



Analisis Crack Pada Robot Exoskeleton Lower LIMB

Muhammad Fadhil Al Fadjri¹, Daniel S Pamungkas^{2*}, Hanifah Widiastuti³

^{1,2} Teknik Mekatronika, Politeknik Negeri Batam

³ Teknik Mesin, Politeknik Negeri Batam

¹mfadhilalfadjri14@gmail.com, ²daniel@polibatam.ac.id, ³hanifah@polibatam.ac.id

Abstract

Failure due to material fatigue can be potentially fatal as it may lead to fractures without any initial detectable deformation. Factors such as high maximum load and large stress cycles accelerate the material fatigue process. In the design of a lower limb exoskeleton robot, the strength and safety of the robot are primary focuses, particularly in the Link Joint mechanism. The comfort and safety of the structure are determined by the geometry and type of material used. Analysis using Fracture Mechanics is employed to evaluate cracks in the Link Joint mechanical structure, with the calculation of the Stress Intensity Factor (SIF) value as an indicator of the stress intensity on the crack due to load. This research aims to identify critical stress and estimate the service life of the mechanism through testing using Finite Element Method-based software, specifically Solidworks 2020.

Keywords: Robot Exoskeleton Lower Limb, crack, SIF (Stress Intensity Factor).

Abstrak

Kegagalan akibat kelelahan material dapat berpotensi fatal karena dapat menyebabkan fraktur tanpa deformasi awal yang terdeteksi. Faktor-faktor seperti beban maksimum yang tinggi dan siklus tegangan yang besar mempercepat proses kelelahan material. Dalam desain robot exoskeleton ekstremitas bawah, kekuatan dan keamanan robot menjadi fokus utama, terutama pada mekanisme Link Joint. Kenyamanan dan keamanan struktur ditentukan oleh geometri dan jenis material yang digunakan. Analisis menggunakan Fracture Mechanics digunakan untuk mengevaluasi retakan pada struktur mekanik Link Joint, dengan perhitungan nilai Stress Intensity Factor (SIF) sebagai indikator intensitas tegangan pada retakan akibat beban. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi tegangan kritis dan memperkirakan umur layan mekanisme melalui pengujian dengan menggunakan perangkat lunak berbasis Metode Elemen Hingga, khususnya Solidworks 2020.

Kata kunci: Robot Exoskeleton Tungkai Bawah, retak, SIF (Stress Intensity Factor).

1. Pendahuluan

Dari keadaan saat ini, terlihat bahwa kebutuhan manusia untuk berjalan dan bergerak adalah sesuatu yang mendasar. Manusia sebagai makhluk yang memerlukan gerak dan perpindahan tempat membutuhkan aktivitas pergerakan untuk menunjang kegiatan sehari-hari [1]. Namun, intensitas berjalan yang tinggi dapat menyebabkan kelelahan dan hilangnya kemampuan berjalan, serta bisa dipengaruhi oleh berbagai penyakit [2].

Untuk mengatasi masalah tersebut, diperlukan bantuan sistem robotik seperti Robot Exoskeleton Lower Limb yang dirancang untuk membantu proses rehabilitasi bagi mereka yang kehilangan kemampuan berjalan akibat stroke, cedera tulang belakang, patah kaki, dan sebagainya [3]. Robot ini memiliki link yang terhubung ke pinggul dan lutut pada setiap sendi. Pengembangan robot ini difokuskan agar seringan mungkin sehingga

pengguna merasa nyaman dan dapat bergerak bebas tanpa beban tambahan [1].

Robot Exoskeleton Lower Limb dibuat dari material hollow iron berbahan baja ringan dengan lapisan aluminium, serta Polylactid Acid (PLA) [4], [5]. Filament yang dibentuk menggunakan mesin 3D printing. Material robot ini sering mengalami keretakan sehingga diperlukan material yang lebih tepat agar robot bisa berjalan dengan kokoh sesuai langkah manusia.

