa pemotongan tepi (*flash*) yang tidak rata dan perbaikan lubang/pori permukaan menggunakan *filler* resin sebelum dilanjutkan ke tahap pengecatan. Tahap penyelesaian akhir berupa pengecatan meliputi persiapan permukaan, aplikasi primer *epoxy*, pendempulan dan *surfacers*, hingga aplikasi *top coat urethane* menggunakan *spray gun* dengan parameter jarak dan tekanan penyemprotan yang terkontrol. Proses fabrikasi rangka dan hasil laminasi panel *fiberglass* ditunjukkan pada [Gambar 2](#) dan [Gambar 3](#). Produk akhir bodi yang telah terpasang pada rangka kendaraan dan siap dioperasikan ditunjukkan pada [Gambar 4](#).



Gambar 2. Proses fabrikasi rangka baja: (a) perakitan/*fit-up* rangka, (b) pengelasan SMAW/MMA



Gambar 3. Panel bodi *fiberglass* hasil pelepasan cetakan setelah proses *hand lay-up* dan *curing*



Gambar 4. Prototipe bodi *shuttle bus* listrik UNP hasil rancang bangun

Kelayakan Produk Hasil Rancang Bangun

Penilaian kelayakan produk dilakukan oleh satu evaluator ahli di bidang teknik bodi dan pengecatan kendaraan menggunakan lembar validasi skala Likert 1-4 pada empat aspek penilaian. Hasil penilaian dirangkum pada Tabel 2 dan rincian indikator pada setiap aspek disajikan pada Tabel 3.

Tabel 2. Hasil Penilaian Evaluator Ahli terhadap Produk Bodi *Shuttle bus* Listrik UNP

Aspek Penilaian	Skor (Maks)	Persentase
Fungsional	30 (36)	83,33% (Sangat Layak)
Struktural	31 (36)	86,11% (Sangat Layak)
Estetika	27 (36)	75,00% (Layak)
Efektivitas Teknik Fabrikasi	32 (36)	88,89% (Sangat Layak)
Total Keseluruhan	120 (144)	83,33% (Sangat Layak)

Persentase kelayakan keseluruhan mencapai 83,33% (kategori Sangat Layak, 81-100%). Aspek struktural memperoleh capaian tertinggi (86,11%, Sangat Layak), sedangkan aspek estetika terendah (75,00%, kategori Layak, 61-80%), satu tingkat di bawah aspek lainnya namun tetap memenuhi ambang minimal yang dipersyaratkan. Evaluator menyatakan produk "layak digunakan dengan revisi sesuai saran", dengan catatan modifikasi bentuk desain bagian depan yang masih berkontur datar serta gradasi warna mengacu logo UNP sebagai pengganti kuning polos yang monoton.

Tabel 3. Kisi-Kisi Instrumen Validasi Kelayakan Produk

No	Aspek Penilaian	Indikator	Skor	Skor Maks	Persentase (%)
1.	Fungsional	Kesesuaian pemasangan bodi pada rangka kendaraan	4	4	83,33%
		Kemampuan bodi melindungi komponen internal kendaraan dari cuaca dan benturan ringan	3	4	
		Kelayakan bodi untuk dioperasikan pada kendaraan listrik di lingkungan kampus	3	4	
		Kesesuaian dimensi bodi dengan spesifikasi rancangan yang telah ditetapkan	3	4	
		Ketepatan posisi dan jumlah titik sambungan antara panel bodi dan rangka	3	4	
		Kemudahan akses masuk dan keluar penumpang melalui bukaan kabin terbuka (tanpa pintu)	4	4	
		Kesesuaian posisi dan bentuk komponen akrilik pelindung depan dengan fungsi visibilitas dan perlindungan pengemudi	4	4	
		Kestabilan panel bodi saat kendaraan dioperasikan (tidak bergetar berlebihan)	3	4	
		Keamanan tepi dan sambungan panel bodi bagi penumpang (bebas dari sudut tajam)	3	4	
		Subtotal Aspek Fungsional	30	36	
2.	Struktural	Kekuatan dan kualitas sambungan las SMAW/MMA pada rangka baja <i>hollow</i>	3	4	
		Kesesuaian dimensi penampang rangka baja (40×40×2 mm dan 30×30×2 mm) dengan beban yang dipikul	3	4	
		Kekakuan dan stabilitas struktur rangka bodi secara keseluruhan	4	4	
		Ketebalan panel <i>fiberglass</i> (3–5 mm, minimal 3 lapis laminasi) memadai untuk fungsi struktural	4	4	
		Kerataan dan konsistensi ketebalan lapisan <i>fiberglass</i> pada seluruh panel bodi	3	4	

