

ANALISIS CHASSIS PROTOTYPE GREEN AGV MENGGUNAKAN METODE FINITE ELEMENT ANALYSIS (FEA) DI AKADEMI KOMUNITAS TOYOTA INDONESIA

Suryawhan Arifandi¹, Muhammad Naufal Faqih², Harki Apriyanto²

¹TOPKR4, Akademi Komunitas Toyota Indonesia, Karawang, Indonesia

²Teknik Mesin dan Industri, Fakultas Teknik, Politeknik Astra, Bekasi, Indonesia

*Corresponding Author: suryawhan.arifandi@akti.ac.id

Abstract

Global warming continues to increase year by year, with carbon emissions from the manufacturing industry being one of the primary contributors. In an effort to support the "Plant Zero Carbon Emission" initiative, this research develops an environmentally friendly Automated Guided Vehicle (AGV) prototype featuring an Aluminum SUS Green Frame, hydrogen fuel cell power, and an autonomous system. This study focuses on the design and fabrication of the AGV prototype chassis based on the Conceive, Design, Implement, and Operate (CDIO) framework. The resulting prototype was analyzed using the Finite Element Analysis (FEA) method to evaluate the structural strength of the chassis. The stress analysis results on the motor bracket indicated von Mises stress values of 7.75 MPa under a 20 kg load, 25.30 MPa under a 40 kg load, and 37.95 MPa under a 60 kg load. Based on these loading tests, the stress values remain well below the material's yield strength of 275 MPa, confirming that the design is safe. These findings provide a technical foundation for the development of eco-friendly AGVs that can be implemented on an industrial scale in the future.

Keywords: Green Automated Guided Vehicle (AGV), Hydrogen Fuel Cell, SUS GF Chassis

Abstrak

Pemanasan global dari tahun ketahun mengalami peningkatan. Salah satu penyebabnya adalah emisi karbon dari industri manufaktur. Sebagai upaya mendukung Plant Zero Emission Carbon, penelitian ini mengembangkan prototype Automated Guided Vehicle (AGV) ramah lingkungan dengan rangka berbahan Alluminium SUS Green Frame dan bahan bakar hidrogen serta system autonomus. Pada penelitian ini berfokus pada perancangan dan pembuatan chassis prototype AGV berdasarkan langkah Conceive, Design, Implement, Operate (CDIO). Prototipe yang dihasilkan kemudian dianalisis dengan metode Finite Element Analysis (FEA) untuk menghitung kekuatan chassis. Hasil analisis stress bracket motor menunjukkan bahwa nilai tegangan von Mises sebesar 7,75 MPa pada pembebanan 20 kg dan 25,30 MPa pada pembebanan 40 kg serta 37,95 MPa pada pembebanan 60 kg. Berdasarkan pengujian pembebanan tersebut diketahui bahwa nilai masih berada dibawah batas yield strength material 275 MPa, sehingga desain dinyatakan aman. Temuan ini memberikan dasar teknis untuk pengembangan AGV ramah lingkungan yang kedepannya dapat diimplementasikan dalam skala industri.

Kata Kunci: Green Automated Guided Vehicle (AGV), Sel Bahan Bakar Hidrogen, Rangka SUS Green Frame

PENDAHULUAN

Isu lingkungan yang perlu ditanggulangi secara global adalah peningkatan gas rumah kaca (Labaran et al., 2022). Peningkatan gas rumah kaca berdampak pada kenaikan temperatur global yang berpengaruh terhadap iklim dan ekosistem (Buana & 2024, n.d.). Hal ini

meningkatkan resiko bencana alam semakin sering dan berbahaya. Perubahan iklim tersebut terbukti sebagai fenomena yang disebabkan oleh manusia salah satunya bersumber dari Carbon foot print gas (UNESCO, 2019).