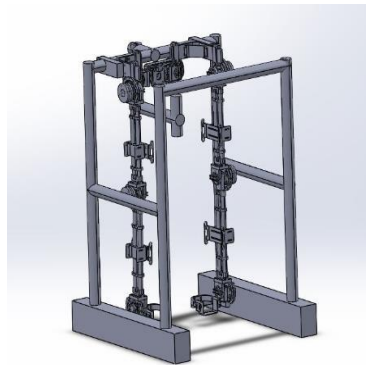
Kegagalan akibat kelelahan material sangat berbahaya karena bisa mengakibatkan patahan tanpa deformasi sebelumnya, yang tidak terdeteksi secara visual. Faktor-faktor yang mempercepat kelelahan material termasuk beban maksimum yang tinggi, siklus penerapan tegangan yang besar, konsentrasi tegangan, korosi, suhu, tegangan sisa, dan geometri kerangka robot.

Untuk menguji bagian mekanisme robot yang mengalami keretakan, dilakukan analisis menggunakan metode FEM (Finite Element Method). Analisis ini

penting untuk memastikan struktur robot Exoskeleton Lower Limb dapat berfungsi dengan baik dan mengurangi risiko keretakan pada materialnya. [6].

2. Metode Penelitian

Metode penelitian pada “Analisa Crack pada Robot Exoskeleton Lower Limb” memiliki beberapa tahap seperti blok diagram, menganalisis menggunakan *Finite Element*, desain dan simulasi visualnya menggunakan *Software Solidwork* [7], [8]. Design robot exoskeleton (terlihat pada Gambar 1) yang dibuat khusus untuk pengguna agar seringan mungkin dalam berjalan menggunakan exoskeleton.



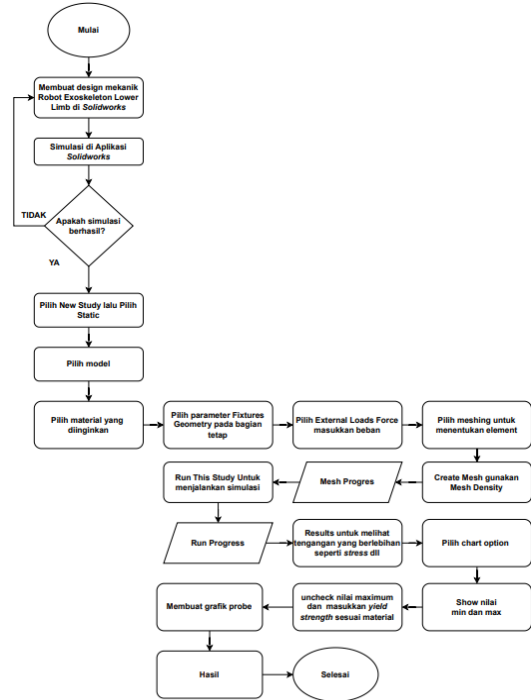
Gambar 1. Desain Robot Exoskeleton Lower Limb

Tahapan proses melibatkan membuat rancangan mekanisme robot di SolidWorks, memilih bagian untuk dianalisis, dan kemudian melakukan pengujian dengan pembebanan atau tekanan untuk mendapatkan hasilnya[9].

Gambar 2 ialah memperlihatkan alur perancangan yang akan dilakukan serta Gambar 3 memperlihatkan perancangan simulasi pada aplikasi solidworks.



