



ANALISIS KETAHANAN RANGKA SEPEDA MTB BERBAHAN AISI 4130 TERHADAP VARIASI BEBAN DAN KETEBALAN

Nico Ardiansyah Putra¹, Agus Harijono²

Teknik Mesin, Politeknik Negeri Malang

Jl. Soekarno Hatta No.9, Jatimulyo, Kec. Lowokwaru, Kota Malang, Jawa Timur 65141

Email: nicoardians13@gmail.com

A B S T R A K

Penelitian ini bertujuan menganalisis ketahanan rangka sepeda gunung (MTB) berbahan baja AISI 4130 terhadap variasi beban dan ketebalan dinding menggunakan metode elemen hingga (FEM) melalui simulasi SolidWorks. AISI 4130 dipilih karena memiliki kekuatan tarik tinggi dan ketahanan terhadap kelelahan. Simulasi dilakukan pada model 3D rangka dengan ketebalan 1 mm, 1,2 mm, dan 1,4 mm serta pembebanan bertahap dari 90 kgf hingga tercapai batas faktor keamanan (FoS) 2,5. Parameter yang dianalisis meliputi tegangan von Mises, deformasi maksimum, FoS, dan umur kelelahan. Pada ketebalan 1 mm, beban maksimum 570 kgf menghasilkan tegangan 181,9 MPa, deformasi 0,2141 mm, dan umur kelelahan 22.373 siklus. Ketebalan 1,2 mm menahan 690 kgf (179,6 MPa, 0,2209 mm, 23.033 siklus), dan 1,4 mm menahan 810 kgf (182,6 MPa, 0,2334 mm, 21.185 siklus). Hasil menunjukkan peningkatan ketebalan meningkatkan kapasitas beban. Penelitian ini merekomendasikan desain struktural optimal untuk meningkatkan daya tahan rangka sepeda gunung.

Kata Kunci: AISI 4130; MTB; Rangka; Sepeda; Simulasi

ABSTRACT

This study aims to analyze the durability of a mountain bike (MTB) frame made of AISI 4130 steel against variations in load and wall thickness using the Finite Element Method (FEM) through SolidWorks simulation. AISI 4130 was chosen for its high tensile strength and fatigue resistance. Simulations were conducted on a 3D frame model with thicknesses of 1 mm, 1.2 mm, and 1.4 mm, and gradually applied loads starting from 90 kgf until the minimum safety factor (FoS) of 2.5 was reached. The parameters analyzed include von Mises stress, maximum deformation, FoS, and fatigue life. At 1 mm thickness, the maximum load of 570 kgf resulted in 181.9 MPa stress, 0.2141 mm deformation, and 22,373 cycles of fatigue life. At 1.2 mm, the frame withstood 690 kgf (179.6 MPa, 0.2209 mm, 23,033 cycles), and at 1.4 mm, 810 kgf (182.6 MPa, 0.2334 mm, 21,185 cycles). Results indicate that increasing thickness improves load capacity. This study recommends optimal structural design to enhance MTB frame durability.

Keywords: AISI 4130; Bycycle; Frame; MTB; Simulation.

Article History

Received: Juli 2025

Reviewed: Juli 2025

Published: Juli 2025

Plagirism Checker No
234

Prefix DOI : Prefix DOI :
10.8734/Kohesi.v1i2.365

Copyright : Author

Publish by : Kohesi



This work is licensed
under a [Creative
Commons Attribution-
NonCommercial 4.0
International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)