Carbon foot print gas yang berlebih merupakan emisi yang bersumber dari berbagai faktor. Faktor alam, pertanian, industri dan energi, limbah rumah tangga dan konsumsi (Lamb et al., 2021). Sektor industri dan energi menghasilkan emisi melalui proses produksi yang memanfaatkan bahan bakar fosil. Berdasarkan beberapa penelitian dalam sektor industri manufaktur emisi yang dihasilkan terus meningkat. di Taiwan terdapat sebuah penelitian mengenai emisi yang dihasilkan enam belas produsen komponen elektronika. Dari tahun 2015-2020 terus mengalami peningkatan emisi gas rumah kaca 7,5% setiap tahun (Liu et al., 2019). Berdasarkan penelitian di Cina telah terjadi peningkatan Emisi CO₂ dari bidang manufaktur dari 1,91 miliar ton pada tahun 1995 menjadi 6,25 miliar ton pada tahun 2015, dengan tingkat pertumbuhan tahunan rata-rata sebesar 6% (Moshayedi et al., 2019). Di Indonesia dari berbagai sektor penghasil emisi juga menunjukkan peningkatan bahwa emisi yang dihasilkan pada tahun 2023 menghasilkan emisi 613.330 Gg CO₂ l dibandingkan pada tahun 2022 menghasilkan emisi 535.781 Gg CO₂.

Berdasarkan fenomena tersebut, banyak perusahaan manufaktur yang peduli terhadap pengurangan emisi karbon. Perusahaan berlomba-lomba melakukan inovasi untuk mengurangi emisi. Proses yang dilakukan dengan memanfaatkan teknologi terbaru salah satunya memanfaatkan robot transportasi barang yaitu Automated Guided Vehicle (AGV) (Bechtsis et al., 2017). (AGV) berperan penting dalam mendukung konsep green manufacturing dengan mengurangi emisi karbon dan meningkatkan efisiensi energi di sektor industri (Moshayedi et al., 2019). AGV menggunakan tenaga listrik atau sumber energi bersih seperti fuel cell hydrogen, sehingga mengurangi ketergantungan pada kendaraan berbahan bakar fosil di area produksi. Selain itu, AGV mengoptimalkan rute pengangkutan material secara otomatis, meminimalkan waktu idle, dan mengurangi konsumsi energi (Bechtsis et al., 2017). Integrasi AGV dengan sistem manajemen energi dan teknologi IoT juga memungkinkan pemantauan konsumsi daya secara real-time, mendukung penerapan smart green factory. Dengan efisiensi, fleksibilitas, dan keamanan yang ditawarkan, AGV tidak hanya meningkatkan produktivitas tetapi juga menjadi solusi strategis untuk mencapai target zero emission dalam industri manufaktur

Desain chassis AGV merupakan aspek krusial yang menentukan kinerja, efisiensi, dan keselamatan system (Deiber et al., 2023). Chassis berfungsi sebagai struktur utama yang menahan beban dan menopang komponen penting seperti motor, sensor, dan sistem kontrol (Patel et al., 2022). Desain yang kuat dan ringan tidak hanya menjamin keamanan saat

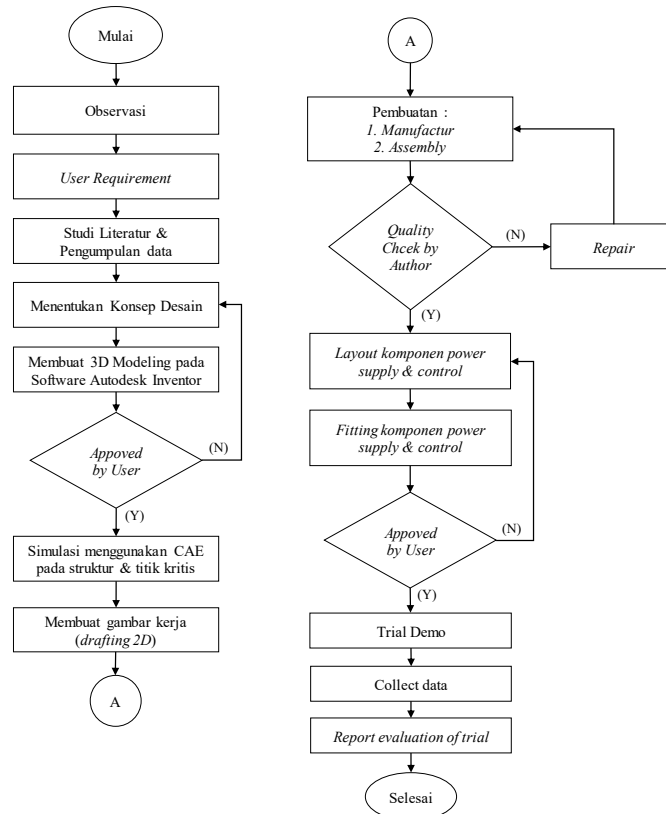
membawa muatan, tetapi juga mengurangi konsumsi energi sehingga mendukung konsep ramah lingkungan. Selain itu, distribusi massa yang tepat memengaruhi stabilitas dan akurasi navigasi, terutama pada AGV dengan roda mecanum atau tipe towing. Pemilihan material seperti SUS Green Frame memberikan daya tahan terhadap beban dan korosi, sekaligus memperpanjang umur pakai. Dengan desain yang ergonomis dan modular, integrasi komponen menjadi lebih mudah, perawatan lebih efisien, dan risiko kecelakaan kerja dapat diminimalkan. Oleh karena itu, desain chassis bukan sekadar estetika, melainkan faktor strategis untuk mendukung performa dan keberlanjutan AGV dalam industri manufaktur.

