



Pembuatan Wadah Baterai LiFePO₄ Dimensi 410x110x315 mm, 3,7 V, 250 mA, Kapasitas 0,69 Unit/Jam

Devyna Lufhf Imtiyaaz ¹, Syamsul Hadi ^{2*}, Dharma Indi ³, Muhammad Fauzan Hidayah ⁴, Daman Huri Abas ⁵, Auliya Kadzi ⁶

^{1,2} Program Studi Doktor Terapan, Optimasi Desain Mekanik, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Malang, Indonesia

³ Program Studi Diploma IV, Teknik Otomotif Elektronik, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Malang, Indonesia

^{4,5,6} Program Studi Diploma III, Teknik Mesin, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Malang, Indonesia

Email : lufhfdevyna@gmail.com ¹, syamsul.hadi@polinema.ac.id ², dharma.indi@gmail.com ³, n.fauzan@gmail.com ⁴, huriabas@gmail.com ⁵, kadziaulia@gmail.com ⁶

*Penulis Korespondensi: syamsul.hadi@polinema.ac.id

Abstract. LiFePO₄ battery energy storage in the form of a container to drive an electric motorbike that requires 72 V and 11A for a distance of 42 km, and an average speed of 30 km/h as a problem faced in the field. The purpose of making a battery container is to be able to store 3.7 V, 250 mA energy with dimensions of 410 mm in length, 110 mm in width, 315 mm in height that can withstand a weight of 10.3 kg, a duration of 16 hours. The manufacturing method includes: preparation of 3 tensile test specimens and 3 flexural test specimens; tensile testing and flexural testing; design of a series of battery cell containers assembled with completeness of both hand grips; preparation of 3D printing ABS filament material; printing several containers, several clamps and several bolts with 3D printing; assembly with 3D printed clamps; stiffness and strength testing; and quality-dimensional inspection. The result of the manufacture is a LiFePO₄ battery container with dimensions of 410 mm in length, 110 mm in width, 315 mm in height from ABS 3D printing, production costs of IDR 544,000.00/unit and a process duration of 87 minutes/unit, with a weight of 10.3 kg which means that the LiFePO₄ battery container with dimensions of 410x110x315 mm, and specifications of 3.7, V 250 mA can be used well for certain types of electric motorbikes.

Keywords: 3.7 V, 250 Ma; Dimensions 410x110x315 Mm; Electric Motorcycle; Lifepo4 Battery Case; Range 42 Km.

Abstrak. Penyimpanan energi baterai LiFePO₄ berbentuk wadah untuk menggerakkan sepeda motor listrik yang membutuhkan 72 V, dan 11A jarak tempuh 42 km, dan kecepatan rerata 30 km/jam sebagai permasalahan yang dihadapi di lapangan. Tujuan pembuatan wadah baterai untuk dapat menyimpan energi 3,7 V 250 mA berdimensi panjang 410 mm, lebar 110 mm, tinggi 315 mm yang tahan bobot 10,3 kg, durasi 16 jam. Metode pembuatan meliputi: penyiapan 3 spesimen pengujian tarik dan 3 spesimen uji lentur; pengujian tarik dan pengujian lentur; desain rangkaian wadah sel-sel baterai terangkai dengan kelengkapan tempat pegangan kedua tangan; penyiapan bahan filamen ABS 3D printing; pencetakan beberapa wadah, beberapa klem dan beberapa baut dengan 3D printing; perakitan dengan klem hasil 3D printing; pengujian kekakuan dan kekuatan; dan pemeriksaan mutu-dimensi. Hasil pembuatan berupa wadah baterai LiFePO₄ berdimensi panjang 410 mm, lebar 110 mm, tinggi 315 mm dari hasil 3D printing ABS, biaya produksi Rp Rp 544.000,00/unit dan durasi proses 87 menit/unit, tahan bobot 10,3 kg yang berkonsekuensi bahwa wadah baterai LiFePO₄ berdimensi 410x110x315 mm, dan spesifikasi 3,7 V, 250 mA dapat digunakan dengan baik untuk sepeda motor listrik tipe tertentu.

Kata kunci: 3,7 V, 250 Ma; Dimensi 410x110x315 Mm; Jarak Tempuh 42 Km; Sepeda Motor Listrik; Wadah Baterai Lifepo4.

1. LATAR BELAKANG

Saat ini, kendaraan listrik yang memanfaatkan energi terbarukan sedang gencar dikembangkan. Sepeda motor listrik menjadi satu jenis kendaraan yang dipromosikan secara luas karena sifatnya tidak bising dan tanpa asap yang nyaris tidak ada (Teguh, 2019; Lufhf

dkk., 2024), tidak menghasilkan asap dan beroperasi dengan suara yang sangat minim, sehingga tidak menyebabkan polusi suara (Wu dkk., 2022b). Sepeda motor listrik ramah lingkungan, tetapi peluang tanpa suaranya berpotensi menimbulkan celaka di area pengguna jalan lainnya yang tidak waspada ada kendaraan yang berjalan.

Pengembangan infrastruktur pengisian daya merupakan satu faktor penting dalam mendukung adopsi kendaraan listrik secara luas. Ketersediaan stasiun pengisian baterai yang memadai dapat meningkatkan kemudahan penggunaan kendaraan listrik dan mengurangi kekhawatiran pengguna terhadap keterbatasan sumber energi selama perjalanan (Kusum & Parveer, 2018), tetapi pemakaian sepeda motor listrik masih idak banyak karena banyak masyarakat yang merasa khawatir kesulitan dalam mengatur pengisian daya, dan sulitnya menemukan stasiun pengisian baterai terdekat yang mendukung *fast charging* atau sistem penukaran baterai ketika daya baterai melemah (Setiawan, 2019). Jarak tempuh yang andal merupakan satu faktor penting yang memengaruhi percepatan adopsi kendaraan listrik (Aryanto, 2022). Oleh karenanya, penyediaan infrastruktur pendukung berupa stasiun pengisian daya dan stasiun penukaran baterai perlu dikembangkan untuk mengurangi kekhawatiran pengguna terhadap keterbatasan jarak tempuh serta meningkatkan penyebaran kendaraan listrik di masyarakat.