PENDAHULUAN

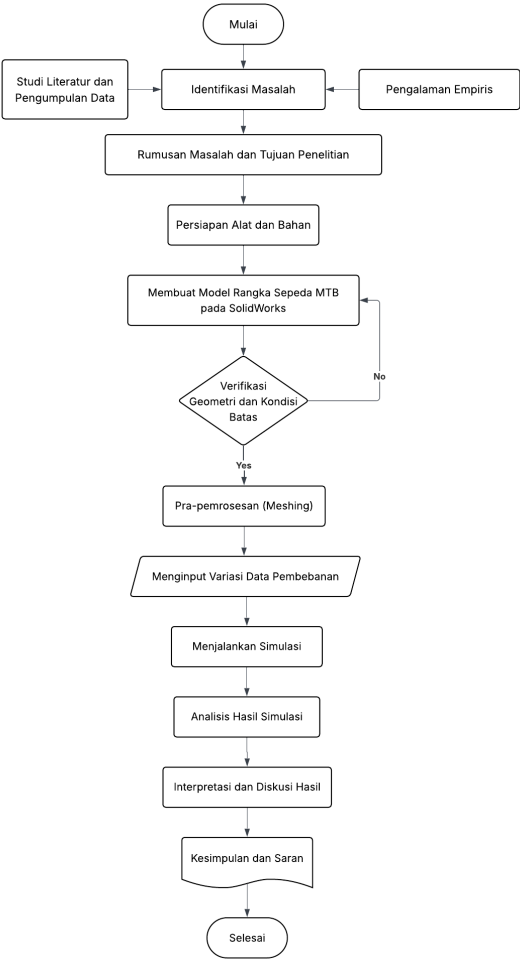
Sepeda gunung (MTB) dirancang untuk melintasi medan berat seperti pegunungan dan jalan berbatu, sehingga kekuatan rangka menjadi faktor utama penentu keselamatan pengendara [1]. Wu pada tesisnya menyatakan bahwa performa rangka sangat bergantung pada desain dan material [2]. Di lapangan, banyak sepeda MTB dengan harga terjangkau tidak dirancang untuk menahan beban berat dan getaran, yang berisiko menyebabkan kecelakaan [3].

AISI 4130 sebagai salah satu jenis chromoly steel banyak digunakan untuk rangka sepeda karena kekuatan tarik dan ketahanan terhadap kelelahan yang baik. Untuk menganalisis ketahanan struktur, metode elemen hingga melalui simulasi perangkat lunak seperti SolidWorks umum digunakan karena efisien dan hemat biaya. Simulasi ini mampu menunjukkan distribusi tegangan, deformasi, serta estimasi umur kelelahan akibat beban statik dan dinamis.

Meski berbagai penelitian telah dilakukan, kajian spesifik terhadap pengaruh ketebalan pipa AISI 4130 terhadap ketahanan rangka MTB terhadap beban berulang masih terbatas. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis ketahanan rangka sepeda MTB berbahan AISI 4130 terhadap variasi beban dan ketebalan menggunakan simulasi SolidWorks, guna memberikan desain rangka yang aman dan andal.

MATERIAL DAN METODOLOGI

Penelitian ini dilakukan menggunakan pendekatan simulasi *numerik berbasis metode elemen hingga (Finite Element Analysis/FEA)* untuk menganalisis ketahanan rangka sepeda gunung (MTB) berbahan AISI 4130 terhadap variasi beban dan ketebalan rangka yaitu 1 mm, 1,2 mm, dan 1,4 mm. Perangkat lunak yang digunakan dalam proses ini adalah SolidWorks 2023. Untuk mengetahui ketahan rangka perlu dilakukan simulasi pembebanan statik dan *fatigue* untuk menganalisis tegangan maksimum, deformasi, faktor keamanan, dan umur kelelahan (*fatigue life*)



Gambar 1. Alur Penelitian



Spesifikasi Material

Sifat mekanik dari material AISI 4130 dapat digunakan sebagai acuan dalam pengaplikasian material guna melakukan simulasi statis maupun *fatigue*. Sifat pada material ini dilihat pada tabel 1.

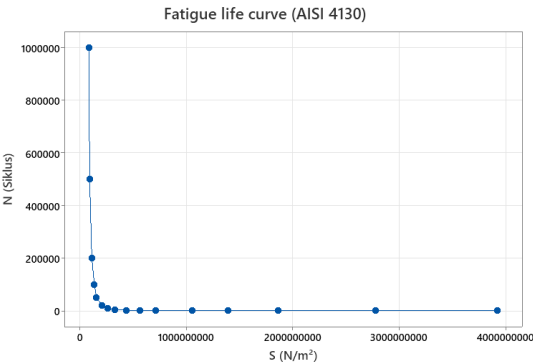
Tabel 1. Spesifikasi Material AISI 4130

Properties	Metric
Tensile strength, ultimate	560 MPa
Tensile strength, yield	460 MPa
Modulus of elasticity	205 GPa
Poisson's ratio	0,285
Shear modulus	80 GPa
Bulk modulus	140 GPa
Thermal Conductivity	42,7 W/(m.K)
Mass Density	7850 kg/m ³

Untuk mengetahui umur kelelahan, perlu dilakukan uji *fatigue*. Pada uji *fatigue*, data dari sifat mekanik saja tidak cukup untuk mendapatkan umur kelelahan. Maka dari itu perlu data dari *Stress-Life Approach* (S-N Curve) dari material AISI 4130. Data tersebut dapat dilihat dari tabel 2. dibawah ini.

