



Redesign Frame Electric Ganesha Scooter Portable (E-GASPOL) dan Pengaruhnya terhadap Factor of Safety Kendaraan

Redesign of Electric Ganesha Scooter Portable (E-GASPOL) Frame and its Effect on Vehicle Factor of Safety

Komang Purnayasa^{1,a)}, I Gede Wiratmaja¹, Nyoman Arya Wigraha¹

¹Program Studi Pendidikan Teknik Mesin, Fakultas Teknik dan Kejuruan, Universitas Pendidikan Ganesha, Singaraja, Bali, Indonesia

^{a)}Corresponding author: mangUna13ys@gmail.com

Abstrak

Penelitian ini bertujuan mendapatkan hasil tegangan statik maksimum dan minimum serta *factor of safety* pada *frame* kendaraan *Electric Ganesha Scooter Portable (E-GASPOL)*. Pada penelitian ini menggunakan jenis penelitian dan pengembangan atau *Research and Development (R&D)*, Teknik analisis data yang dipergunakan yaitu metode elemen hingga, metode ini dapat menyelesaikan persoalan statik, dinamik, linier maupun non-linier. Penelitian ini dimulai dari pemodelan *frame* kemudian analisis statik dengan *Software solidworks premium 2019*. Setelah dilakukan modifikasi dan analisis statik diketahui bahwa terjadi beberapa perubahan pada *frame*, antara lain penurunan tegangan statik maksimum kondisi tanpa beban pengendara yaitu sebesar 58,55% sedangkan, dengan beban pengendara meningkat sebesar 58,56% dari *frame* awal. Untuk nilai *factor of safety frame* terjadi peningkatan pada kondisi tanpa beban pengendara yaitu sebesar 141,37% sedangkan, dengan beban pengendara yaitu meningkat 141,89% dari *frame* awal, dari data tersebut dapat disimpulkan *frame* hasil modifikasi dinyatakan lebih baik dan lebih kuat dibanding *frame* awal.

Kata kunci: *frame*; elemen hingga; *software solidworks*; tegangan statik; faktor keamanan

Abstract

This study aims to obtain the maximum and minimum static stress results and factor of safety on the Electric Ganesha Scooter Portable (E-GASPOL) vehicle frame. In this study using the type of research and development or Research and Development (R&D), the data analysis technique used is the finite element method, this method can solve static, dynamic, linear and non-linear problems. This research starts from modeling the frame then static analysis with Solidworks Premium 2019 software. After modification and static analysis, it is known that there are several changes in the frame, including a decrease in the maximum static stress condition without rider load, which is 58.55%, while with rider load it increases by 58.56% from the awald frame. For the factor of safety value of the frame, there was an increase in the condition without the rider's load, which amounted to 141.37%, while with the rider's load, it increased by 141.89% from the awald frame, from these data it can be concluded that the modified frame is better and stronger than the initial frame.

Keywords: *frame*; finite elemen; *solidworks software*; static stress; factor of safety

PENDAHULUAN

Saat ini pesatnya perkembangan industri otomotif begitu cepat sebagai contoh pengembangan *frame* pada kendaraan, banyak peneliti yang mengembangkan *frame* yang digunakan pada berbagai jenis kendaraan salah satunya pengembangan *frame* pada jenis kendaraan

scooter listrik. Untuk itu diperlukan upaya untuk melakukan pengembangan lebih lanjut pada kendaraan listrik, misalnya pengembangan pada *frame* kendaraan listrik untuk menopang beban kendaraan, pengemudi dan mesin [1].

Pada mobil atau motor, salah satu komponen yang memegang peranan sangat penting adalah *frame* atau sasis.

Karena pada kendaraan komponen ini berfungsi sebagai penopang pada mesin, suspensi dan sistem kelistrikan [2]. Agar sebuah *frame* dapat berfungsi dengan baik, maka harus memenuhi beberapa persyaratan, antara lain kuat dan tahan lama untuk menopang mesin dan komponen pendukung lainnya, serta menopang penumpang dan muatan tanpa mengalami kerusakan atau deformasi. Ringan agar tidak membebani mesin secara berlebihan (meningkatkan efisiensi daya yang dihasilkan mesin) [3]. Maka dari itu perlu adanya tindakan terhadap pengembangan kendaraan bertenaga listrik secara menyeluruh seperti pengembangan *frame* kendaraan bertenaga listrik untuk menopang beban dari kendaraan, pengemudi, penyimpanan daya listrik (baterai) dan mesinnya [4].