No	Aspek Penilaian	Indikator	Skor	Skor Maks	Persentase (%)
3.	Estetika	Kekuatan sambungan antara panel <i>fiberglass</i> dan rangka baja (<i>bracket</i> dan sekrup)	4	4	86,11%
		Ketahanan rangka baja terhadap distorsi akibat proses pengelasan	3	4	
		Kualitas permukaan dalam panel <i>fiberglass</i> (bebas dari delaminasi dan void yang signifikan)	3	4	
		Kekokohan struktur atap dalam menahan beban statis	4	4	
		Subtotal Aspek Struktural	31	36	
		Kehalusan permukaan eksterior bodi setelah pengecatan	3	4	75,00%
		Kemerataan dan konsistensi warna cat <i>urethane</i> kuning pada seluruh permukaan bodi	3	4	
		Kerapian sambungan antar panel eksterior (kesejajaran dan keseragaman celah)	3	4	
		Kualitas hasil pengecatan (bebas dari <i>run</i> , <i>sag</i> , <i>orange peel</i> , atau cacat cat lainnya)	3	4	
		Kesesuaian tampilan estetika bodi dengan identitas visual UNP (warna kuning khas)	3	4	
		Kehalusan dan kerapian proses <i>finishing</i> tepi panel <i>fiberglass</i>	3	4	
		Kualitas lapisan <i>gelcoat</i> pada permukaan panel <i>fiberglass</i> sebelum pengecatan	3	4	
		Kerapian pemasangan komponen akrilik pelindung depan pada panel bodi	3	4	
		Keserasian proporsi dan bentuk bodi secara keseluruhan	3	4	
		Subtotal Aspek Estetika	27	36	
4.	Efektivitas Teknik Fabrikasi	Efisiensi tahapan proses fabrikasi rangka baja (<i>marking</i> , <i>cutting</i> , <i>bending</i> , <i>welding</i> , <i>grinding</i>)	3	4	88,89%
		Kesesuaian parameter pengelasan SMAW yang diterapkan (elektroda E6010, arus 70–130 A, DC+) dengan material	3	4	
		Efektivitas teknik <i>hand lay-up fiberglass</i> dalam menghasilkan panel bodi yang ringan dan kuat	4	4	
		Kesesuaian perbandingan resin-katalis (100:1,5) dan prosedur laminasi (≥ 3 lapis, jeda 15–20 menit)	4	4	
		Kesesuaian tahapan pengecatan yang diterapkan (<i>primer epoxy</i> , dempul, <i>surfacers</i> , <i>top coat urethane</i>)	4	4	
		Kesesuaian teknik fabrikasi yang diterapkan dengan kapasitas peralatan yang tersedia di bengkel	4	4	
		Kemampuan teknik yang diterapkan untuk direplikasi oleh mahasiswa secara mandiri (nilai PjBL)	3	4	
		Efisiensi penggunaan material dalam proses fabrikasi (minimalisasi waste)	3	4	
		Kesesuaian keseluruhan teknik pembuatan dengan kebutuhan operasional <i>shuttle bus</i> listrik kampus	4	4	
		Subtotal Aspek Efektivitas	32	36	
TOTAL			120	144	83,33%

Instrumen disusun oleh peneliti berdasarkan kajian teoretis mengenai aspek fungsional, struktural, dan estetika bodi kendaraan serta karakteristik teknik fabrikasi rangka baja dan *fiberglass*, kemudian divalidasi melalui *content validity* oleh dosen ahli teknik otomotif sebelum digunakan untuk menilai produk.

Perbandingan hasil penelitian ini dengan penelitian rancang bangun bodi kendaraan listrik sejenis disajikan pada Tabel 4 berikut, sebagai bagian dari tahap evaluasi dan validasi produk.