Berbagai penelitian telah mengkaji desain dan pengembangan AGV, namun umumnya berfokus pada aplikasi industri dan belum menitikberatkan pada pemanfaatan material berbasis green manufacturing. Hingga saat ini, belum banyak penelitian yang secara khusus menganalisis penggunaan aluminium khususnya jenis SUS Green Frame sebagai chassis AGV. Oleh karena itu, penelitian ini diperlukan untuk mengkaji kelayakan SUS Green Frame sebagai chassis AGV dari aspek desain, fungsi, dan keberlanjutan, sehingga dapat memberikan kontribusi ilmiah serta menjadi rujukan praktis dalam pengembangan media pembelajaran AGV yang ramah lingkungan.

Penelitian ini akan menganalisa rancang bangun chassis robot AGV menggunakan metode Finite Element Analysis (FEA) pada prototipe AGV yang dikembangkan di Akademi Komunitas Toyota Indonesia (AKTI). Prototipe dikembangkan untuk memenuhi percobaan pengembangan material dan design sebagai pembelajaran kurikulum Green Industri dalam skala laboratorium (prototipe). Selain itu proyek ini dilakukan dengan tujuan sebagai media untuk melakukan pengembangan Green AGV pada tahap lanjut yang dapat diimplementasikan dalam skala industri. AGV yang dikembangkan diharapkan lebih ramah lingkungan, ringan, dan hemat energi menggunakan material aluminium yang bersifat ringan, dan kuat, sehingga dapat meningkatkan efisiensi dan memberikan kontribusi dalam pengurangan carbon footprint di plant produksi.

METODE

menganalisa kekuatan chasis prototype AGV yang disusun di Akademi Komunitas Toyota Indonesia dimulai dengan perancangan dan pembuatan prototipe chassis AGV dengan metode CDCIO, yang selanjutnya dilakukan pengujian ketahanan struktur chassis dengan metode FEA untuk mengevaluasi kemampuan menahan beban kerja yang direncanakan. beberapa tahap dengan alur sebagai berikut:



Gambar 1. Flow proses perancangan

Dalam tahap pembuatan prototipe Green AGV yang dimulai dari observasi sampai evaluasi trial. Hal ini dilakukan agar seluruh proses dapat berjalan secara sistematis. Berikut penjabaran berdasarkan (*Conceive, Design, Implement, Operate*) CDCIO (Alarcon-Pereira et al., 2023; Song, 2018; Widodo et al., 2025; Zheng et al., 2025):

- a. *Conceive* untuk identifikasi konsep desain. Pembuatan prototipe di penelitian diawali dengan mencari dan mempelajari teori-teori dasar AGV dari berbagai sumber yaitu dengan memahami prinsip kerja, macam-macam bentuk dan fungsinya. Lalu dilakukan pengumpulan data dengan cara menentukan berat dari setiap komponen yang akan dirancang. Dilanjutkan dengan melakukan perancangan konsep dilakukan dengan cara membuat gambar perancangan, menentukan pemilihan dan jenis ukuran masing-masing part, menentukan alat yang digunakan, menentukan proses pembuatan chassis, menentukan proses perakitan (Bechtsis et al., 2017).

- b. Design meliputi visualisasi model AGV dengan mempertimbangkan beban yang ditanggung, system pemrosesan yang diperlukan termasuk proses input sensor, algoritma navigasi, dan kontrol motor (Hu et al., 2020). Visualisasi dilakukan menggunakan autodesk inventor 2023
- c. Implement merupakan tahap prototipe yang telah dirancang dan dibuat (*created*) mulai dijalankan atau diintegrasikan dalam lingkungan nyata atau simulasi untuk pengguna akhir (Abdullah et al., 2003).