Peneliti beserta tim dari mahasiswa Program Studi Pendidikan Teknik Mesin Undiksha angkatan 2019 merancang sebuah kendaraan roda dua dengan nama E-GASPOL (*Electric Ganesha Scooter Portable*) yaitu kendaraan roda dua berjenis *scooter* dengan bertenaga listrik. E-GASPOL dirancang sedemikian rupa sehingga kendaraan ini dapat dilipat yang memungkinkan pengendara dapat menyimpannya di dalam bagasi mobil atau di rumah yang pastinya tidak membutuhkan ruang yang luas.

Perancangan *frame* kendaraan bertenaga listrik E-GASPOL menggunakan material *galvanized steel* yang merupakan salah satu jenis baja dengan lapisan seng oksida yang telah melalui proses galvanisasi [5], dengan proses tersebut bertujuan untuk melindunginya dari karat [6]. Jenis *frame* yang digunakan yaitu *backbone frame* yaitu jenis *frame* menggunakan satu batang besi kuat layaknya konsep kerangka tulang punggung. *Frame* ini langsung terhubung ke *suspension*, dudukan kolaher pada komponen yang lainnya [7]. Namun belum diketahui apakah *frame* hasilrancangan tersebut yang menggunakan material dari *Galvanized Steel* mampu memenuhi keamanan untuk menopang beban pengendara, jika dapat diasumsikan massa rerata orang dewasa yaitu sebesar 70 kg. Maka dari itu perlu adanya kajian secara lebih mendalam agar dapat mengetahui seberapa besar kekuatan dan keamanan dari *frame* hasil rancangan kendaraan E-GASPOL tersebut.

Proses desain serta analisis statik pada penelitian ini dibantu dengan penggunaan *software*, yang memungkinkan bisa meminimalisir adanya *human eror* dan menghemat biaya yang dikeluarkan pada proses perancangannya. Pada hasil rancangan desain *frame* kendaraan menggunakan *software*, memungkinkan tidak perlu adanya pengujian material yang digunakan pada *frame* kendaraan ini dikarenakan pada jenis material, dan kekuatan dari material tersebut sudah ada di *software* [8]. Beberapa penelitian yang terkait tentang analisis kekuatan

frame dengan bantuan *software* yakni penelitian yang dilakukan oleh [9], yang menganalisis tegangan *static* pada sebuah motor *hybrid* dengan bantuan *software Catia V*. Kemudian penelitian yang dilakukan oleh [10] tentang Analisa Tegangan Statik pada Rancangan *Frame* Motor Listrik Gaski (Ganesha Sakti) Menggunakan *Software Solidwork 2014*.

Penelitian ini akan dilakukan analisis pada desain *frame* kendaraan listrik E-GASPOL awal dan modifikasi menggunakan *Software Solidwork 2019* yang merupakan salah satu *software* rancangan desain yang digunakan untuk membuat sebuah desain produk, desain mesin, desain konstruksi ataupun keperluan teknik yang lain [11]. Maksud dilakukannya *redesign* serta analisis tegangan statik dari kendaraan E-GASPOL adalah untuk memperkuat serta meningkatkan keamanan (*Factor of Safety*) dari *frame* kendaraan tersebut.

METODE PENELITIAN

Penelitian yang akan dilakukan tergolong jenis penelitian dan pengembangan atau *research and development (R&D)* yang diartikan sebagai proses atau langkah-langkah untuk mengembangkan produk baru atau menyempurnakan produk yang sudah ada [12]. Dalam konteks ini, sebuah produk tidak selalu berarti perangkat keras (buku, modul, ataupun alat bantu pembelajaran di kelas dan laboratorium), tetapi bisa juga berupa perangkat lunak, seperti program untuk komputer, kelas, perpustakaan atau laboratorium, atau model-model pengajaran, pembelajaran pedagogis, supervisi, evaluasi, pengelolaan dan lain-lain.

Dalam penelitian ini dilakukan sebuah analisis tegangan statik yang nantinya letak distribusi tegangan statik (*von misses stress*) maksimum dan minimum pada *frame (electric ganesha scooter portable)* E-GASPOL akan diketahui yang mana material dari *frame*-nya sendiri menggunakan *galvanized steel* [13]. Dalam penelitian analisis tegangan *static* ini yang menjadi subjek penelitian adalah kendaraan listrik E-GASPOL (*Electric Ganesha Scooter Portable*) yang dibuat oleh mahasiswa Program Studi Pendidikan Teknik Mesin Undiksha angkatan tahun 2019.