Dalam kendaraan listrik, baterai berperan sebagai sumber energi utama yang bertugas menyimpan daya listrik dan menggerakkan motor, sekaligus menyuplai listrik untuk berbagai komponen elektronik dan sistem lainnya. Kinerja baterai yang optimal memberikan dukungan maksimal bagi perangkat yang ditunjangnya (Farizy dkk., 2016; Hisan dkk., 2016). Keandalan baterai merupakan satu faktor penting dalam pengembangan kendaraan listrik karena kegagalan satu sel baterai dapat mempengaruhi kinerja *battery pack* secara keseluruhan. Nahian dkk. (2019) menunjukkan bahwa konfigurasi dan degradasi sel baterai berpengaruh terhadap tingkat keandalan *battery pack* selama masa operasi. Mutu dan kapasitas baterai juga sangat mempengaruhi jarak tempuh, kecepatan, dan kinerja keseluruhan pada sepeda motor listrik. Waktu pengisian energi yang relatif lama pada baterai menjadi tantangan tersendiri bagi industri kendaraan listrik (Rachmanto dkk., 2020; Anwar & Suprayitno, 2021). Baterai tipe *swap* merupakan solusi untuk mengatasi tantangan utama sepeda motor listrik, yaitu waktu pengisian daya yang cenderung lambat (Permatasari dkk., 2017). Oleh karenanya, wadah baterai LiFePO₄ perlu didesai agar mendukung penukaran baterai secara efektif dan selamat.

Battery swapping dikembangkan sebagai solusi untuk mengatasi limitasi jarak perjalanan dan urasi isi daya listrik pada kendaraan listrik yang mana jika baterai telah habis dapat diganti dengan baterai yang telah terisi penuh dalam waktu yang relatif singkat, sehingga

meningkatkan efisiensi operasional kendaraan dan mengurangi waktu henti selama perjalanan (Feng & Lu, 2021). Oleh karenanya, wadah baterai perlu didesain agar mendukung proses *battery swapping* yang selamat dan efisien. Selain hal tersebut, pemilik kendaraan tidak perlu terlalu khawatir terhadap degradasi baterai karena baterai dapat diganti dengan unit lain yang telah siap digunakan (Tanbihul & Asfani, 2019; Wu, 2022a). Wadah baterai yang dapat dipertukarkan bentuk dan dimensinya mendukung penggantian dengan cepat.

Desainudukan (*bracket*) baterai tipe *swap* pada sepeda motor listrik harus memperhatikan faktor keselamatan, kinerja, dan keandalan sistem. Diperlukan analisis perhitungan yang tepat untuk menghasilkan desain *bracket* yang optimal sesuai kebutuhan. Pengoptimalan dapat dilakukan melalui modifikasi konstruksi, ketebalan, maupun jenis bahan yang digunakan. Oleh karenanya, pemilihan bahan menjadi satu aspek krusial dalam desain casing baterai. Bahan yang digunakan pada penelitian tersebut adalah ABS hasil 3D printing yang memiliki keunggulan berupa kemudahan manufaktur, biaya yang relatif rendah, dan mampu menghasilkan bentuk geometri yang kompleks (Ngo dkk., 2018). Selain aspek mekanik, manajemen termal pada kendaraan listrik berbasis baterai juga menjadi hal krusial, karena berefek pada kinerja, keandalan, dan umur pakai baterai (Feng & Lu, 2022). Oleh karenanya, desain wadah baterai perlu mendukung pengelolaan panas untuk menjaga kinerja dan keandalan baterai.

Kurangnya kajian mengenai pembuatan dan evaluasi kekuatan wadah baterai LiFePO_4 untuk aplikasi *battery swap* pada sepeda motor listrik menjadi celah penelitian yang perlu diisi. Selain hal tersebut, masih terbatas penelitian yang mengintegrasikan aspek desain, kekuatan struktur, biaya produksi, dan teknologi manufaktur aditif dalam satu kajian. Menurut Shahrubudin dkk. (2019), teknologi 3D printing memiliki potensi besar dalam pengembangan produk teknik karena mampu mempercepat desain dan manufaktur dengan biaya yang lebih efisien dibandingkan metode konvensional. Oleh karenanya, pembuatan dan evaluasi wadah baterai LiFePO_4 berdimensi 410 mm × 110 mm × 315 mm dilakukan dengan teknologi 3D printing, sehingga diperoleh desain yang selamat, ekonomis, dan layak digunakan pada aplikasi sepeda motor listrik.

2. KAJIAN TEORITIS

Perkembangan Perkembangan kendaraan listrik mendorong kebutuhan sistem penyimpanan energi yang selamat, efisien, dan mudah dioperasikan. Satu teknologi yang banyak diterapkan adalah baterai *Lithium Iron Phosphate* (LiFePO_4) karena memiliki umur pakai yang panjang, kestabilan termal yang baik, dan tingkat keselamatan yang lebih tinggi

dibandingkan beberapa jenis baterai lithium lainnya. Menurut Xu dkk. (2023), baterai lithium-ion memiliki karakteristik umur pakai yang panjang dan kemampuan mendukung berbagai aplikasi energi, termasuk kendaraan listrik. Oleh karenanya, baterai LiFePO₄ banyak digunakan pada sistem kendaraan listrik yang membutuhkan keandalan dan keselamatan tinggi.