Tabel 4. Perbandingan dengan Penelitian Rancang Bangun Bodi Kendaraan Listrik Sejenis

Penelitian	Material Bodi	Metode Fabrikasi	Hasil Kelayakan
Penelitian ini (UNP) (2026)	Rangka baja hollow + <i>fiberglass</i> CSM 300 g/m ²	Hand <i>lay-up</i> + pengelasan SMAW/MMA	Kelayakan ahli 83,33% (Sangat Layak)
Ramadhan dkk. [14] (2025)	<i>Fiberglass</i> (hand <i>lay-up</i>)	Hand <i>lay-up</i> pada bodi mobil listrik	Bodi 19,25 kg, kaca 2,15 kg; belum ada uji kelayakan tervalidasi
Anitasari & Sulistyo [15] (2022)	<i>Fiberglass</i>	Hand <i>lay-up</i> pada bodi mobil listrik "SALWA"	Skor validasi desain 85% (Valid)

Pembahasan

Kombinasi rangka baja dan panel *fiberglass* yang diterapkan sesuai dengan kapasitas fabrikasi bengkel pendidikan, sejalan dengan prinsip pemilihan material yang mempertimbangkan keseimbangan antara kinerja mekanis, biaya, dan kemampuan fabrikasi yang tersedia [19]. Proses rancang bangun berlangsung secara iteratif dengan tantangan utama berupa presisi dimensi cetakan *fiberglass* manual, kontrol konsistensi ketebalan pada proses *hand lay-up*, dan pengendalian distorsi termal saat pengelasan. Tantangan tersebut konsisten dengan temuan penelitian terbaru bahwa fabrikasi *hand lay-up* manual secara inheren menghasilkan ketidaksejajaran serat, impregnasi resin yang tidak sempurna, dan void lokal meskipun distribusinya cenderung konsisten antarspesimen [20], serta bahwa fabrikasi manual memerlukan pengawasan kualitas dan penerapan keselamatan kerja yang ketat pada setiap tahapan [21], [22].

Teknik pembuatan yang diterapkan memperoleh capaian 88,89% pada aspek efektivitas teknik fabrikasi, yang dioperasionalkan melalui sembilan indikator sebagaimana dirinci pada Tabel 3, meliputi antara lain kualitas penetrasi las, kecukupan ketebalan panel *fiberglass*, keseimbangan ringan-kokoh, kerataan lapisan cat, dan kesesuaian hasil fabrikasi dengan kapasitas bengkel pendidikan. Capaian ini mengindikasikan bahwa teknik pembuatan yang diterapkan sesuai dengan kapasitas peralatan bengkel dan berpotensi direplikasi oleh mahasiswa sebagai bagian dari pembelajaran berbasis proyek, termasuk dalam konteks peningkatan keterampilan pengelasan SMAW pada pendidikan vokasi [23]. Temuan ini sejalan dengan penelitian yang menyimpulkan bahwa metode *hand lay-up* efektif untuk pembuatan *body kit* kendaraan listrik di lingkungan bengkel pendidikan [24], serta bahwa *fiberglass* tepat digunakan pada pembuatan bodi kendaraan prototipe karena ringan dan mudah dibentuk [25]. Perbandingan dengan penelitian rancang bangun bodi kendaraan listrik sejenis, sebagaimana dirangkum pada Tabel 4, menunjukkan bahwa capaian kelayakan penelitian ini sebanding dengan penelitian terdahulu meskipun menggunakan kombinasi material yang berbeda. Penilaian kelayakan struktural dalam penelitian ini masih bersifat visual-observasional, belum melalui pengujian mekanik laboratoris seperti uji tarik yang mengacu pada standar ASTM D3039 untuk komposit *fiberglass* [26], sehingga hasil evaluasi ini belum dapat dijadikan dasar sertifikasi formal dan perlu ditindaklanjuti pada penelitian selanjutnya.

Penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan yang perlu diperhatikan dalam menafsirkan hasilnya. Pertama, prototipe bodi *shuttle bus* listrik UNP secara fisik telah selesai dibangun sebelum penelitian dilaksanakan, sehingga tahapan R&D pada penelitian ini bersifat dokumentasi teknis dan evaluasi terhadap produk jadi berdasarkan observasi,