Tabel 2. Fatigue data for AISI 4130 [8]

N	S (N/m ²)
10	3924101970
20	2779271053
50	1867490128
100	1392575721
200	1054134845
500	715887104,9
1000	565355703,9
2000	436278890,3
5000	328032052,4
10000	260816445,2
20000	213050093,2
50000	158811616
100000	138041452,8
200000	114575139,8
500000	94041032,73
1000000	86878545,51



Gambar 2. Grafik S-N Curve AISI 4130

Membuat Model 3D

Model spesimen dalam penelitian ini menggunakan rangka sepeda MTB Trendy by Pacific. Model 3D dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 3. Model 3D rangka sepeda MTB

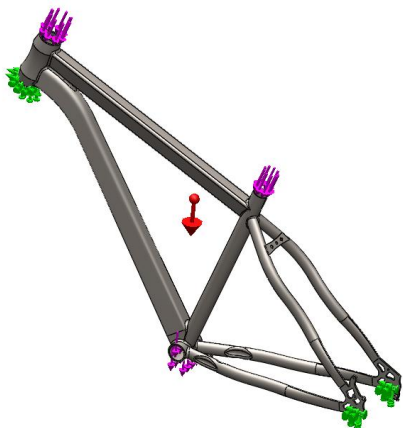
Untuk spesifikasi geometri rangka dapat dilihat pada table berikut.

Tabel 3. Geometri rangka sepeda MTB

Description	Dimension
Seat tube length	430
Seat tube angle	71,5'
Head tube length	120
Head tube angle	71'
Effective top tube	516.5
Bottom bracket height	301
Bottom bracket drop	23
Chainstay length	440
Offset	38
Standover	730
Wheelbase	1069
Frame reach	321.7
Frame stack	567

Menentukan Variasi Beban

Beban diberikan mulai dari 90 kgf sesuai standar ISO 4210-6:2014 dan ditingkatkan secara bertahap (30 kgf per langkah) hingga nilai faktor keamanan (FoS) mendekati batas minimum yang ditentukan, yaitu 2,5. Data hasil simulasi dihentikan pada titik ini untuk tiap ketebalan.



Gambar 4. Boundary Condition

Tabel 4. Distribusi beban pada setiap bagian rangka

Total Beban (kgf)	Head Tube (kgf)	Seat Tube (kgf)	Bottom Bracket (kgf)
90	10	30	50

Kriteria Evaluasi

Evaluasi ketahanan rangka sepeda dilakukan berdasarkan tiga pendekatan berikut::



1. Faktor Keamanan (FoS)

Rangka dapat dinyatakan aman secara statik jika memenuhi:

$$FoS = \frac{\sigma_y}{\sigma_{max}} \geq 2,5$$

Di mana:

σ_y = tegangan luluh material

σ_{maks} = tegangan von Mises hasil simulasi

Faktor keamanan 2,5 dipilih, dikarenakan menurut Hölzel (2011) nilai minimum untuk rangka sepeda yaitu 1,5 [4]. Serta menurut Setyoadi & Pandu Annanto factor keamanan pada rangka sepeda paling optimal yaitu $1,5 < FoS < 3$ [5].

2. Analisis Kelelahan (*Fatigue Life*)

Umur kelelahan (N_f) diperoleh dari kurva S-N material AISI 4130, dan dikatakan memenuhi syarat apabila:

- $N_f \geq 50.000$ siklus (mengacu ISO 4210-2:2014) [6].
- $N_f \geq 70.000$ siklus (mengacu SNI 1049:2008) [7].

3. Kriteria Soderberg

Kriteria Soderberg digunakan untuk mempertimbangkan beban berulang (*fully reversed*) [9].