Seiring meningkatnya penggunaan sepeda motor listrik, sistem *battery swapping* menjadi satu solusi untuk mengurangi waktu tunggu pengisian daya. Sistem tersebut memungkinkan baterai yang telah habis ditukar dengan baterai yang telah terisi penuh, sehingga meningkatkan efisiensi operasional kendaraan listrik. Zhang dkk. (2022) menyatakan bahwa sistem *battery swapping* mampu mengurangi waktu tunggu pengisian daya secara signifikan dibandingkan metode pengisian konvensional. Agar *battery swapping* dapat berjalan dengan selamat, diperlukan wadah baterai yang mampu melindungi sel baterai dari benturan mekanis, getaran, dan pengaruh lingkungan selama penggunaan maupun perpindahan baterai.

Wadah baterai berfungsi sebagai struktur pelindung yang menjaga susunan sel baterai tetap stabil dan selamat selama operasi. Desain wadah harus mempertimbangkan aspek kekuatan mekanik, berat, kemudahan manufaktur, dan biaya produksi. Menurut Ngo dkk. (2018), bahan berbasis polimer untuk Polylactic Acid atau PLA dan Acrylonitrile Butadiene Styrene atau ABS banyak dipakai dalam teknologi *3D printing* karena memiliki kemudahan manufaktur, biaya relatif rendah, dan mampu menghasilkan geometri yang kompleks. Teknologi *3D printing* juga memberikan fleksibilitas tinggi dalam pembuatan prototipe maupun produk dengan bentuk khusus sesuai kebutuhan pengguna.

Selain pemilihan bahan, analisis kekuatan struktur menjadi faktor penting dalam desain wadah baterai. Struktur yang dirancang harus mampu menahan beban baterai dan mencegah terjadinya deformasi yang dapat mengganggu kinerja sistem *battery swap*. Oleh karenanya, simulasi tegangan (*stress analysis*) dan perpindahan (*displacement analysis*) diperlukan untuk mengevaluasi keselamatan desain sebelum manufaktur dilakukan. Shahrubudin dkk. (2019) menjelaskan bahwa analisis dan evaluasi desain melalui teknologi manufaktur aditif sangat penting untuk memastikan keselamatan dan kinerja produk sebelum diproduksi secara fisik yang mana hasil analisisnya dapat dipakai dasar penentu kelayakan desain wadah baterai LiFePO₄ berdimensi 410 mm × 110 mm × 315 mm yang diproduksi menggunakan metode *3D printing*. Berdasarkan uraian tersebut, fokus pada pembuatan wadah baterai LiFePO₄ berdimensi 410 mm × 110 mm × 315 mm dengan spesifikasi 3,7 V, 250 mA dan kapasitas produksi 0,013 unit/jam. Selain mempertimbangkan aspek manufaktur menggunakan teknologi

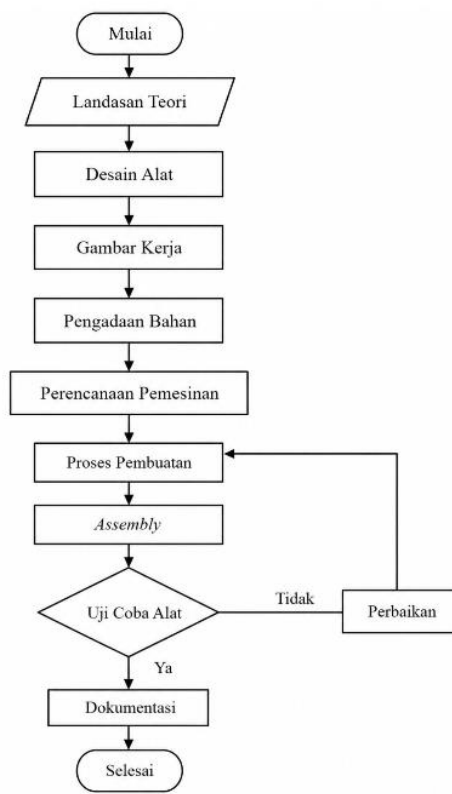
3D printing, juga evaluasi kekuatan struktur dan biaya produksi, sehingga diperoleh desain wadah baterai yang selamat, ekonomis, dan sesuai untuk aplikasi sepeda motor listrik.

Pembuatan wadah baterai LiFePO₄ berdimensi panjang 410 mm, lebar 110 mm, dan tinggi 315 mm yang diproduksi menggunakan bahan ABS melalui teknologi *3D printing* mampu menghasilkan struktur yang selamat dan layak digunakan pada aplikasi sepeda motor listrik. Selain hal tersebut, desain yang dihasilkan diperkirakan mampu menahan beban operasional baterai dengan nilai tegangan dan deformasi yang masih berada dalam batas selamat dan dapat diproduksi dengan biaya dan waktu manufaktur yang ekonomis.