Gambar 4. Link pinggul beban min 10 kg

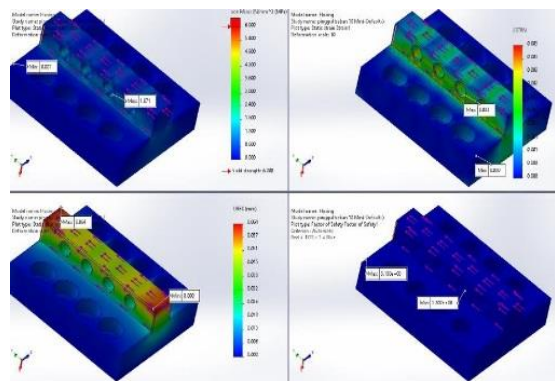


Gambar 2. Alur Penelitian

3. Hasil dan Pembahasan

A. Simulasi link pinggul minimum dan maximum material PLA

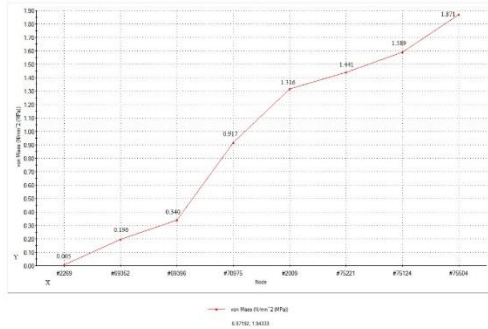
Hasil simulasi menunjukkan bahwa link pinggul dari material PLA dengan berat 70 gram dan beban minimum 10 kg (98.0665 N) tidak mengalami kegagalan. Namun, material PLA mengalami kegagalan pada beban maksimum 50 kg (490.3325 N). Pada Gambar 4-7 serta tabel 1 dan 2, bagian link pinggul dengan beban 10 kg tidak menunjukkan crack di area bawah lubang baut, dengan stress 1.871 MPa dan Factor of Safety yang aman, menunjukkan material PLA aman digunakan. Namun, pada beban 50 kg, muncul warna merah dengan stress 9.354 MPa dan Factor of Safety yang tidak aman, menunjukkan material telah gagal melewati nilai yield strength.



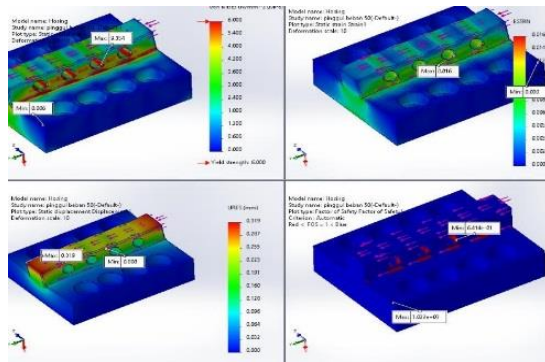
Gambar 3. Alur Pengujian Pada Solidworks

Tabel 1. Link pinggul beban max 50 kg

Nilai Min	Nilai Max	Type
0.001 Mpa	1.871 Mpa	Von Mises Stress
0.000 Mpa	0.064 Mpa	Displacement
0.000 Mpa	0.003 Mpa	Strain
3.207e+01 Mpa	5.108e+03 Mpa	Factor of Safety



Gambar 5. Grafik pinggul minimum 10 kg



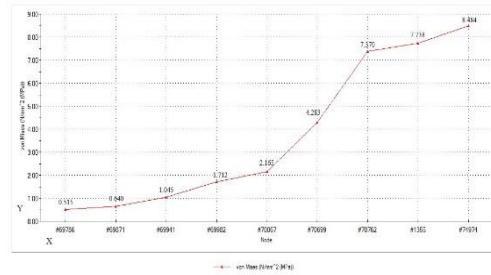
Gambar 6. Link pinggul beban max 50 kg

Tabel 2. Link pinggul beban min 10 kg

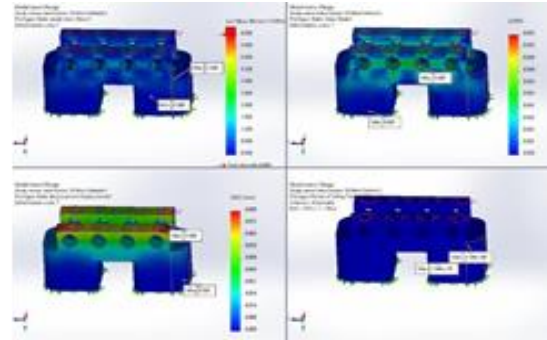
Nilai Min	Nilai Max	Type
0.006 Mpa	9.354 Mpa	Von Mises Stress
0.000 Mpa	0.319 Mpa	Displacement
0.000 Mpa	0.016 Mpa	Strain
6.414e-01 Mpa	1.022e+03 Mpa	Factor of Safety