Tegangan simulasi harus memenuhi:

$$\frac{\sigma_a}{\sigma_e} + \frac{\sigma_m}{\sigma_y} \leq \frac{1}{n}$$

Untuk kondisi *fully reversed* ($\sigma_m=0$), maka:

$$\sigma_a \leq \frac{\sigma_e}{n}$$

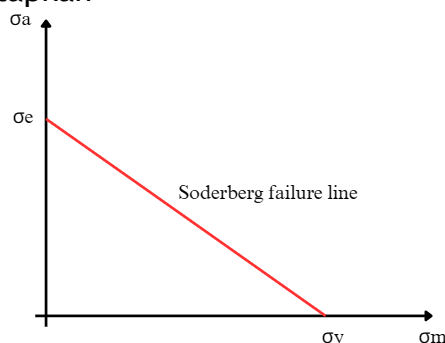
Di mana:

σ_a = Tegangan siklik/*alternating stress*

σ_e = *Endurance limit*

σ_m = Tegangan rata-rata

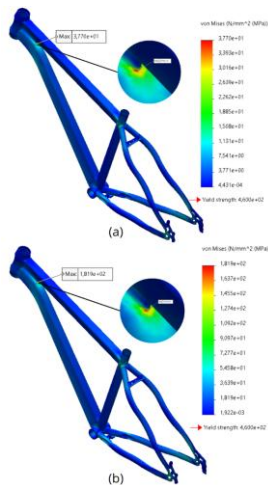
n = Safety factor yang ditetapkan



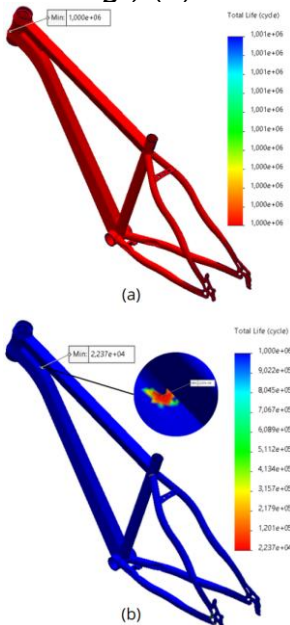
Gambar 5. Diagram kurva kegagalan *fatigue* berdasarkan kriteria Soderberg

HASIL DAN PEMBAHASAN

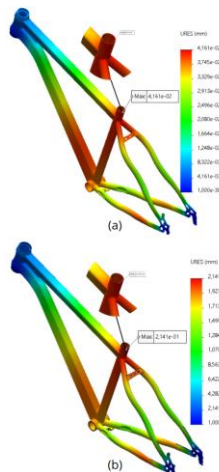
Hasil simulasi menunjukkan bahwa tegangan tertinggi secara konsisten terjadi pada sambungan antara *top tube* dan *down tube*. Hal ini sejalan dengan penelitian yang telah dilakukan Hedrapratama, dimana tegangan tertinggi konsisten terjadi pada area tersebut [10]. Sementara itu, deformasi maksimum terjadi pada bagian ujung *seat tube* dan terdistribusi merata ke arah *bottom bracket* karena relatif lebih fleksibel dibandingkan bagian lainnya. Berdasarkan analisis kelelahan, area sambungan antara *top tube* dan *down tube* juga menjadi bagian yang paling rentan mengalami kegagalan akibat beban berulang. Ilustrasi distribusi tegangan von Mises, deformasi, dan umur kelelahan untuk masing-masing ketebalan ditampilkan pada Gambar 6-14.



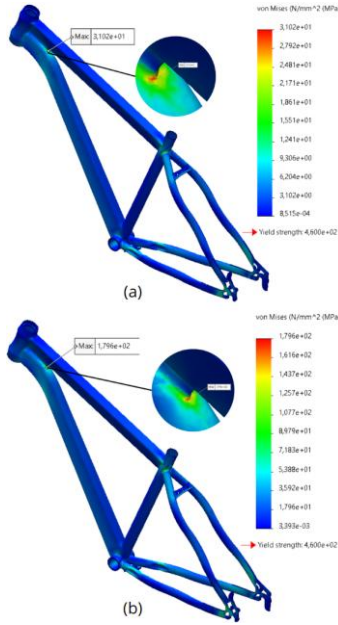
Gambar 6. Distribusi Tegangan, t = 1 mm
(a) beban 90 kgf, (b) beban 570 kgf



