

Analisis Pengaruh Bahan Terhadap Faktor Keamanan *Footstep* Sepeda Motor Menggunakan Metode Elemen Hingga

Januar Teguh Prasetyo, I Made Gatot Karohika, I Made Parwata
Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

Abstrak

Produksi sepeda motor di Indonesia pada tahun 2021 adalah sebesar 5.057.516 unit dan terjadi peningkatan menjadi 5.221.470 unit pada tahun 2022 berdasarkan data Asosiasi Industri Sepeda Motor Indonesia. Salah satu komponen sepeda motor yang berperan untuk menjadi pijakan bagi pengendara maupun penumpang sepeda motor adalah *footstep*, selain itu *footstep* juga berperan untuk menjaga kestabilan dalam berkendara. Secara umum bahan dasar untuk pembuat *footstep* dapat bervariasi mulai dari besi tuang, aluminium, hingga titanium. Maka dari itu penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh bahan penyusun *footstep* terhadap nilai faktor keamanannya dengan simulasi menggunakan aplikasi *engineering*. Penelitian ini menggunakan simulasi *static structural* dengan pembebanan sebesar 800N yang diambil dari berat pengendara motor. Serta bahan yang digunakan adalah carbon steel 1020, aluminium alloy 6061, dan titanium alloy yang terdapat pada aplikasi *ansys*. Simulasi ini bertujuan untuk mengetahui total deformasi, *equivalent stress*, dan faktor keamanan. Berdasarkan hasil simulasi, nilai faktor keamanan tertinggi ada pada *footstep* berbahan aluminium alloy 6061, yaitu sebesar 12,749. Hal ini dipengaruhi oleh perbedaan tegangan luluh yang dimiliki oleh setiap bahan dan dapat diambil kesimpulan bahwa *footstep* berbahan dasar titanium alloy memiliki faktor keamanan yang paling tinggi dibandingkan bahan lainnya.

Kata kunci: Von mises, metode elemen hingga, *footstep*

Abstract

Motorcycle production in Indonesia in 2021 is 5,057,516 units and there will be an increase to 5,221,470 units in 2022 based on data from the Indonesian Motorcycle Industry Association. One component of a motorcycle that acts as a foothold for the rider and passenger of a motorcycle is the *footstep*, besides that the *footstep* also plays a role in maintaining stability when driving. In general, the basic materials for making *footstep* can vary from cast iron, aluminum to titanium. Therefore, this study aims to determine the effect of the *footstep* constituent materials on the value of the safety factor by simulating using *engineering* applications. This study uses a *static structural* simulation with a loading of 800N which is taken from the weight of the motorbike rider. As well as the materials used are 1020 carbon steel, 6061 aluminum alloy, and titanium alloy found in the *ansys* application. This simulation aims to determine the total deformation, *equivalent stress*, and safety factor. Based on the simulation results, the highest safety factor value is in the *footstep* made of aluminum alloy 6061, which is 12.749. This is influenced by the differences in the yield stress of each material and it can be concluded that the *footstep* made from titanium alloy has the highest safety factor compared to other materials.

Keywords: Von mises, finite element method, *footstep*

1. Pendahuluan

Berdasarkan data Asosiasi Industri Sepeda Motor Indonesia produksi sepeda motor di Indonesia pada tahun 2021 adalah sebesar 5.057.516 unit dan terjadi peningkatan menjadi 5.221.470 unit pada tahun 2022 [1]. Terdapat kenaikan sebesar 163.954 unit dari tahun sebelumnya. *Footstep* merupakan salah satu komponen sepeda motor yang berperan untuk menjadi pijakan bagi pengendara maupun penumpang sepeda motor, selain itu *foot step* juga berperan untuk menjaga kestabilan dalam berkendara. Karena alasan tersebut komponen ini menjadi salah satu komponen yang selalu ada pada sepeda motor. *Footstep* diharuskan memiliki bahan yang kuat dan ringan, sehingga dapat menopang beban kaki dan tubuh pengendaranya.

Secara umum bahan dasar untuk pembuat *footstep* dapat bervariasi mulai dari besi tuang, aluminium, hingga titanium[2]. *Footstep* yang memiliki desain sama tetapi menggunakan bahan

dasar yang berbeda akan memiliki nilai factor keamanan yang berbeda pula. Maka dari itu penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh bahan penyusun *footstep* terhadap nilai faktor keamanannya.