Dalam proses simulasi prototipe yang dibuat, hasil pembuatan chassis diuji dengan metode *Finite Element Analysis (FEA)* adalah metode numerik yang digunakan untuk menganalisis tegangan, deformasi, getaran, perpindahan panas, dan fenomena fisika lainnya pada suatu objek atau sistem Teknik (Jiao Fu et al., 2009) dengan persamaan sebagai berikut:

$$[K]\{u\}=\{F\}$$

$[K]$ = Stiffness matrix (matriks kekakuan global)

$\{u\}$ = Displacement vector (vektor perpindahan)

$\{F\}$ = Force vector (vektor gaya)

Analisis ini dilakukan dengan asumsi bahwa beban yang bekerja bersifat statis dan pengaruh dinamis, seperti getaran dan kelelahan material, tidak diperhitungkan. Kondisi batas (*boundary conditions*) diterapkan dengan mengasumsikan titik tumpuan roda sebagai fixed support, yang merepresentasikan kondisi chassis saat menopang beban secara statis. Kontak antar profil rangka diasumsikan bersifat *bonded*, sementara sambungan baut dan konektor tidak dimodelkan secara eksplisit dan dianggap memiliki kekakuan sempurna. Pendekatan ini digunakan untuk menyederhanakan model tanpa mengurangi validitas analisis struktur secara keseluruhan.

Skema pembebanan diterapkan dalam bentuk beban statis terdistribusi pada permukaan atas chassis yang merepresentasikan berat komponen utama AGV, seperti baterai, sistem kontrol, dan beban muatan. Besarnya beban disesuaikan dengan kapasitas beban rencana chassis AGV. Beban gravitasi juga diperhitungkan untuk merepresentasikan berat sendiri struktur chassis.

Hasil simulasi FEA dianalisis berdasarkan nilai tegangan Von Mises maksimum, deformasi total, dan faktor keamanan (Majid et al., 2021). Tegangan maksimum dibandingkan dengan tegangan luluh material untuk menentukan tingkat keamanan desain chassis. Deformasi maksimum dievaluasi untuk memastikan bahwa perubahan bentuk yang terjadi masih berada dalam batas toleransi desain yang dapat diterima.

d. Operate yang dimaksudnya hasil akhir dari proses (produk, sistem, atau solusi) digunakan secara nyata dalam lingkungan operasional oleh pengguna akhir (UNESCO, 2019). Dalam proses pengoperasian ini peneliti melakukan pengukuran kekuatan chassis.

HASIL DAN PEMBAHASAN

HASIL

a. Conceive

Desain chassis prototipe Green AGV yang dipilih berdasarkan kriteria berdasarkan fungsi, keamanan, biaya, fungsi, safety, cost, kemudahan manufaktur dan perawatan (Abdullah et al., 2003). Pada desain ini memiliki general assy meliputi *main assy chassis* dan *main assy cover body*.

No	Kriteria Perancangan	Deskripsi
1.	<i>Fuction</i> (Fungsi)	Tersedia space yang cukup untuk peletakan komponen prototipe green AGV Memiliki berat yang ringan Dapat menopang beban dari berat total komponen prototipe green AGV
2.	<i>Safety</i> (Keamanan)	Memiliki kemampuan terhadap tahan korosi Frame bawah AGV memiliki clearance yang besar terhadap permukaan tanah
3.	<i>Cost</i> (Biaya)	Biaya produksi relative murah Biaya pembelian material terjangkau
4.	<i>Manufactur ability</i> (Dapat diproduksi)	Mudah dalam proses manufaktur dan assembly chassis Waktu produksi cepat Material mudah didapatkan di pasaran /di vendor Mudah dalam layout komponen
5.	<i>Servis ability</i> (Kemampuan servis)	Mudah dalam bongkar pasang komponen Memiliki kemampuan chassis untuk di sesuaikan/modifikasi untuk pengembangan lebih lanjut

Tabel 1 Kriteria Perancangan Chasis AGV

Desain cover body dibuat dengan menyesuaikan bentuk dari chassis dan kriteria perancangan. Adapun kriteria yang dibutuhkan dalam membuat desain *cover body* seperti pada tabel di bawah ini.