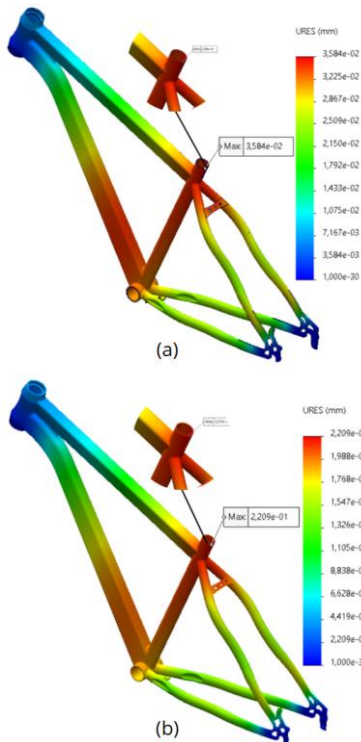
Gambar 8. Distribusi Umur Kelelahan (Fatigue Life), t = 1 mm
(a) beban 90 kgf, (b) beban 570 kgf



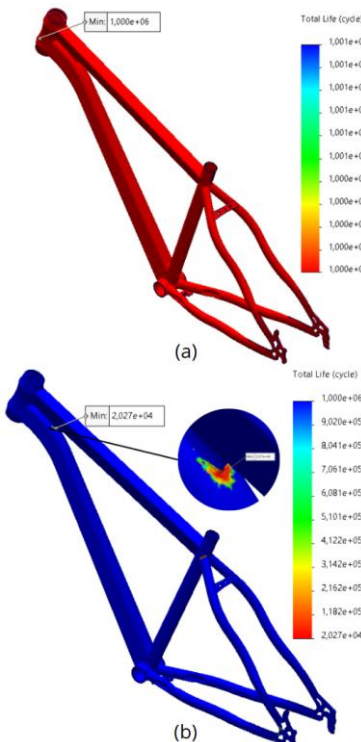
Gambar 7. Distribusi deformasi, t = 1 mm
(a) beban 90 kgf, (b) beban 570 kgf



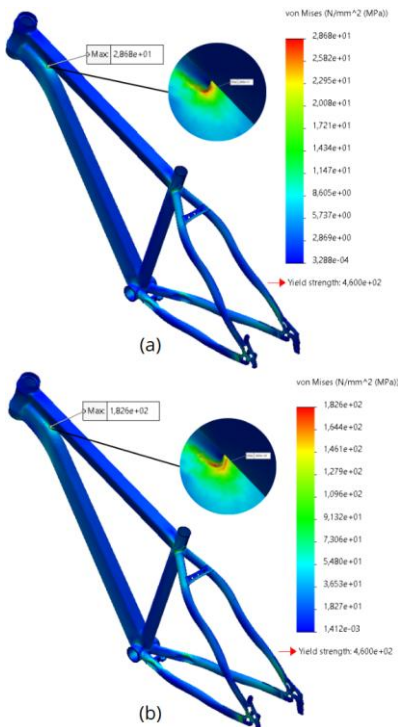
Gambar 9. Distribusi Tegangan, t = 1,2 mm
(a) beban 90 kgf, (b) beban 690 kgf



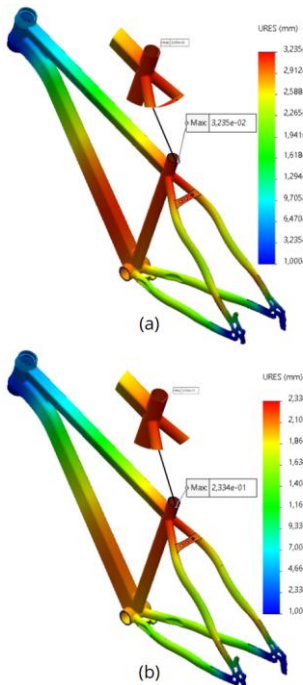
Gambar 10. Distribusi deformasi, $t = 1,2$ mm
(a) beban 90 kgf, (b) beban 690 kgf