Seiring dengan perkembangan teknologi komputer maka proses untuk mengetahui perilaku suatu produk dapat dilakukan menggunakan aplikasi *engineering* berbasis metode elemen hingga. Metode elemen hingga merupakan metode *numerical* yang digunakan untuk menyelesaikan perhitungan matematika dan *engineering* dengan membagi struktur kedalam bagian yang lebih kecil[3]. Proses simulasi menggunakan aplikasi *engineering* sudah banyak dilakukan. Analisis menggunakan aplikasi *engineering* dapat meminimalkan penggunaan biaya, waktu, dan sumber daya karena tidak perlu membuat produk untuk melakukan analisa yang diperlukan.

Dalam hal ini permasalahan yang akan dikaji oleh penulis adalah bagaimana pengaruh bahan

terhadap nilai faktor keamanan *footstep* sepeda motor dengan desain yang sama.

Beberapa batasan ditetapkan dalam penelitian ini meliputi:

1. Jenis bahan dasar yang digunakan adalah besi tuang, aluminium, dan titanium.
2. Pengujian dilakukan menggunakan fitur *static structural*.
3. Beban yang dikenakan diasumsikan sebesar 800N berdasarkan massa maksimum pengendara sepeda motor.

2. Dasar Teori

2.1. Besi tuang.

Menurut A. Noor Setyo HD besi tuang adalah jenis besi yang memiliki kemampuan cor yang baik[4]. Dalam keadaan stabil Fe3C, struktur ferit murni hanya ditemukan grafit berlapis, granular dan nodular, dan struktur utama terdiri dari filamen ferit, perlit dan semen stabil, sehingga selama perlakuan panas, sebagian besar unsur karbon semen (Fe3C) adalah grafit, mutiara atau ferit[5].

Besi tuang memiliki sifat mekanis sebagai berikut [6].

Tabel 1. Sifat mekanis besi tuang

Mechanical Properties	Metric	English
Hardness, Brinell	121	121
Hardness, Knoop	140	140
Hardness, Vickers	126	126
Tensile Strength, Ultimate	420 MPa	60900 psi
Tensile Strength, Yield	350 MPa	50800 psi
Elongation at Break	15 %	15 %
Modulus of Elasticity	200 GPa	29000 ksi
Bulk Modulus	140 GPa	20300 ksi
Poissons Ratio	0.25	0.25
Machinability	65 %	65 %
Shear Modulus	80.0 GPa	11600 ksi

2.2. Aluminium

Aluminium merupakan logam yang lebih ringan dari pada tembaga, baja, dan kuningan. Aluminium memiliki karakteristik kekuatan tarik yang rendah dan cukup lunak serta ketahanan karat yang tinggi dengan air, udara, oli, dan merupakan konduktor yang baik[7]. Aluminium memiliki sifat sebagai berikut[8]

Tabel 2. Sifat mekanis aluminium

Sifat-Sifat	Aluminium Murni Tinggi
Struktur Kristal	FCC
Densitas pada 20°C (sat. 103kg/m ³)	2,698
Titik Cair °C	660,1
Koefisien mulur panas kawat 20° - 100°C (10 ⁻⁶ /K)	23,9
Konduktifitas panas 20° - 400°C (W/m K)	238
Tahanan listrik 20°C (10 ⁻⁸ KΩ m)	2,69
Modulus elastisitas (GPa)	70,5
Modulus kekakuan (GPa)	26,0

2.3. Titanium

Titanium memiliki sifat yang kuat, ringan, dan tahan terhadap korosi akibat air laut. Titanium di alam ditemukan tidak dalam bentuk utuh, melainkan dalam bentuk mineral seperti Rutile (TiO₂) dan Ilmenite (FeTiO₃) dalam bentuk titanium dioksida[9]. Sifat unsur titanium ditunjukkan oleh tabel dibawah ini.