Dalam proses penelitian teknik analisis data yang dipergunakan yaitu menggunakan metode elemen hingga. Metode tersebut dipergunakan dikarenakan dapat menyelesaikan persoalan statik, dinamik, linier maupun non-linier [14]. *Finite Elemen Method* atau metode elemen hingga merupakan salah satu metode penyelesaian masalah dalam bidang teknik dengan penggunaan pendekatan secara terbagi (dikritisasi) dengan benda yang di analisis dalam bentuk elemen-elemen yang berhingga dengan saling adanya keterkaitan satu sama lain [15].

Metode Elemen Hingga dalam penelitian ini digunakan untuk menentukan defleksi dan tegangan yang dapat ditahan oleh *frame* kendaraan listrik E-GASPOL dan kekuatan dari bahan yang digunakan pada *frame* kendaraan listrik E-GASPOL.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil data analisis statik ini didapat dengan menggunakan *software solidworks* 2019. Pada penelitian ini terlebih dahulu dilakukan dengan pembuatan desain *frame* awal pada kendaraan menggunakan *software solidworks* 2019, kemudian dilakukan analisis statik pada *software*. Setelah hasil data analisis tegangan statik *frame* awal didapatkan kemudian dilakukan proses modifikasi pada hasil data *frame* awal sebagai acuannya, tujuan dilakukannya modifikasi yakni untuk memaksimalkan nilai tegangan statik, dan *factor of safety* dengan mengoptimalkan titik tumpu pada desain *frame* kendaraan E-GASPOL yang modifikasi.

Data Hasil Analisis Tegangan Statik *Frame* Awal Pada Kondisi Tanpa Beban Pengendara

Distribusi tegangan statik yang terjadi pada *frame* awal pada kondisi tanpa beban pengendara (massa *frame* di perhitungkan) yang dimana berat dari *frame* itu sendiri yaitu sebesar 13,34 Kg. Jika dikonversikan menjadi besaran gaya (Newton) maka gaya yang diberikan seberat **130,82 N**. Hasil analisis dapat dilihat pada **Gambar 1**.

$$W = m \times g$$

$$= 13,340 \text{ kg} \times 9,8 \text{ m/s}^2$$

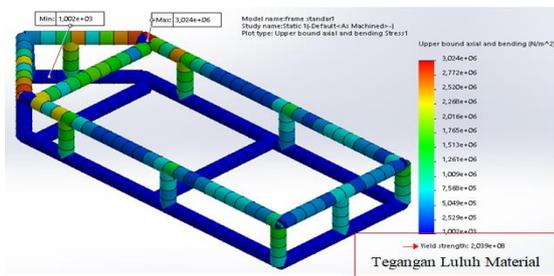
$$= 130,82 \text{ N}$$

Keterangan:

W = berat benda (N)

m = massa benda (kg)

g = percepatan gravitasi (m/s²)



Gambar 1. Data hasil distribusi tegangan statik *frame* awal pada kondisi tanpa beban pengendara

Hasil tegangan statik maksimum *frame* pada kondisi tanpa beban pengendara (ditunjukkan dengan warna merah) seberat **130,82 N** yaitu sebesar $3,024 \times 10^6$ N/m², untuk tegangan statik minimum ditunjukkan dengan warna biru yaitu dengan hasil analisis sebesar $1,002 \times 10^3$ N/m. Berdasarkan nilai tegangan luluh material yang digunakan

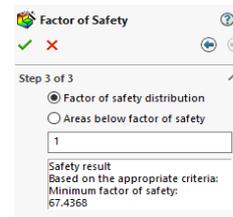
yaitu *Galvanized Steel* sebesar $2,039 \times 10^8$ N/m², maka dari itu hasil yang didapatkan bahwa struktur tersebut dipastikan mampu menahan beban yang diberikan.