B. Hasil simulasi link lutut beban minimum PLA
 Simulasi menunjukkan bahwa link lutut dari material PLA dengan berat 30 gram dan beban minimum 10 kg (98.0665 N) tidak mengalami kegagalan. Namun, material PLA gagal pada beban maksimum 50 kg (490.3325N). Pada gambar dan tabel, part link lutut dengan beban 10 kg (Gambar 8-11, dan Tabel 3-4) tidak menunjukkan retak di area sela lubang baut, dengan stress 2.846 MPa dan Factor of Safety yang aman, menunjukkan material PLA aman digunakan. Namun, pada beban 50 kg, muncul warna merah dengan stress 14.231 MPa dan Factor of Safety yang tidak aman,

menandakan material telah gagal melewati nilai yield strength.



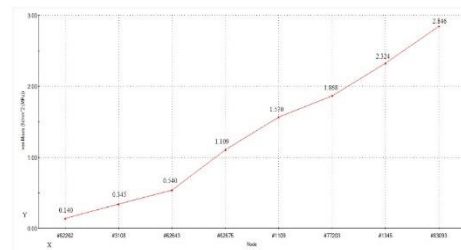
Gambar 7. Grafik pinggul maximum 50 kg



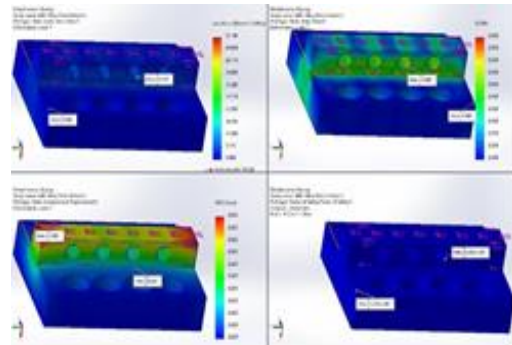
Gambar 8. link lutut beban min 10 kg

Tabel 3. Nilai Link Lutut PLA beban 10 kg

Nilai Min	Nilai Max	Type
0.001 Mpa	2.846 Mpa	Von Mises Stress
0.000 Mpa	0.080 Mpa	Displacement
0.000 Mpa	0.005 Mpa	Strain
2.108e+00 Mpa	1.845e+05 Mpa	Factor of Safety



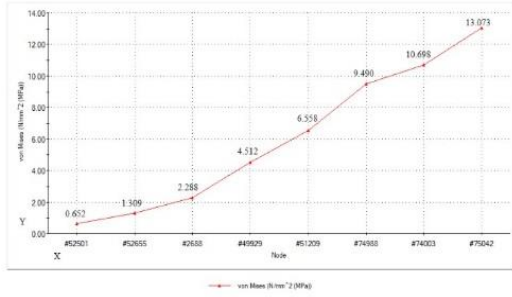
Gambar 9. Grafik lutut beban min 10 kg



Gambar 10. Link lutut beban max 50 kg

Tabel 4. Nilai link lutut PLA beban 50 kg

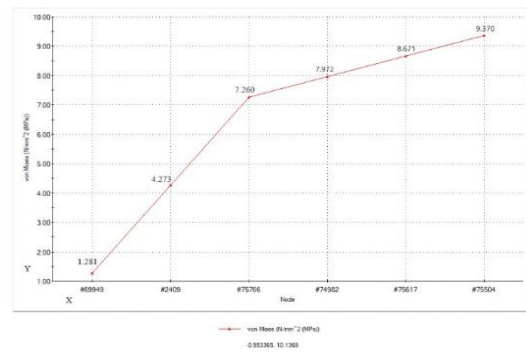
Nilai Min	Nilai Max	Type
0.001 Mpa	14.231 Mpa	Von Mises Stress
0.000 Mpa	0.402 Mpa	Displacement
0.000 Mpa	0.026 Mpa	Strain
4.216e-01 Mpa	3.690e+04 Mpa	Factor of Safety