3. METODE PENELITIAN

Metode pembuatan mengikuti diagram alir sebagaimana Gambar 1 yang menjelaskan tahapan pembuatan alat secara sistematis mulai dari tahap awal hingga proses akhir selesai dilaksanakan. Proses diawali dari tahap Mulai, yaitu tahap persiapan pekerjaan yang mencakup penentuan tujuan pembuatan alat, identifikasi kebutuhan, dan penyusunan rencana kerja. Selanjutnya dilakukan Landasan Teori, yaitu mempelajari konsep dasar, rumus perhitungan, dan acuan terkait produk yang dibuat agar desain memiliki dasar ilmiah yang jelas. Tahap berikutnya adalah Desain Alat, yaitu menentukan desain alat, fungsi utama, ukuran, bentuk, dan komponen-komponen yang diperlukan. Setelah konsep desain selesai, dilanjutkan dengan Gambar Kerja, yaitu pembuatan gambar teknik secara detail sebagai pedoman dalam manufaktur dan perakitan. Gambar kerja berisi ukuran, bentuk komponen, toleransi, dan detail lainnya agar pembuatan sesuai dengan desain. Setelah gambar kerja selesai, dilakukan Pengadaan Bahan, yaitu menyiapkan bahan baku, komponen pendukung, dan perlengkapan yang dibutuhkan sesuai spesifikasi desain. Kemudian masuk ke tahap Perencanaan Pemesinan, yaitu menentukan urutan pengerjaan komponen untuk pemotongan, pengeboran, pembubutan, pengelasan, perakitan awal, maupun *finishing*. Tahap tersebut penting agar produksi berjalan efektif, efisien, dan sesuai standar kerja. Setelah seluruh perencanaan matang, dilakukan Pembuatan, yaitu pengerjaan setiap komponen berdasarkan gambar kerja menggunakan mesin dan peralatan yang telah ditentukan. Komponen yang telah selesai dibuat kemudian dirakit pada tahap *Assembly*, sehingga seluruh bagian alat menjadi satu kesatuan sistem yang utuh. Setelah perakitan selesai, dilakukan Uji Coba Produk untuk mengetahui kinerja, fungsi, dan kelayakan alat yang telah dibuat. Jika pada tahap pengujian ditemukan kendala atau alat belum bekerja sesuai rencana, maka dilakukan Perbaikan pada bagian yang bermasalah hingga alat dapat berfungsi dengan baik. Bila alat telah memenuhi tujuan desain, proses dilanjutkan ke tahap Dokumentasi, yaitu pencatatan hasil pembuatan, data pengujian, dan penyusunan laporan

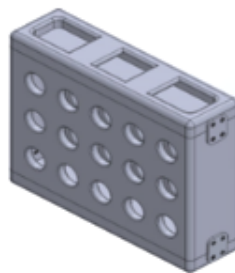
sebagai bentuk pertanggungjawaban kegiatan. Tahap terakhir adalah Selesai, yang menandakan seluruh pembuatan alat telah berhasil diselesaikan sebagaimana Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Alir Pembuatan Wadah Baterai.

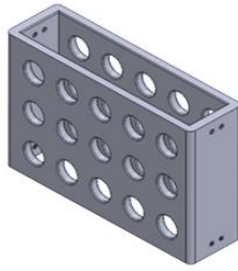
4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Desain komponen wadah baterai LiFePO₄ berdimensi 410x110x315 mm, 3,7 V, 250 mA sebagaimana Gambar 2 hingga Gambar 6.



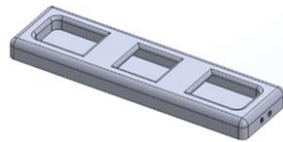
Gambar 2. Perakitan *Cassing* Baterai.

Gambar 2 merupakan desain keseluruhan dari casing baterai *swap*. Bahan yang digunakan dalam casing tersebut adalah PLA+. *Cassing* sebagaimana Gambar 3 memiliki dimensi 410mm x 110mm x 315mm. *Casing* tersebut digunakan untuk memudahkan pengguna dari sentuhan langsung dengan rangkaian baterai.



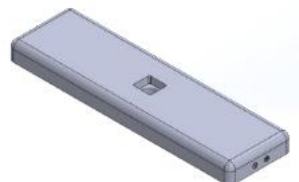
Gambar 3. *Cassing* Baterai.

Bagian *cassing* baterai sebagaimana Gambar 3 berukuran 255x390x110 mm yang melindungi baterai dan komponen *Battery Management System* (BMS) untuk selalu selamat dan tidak cepat rusak. Terdapat beberapa pori-pori sebagai sirkulasi udara yang mengarah ke baterai, dengan tujuan agar baterai tetap dalam temperatur yang selamat yang merupakan pemicu baterai dapat meledak yang disebabkan *overheat* pada baterai diwaktu pengisian.



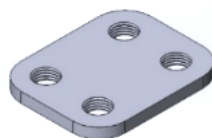
Gambar 4. Cap *Cassing*.

Cap Cassing sebagaimana Gambar 4 sebagai pegangan untuk memudahkan pengguna dalam *swaping* baterai. Kepala *casing* tersebut memiliki dimensi 390mm x 110mm x 30mm.



Gambar 5. *Base Cassing*.

Base Cassing sebagaimana Gambar 5 berfungsi sebagai tempat untuk socket baterai untuk menghubungkan baterai dengan alat charger dan berfungsi juga untuk menopang beban dari rangkaian baterai.



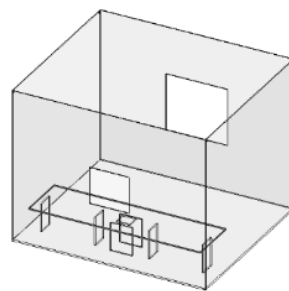
Gambar 6. Dudukan *Cassing*.