No	Kriteria Perancangan	Deskripsi
1.	<i>Fuction</i> (Fungsi)	Memiliki lubang ventilasi udara yang cukup untuk sirkulasi Dapat melindungi komponen AGV dari benturan, air, dan goresan Cover body AGV memiliki kekuatan yang cukup dari segi material
2.	<i>Safety</i> (Keamanan)	Memiliki bracket yang kuat dalam pengikatan cover body AGV ke chassis
3.	<i>Cost</i> (Biaya)	Biaya produksi relative murah

4. *Manufactur ability* (Dapat diproduksi) Biaya pembelian material terjangkau
Mudah dalam proses pembuatan/produksi
Dapat diproduksi di dojo TEFA
Material sesuai dengan kebutuhan

Tabel 2 Kriteria perancangan Chassis Cover Body

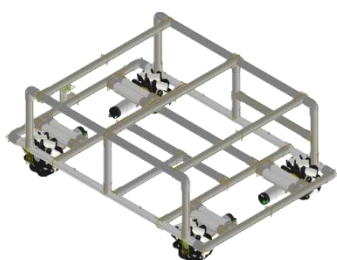
Berdasarkan kriteria yang telah ditentukan, beberapa part komponen yang digunakan untuk pembuatan chassis prototipe Green AGV ini sebagai berikut :

No	Komponen	Spesifikasi	Qty	Satuan
1	<i>Green Frame</i> (aluminium)	No. Sei DY28-01A	12	Meter
2	<i>Green Frame</i> (aluminium)	No. Seri DY28-06A	2	Meter
3	Multi connector (outer)	Type G - Angle	8	Pcs
4	Multi connector (outer)	Type G	22	Pcs
5	Multi connector (outer)	Type W SUS-GFJ-012	22	Pcs
6	<i>Acrylic sheet</i>	Thinknes 3mm	5	Lembar
7	<i>Acrylic sheet</i>	Thinknes 5mm	5	Lembar
8	<i>Bolt & Nut</i>	M2	4	Pcs
9	<i>Bolt & Nut</i>	M3	12	Pcs
10	<i>Bolt & Nut</i>	M4	4	Pcs
11	<i>Bolt & Nut</i>	M6	24	Pcs
12	Skrup	Ø4	22	Pcs
13	<i>Bracket Motor DC PG 45</i>	Ø6 inch	4	Pcs
14	<i>Hub Wheel Mecanum</i>	-	4	Pcs

Tabel 3. Komponen chassis

Pemilihan komponen-komponen dalam perancangan ini didasarkan pada analisis empat pilar utama, yaitu fungsionalitas (Function), standar keamanan (Safety), efisiensi biaya (Cost), dan kemudahan proses manufaktur (Manufacturability). Seluruh komponen tersebut kemudian diintegrasikan ke dalam desain rancang bangun yang telah disusun secara presisi menggunakan perangkat lunak Autodesk Fusion 360, dengan detail desain sebagai berikut:

Gambar 2. Desain chassis



Gambar 3. Desain cover body



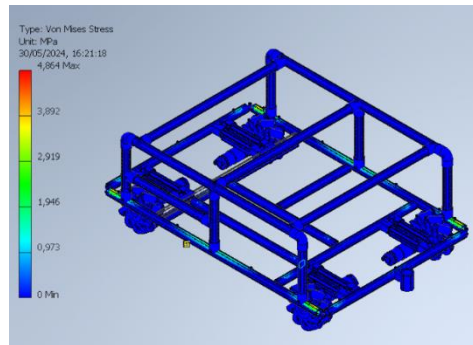
b. Implementasi

Implementasi dilakukan proses perakitan material yang telah ditentukan dalam periode yang ditentukan. Proses pembuatan chassis AGV melalui beberapa proses. Berikut ini merupakan proses-proses yang dilakukan: pemotongan bahan material, penggerindaan, pengeboran, pengelasan rangka, proses pendempulan dan pengamplasan, dan yang terakhir proses pengecatan, setelah itu masuk kepada peng-assembly part chassis.

c. Operate

Untuk analisa pengujian gaya beban statis ini dilakukan menggunakan tools Stress Analysis pada Autodesk Inventor 2023. Untuk simulasi perhitungan rangka terbagi menjadi tiga bagian yaitu: von mises stress, displacement, dan safety factor. Pada pengujian ini dilakukan pada bagian-bagian yang kritis (Bechtsis et al., 2017).