Dari data analisis tegangan statik yang didapat, bisa dicari *factor of safety* dari *frame* awal kondisi tanpa beban pengendara dapat dirumuskan seperti berikut ini (**Gambar 2**).

$$\eta = \frac{S_y}{\sigma_e}$$

$$= \frac{2,039 \times 10^8}{3,024 \times 10^6}$$

$$= 67,43$$



Gambar 2. Nilai *factor of safety* *frame* awal pada kondisi tanpa beban pengendara

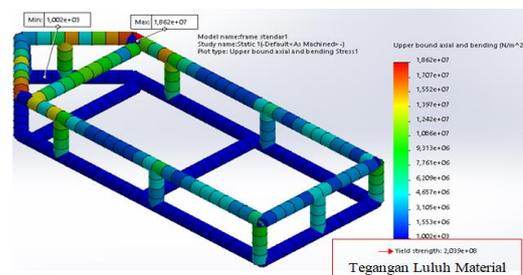
Data Hasil Analisis Tegangan Statik *Frame* Awal Pada Kondisi Dengan Beban Pengendara

Distribusi tegangan statik yang terjadi pada *frame* awal akibat diberikannya beban pengendara. Yang berarti gaya yang diberikan pada *frame* yakni massa dari *frame* sebesar 13,34 kg ditambah beban pengendara sebesar 70 kg. Dengan demikian total beban yang diberikan pada *frame* awal sebesar 83,34 kg atau jika dikonversikan menjadi besaran gaya (Newton) maka massa yang diberikan seberat **817,28 N**. Hasil analisis dapat dilihat pada **Gambar 3**.

$$W = m \times g$$

$$= 83,34 \text{ kg} \times 9,8 \text{ m}$$

$$= 817,28 \text{ N}$$



Gambar 3. Data hasil distribusi tegangan statik *frame* awal pada kondisi dengan beban pengendara

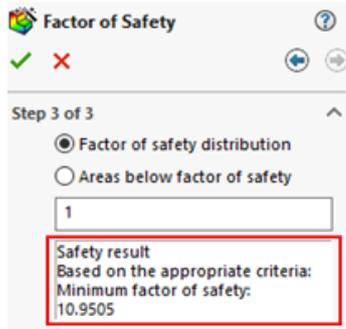
Hasil tegangan statik maksimum *frame* kondisi tanpa beban pengendara (ditunjukkan dengan warna merah) seberat **817,28 N** yaitu sebesar $1,862 \times 10^7$ N/m², untuk tegangan statik minimum ditunjukkan dengan warna biru yaitu dengan hasil analisis sebesar $1,002 \times 10^3$ N/m².

Berdasarkan nilai tegangan luluh material yang digunakan yaitu *Galvanized Steel* sebesar $2,039 \times 10^8$ N/m², maka dari itu hasil yang didapatkan bahwa struktur tersebut dipastikan mampu menahan beban yang diberikan (**Gambar 4**).

$$\eta = \frac{S_y}{\sigma_e}$$

$$= \frac{2,039 \times 10^8}{1,862 \times 10^7}$$

$$= 10,95$$



Gambar 4. Nilai *factor of safety frame* awal pada kondisi dengan beban pengendara

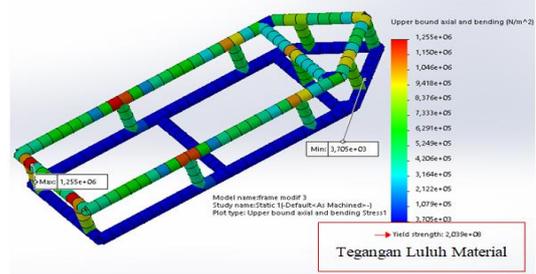
Tabel 1. Data hasil analisis tegangan statik *frame* awal pada kondisi tanpa beban dan kondisi dengan beban pengendara

	Tegangan Maksimum	Tegangan Minimum	<i>Factor of safety</i>
Tanpa Beban Pengendara	$3,024 \times 10^6$ N/m ²	$1,002 \times 10^3$ N/m ²	67,43
Dengan Beban Pengendara	$1,862 \times 10^7$ N/m ²	$1,002 \times 10^3$ N/m ²	10,95
Persentase peningkatan/penurunan	Terjadi peningkatan tegangan maksimum sebesar 83,76% ketika diberi beban pengendara	Tidak terjadi Peningkatan tegangan minimum ketika diberi beban pengendara	Terjadi Penurunan <i>factor of safety</i> sebesar 515,80% ketika diberi beban pengendara

Berdasarkan **Tabel 1**, proses analisis statik pada *frame* ketika diberikan penambahan beban pengendara menyebabkan penurunan *factor of safety* pada kendaraan. Hal ini juga sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Budarma [5] dalam penelitiannya didapat setiap penambahan beban kendaraan menyebabkan peningkatan tegangan statik yang akan berpengaruh pada penurunan *factor of safety* pada kendaraan.