Dudukan *Cassing* sebagaimana Gambar 6 dibutuhkan untuk menyambungkan antara Cap *Cassing*, Cover, dan Base casing. Bagian tersebut juga untuk penguat konstruksi dari casing baterai sendiri. Desain bodi untuk alat pengisian ulang tersebut menggunakan software

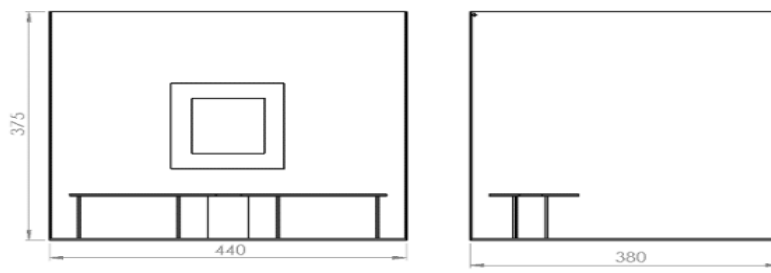
solidwork 2023 dengan menggunakan fitur structural member. Bahan yang digunakan adalah akrilik dengan ukuran 440mm x 375mm x 380mm dengan tebal 3mm. Pemilihan bahan akrilik dikarenakan berat bahan yang terbilang ringan, bahan mudah dicari di pasaran, dan harga bahan yang terjangkau.

Bodi alat pengisian ulang terdiri beberapa komponen yang disambung dengan lem akrilik, baut, dan klem siku. Komponen tersebut antara lain, yaitu: Dudukan (*Bracket*) LCD, Tutup belakang, Tutup depan, Penutup Bodi, dan Dudukan baterai.

Desain bodi alat pengisian ulang baterai sebagaimana Gambar 7 dan dimensi bodi alat pengisian ulang sebagaimana Gambar 8.



Gambar 7. Bodi Alat *Charger*.



Gambar 8. Dimensi Bodi.

Analisis simulasi kekuatan pada dudukan baterai digunakan untuk melihat keselamatan kekuatan dari konstruksi dudukan baterai terhadap beban komponen yang ditopangnya dengan menggunakan software solidwork 2023.

Desain dan data berat komponen yang digunakan untuk pembebanan pada dudukan baterai sebagaimana Tabel 1.

Tabel 1. Beban Komponen.

No.	Nama Komponen	Berat (g)
1	Cap Cassing	250
2	Cassing Baterai	700
3	Base Cassing	250
4	Bracket Cassing	100
5	Rangkaian Baterai	8.000
6	Baut M8x1.25	1.000
Jumlah		10.300 g

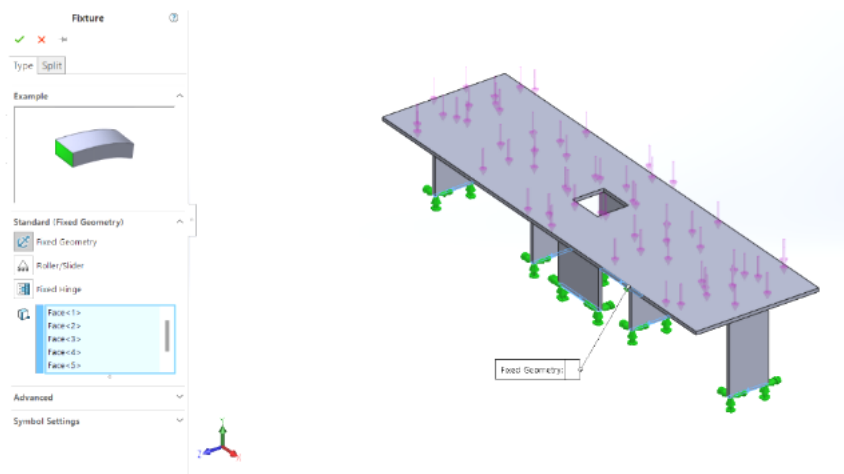
Dari jumlah beban/berat pada Tabel 1, didapatkan senilai 10.300 g/10,3 kg.

Bahan yang digunakan adalah Acrylic (*Medium-High Impact*) dengan spesifikasi pada *software solidwork 2023* sebagaimana Tabel 2.

Tabel 2. Data Kekuatan Bahan.

Property	Value	Units
Elastic Modulus	3000	N/mm ²
Poisson's Ratio	0.35	N/A
Shear Modulus	890	N/mm ²
Mass Density	1200	kg/m ³
Tensile Strength	73	N/mm ²
Compressive Strength		N/mm ²
Yield Strength	45	N/mm ²
Thermal Expansion Coefficient	5.2e-05	/K
Thermal Conductivity	0.21	W/(m·K)
Specific Heat	1500	J/(kg·K)
Material Damping Ratio		N/A

Penentuan *fixed geometry* dan letak pembebanan (*force*) sebagaimana Gambar 9 adalah bagian yang tidak bergerak atau dapat diasumsikan sebagai bidang yang tidak berubah.

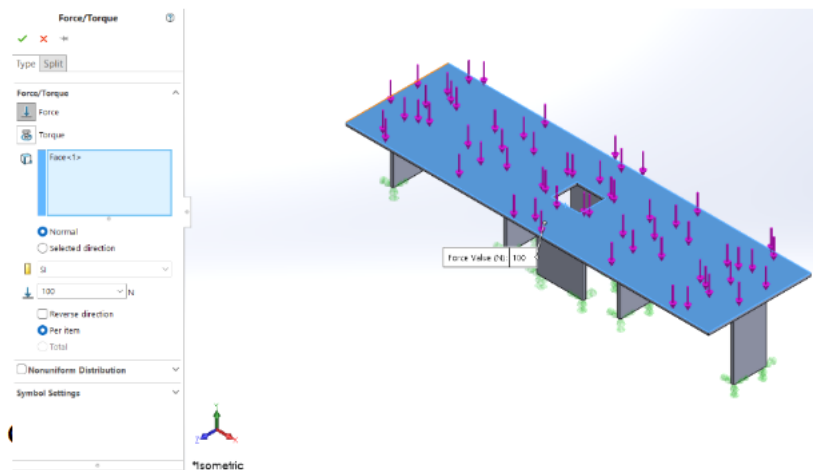


Gambar 9. *Fixed Geometry* Simulasi Desain Dudukan Baterai.