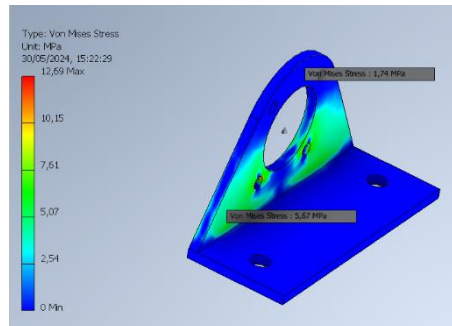
Gambar 4. Stress analysis frame chassis



Hasil Simulasi		Berat total komponen		
		20 kg	40 kg	60 kg
Von Mises	Maximum	7,75 MPa	15,50 MPa	23,25 MPa
Displacement	Maximum	0,16 mm	0,33 mm	0,50 mm
Safety Factor	Minimum	15	15	11,82

Tabel 4. Hasil simulasi stress analysis

Gambar 5. Stess analysis bracket motor dc pg45



Hasil Simulasi	Berat total AGV
----------------	-----------------

		20 kg	40 kg	60 kg
Von Mises	Maximum	12,65 MPa	25,30 MPa	37,95 MPa
Displacement	Maximum	0,06 mm	0,13 mm	0,19 mm
Safety Factor	Minimum	15	10,86	7,24

Tabel 5. Hasil stress analysis bracket motor dc pg45

Pada pengujian statis ini dilakukan sample pembebanan bervariasi, dimulai dari 20 kg – 60 kg dengan asumsi pembebanan merata dan bahan material aluminium alloy 6061 dengan nilai yield strength 275 Mpa.

A. Pengujian Dinamis (Trial)

Proses uji coba ini dilakukan setelah prototipe Green AGV melalui proses assembly, instalasi kelistrikan, dan sistem kontrol. Pada proses ini penulis membuat parameter pengujian berdasarkan fungsi, performa, dan keamanan. Berikut merupakan tabel hasil uji coba pada chassis dan cover body pada prototipe Green AGV :

Gambar 6. Pengujian dinamis



B. Hasil Pengujian Dinamis

Gambar 11. Tabel hasil trial

No	Parameter	Hasil		Masalah	Solusi	Remark
		Tercapai	Belum Tercapai			
1	Frame chassis dapat menopang beban komponen	✓				●
2	Semua komponen dapat terpasang pada chassis semua dengan baik	✓		Gas hidrogen belum tersedia	Menggunakan baterai untuk power supply nya	▲
3	Bracket komponen mampu mengikat seluruh komponen sistem kontrol dan sistem penggerak dengan baik	✓				●
4	Bracket motor tidak patah pada saat agv berjalan	✓		Ada kemungkinan deformasi pada bracket jika penggunaan jangka panjang	Mengganti bahan material bracket menjadi steel agar lebih kuat dan tahan lama	▲
5	Dapat bermanuver dengan baik	✓		Penggunaan roda mecanum kurang tepat jika digunakan pada konsep towing	Mengganti roda konvensional yang memiliki daya tahan yang lebih lama dan lebih kuat	▲
6	Roda tidak slip pada saat menuver	✓				●

Remark = ● : Safe ▲ : Risk ✖ : Bad

Berdasarkan hasil trial dapat diketahui bahwa terdapat parameter yang perlu diperhatikan dan dikaji ulang karena terdapat resiko Ketika dioperasikan. Hal ini menunjukkan bahwa hasil tercapai namun ada beberapa masalah yang harus diperhatikan dalam jangka panjang. Hal tersebut yang nantinya menjadi concern untuk pengembangan prototipe berikutnya agar mendapatkan hasil yang maksimal. (Agarwal et al., 2022). (Agarwal et al., 2022; Al et al., 2022; Deemyad et al., 2020)(Jiang et al., 2020) (PT Toyota Motor Manufacturing Indonesia, 2021) **KESIMPULAN**

Berdasarkan hasil pengujian statis menggunakan metode Finite Element Analysis (FEA), struktur frame chassis dan bracket motor DC PG45 pada prototipe Green AGV dengan material Hasil analisis stress bracket motor menunjukkan bahwa nilai tegangan von Mises sebesar 7,75 MPa pada pembebanan 20 kg dan 25, 30 MPa pada pembebanan 40 kg serta 37.95 MPa pada pembebanan 60 kg. Berdasarkan pengujian pembebanan tersebut diketahui bahwa nilai masih berada dibawah batas yield strength material 275 MPa. Mengindikasikan bahwa tujuan penelitian untuk mengevaluasi ketahanan struktur chassis telah tercapai. Hasil ini menunjukkan bahwa desain chassis Green AGV layak digunakan dan aman secara struktural untuk aplikasi laboratorium pendidikan, serta masih memiliki potensi untuk dioptimalkan guna meningkatkan efisiensi material. Penelitian ini memberikan kontribusi dalam pengembangan Green AGV dengan menyediakan dasar analisis struktural chassis berbasis rangka aluminium modular yang mendukung prinsip green manufacturing.