wawancara, dan dokumentasi, bukan proses rancang bangun penuh yang diawali dari nol. Istilah "rancang bangun" dalam artikel ini merujuk pada penyusunan ulang dan sistematisasi proses rancang serta pembuatan yang telah dilaksanakan, bukan proses perancangan produk baru secara utuh. Kedua, penilaian kelayakan struktural dalam penelitian ini bersifat visual-observasional dan belum melalui pengujian mekanik laboratoris, sehingga hasil evaluasi belum dapat dijadikan dasar sertifikasi formal terkait kekuatan dan keselamatan struktur bodi. Ketiga, penilaian kelayakan dilakukan oleh satu evaluator ahli sehingga skor yang diperoleh merupakan penilaian tunggal tanpa proses perata-rataan antarevaluator; keterbatasan ini diminimalkan melalui triangulasi sumber dan teknik data sebagaimana dijelaskan pada bagian Metode, namun tetap membatasi generalisasi hasil penilaian kelayakan. Keempat, beberapa data teknis kuantitatif (berat total rangka dan bodi, estimasi biaya material, waktu pengerjaan per tahap, serta posisi pengelasan spesifik seperti 1G/2G/3G) belum dapat dilaporkan karena kendala teknis dan administratif di lapangan, antara lain keterbatasan akses fasilitas timbangan kendaraan di luar kampus (prototipe belum memiliki STNK/uji tipe), pengadaan material bertahap tanpa pencatatan biaya sistematis, serta jadwal pengerjaan mahasiswa yang tidak tetap antartahap. Data tersebut disarankan didokumentasikan secara sistematis sejak tahap awal pada penelitian berikutnya, misalnya melalui penimbangan komponen bertahap, pencatatan nota pembelian, dan lembar log harian pengerjaan.

Dibandingkan dengan penelitian sejenis, penelitian ini menerapkan kombinasi rangka baja *hollow* dan panel *fiberglass* (bukan *fiberglass* tunggal) serta melibatkan penilaian kelayakan multi-aspek (fungsional, struktural, estetika, dan efektivitas teknik fabrikasi) dengan capaian 83,33%, sebanding dengan skor validasi 85% pada penelitian Anitasari dan Sulistyio [25]. Perbandingan data berat bodi dan dimensi belum dapat dilakukan secara langsung karena penelitian ini belum melaporkan data berat total bodi secara terukur.

Berdasarkan catatan evaluator, pengembangan produk selanjutnya disarankan untuk memodifikasi bentuk desain bagian depan kendaraan agar tidak berkesan datar dan kaku, serta menerapkan gradasi warna yang mengacu pada logo UNP sebagai pengganti warna kuning polos. Penelitian lanjutan juga disarankan untuk melakukan pengujian mekanik laboratoris guna memperoleh data kuantitatif mengenai karakteristik mekanis struktur bodi, mengacu pada standar yang relevan dengan objek ujinya, yaitu AWS D1.1 untuk pengujian sambungan las pada struktur baja rangka dan ASTM D3039 untuk pengujian tarik panel komposit *fiberglass*. Pengujian lanjutan yang disarankan meliputi uji kekuatan rangka, uji beban statis, uji getaran, simulasi aerodinamika sederhana, uji ketahanan panel *fiberglass* terhadap beban-cuaca, evaluasi ergonomi penumpang, dan kajian konsistensi fabrikasi pada produksi lebih dari satu unit. Mengingat penilaian kelayakan hanya melibatkan satu evaluator, penelitian selanjutnya disarankan melibatkan beberapa evaluator yang saling melengkapi.

SIMPULAN

Penelitian ini menghasilkan rancangan dan dokumentasi teknis pembuatan bodi *shuttle bus* listrik UNP yang mengombinasikan rangka baja *hollow* (pengelasan SMAW/MMA) dengan panel *fiberglass* (teknik *hand lay-up*), diselesaikan dengan proses

pengecatan urethane, melalui empat tahap R&D yang diposisikan sebagai dokumentasi teknis dan evaluasi produk jadi karena prototipe fisik telah selesai dibangun sebelumnya; istilah "rancang bangun" merujuk pada penyusunan ulang dan sistematisasi proses tersebut. Hasil penilaian satu evaluator ahli (bukan keputusan kelayakan yang bersifat umum) menunjukkan persentase kelayakan keseluruhan 83,33% (Sangat Layak), dengan capaian tertinggi pada aspek struktural (86,11%, Sangat Layak) dan terendah pada estetika (75,00%, Layak), satu tingkat di bawah aspek lain namun tetap memenuhi ambang minimal yang dipersyaratkan. Dengan demikian, produk dinyatakan layak digunakan dengan revisi khusus pada aspek estetika, sesuai catatan evaluator, sementara aspek fungsional, struktural, dan efektivitas teknik fabrikasi telah memenuhi ambang kelayakan yang ditetapkan. Teknik pembuatan yang diterapkan sesuai dengan kapasitas bengkel pendidikan dan berpotensi direplikasi secara mandiri oleh mahasiswa dalam pembelajaran berbasis proyek.