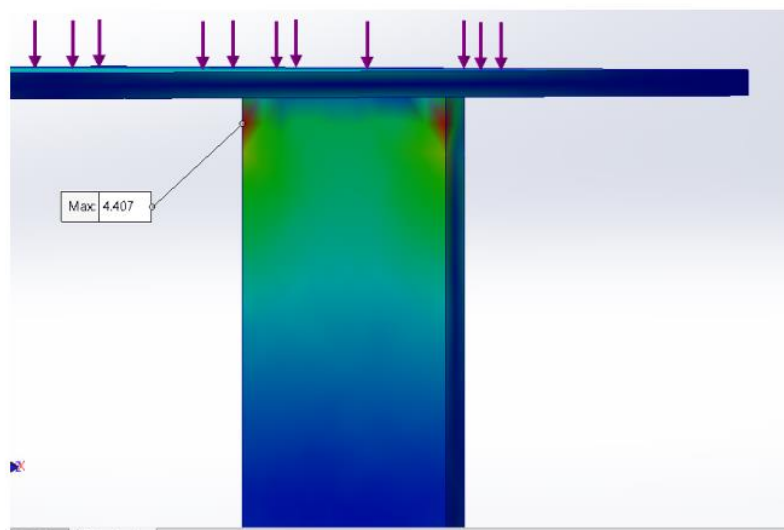
Fixed geometry pada solidwork biasa ditandai dengan tanda panah berwarna hijau dan letak *fixed geometry* pada dudukan baterai alat pengisian ulang.

Force adalah gaya yang diterapkan pada suatu benda. Gaya tersebut dapat diatur dalam berbagai bentuk, untuk gaya searah, gaya gerak, atau gaya sudut, dan digunakan dalam analisis statis untuk menentukan tegangan dan regangan yang terjadi pada benda, dan defleksi dan deformasi yang terjadi, biasa disimbolkan dengan tanda panah berwarna ungu. Berikut gambar letak pembebanan (*force*) pada dudukan baterai alat pengisian ulang.

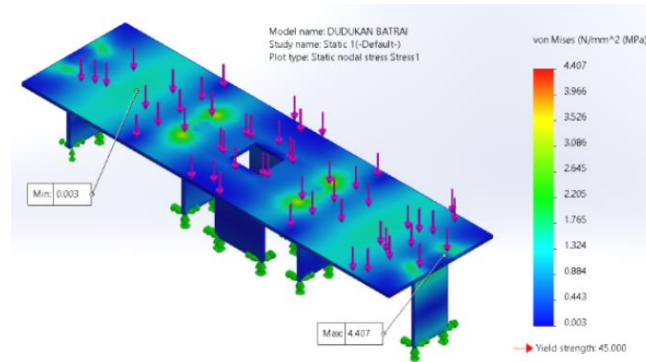
Setelah ditentukan jumlah berat pembebanan, letak dan arah pembebanan dan *fixed geometry*, dapat dilakukan simulasi untuk mengetahui distribusi tegangan (*stress*) yang terjadi, perubahan perpindahan, dan faktor keselamatan (*safety factor*) pada *solidwork software*. Nilai Tegangan dari Simulasi dengan Beban 11 kg (110 N) sebagaimana Gambar 10.



Gambar 10. Nilai Tegangan dari Simulasi dengan Beban 11 kg (110 N).
Hasil Simulasi Tegangan Geser Dudukan sebagaimana Gambar 11.



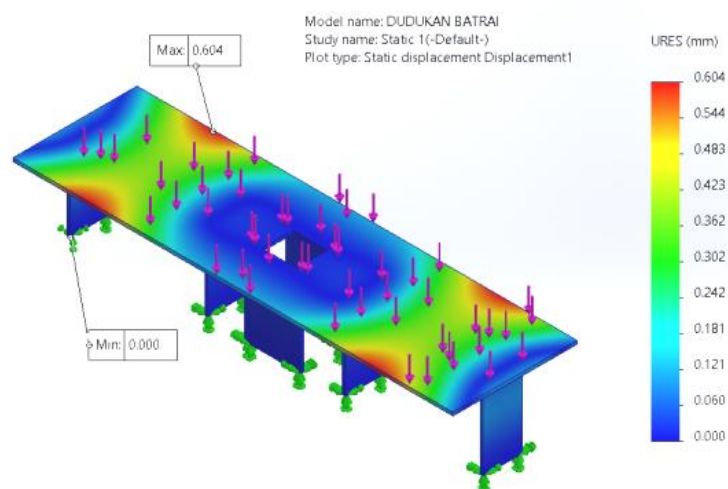
Gambar 11. Hasil Simulasi Tegangan Geser Dudukan.



Gambar 12. Detail Sisi Terdampak Tegangan.

Dari hasil Gambar 11 bisa dikenali jikaudukan baterai menerima tegangan paling besar dengan gradasi berwarna merah, dan tegangan paling kecil ditandai oleh warna biru, tegangan bernilai sedang bidang berwarna kuning-hijau-biru muda. pada Dudukan baterai alat pengisian ulang hasil simulasi mengalami tegangan terbesar senilai 4,407 MPa. *Frame* selamat dalam menahan gaya Cassing baterai dari hasil simulasi, karena tegangan maksimal tidak melampaui kekuatan luluhnya senilai 45,000 MPa.