Gambar 11. Grafik lutut beban max 50 kg

Tabel 5. Nilai link pinggul 6061 Alloy beban 50 kg

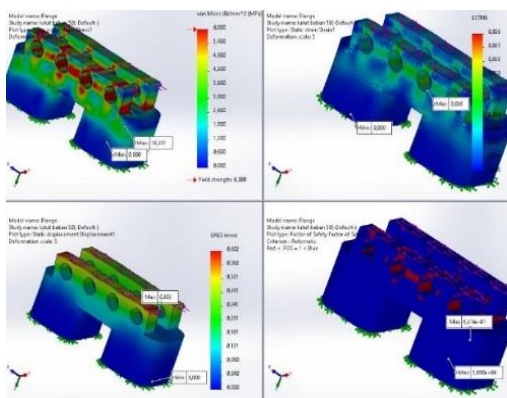
Nilai Min	Nilai Max	Type
0.001 Mpa	9.370 Mpa	Von Mises Stress
0.000 Mpa	0.002 Mpa	Displacement
0.000 Mpa	0.000 Mpa	Strain
5.885e+00 Mpa	1.434e+04 Mpa	Factor of Safety



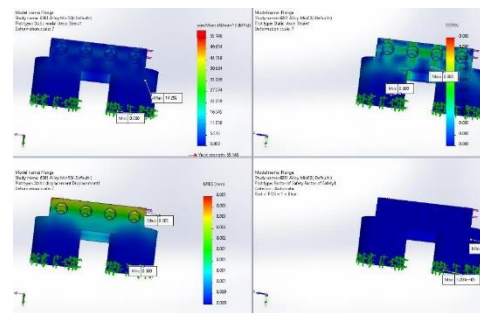
Gambar 13. Grafik pinggul 6061 Alloy

C. Hasil Simulasi link pinggul dan lutut material 6061 Alloy

Pada simulasi link pinggul beban 50 kg dan berat 130 gram dan link lutut 50 kg dengan berat 60 gram dengan menggunakan material 6061 Alloy, hasilnya tidak menunjukkan warna merah. Ini menandakan material 6061 Alloy mampu menahan beban 50 kg tanpa mengalami crack atau patah, hingga sampai beban 300 kg – 400 kg baru munculnya warna merah. Terlihat pada gambar 12-15 serta tabel 5-6 material 6061 Alloy ketika diberi beban minimum 50 kg tidak mudah crack/patah, dan setelah di simulasi mendapatkan nilai stress link pinggul 9.370 Mpa dan link lutut nilai stress 14.929 Mpa yang dimana nilai tidak melebihi nilai yield strength: 55.148 Mpa yang menandakan part tidak mudah crack atau mengalami kegagalan.



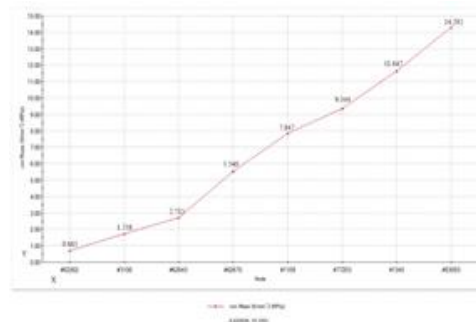
Gambar 12. Link pinggul 6061 Alloy



Gambar 14. Link lutut 6061 Alloy

Tabel 6. Nilai link lutut 6061 Alloy beban 50kg

Nilai Min	Nilai Max	Type
0.001 Mpa	14.929 Mpa	Von Mises Stress
0.000 Mpa	0.003 Mpa	Displacement
0.000 Mpa	0.000 Mpa	Strain
3.859e+00 Mpa	3.283e+05 Mpa	Factor of Safety