Data Hasil Analisis Tegangan Statik *Frame* Modifikasi Pada Kondisi Tanpa Beban Pengendara

Distribusi tegangan statik yang terjadi pada *frame* modifikasi pada kondisi tanpa beban pengendara (massa *frame* di perhitungkan) yang mana berat dari *frame* itu sendiri yaitu sebesar 13,34 Kg. Jika dikonversikan menjadi besaran gaya (Newton) maka gaya yang diberikan seberat **130,82 N**. bisa dilihat pada **Gambar 5**.



Gambar 5. Data distribusi tegangan statik *frame* modifikasi pada kondisi tanpa beban pengendara

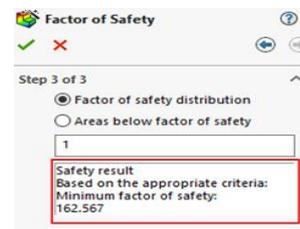
Hasil tegangan statik maksimum *frame* kondisi tanpa beban pengendara (ditunjukkan dengan warna merah) seberat **130,82 N** yaitu sebesar $1,255 \times 10^6$ N/m², untuk tegangan statik minimum ditunjukkan dengan warna biru yaitu dengan hasil analisis sebesar 3.705×10^3 N/m. Berdasarkan nilai tegangan luluh material yang digunakan yaitu *Galvanized Steel* sebesar $2,039 \times 10^8$ N/m², maka dari itu hasil yang didapatkan bahwa struktur tersebut dipastikan mampu menahan beban yang diberikan.

Dari data analisis tegangan statik yang didapat, bisa dicari *factor of safety* dari *frame* awal kondisi tanpa beban pengendara dapat dirumuskan seperti berikut (**Gambar 6**).

$$\eta = \frac{S_y}{\sigma_e}$$

$$= \frac{2,039 \times 10^8}{1,255 \times 10^6}$$

$$= 162,56$$

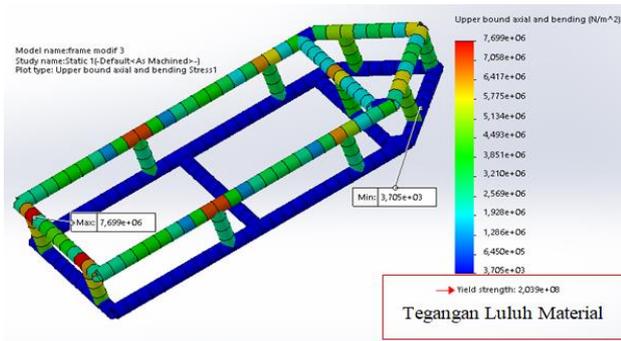


Gambar 6. Nilai *factor of safety frame* modifikasi pada kondisi tanpa beban pengendara

Data Hasil Analisis Tegangan Statik *Frame* Modifikasi Pada Kondisi Dengan Beban Pengendara

Distribusi tegangan statik yang terjadi pada *frame* modifikasi akibat diberikannya beban pengendara. Yang berarti gaya yang diberikan pada *frame* yakni massa dari *frame* sebesar 13,34 kg ditambah beban pengendara sebesar 70 kg. Dengan demikian total bebanyang diberikan pada *frame* modifikasi sebesar 83,34 kg atau jika

dikonversikan menjadi besaran gaya (Newton) maka massa yang diberikan seberat **817,28 N**. dapat dilihat dari **Gambar 7**.

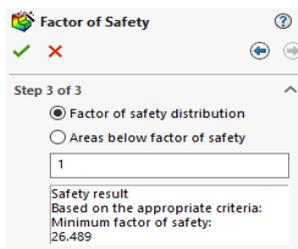


Gambar 7. Data distribusi tegangan statik *frame* modifikasi pada kondisi dengan beban pengendara

Hasil tegangan statik maksimum *frame* kondisi tanpa beban pengendara (ditunjukkan dengan warna merah) seberat **817,28 N** yaitu sebesar $7,699 \times 10^6$ N/m², untuk tegangan statik minimum ditunjukkan dengan warna biru yaitu dengan hasil analisis sebesar $3,705 \times 10^3$ N/m². Berdasarkan nilai tegangan luluh material yang digunakan yaitu *Galvanized Steel* sebesar $2,039 \times 10^8$ N/m², maka dari itu hasil yang didapatkan bahwa struktur tersebut dipastikan mampu menahan beban yang diberikan.