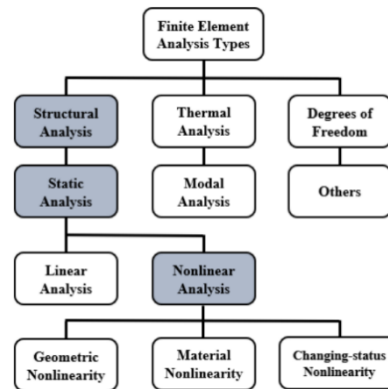
Tabel 3. Sifat unsur titanium

Karakteristik	²² Ti
Kelimpahan / ppm (dalam kerak bumi)	4400
Densitas / g cm ⁻³	4,49
Titik leleh / °C	1167
Titik didih / °C	3285
Jari-jari atomik / pm	147
Jari-jari ionik / pm	60,5 ; 67 ; 86
Potensial reduksi : E ⁰ / V	-0,86
Konfigurasi elektronik	[¹⁸ Ar] 3d ² 4s ²
Elektronegativitas	1,5

2.4. Metode elemen hingga

Metode elemen hingga adalah metode numerik untuk memecahkan masalah teknik yang kompleks dengan mensimulasikan solusi yang lebih sederhana. Metode elemen hingga sering digunakan untuk memecahkan masalah yang sangat kompleks[3].

Dalam kasus umum, beberapa masalah ini tidak dapat diselesaikan dengan metode analisis matematis[10]. Ini karena kalkulus membutuhkan besaran dan nilai untuk diketahui pada setiap titik secara diskrit. Berikut ini adalah diagram metode elemen hingga dalam rekayasa[11].



Gambar 1. Skema metode elemen hingga di bidang teknik

2.5. Tegangan Von Mises

Von Mises menyatakan bahwa akan terjadi luluh bilamana invarian kedua deviator tegangan melampaui harga kritis tertentu. Secara sederhana dapat dikatakan bahwa energi distorsi adalah bagian dari energi regangan total per unit volume yang terlibat di dalam perubahan bentuk. Dalam ilmu material kriteria luluh von Mises dapat diformulasikan dalam von Mises stress. Persamaan ini menyatakan bahwa material mulai luluh ketika tegangan von Mises mencapai yield strength. Tegangan von Mises digunakan untuk memprediksi tingkat keluluhan material terhadap kondisi pembebanan dari hasil pengujian tarik simple uniaksial[12]. Tegangan Von mises dapat dirumuskan dengan.

$$\sigma_{eqv} = \frac{1}{\sqrt{2}} [(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2]^{\frac{1}{2}}$$

2.6. Faktor keamanan

Faktor keamanan merupakan suatu variabel yang menunjukkan rasio antara tegangan yang bekerja pada suatu material atau produk dengan tegangan tegangan luluh yang dimiliki oleh material tersebut. Faktor keamanan berguna untuk memprediksi dan mengurangi kerusakan suatu produk pada saat penggunaan. Faktor keamanan dapat dirumuskan dengan[12].

$$N' = \frac{\sigma_y}{\sigma_w}$$

N' = Faktor keamanan

σ_y = Tegangan yield (N/m²)

σ_w = Tegangan kerja (N/m²)

3. Metode Penelitian

3.1. Alat

Pengujian ini menggunakan aplikasi *engineering* Ansys workbench 2021 R2 berbasis metode elemen hingga yang dilakukan di lab komputer Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana.

3.2. Bahan

Bahan yang digunakan pada penelitian kali ini menggunakan list bahan yang terdapat pada ansys workbench 2021 R2. List bahan dan sifat mekanis dari bahan dapat dilihat dibawah ini.

1. Carbon Steel, 1020, annealed

Tabel 4. Sifat mekanis *carbon steel, 1020, annealed*

Density	7,85e-06 kg/mm ³
Structural	
▼ Isotropic Elasticity	
Derive from	Young's Modulus and Poisson's Ratio
Young's Modulus	2,124e+05 MPa
Poisson's Ratio	0,29000
Bulk Modulus	1,6857e+05 MPa
Shear Modulus	82326 MPa
Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion	1,143e-05 1/°C
Tensile Ultimate Strength	393,00 MPa
Tensile Yield Strength	293,50 MPa