Penelitian ini masih sangat terbatas apabila prototipe akan diimplementasikan ke industry perlu kajian lebih mendalam yang mengkalkulasikan getaran dan kelelahan, Analisa beban dinamis, dan pengujian getaran dan stabilitas pada area yang lebih dinamis.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, T. A., Popplewell, K., & Page, C. J. (2003). A review of the support tools for the process of assembly method selection and assembly planning. *Taylor & FrancisTA Abdullah, K Popplewell, CJ PageInternational Journal of Production Research, 2003•Taylor & Francis, 41(11), 2391–2410.*
<https://doi.org/10.1080/002075431000087265>
- Agarwal, A., Processes, L. M.-, & 2022, undefined. (2022). Structural analysis and optimization of heavy vehicle chassis using aluminium P100/6061 Al and Al ga 7-230 mmc. *Mdpi.ComA Agarwal, L MthembuProcesses, 2022•mdpi.Com, 10.*
<https://doi.org/https://doi.org/10.3390/pr10020320>
- Al, O. :, Dermawan, R., & Iriani, Y. (2022). ANALYSIS OF FORGING MACHINE EFFECTIVENESS USING OVERALL EQUIPMENT EFFECTIVENESS (OEE) AND SIX BIG LOSSES METHODS (CASE. *Pdfs.Semanticscholar.OrgY IrianiJurnal Darma Agung, 2022•pdfs.Semanticscholar.Org, 30(3), 195–210.*
<https://pdfs.semanticscholar.org/295d/fe9d1ec5365bf227de373840f8824fc1f5b.pdf>
- Alarcon-Pereira, G., Rampasso, I. S., Tapia-Ubeda, F. J., Rojas-Aguilar, K., & Rojas-Córdova, C. (2023). The evolution of sustainability in engineering education research: a

- longitudinal analysis through bibliometrics and the CDIO initiative. *International Journal of Sustainability in Higher Education*, 24(6), 1266–1289.
<https://doi.org/10.1108/IJSHE-03-2022-0073>
- Bechtsis, D., Tsolakis, N., Vlachos, D., Cleaner, E. I.-J. of, & 2017, undefined. (2017). Sustainable supply chain management in the digitalisation era: The impact of Automated Guided Vehicles. *ElsevierD Bechtsis, N Tsolakis, D Vlachos, E IakovouJournal of Cleaner Production*, 2017•Elsevier, 142(4).
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.10.057>
- Buana, K. D.-J. R. A. M., & 2024, undefined. (n.d.). EFEKTIVITAS PENERAPBAN GREEN TRANSITION DAN KEBIJAKAN KARBON PADA SEKTOR ENERGI: LITERATURE REVIEW. *Ejurnal.Mercubuana-Yogya.Ac.Id*.
<https://doi.org/10.26486/jramb.v10i2.4590>
- Deemyad, T., ... R. M.-... technology and computing, & 2020, undefined. (2020). Chassis design and analysis of an autonomous ground vehicle (AGV) using genetic algorithm. *Ieeexplore.Ieee.OrgT Deemyad, R Moeller, A Sebastian2020 Intermountain Engineering, Technology and Computing (IETC)*, 2020•ieeexplore.Ieee.Org, 1–6.
<https://doi.org/10.1109/IETC47856.2020.9249180>
- Deiber, O., Gruenheid, T., & Schaeffer, M. (2023). Innovative design steps towards a safe active lightweight chassis for an electric vehicle. *Transportation Research Procedia*, 72, 24–31. <https://doi.org/10.1016/J.TRPRO.2023.11.318>
- Hu, Y., Education, C. L.-J. of C., & 2020, undefined. (2020). Implementing a multidimensional education approach combining problem-based learning and conceive–design–implement–operate in a third-year undergraduate. *ACS PublicationsY Hu, C LiJournal of Chemical Education*, 2020•ACS Publications, 97(7), 1874–1886.
<https://doi.org/10.1021/ACS.JCHEMED.9B00848>
- Jiang, J., Zhang, S., & He, Y. (2020). Wheel design and motion analysis of a new heavy-duty AGV in aircraft assembly lines. *Emerald.Com*, 40(3), 387–397.
<https://doi.org/10.1108/AA-01-2019-0009/FULL/HTML>
- Jiao Fu, Ji Zhang, Yuan Wang, Qigao Jiangzuo, & Shi-Qi Wang. (2009). Finite element analysis (FEA): applying an engineering method to functional morphology in anthropology and human biology. *Historical Biology*, 36(5), 2481–2488.
<https://doi.org/10.1080/03014460903019879>
- Labaran, Y. H., Mathur, V. S., Muhammad, S. U., & Musa, A. A. (2022). Carbon footprint management: A review of construction industry. *Cleaner Engineering and Technology*, 9, 100531. <https://doi.org/10.1016/J.CLET.2022.100531>
- Lamb, W. F., Wiedmann, T., Pongratz, J., Andrew, R., Crippa, M., Olivier, J. G. J., Wiedenhofer, D., Mattioli, G., Khourdajie, A. Al, House, J., Pachauri, S., Figueroa, M., Saheb, Y., Slade, R., Hubacek, K., Sun, L., Ribeiro, S. K., Khennas, S., De La Rue Du Can, S., ... Minx, J. (2021). A review of trends and drivers of greenhouse gas emissions by sector from 1990 to 2018. *Environmental Research Letters*, 16(7), 073005.
<https://doi.org/10.1088/1748-9326/ABEE4E>
- Liu, J., Yang, Q., Zhang, Y., Sun, W., Sustainability, Y. X.-, & 2019, undefined. (2019). Analysis of CO2 Emissions in China's Manufacturing Industry Based on Extended Logarithmic Mean Division Index Decomposition. *Mdpi.ComJ Liu, Q Yang, Y Zhang, W Sun, Y XuSustainability*, 2019•mdpi.Com, 11(1).
<https://doi.org/https://doi.org/10.3390/su11010226>
- Majid, I. A., Laksono, F. B., Suryanto, H., & Prabowo, A. R. (2021). Structural Assessment of Ladder Frame Chassis using FE Analysis: A Designed Construction referring to Ford AC Cobra. *Procedia Structural Integrity*, 33(C), 35–42.
<https://doi.org/10.1016/J.PROSTR.2021.10.006>