Dari data analisis tegangan statik yang didapat, bisa dicari *factor of safety* dari *frame* awal kondisi tanpa beban pengendara dapat dirumuskan seperti berikut (**Gambar 8**).

$$\eta = \frac{S_y}{\sigma_e} = \frac{2,039 \times 10^8}{7,699 \times 10^6} = 26,48$$



Gambar 8. Nilai *factor of safety* *frame* modifikasi dengan beban pengendara

Tabel 2. Data hasil analisis tegangan statik *frame* modifikasi pada kondisi tanpa beban dan kondisi dengan beban pengendara

	Tegangan Maksimum	Tegangan Minimum	<i>Factor of safety</i>
Tanpa Beban Pengendara	$1,255 \times 10^6$ N/m ²	$3,705 \times 10^3$ N/m ²	162,56

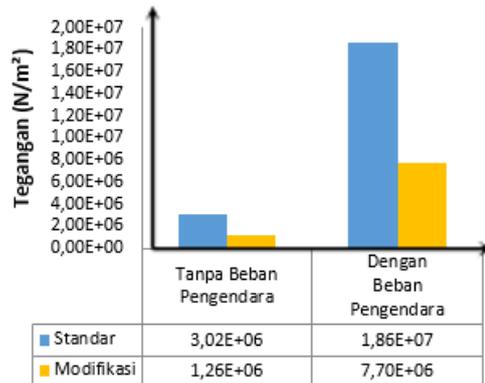
Dengan Beban Pengendara	$7,699 \times 10^6$ N/m ²	$3,705 \times 10^3$ N/m ²	26,48
Persentase peningkatan /penurunan	Terjadi peningkatan tegangan sebesar 83,70% ketika diberi beban pengendara	Tidak terjadi Peningkatan tegangan minimum ketika diberi beban pengendara	Terjadi Penurunan <i>factor of safety</i> sebesar 513,90% ketika diberi beban pengendara

Dari **Tabel 2.** proses analisis statik pada *frame* modifikasi ketika diberikan penambahan beban pengendara menyebabkan peningkatan tegangan statik yang akan berpengaruh pada penurunan *factor of safety* pada kendaraan. Namun, hasil ini dinyatakan lebih baik daripada *frame* awal.

Pembahasan Hasil Penelitian

Komparasi Tegangan Statik Maksimum *Frame* Awal dan Modifikasi

Hasil yang telah didapatkan dari uji simulasi analisis tegangan statik pada *frame* kendaraan E-GASPOL awal dan modifikasi, maka didapatkanlah nilai tegangan statik maksimum dapat dilihat pada **Gambar 9**.



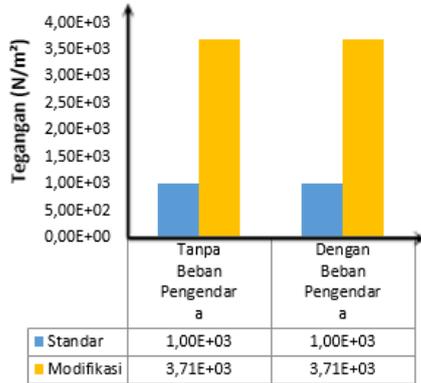
Gambar 9. Grafik komparatif tegangan statik maksimum *frame* awal dengan modifikasi

Dari **Gambar 9.** di atas dapat diketahui bahwa setelah dilakukan analisa pada *frame* E-GASPOL awal dan modifikasi pada kondisi tanpa beban pengendara, serta pada kondisi dengan beban pengendara. Hasil tegangan maksimum *frame* E-GASPOL modifikasi pada kondisi tanpa beban pengendara mengalami penurunan sebesar 58,55% dan pada kondisi dengan beban pengendara sebesar 58,56% dari *frame* E-GASPOL awal.

Semakin kecil nilai tegangan yang didapat pada sebuah *frame* maka kekuatan *frame* semakin baik.