2. Aluminium Alloy, wrought, 6061, T6

Tabel 5. Sifat mekanis *aluminium alloy, wrought, 6061, T6*

Density	2,713e-06 kg/mm ³
Structural	
▼ Isotropic Elasticity	
Derive from	Young's Modulus and Poisson's Ratio
Young's Modulus	69040 MPa
Poisson's Ratio	0,33000
Bulk Modulus	67686 MPa
Shear Modulus	25955 MPa
Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion	2,278e-05 1/°C
Tensile Ultimate Strength	313,10 MPa
Tensile Yield Strength	259,20 MPa

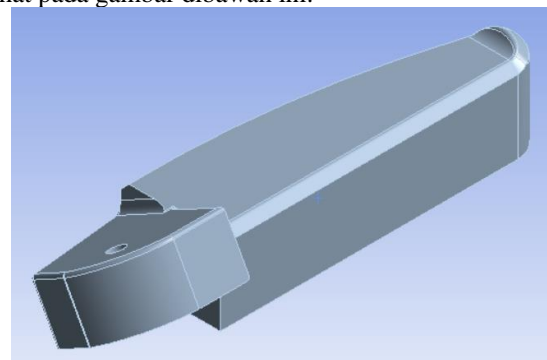
3. Titanium Alloy

Tabel 6. Sifat mekanis *titanium alloy*

Density	4,62e-06 kg/mm ³
Structural	
▼ Isotropic Elasticity	
Derive from	Young's Modulus and Poisson's Ratio
Young's Modulus	96000 MPa
Poisson's Ratio	0,36000
Bulk Modulus	1,1429e+05 MPa
Shear Modulus	35294 MPa
Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion	9,4e-06 1/°C
Compressive Ultimate Strength	0 MPa
Compressive Yield Strength	930,00 MPa
Tensile Ultimate Strength	1070,0 MPa
Tensile Yield Strength	930,00 MPa

3.3. Prosedur Simulasi

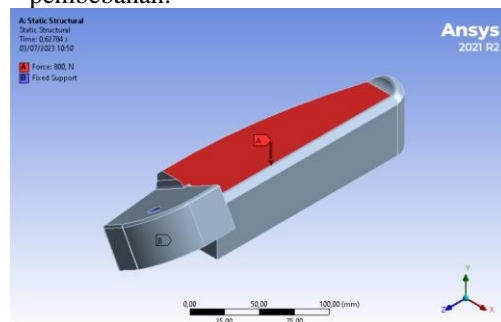
Model produk *footstep* dibuat menggunakan aplikasi Autodesk Inventor 2019. Model dari produk *footstep* yang akan digunakan dalam pengujian dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 2. Model produk *footstep*

Model produk *footstep* kemudian akan diuji dengan beban yang telah ditentukan pada batasan penelitian menggunakan analisa *static structural*. Simulasi menggunakan aplikasi ansys workbench R2 2021 dilakukan mengikuti langkah-langkah sebagai berikut.

1. Model yang telah dibuat kemudian di export ke aplikasi ansys workbench R2 2021 dengan format “.step”.
2. Buka aplikasi ansys workbench R2 2021.
3. Masuk ke pilihan simulasi *static structural*.
4. Masukkan sifat mekanik material yang telah didapatkan pada pengujian sebelumnya.
5. Selanjutnya masukkan geometri model yang telah di desain sebelumnya.
6. Kemudian masukkan *boundary condition* seperti titik tumpu, pembebanan, serta arah pembebanan.