- Moshayedi, A., Jinsong, L., and, L. L.-J. of S., & 2019, undefined. (2019). AGV (automated guided vehicle) robot: Mission and obstacles in design and performance. *Researchgate.NetAJ Moshayedi, L Jinsong, L LiaoJournal of Simulation and Analysis of Novel Technologies in, 2019*•*researchgate.Net, 12*.
https://www.researchgate.net/profile/Ata-Jahangir-Moshayedi/publication/337649312_AGV_automated_guided_vehicle_robot_Mission_and_obstacles_in_design_and_performance/links/65f36c2b1f0aec67e28fdc77/AGV-automated-guided-vehicle-robot-Mission-and-obstacles-in-design-and-performance.pdf
- Patel, D., Jasani, V., Shah, D., & Lakdawala, A. (2022). Design and FE analysis of chassis for solar powered vehicle. *Materials Today: Proceedings, 62*, 1626–1631.
<https://doi.org/10.1016/J.MATPR.2022.04.137>
- PT Toyota Motor Manufacturing Indonesia. (2021, March 21). *Toyota Environmental Challenge 2050, Upaya Mengurangi Dampak Lingkungan*. Toyota Environmental Challenge 2050, Upaya Mengurangi Dampak Lingkungan.
- Song, D. (2018). Comparison of Cdio and Chinese engineering education accreditation for animation specialty of tust. *Procedia Computer Science, 131*, 765–770.
<https://doi.org/10.1016/j.procs.2018.04.322>
- UNESCO. (2019). *Menyampaikan pesan: meliput perubahan Iklim dan pembangunan berkelanjutan di Asia dan Pasifik: buku panduan untuk jurnalis*.
<https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000369431>
- Widodo, Suhardjono, & Effendi, M. K. (2025). The impact of CDIO implementation on retrofitting CNC based universal turn drill in vocational education. *MethodsX, 15*.
<https://doi.org/10.1016/j.mex.2025.103547>
- Zheng, Y., Luo, Y., Zhang, X., & Xu, J. (2025). Integrating CDIO framework into polymer engineering education: A hands-on approach to design, process, and evaluate biodegradable 3D printing filaments. *Education for Chemical Engineers, 52*, 111–118.
<https://doi.org/10.1016/j.ece.2025.05.007>