Komparasi Tegangan Statik Minimum *Frame* Awal dan Modifikasi

Hasil yang telah didapatkan dari uji simulasi analisis tegangan statik pada *frame* kendaraan E-GASPOL awal dan modifikasi, maka didapatkanlah nilai tegangan *static* minimum dapat dilihat pada Gambar 10.

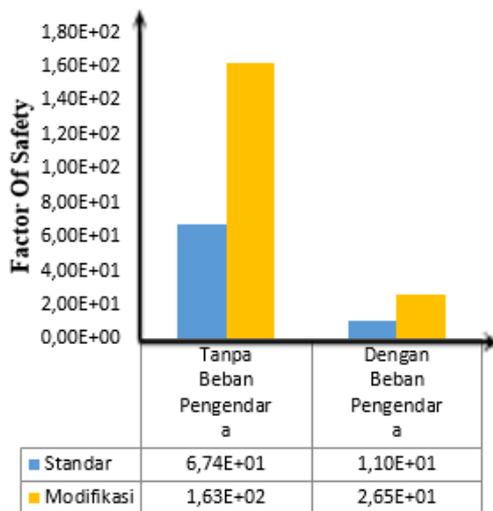


Gambar 10. Grafik komparatif tegangan statik minimum *frame* awal dengan modifikasi

Berdasarkan Gambar 10. di atas dapat diketahui bahwa setelah dilakukan analisa pada *frame* E-GASPOL awal dan modifikasi pada kondisi tanpa beban pengendara, serta pada kondisi dengan beban pengendara. Hasil tegangan minimum *frame* E-GASPOL modifikasi pada kondisi tanpa beban pengendara dan pada kondisi dengan beban pengendara sama-sama mengalami kenaikan sebesar 269,76% dari *frame* E-GASPOL awal.

Komparasi *Factor of safety* *Frame* Awal dan Modifikasi

Hasil yang telah didapatkan dari uji simulasi analisis tegangan statik pada *frame* kendaraan E-GASPOL awal dan modifikasi, maka didapatkan nilai *factor of safety* dapat dilihat pada Gambar 11.



Gambar 11. Grafik Komparatif *Factor of safety* *Frame* Awal dengan Modifikasi

Berdasarkan gambar Gambar 11. di atas dapat diketahui bahwa setelah dilakukan analisa pada *frame* E-GASPOL awal dan modifikasi pada kondisi tanpa beban pengendara, serta pada kondisi dengan beban pengendara. Hasil *factor of safety* pada *frame* E-GASPOL modifikasi pada kondisi tanpa beban pengendara mengalami peningkatan sebesar 141,37% dan pada kondisi dengan beban pengendara mengalami peningkatan sebesar 141,89% dari *frame* E-GASPOL awal.

Berdasarkan hasil data tersebut semakin besar nilai *factor of safety* yang didapat pada sebuah *frame* sehingga keamanan *frame* semakin baik.

Ucapan Terima Kasih

Terima kasih kami ucapkan kepada Program Studi Pendidikan Teknik Mesin di Universitas Pendidikan Ganesha karena telah memberikan dukungan sehingga penelitian ini dapat diselesaikan dengan baik.

PENUTUP

Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian analisis statik dengan menggunakan *software solidworks* 2019 pada *frame* E-GASPOL awal dan modifikasi pada kondisi tanpa beban pengendara dan pada kondisi dengan beban pengendara diperoleh kesimpulan yaitu dengan penempatan titik tumpu *frame* yang lebih optimal berakibat pada nilai tegangan statik yang lebih kecil sehingga nilai *factor of safety* menjadi lebih tinggi. Pada penelitian ini didapat hasil *redesign frame* modifikasi kendaraan *Electric Ganesha Scooter Portable* (E-GASPOL) mendapat nilai *factor of safety* lebih tinggi dari *frame* awal, dan *frame* modifikasi 3 mendapat hasil *factor of safety* tertinggi dari *frame* modifikasi.