DAFTAR RUJUKAN

- [1] Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG), “Perubahan iklim bukan lagi isu global, BMKG tegaskan dampaknya nyata,” BMKG, Apr. 30, 2025. [Online]. Available: <https://www.bmkg.go.id/berita/kegiatan/perubahan-iklim-bukan-lagi-isu-global-bmkg-tegaskan-dampaknya-nyata>. Accessed: Jul. 7, 2026.
- [2] Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), *AR6 Synthesis Report: Climate Change 2023*. Geneva, Switzerland: IPCC, 2023. [Online]. Available: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/>. Accessed: Jul. 7, 2026.
- [3] Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB), *Buku Data Bencana Indonesia Tahun 2023*. Jakarta, Indonesia: BNPB, 2024. [Online]. Available: <https://bnpb.go.id/buku/buku-data-bencana-indonesia-tahun-2023>. Accessed: Jul. 7, 2026.
- [4] K. Sinaga *et al.*, *Perubahan Iklim dan Pembangunan Berkelanjutan*. Medan, Indonesia: UMSU Press, 2025.
- [5] D. Regina and N. M. Ulmi, “Tantangan pengembangan mobil listrik menuju transportasi berkelanjutan di Indonesia,” *J. Penelit. Sekol. Tinggi Transp. Darat*, vol. 14, no. 1, pp. 32–39, Jun. 2023, doi: 10.55511/jpsttd.v14i1.605.
- [6] A. E. Prianto, E. Heriana, M. A. Hakim, S. Sukmara, and D. Susanto, “Perancangan kendaraan kampus dengan penggerak motor listrik,” *TECHNOMA*, vol. 1, no. 2, 2022.
- [7] G. A. Surti, P. Sudira, F. Mutohhari, S. Suyitno, and M. Nurtanto, “Project-based learning with STEM approach in automotive engineering: A study of increasing students’ 21st century skills,” *J. Pendidik. Pengajaran*, vol. 55, no. 2, pp. 299–312, Jul. 2022, doi: 10.23887/jpp.v55i2.44725.
- [8] D. A. Sudjimat, A. Nyoto, and M. Romlie, “Implementation of project-based learning model and workforce character development for the 21st century in vocational high school,” *Int. J. Instr.*, vol. 14, no. 1, pp. 181–198, Jan. 2021, doi: 10.29333/iji.2021.14i11a.
- [9] D. Rahmalina, *Material Teknik: Pemilihan dan Klasifikasi Material*. Pekalongan, Indonesia: CV Eureka Media Aksara, 2025.