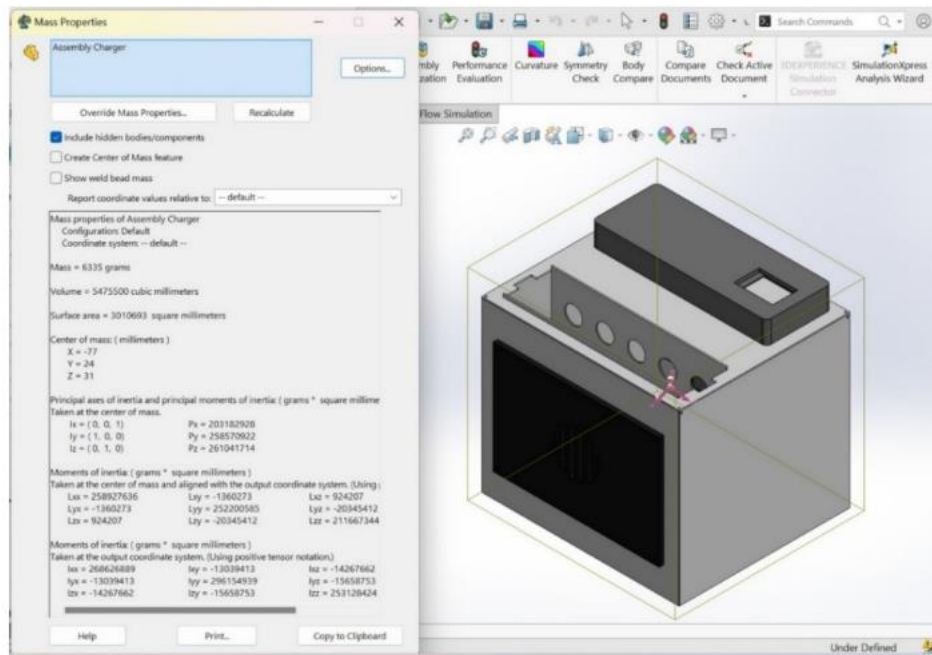
Nilai untuk perubahan bentuk dari simulasi yang telah dilakukan dengan beban senilai 11 kg (110 N) sebagaimana Gambar 12.



Gambar 13. Hasil Simulasi Perpindahan.

Dari hasil simulasi perpindahan sebagaimana Gambar 13, nilai untuk perubahan bentuk terbesar ditunjukkan oleh diagram berwarna merah dan terkecil ditunjukkan oleh diagram berwarna biru. Nilai perubahan bentuk terbesar senilai 0,604 mm.

Nilai volume dan massa alat charger dapat diketahui pada software solidwork 2024. Dalam alat charger tersebut menggunakan bahan akrilik dan PLA+.



Gambar 14. Hasil Evaluasi Volume dan Massa Alat.

Dari hasil evaluasi di software solidwork dapat diketahui volume pengisian ulang baterai adalah 5.475 mm³ dan massa senilai 6.335 g sebagaimana Gambar 14.

Estimasi biaya dan waktu pembuatan wadah baterai LiFePO₄ dimensi 410x110x315 mm, 3,7 V 250 mA sebagaimana Tabel 3.

Tabel 3. Estimasi Biaya dan Waktu Pembuatan Wadah Baterai LiFePO₄ Dimensi 410x110x315 mm, 3,7 V 250 mA.

No.	Tahapan Proses	Biaya Produksi (Rp)	Durasi Proses (Menit)
1	Penyiapan 3 spesimen pengujian tarik dan 3 spesimen uji lentur	30.000	10
2	Pengujian tarik dan pengujian lentur	50.000	12
3	Desain rangkaian wadah sel-sel baterai terangkai dengan kelengkapan tempat pegangan kedua tangan	60.000	15
4	Penyiapan bahan filamen ABS 3D printing	200.000	5
5	Pencetakan beberapa wadah, beberapa klem dan beberapa baut dengan 3D printing	50.000	20
6	Perakitan dengan klem hasil 3D printing	40.000	8
7	Pengujian kekakuan dan kekuatan	70.000	10
8	Pemeriksaan mutu-dimensi-standar	44.000	7
	Jumlah	544.000	87
	Pajak 10%	54.000	
	Laba 15%	81.600	
	Total/Harga jual/unit	680.000	

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Hasil pembuatan wadah baterai LiFePO_4 berdimensi panjang 410 mm, lebar 110 mm, tinggi 315 mm dari hasil 3D printing ABS, biaya produksi Rp Rp 544.000,00/unit dan durasi proses 87 menit/unit, tahan bobot 10,3 kg yang berkonsekwensi bahwa wadah baterai LiFePO_4 berdimensi 410x110x315 mm, dan spesifikasi 3,7 V, 250 mA dapat digunakan dengan baik untuk sepeda motor listrik tipe tertentu.

Saran tindak lanjut dari simpulan adalah perlu: (1) pengujian eksperimental secara langsung terhadap ketahanan struktur wadah baterai pada berbagai kondisi pembebanan dan getaran yang menyerupai kondisi operasi sebenarnya pada sepeda motor listrik, (2) evaluasi penggunaan bahan alternatif yang lebih ringan dan memiliki kekuatan lebih tinggi, untuk komposit atau polimer teknik lainnya, guna meningkatkan kinerja dan efisiensi produk, dan (3) pengembangan desain dapat diarahkan pada peningkatan sistem ventilasi dan manajemen termal untuk menjaga temperatur baterai tetap berada pada rentang operasi yang selamat selama penggunaan.