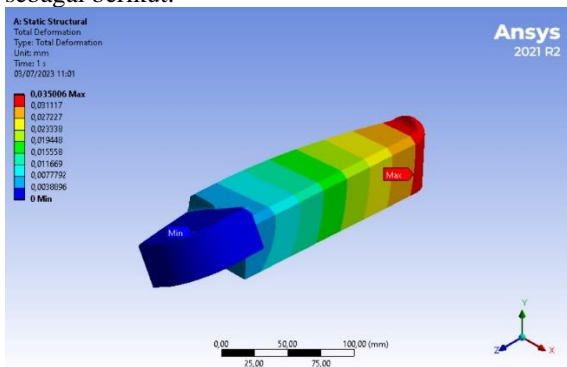


Gambar 3. *Boundary condition* model pada simulasi

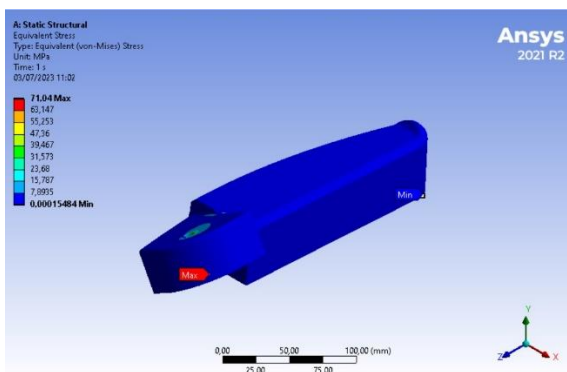
7. Kemudian lakukan meshing dengan metode tetrahedron dengan ukuran elemen menyesuaikan kondisi pada saat pengujian serta behavior elemen di atur ke pilihan hard. Pemilihan mesh ini dilakukan berdasarkan geometri yang kompleks serta memiliki banyak lekukan.
8. Kemudian generate mesh dan cek kualitas meshing dengan menggunakan grafik skewness kualitas meshing. Meshing yang ditargetkan berada diangka 0,8 atau kurang.
9. Jika kualitas meshing telah memenuhi kualitas yang diinginkan atau mendekati konvergen, maka bisa dilakukan proses selanjutnya, jika belum memenuhi kualitas yang diinginkan ulangi proses meshing.
10. Lalu pilih solusi yang ingin diketahui dari proses simulasi.
11. Kemudian klik fitur solve pada aplikasi ansys. Dan biarkan aplikasi running sampai hasil simulasi keluar.
12. Kemudian cek hasil simulasi.
13. Ulangi dengan variasi bahan yang telah ditentukan pada Batasan masalah.
14. Selesai.

4. Hasil dan Pembahasan

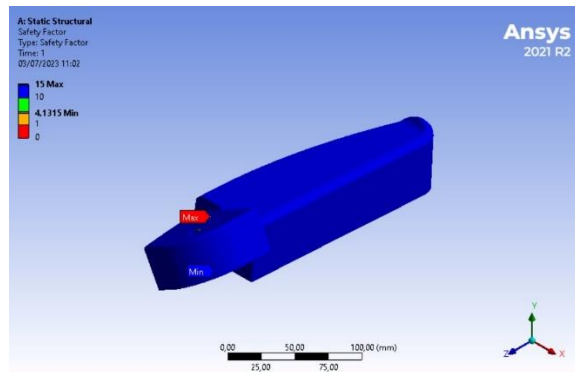
Dari hasil simulasi static structural pada aplikasi ansys *workbench* 2021 R2, didapatkan *total deformation*, *equivalent stress*, dan faktor keamanan sebagai berikut.



Gambar 4. Kontur *displacement* pada *footstep carbon steel. 1020, annealed*.

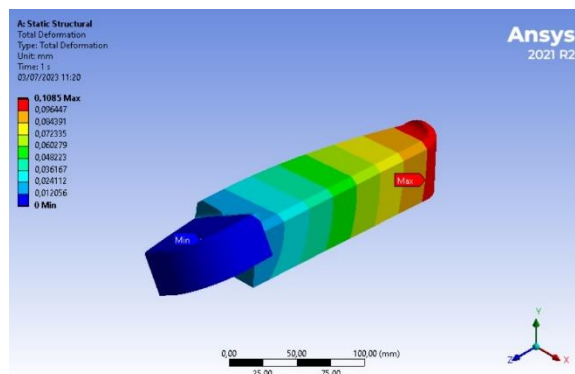


Gambar 5. Kontur *equivalent stress* pada *footstep carbon steel. 1020, annealed*.

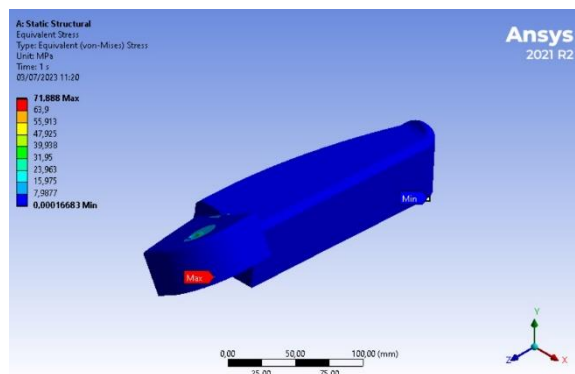


Gambar 6. Faktor keamanan pada *footstep carbon steel. 1020, annealed*.