- [10] H. Hendrik, “Analisis dan perancangan sistem informasi bengkel kendaraan listrik online menggunakan metode Dijkstra di Kota Tangerang,” B.S. thesis, Universitas Buddhi Dharma, Tangerang, Indonesia, 2025. [Online]. Available: <http://repositori.buddhidharma.ac.id>. Accessed: Aug. 8, 2026.
- [11] A. Azis, M. J. A. Haryadi, W. Munawar, and S. Sriyono, “The influence of the effectiveness of using electric shuttle buses as transportation within the campus environment,” *Glob. Educ. J.*, vol. 4, no. 2, pp. 27–32, May 2026, doi: 10.59525/gej.1561.
- [12] I. Borne, S. A. S. de Souza, E. T. Carniatto Silva, G. B. Soares, J. J. Gimenez Ledesma, and O. H. Ando Junior, “Sustainable mobility: Analysis of the implementation of electric bus in university transportation,” *Energies*, vol. 18, no. 9, Art. no. 2195, 2025, doi: 10.3390/en18092195.
- [13] P. Utami, F. Erwis, I. Sawitri, C. Anwar, and S. Suhartadi, *Pendidikan Vokasional Era Industri 4.0 dan Society 5.0 di Indonesia*. Yogyakarta, Indonesia: Star Digital Publishing, 2026.
- [14] K. I. Ismara, Z. Makwa, D. Pratiwi, D. D. Imama, K. A. Haryanto, and A. S. Jamil, *Rancangan dan Pengembangan Diklat Vokasional*. Cirebon, Indonesia: Greenbook Publishing Indonesia, 2025.
- [15] M. R. A. Putra *et al.*, “Penguatan kapasitas bengkel konversi untuk mendukung program kendaraan ramah lingkungan,” *SEMAR: J. Sos. dan Pengabd. Masy.*, vol. 3, no. 3, pp. 10–18, Sep. 2025, doi: 10.59966/semar.v3i3.1992.
- [16] K. M. A. Misky, Z. Fadhillah, Q. Pujawati, E. A. Putri, and Mawar, “Penerapan transformasi model transportasi dalam mewujudkan konsep smart living berkelanjutan (studi perbandingan Denmark dan Indonesia),” *J. Penelit. Ilm. Multidisipliner*, vol. 2, no. 1, pp. 1899–1907, Jul. 2025. [Online]. Available: <https://ojs.ruangpublikasi.com/index.php/jpim/article/view/607>. Accessed: Aug. 8, 2026.
- [17] S. R. Rindrayani, R. Rustiyana, L. Judijanto, G. Abdullah, and A. D. Ardiyanti, *Metode Penelitian dan Pengembangan: R&D Research and Development*. Indonesia: PT Sonpedia Publishing Indonesia, 2025.
- [18] I. S. Annisa and E. Mailani, “Analisis faktor penyebab kesulitan siswa dalam pembelajaran tematik dengan menggunakan metode Miles dan Huberman di kelas IV SD Negeri 060800 Medan Area,” *Innov. J. Soc. Sci. Res.*, vol. 3, no. 2, pp. 6460–6477, Jun. 2023. [Online]. Available: <https://j-innovative.org/index.php/Innovative/article/view/1130>. Accessed: Jul. 15, 2026.
- [19] B. A. Ampangallo *et al.*, *Teknologi Material*. Makassar, Indonesia: Arsy Media, 2025. [Online]. Available: <https://repo.ukitoraja.ac.id/id/eprint/728/>. Accessed: Jul. 8, 2026.
- [20] M. Shams and F. Cakir, “Determination of mechanical properties of single and double-layer intraply hybrid composites manufactured by hand lay-up method,” *Polymers*, vol. 18, no. 2, Art. no. 188, Jan. 2026, doi: 10.3390/polym18020188.
- [21] R. Soesilo, A. D. Valentin, A. Ramadhani, and Nirfison, *Proses Manufaktur Modern: Memahami Proses dan Metode Produksi*. Indonesia: Mega Press Nusantara, 2024.
- [22] A. N. Khaeri, M. Maslihan, F. A. P. Akhmad, A. Sang, and S. Setiawan, “Pelatihan

- dan penerapan keselamatan dan kesehatan kerja (K3) pada kelompok usaha perbengkelan,” *J. Ilm. Pengabd. dan Inov.*, vol. 1, no. 2, pp. 285–290, Nov. 2022, doi: 10.57248/jilpi.v1i2.71.
- [23] S. Nurhaji, H. Abizar, H. Abdillah, S. D. Ramdani, and A. Alimin, “Metode pembelajaran conversation analysis and variation theory approach untuk meningkatkan hasil pengelasan SMAW posisi 1F,” *J. Taman Vokasi*, vol. 11, no. 1, pp. 51–66, 2023, doi: 10.30738/jtvok.v11i1.11131.
- [24] I. M. Fajar, S. Prasetya, and A. Y. Yusyama, “Modifikasi interior body kit dashboard pada kendaraan listrik Flex menggunakan fiberglass dengan metode hand lay-up,” *Pros. Semin. Nas. Tek. Mesin*, pp. 1696–1701, 2022. [Online]. Available: <https://prosiding.pnj.ac.id/index.php/sntm/article/view/505>. Accessed: Jul. 8, 2026.
- [25] M. E. Anitasari and B. Sulistyono, “Pemanfaatan fiberglass untuk pembuatan body kendaraan mobil listrik ‘Salwa’ UM Purworejo,” *Auto Tech: J. Pendidik. Tek. Otomotif Univ. Muhammadiyah Purworejo*, vol. 17, no. 1, pp. 45–50, Jan. 2022, doi: 10.37729/autotech.v17i1.1782.
- [26] I. Sierra Nossa, O. Bohórquez, A. Pertuz, H. G. Sánchez Acevedo, and O. A. González-Estrada, “Tensile mechanical properties of composite materials with continuous fiber produced by additive manufacturing,” *J. Phys.: Conf. Ser.*, vol. 1386, no. 1, Art. no. 012008, 2019, doi: 10.1088/1742-6596/1386/1/012008.

Halaman ini sengaja dikosongkan