Saran

Pada penelitian ini ke depan bisa dijadikan sebagai pedoman pada penelitian berikutnya mengenai analisis tegangan statik pada kendaraan lainnya ataupun bisa dijadikan acuan analisis tegangan statik dalam pembuatan *frame* sebelum dibuat produk nyata.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. Anggara Syinta, "Analisis Dan Pembuatan Chassis Tipe Ladder *Frame* Mobil Kmhe Urban Concept Menggunakan Metode Simulasi Dan Pahl And Beitz," *ENOTEK J. Energi dan Inov. Teknol.*, vol. 1, no. 01, pp. 14–18, 2021, doi: 10.30606/enotek.v1i01.1000.
- [2] T. Hidayat, J. T. Mesin, F. Teknik, and U. Riau, "Perancangan dan Analisa Statik Chassis Kendaraan Shell Eco Marathon Tipe Urban

- Concept,” vol. 4, no. 2, pp. 1–6, 2017.
- [3] M. Adriana, A. A. B.P, and M. Masrianor, “Rancang Bangun Rangka (Chasis) Mobil Listrik Roda Tiga Kapasitas Satu Orang,” *J. Elem.*, vol. 4, no. 2, p. 129, 2017, doi: 10.34128/je.v4i2.64.
- [4] A. Setiawan, F. Rizayana, and B. Ariantara, “Perancangan Frame Mobil Formula Student Electric Vehicle,” Universitas Pasundan, 2019.
- [5] K. Budarma, K. R. Dantes, and G. Widayana, “Analisis Komparatif Tegangan Statik Pada Frame Ganesha Electric Vehicles 1.0 Generasi 1 Berbasis Continous Variable Transmission (Cvt) Berbantuan Software Ansys 14.5,” *J. Pendidik. Tek. Mesin Undiksha*, vol. 4, no. 1, 2020, doi: 10.23887/jjtm.v4i1.8043.
- [6] Z. Alya, “25 Harga Besi Hollow Galvanis Dan Gypsum Berbagai Ukuran Terbaru 2022,” 2022. <https://berita.99.co/harga-besi-hollow-terbaru/> (accessed Dec. 03, 2022).
- [7] A. Fadila and S. Bustami, “Analisis Simulasi Struktur Chassis Mobil Mesin Usu Berbahan Besi Struktur Terhadap Beban Statik Dengan Menggunakan Perangkat Lunak Ansys 14.5.,” *J. e-Dinamis*, vol. 6, no. 2, pp. 70–79, 2013.
- [8] M. A. Hendrawan, P. I. Purboputro, M. A. Saputro, and W. Setiyadi, “Perancangan Chassis Mobil Listrik Prototype ‘ Ababil ’ dan Simulasi Pembebanan Statik dengan Menggunakan Solidworks Premium 2016,” *7th Univ. Res. Colloq. 2018*, pp. 96–105, 2018.
- [9] P. Cokorda, D. Satyadarma, and Firmansyah, “Analisis Statik Rangka Motor Hybrid Menggunakan Software Catia V5,” *Univ. Gunadarma*, 2014.
- [10] I. N. Agus Adi, K. R. Dantes, and I. N. P. Nugraha, “Analisis Tegangan Statik Pada Rancangan Frame Mobil Listrik Ganesha Sakti (Gaski) Menggunakan Software Solidworks 2014,” *J. Pendidik. Tek. Mesin Undiksha*, vol. 6, no. 2, p. 113, 2018, doi: 10.23887/jjtm.v6i2.13046.
- [11] R. S. Harahap, “Analisis Kekuatan Puntir Baja Karbon Rendah Dengan Metode Elemen Hingga Menggunakan Software (Solidworks),” Universitas Muhammadiyah Sumatra Utara, 2020.
- [12] J. A. Saz, F. Alibas, A. Yani, and Nurhayati, “Pengembangan Media Presentasi Interaktif Semi Laboratorium Virtual pada Pokok Bahasan Listrik Dinamis,” *Saintifik*, vol. 1, no. 1, pp. 26–33, 2015, doi: 10.31605/saintifik.v1i1.68.
- [13] N. Ardiani, Mutia, “Analisis tegangan pada struktur monocoque chassis prototype mobil hemat energi berbahan komposit carbon fiber,” UNIVERSITAS BRAWIJAYA, 2018.
- [14] Sosanto Doni Dwi, “Metode Penelitian EKSPERIMEN (Experiment),” 2022. <https://notes.its.ac.id/tonydwisusanto/> (accessed Dec. 19, 2022).
- [15] S. Wunda, A. Z. Johannes, R. K. Pingak, and A. S. Ahab, “Analisis Tegangan , Regangan Dan Deformasi Crane Hook Dari Material Baja Aisi 1045 Dan Baja St 37 Menggunakan Software Elmer,” *J. Fis. Fis. Sains dan Apl.*, vol. 4, no. 2, pp. 131–137, 2019.