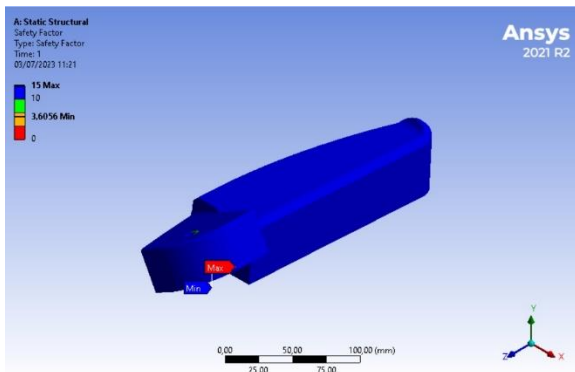
Pada hasil simulasi *footstep* berbahan dasar *carbon steel, 1020, annealed* memiliki nilai *displacement* maksimum 0,035006 mm, nilai *equivalent stress* maksimum berada diangka 71,04 MPa, dan nilai faktor keamanan minimum diangka 4,1315.



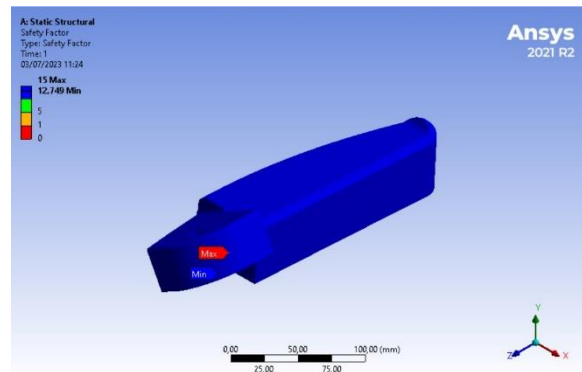
Gambar 7. Kontur *displacement* pada *footstep aluminium alloy, wrought, 6061, T6*.



Gambar 8. Kontur *equivalent stress* pada *footstep aluminium alloy, wrought, 6061, T6*.



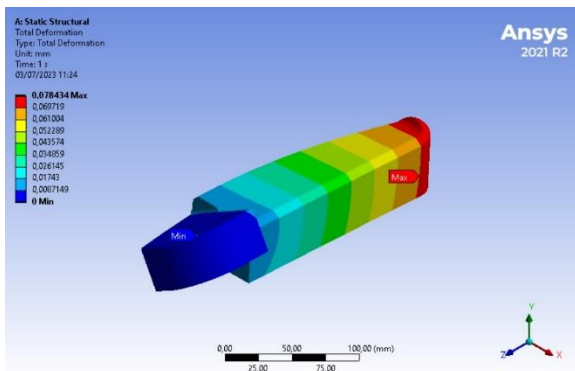
Gambar 9. Faktor keamanan pada *footstep aluminium alloy, wrought, 6061, T6*.



Gambar 12. Faktor keamanan pada *footstep titanium alloy*.

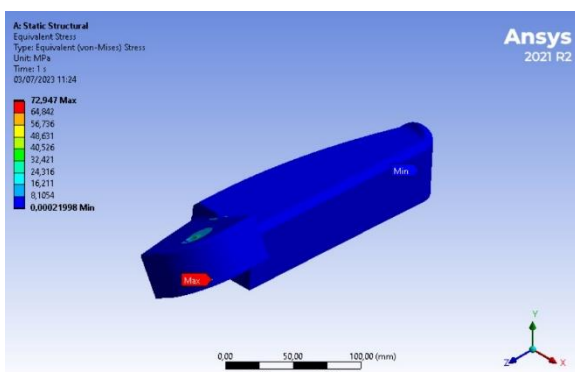
Sedangkan hasil simulasi *footstep* berbahan dasar *aluminium alloy, wrought, 6061, T6* memiliki nilai *displacement* maksimum 0,1085 mm, nilai *equivalent stress* maksimum berada diangka 71,888 MPa, dan nilai faktor keamanan minimum diangka 3,6056.

Pada hasil simulasi *footstep* berbahan dasar *titanium alloy* memiliki nilai *displacement* maksimum 0,078434 mm, nilai *equivalent stress* maksimum berada diangka 72,947 MPa, dan nilai faktor keamanan minimum diangka 12,749.