DAFTAR REFERENSI

- Anwar, C. & Suprayitno, A. (2021). Desain Sistem Pendingin Kemasan Baterai Litium Ion Kapasitas Pengisian Cepat dengan PCM (*Phase Change Material*) dan Pelat Pendingin. *Jurnal Kajian Teknik Mesin*, 6(1), 12–19. <https://doi.org/10.52447/jktm.v6i1.4325>
- Aryanto, Y. H. (2022). Analisis Megatren atas Bisnis Pengisian Daya dan Penukaran Baterai Kendaraan Listrik. *Buletin Pertamina Energy Institute*, 8(4), 8-30. <https://www.pertaminafoundation.org>
- Bakeer, A., Chub, A., Shen, Y. & Sangwongwanich, A. (2022). Reliability Analysis of Battery Energy Storage System for Various Stationary Applications. *Journal of Energy Storage*, 50, 104217. <https://doi.org/10.1016/j.est.2022.104217>
- Farizy, A. F. & Asfani, D. A. (2016). Desain Sistem Monitoring State of Charge Baterai pada Charging Station Mobil Listrik Berbasis Fuzzy Logic dengan Mempertimbangkan Temperature. *Jurnal Teknik ITS*, 5(2), 2301-9271. <https://doi.org/10.12962/j23373539.v5i2.16203>
- Feng, Y. & Lu, X. (2021). Construction Planning and Operation of Battery Swapping Stations for Electric Vehicles: a literature review. *Energies*, 14(24), 8202. <https://doi.org/10.3390/en14248202>
- Feng, Y. & Lu, X. (2022). Deployment and Operation of Battery Swapping Stations for Electric Two-Wheelers Based on Machine Learning. *Journal of Advanced Transportation*, 2022, 1–21. <https://doi.org/10.1155/2022/8351412>
- Hisan, A. R., Handayani, I. P., & Iskandar. (2016). Designing and Realization of Battery Thermal Management System for Lithium Ion Battery Using Semi Passive Cooling Method. *eProceedings of Engineering*, 3(3), 4948-4955.

- Kusum, K., & Parveer, C. (2018). Design of Charging Station for Electric Vehicle Batteries. *International Journal of Advanced Engineering, Management and Science*, 4(7), 496-509. <https://doi.org/10.22161/ijaems.4.7.2>
- Lufhf, D. & Wahyudi, B. (2024). Studi Optimasi Pengaruh Sisa Kapasitas dan Arus Pengisian terhadap Keandalan Individu Baterai LiFePO₄ 3,2V 6AH. *Journal of Mechanical Engineering*, 1(3), 1-10. <https://doi.org/10.47134/jme.v1i3.2757>
- Nahian, M., dkk. [siapa nama temannya?](2019). Reliability Analysis of Different Cell Configurations of Lithium-Ion Battery Pack. *ASEAN Journal for Science and Engineering*, 18(2), 49-56. <http://dx.doi.org/10.53799/ajse.v18i2.40>
- Ngo, T. D., Kashani, A., Imbalzano, G., Nguyen, K. T. Q. & Hui, D. (2018). Additive Manufacturing (3D Printing): a Review of Materials, Methods, Applications and Challenges. *Composites Part B: Engineering*, 143, 172-196. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2018.02.012>
- Permatasari, E. P., Rindi, M. P. & Purwanto, A. (2017). Pembuatan Katoda Baterai Lithium Ion Iron Phosphate (LiFePO₄) dengan Metode Solid State Reaction. *Equilibrium: Journal of Chemical Engineering*, 1(1), 27. <https://doi.org/10.20961/equilibrium.v1i1.40373>
- Rachmanto, M. K. A., Wibowo, L. T. & Paramitha, T. (2020). Review: Metode Sintesis Katoda LiFePO₄ Baterai Lithium-Ion. *Equilibrium: Journal of Chemical Engineering*, 3(2), 75. <https://doi.org/10.20961/equilibrium.v3i2.42833>
- Setiawan, R. B., Reza, M., & Suwono, S. (2019). Implementasi Sistem Monitoring Jarak Tempuh pada Sepeda Motor Listrik. *eProceedings of Engineering*, 6(2), 2732-2741.
- Shahrubudin, N., Lee, T. C. & Ramlan, R. (2019). An Overview on 3D Printing Technology: Technological, Materials, and Applications. *Procedia Manufacturing*, 35, 1286-1296. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2019.06.089>
- Teguh, R. (2019). System Design of Battery Swapping Station Management for Electric Motorcycle Based on Battery. *eProceedings of Engineering*, 6(2), 2677-2684.
- Wahyudi, B. & Wicaksono, H. (2022). Validating the reliability simulation using bohlamp circuit with accelerated life test method. *Mathematical Modelling of Engineering Problems*, 9(5), 1327–1334.
- Wu, H. (2022a). A survey of battery swapping stations for electric vehicles: Operation modes and decision scenarios. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 23(8), 10163–10185. <https://doi.org/10.1109/TITS.2021.3125861>
- Wu, Y., Zhuge, S. & Han, G. (2022b). Economics of Battery Swapping for Electric Vehicles-Simulation Based Analysis. *Energies*, 15, 1714. <https://doi.org/10.3390/en15051714>
- Xu, B., Oudalov, A., Ulbig, A., Andersson, G. & Kirschen, D. S. (2023). Modeling of Lithium-Ion Battery Degradation for Cell Life Assessment. *Journal of Power Sources*, 232, 242-250. <https://doi.org/10.1109/TSG.2016.2578950>
- Zhang, X., Wang, Y. & Liu, C. (2022). Battery swapping Station for Electric Vehicles: Opportunities and Challenges. *Energy Reports*, 8, 1375-1385.