Gambar 15. Grafik lutut 6061 Alloy

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian ini, dapat ditarik kesimpulan Proses simulasi analisis tegangan bertujuan untuk mengetahui ketahanan desain dan material terhadap beban. Setelah pemodelan 2D dan 3D di *SolidWorks*, simulasi dilakukan menggunakan material PLA dan 6061 Alloy untuk mendapatkan tegangan minimum dan maksimum pada area kecil di titik pembebanan, yaitu bagian sambungan. Hasil simulasi *Von Mises Stress* menunjukkan bahwa material PLA pada link pinggul dan link lutut tidak kuat dengan beban maksimum karena melebihi yield strength, tetapi aman dengan beban minimum. Faktor keamanan material 6061 Alloy menunjukkan nilai minimum 5.885e+00 MPa untuk link pinggul dan 3.859e+00 MPa untuk link lutut, menandakan material ini sangat aman untuk penggunaan jangka panjang. Desain link pinggul dan lutut dengan 6061 Alloy aman hingga beban 400 kg dan 300 kg, sementara material PLA (70 gram dan 30 gram) aman dengan beban minimum, dengan tegangan *Von Mises stress* di bawah yield strength. Grafik menunjukkan bahwa link pinggul dan link lutut, sesuai gambar di atas, sesuai dengan tabel yang menunjukkan bahwa material PLA tidak cukup kuat untuk menahan beban 50 kg atau 490.3325 Newton.

Ucapan Terimakasih

Kami ingin mengucapkan terima kasih Politeknik Negeri Batam atas fasilitas dan sumber daya yang disediakan.

Daftar Rujukan

- [1] [1] D. Shi, W. Zhang, W. Zhang, and X. Ding, "A Review on Lower Limb Rehabilitation Exoskeleton Robots," *Chinese J. Mech. Eng. (English Ed.)*, vol. 32, no. 1, pp. 1–11, Dec. 2019.
- [2] [2] "Stress analysis of lower limb exoskeleton for walking assistance using finite element method." [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/320046153_Stress_analysis_of_lower_limb_exoskeleton_for_walking_assistance_using_finite_element_method. [Accessed: 09-Jan-2025].
- [3] [3] S. M. Hörst, C. He, K. Thakur, S. S. Banwait, and R. Bedi, "Finite element analysis of U-frame of robotic gait trainer for rehabilitation," *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 1248, no. 1, p. 012068, Jul. 2022.
- [4] [4] "PLA (Polylactic Acid): Definition, Applications, and Different Types | Xometry." [Online]. Available: <https://www.xometry.com/resources/materials/what-is-pla/>. [Accessed: 09-Jan-2025].
- [5] [5] S. Farah, D. G. Anderson, and R. Langer, "Physical and mechanical properties of PLA, and their functions in widespread applications — A comprehensive review," *Adv. Drug Deliv. Rev.*, vol. 107, pp. 367–392, Dec. 2016.
- [6] [6] "Definisi dan Fungsi SolidWorks." [Online]. Available: <https://tukanggambar3d.com/definisi-dan-fungsi-solidworks/>. [Accessed: 19-Aug-2024].
- [7] [7] M. Afridi, A. Kumar, F. ibne Mahmood, and G. S. TamizhMani, "Comparative Analysis of Hotspot Stress Endurance in Pristine and Thermal Cycled Prestressed Glass–Glass Photovoltaic Modules," *Sustain.* 2023, Vol. 15, Page 12131, vol. 15, no. 16, p. 12131, Aug. 2023.
- [8] [8] A. R. Fahmi, "Analisis Fatigue Life Sambungan Kritis Pada Platform Attaka B Dengan Retak Semi-Elliptical Menggunakan Linear Elastic Fracture Mechanics (LEFM)," 2016.
- [9] [9] R. Raynaldi, A. Hamid, and A. A. Luthfie, "SIMULASI UJI BENDING PADA SHAFT GENERATOR AWING 500 WATT DENGAN MATERIAL ASTM A36 MENGGUNAKAN SOFTWARE CAD," *J. Tek. Mesin*, vol. 11, no. 2, pp. 131–138, Jul. 2022.