Gambar 10. Kontur *displacement* pada *footstep titanium alloy*.

Pada simulasi ini, meskipun model produk memiliki dimensi dan *boundary condition* yang sama, perbedaan nilai dapat terjadi. Dimana perbedaan tersebut disebabkan karena setiap bahan memiliki tegangan luluh yang berbeda. Dapat dilihat *footstep* berbahan dasar *titanium alloy* memiliki faktor keamanan paling tinggi, diikuti dengan *carbon steel, 1020, annealed*, lalu yang terakhir *aluminium alloy, wrought, 6061, T6*. Semakin tinggi nilai faktor keamanan, maka semakin andal pula produk yang dihasilkan, serta dapat menerima beban atau gaya yang lebih besar sebelum terjadi kegagalan.



Gambar 11. Kontur *equivalent stress* pada *footstep titanium alloy*.

5. Kesimpulan

Berdasarkan data yang didapat, perbedaan bahan dasar *footstep* dapat menyebabkan perbedaan pada nilai *displacement*, *equivalent stress*, dan faktor keamanan. Hal ini dipengaruhi oleh perbedaan tegangan luluh yang dimiliki oleh setiap bahan dan dapat diambil kesimpulan bahwa *footstep* berbahan dasar *titanium alloy* memiliki faktor keamanan yang paling tinggi dibandingkan bahan lainnya dengan dimensi *footstep* yang sama.

Daftar Pustaka

- [1] A. I. S. M. INDONESIA, *Statistic Distribution*, 2023.
<https://www.aisi.or.id/statistic/> (accessed Jul. 01, 2023).
- [2] T. Game, *PERAN VITAL FOOTSTEP PADA MOTOR TRAIL*, 2022.
<https://www.trialgame.id/news/dirt/detail/per-an-vital-footstep-pada-motor-trail>
- [3] A. Wikarta, , 2018, *Optimasi Topologi Pada Overhead Crane Box Girder Kapasitas 5Tx23M Dengan*, D. T. Mesin, and F. T. Industri.

- [4] A. N. S. HD and S. Widodo, 2018, ***Peningkatan Sifat Mekanis Besi Cor Kelabu Melalui Proses Tempering***, J. Mech. Eng., vol. 2, no. 2, pp. 8–17, doi: 10.31002/jom.v2i2.1365.
- [5] S. Djaprie, 1986, ***Ilmu dan Teknologi Bahan (Ilmu Logam dan Bukan Logam, 5th ed.*** Jakarta: Penerbit Erlangga.
- [6] MatWeb, ***Baja, Properti Umum***, <https://www.matweb.com/search/datasheet.aspx?bassnum=MS0001> (accessed Jul. 01, 2023).
- [7] M. Susri, Suherman, and F. Rahmad, 2016, ***Pengaruh Penambahan Magnesium Terhadap Kekerasan, Kekuatan Impak Dan Struktur Mikro Pada Aluminium Paduan (Al-Si) Dengan Metode Lost Foam Casting***, J. Ilm. “MEKANIK” Tek. Mesin ITM, vol. 2, no. 2, pp. 77–84.
- [8] H. Bashori, 2020, ***UJI MATERIAL ALUMINIUM PADUAN DENGAN METODE KEKERASAN ROCKWELL***, Angew. Chemie Int. Ed., vol. 6, no. 11, pp. 951–952.
- [9] A. Mathematics, ~~済無~~ ***No Title No Title No Title***, no. Iv, pp. 1–23, 2016.
- [10] I. N. Budiarsa, I. D. G. A. Subagia, I. W. Widhiada, and N. P. G. Suardana, 2015, ***Characterization of Material Parameters by Reverse Finite Element Modelling Based on Dual Indenters Vickers and Spherical Indentation***, Procedia Manuf., vol. 2, no. February, pp. 124–129, doi: 10.1016/j.promfg.2015.07.022.
- [11] Erdogan Madenci, 2006, ***The Finite Element Methode And Applications In Engineering Using Ansys***. USA: Springer International Publishing.
- [12] R. C. HIBBELER, ***Mechanics of Materials, 8th ed.*** USA: Pearson Prentice Hall, 1991.