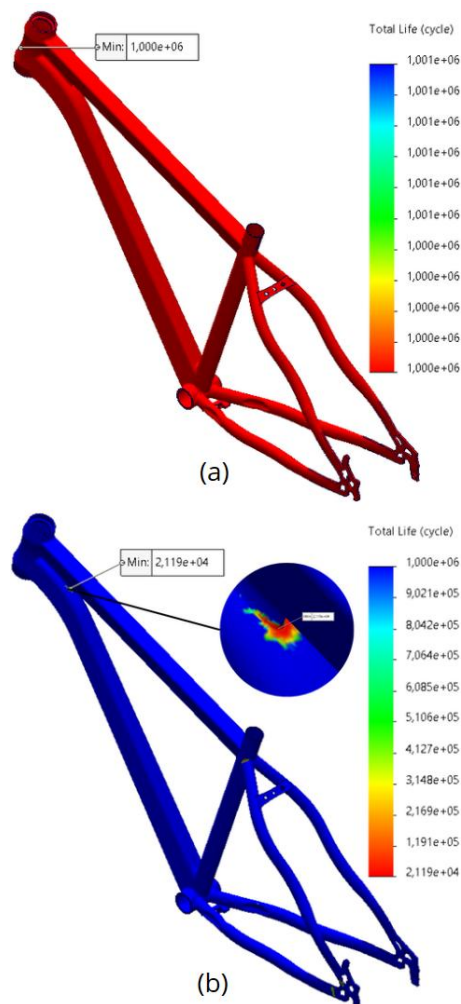
Gambar 11. Distribusi Umur Kelelahan (*Fatigue Life*), $t = 1,2$ mm
(a) beban 90 kgf, (b) beban 690 kgf



Gambar 12. Distribusi Tegangan, $t = 1,4$ mm
(a) beban 90 kgf, (b) beban 810 kgf



Gambar 13. Distribusi deformasi, $t = 1,4$ mm
(a) beban 90 kgf, (b) beban



Gambar 14. Distribusi Umur Kelelahan (*Fatigue Life*), $t = 1,4\text{ mm}$
(a) beban 90 kgf, (b) beban 810 kgf

Untuk memperoleh perbandingan kuantitatif, hasil-hasil utama dari simulasi, seperti tegangan maksimum, deformasi maksimum, faktor keamanan, dan umur kelelahan untuk setiap variasi ketebalan dan beban, dirangkum dalam Tabel 4 berikut. Data ini digunakan untuk mengevaluasi sejauh mana ketebalan memengaruhi kekuatan dan umur pakai rangka.

Table 1. Tabel Hasil Pengujian

Total beban (kgf)	Tebal Rangka (mm)	σ_{max} (MPa)	δ_{max} (mm)	FoS	Min. Total life (cycle)
90	1	37,70	0,04161	12,20	1000000
	1,2	31,02	0,03584	14,83	1000000
	1,4	28,68	0,032351	16,04	1000000
120	1	46,72	0,05239	9,85	1000000
	1,2	38,45	0,04509	11,96	1000000
	1,4	35,55	0,040678	12,94	1000000
150	1	55,74	0,06317	8,25	1000000
	1,2	45,88	0,05435	10,03	1000000
	1,4	42,44	0,049005	10,84	1000000
180	1	64,76	0,07395	7,10	1000000
	1,2	53,31	0,0636	8,63	1000000
	1,4	46,56	0,057617	9,88	1000000
210	1	73,78	0,08473	6,23	1000000
	1,2	60,73	0,072855	7,57	1000000
	1,4	53,03	0,065989	8,67	1000000
240	1	82,80	0,09551	5,56	523850
	1,2	68,08	0,082113	6,76	1000000



	1,4	59,51	0,074361	7,73	1000000
270	1	91,82	0,1063	5,01	317294
	1,2	75,60	0,091365	6,08	1000000
	1,4	66,02	0,082733	6,97	1000000
	1	100,8	0,1171	4,56	205786
300	1,2	83,03	0,100621	5,54	497497
	1,4	72,49	0,091105	6,35	1000000
	1	109,9	0,1278	4,19	148742
330	1,2	90,48	0,109873	5,08	333878
	1,4	78,99	0,099477	5,82	701962
	1	118,8	0,1386	3,87	110875
360	1,2	97,86	0,119133	4,70	232021
	1,4	85,43	0,107848	5,38	416254
	1	127,8	0,1494	3,60	79922
390	1,2	105,3	0,128387	4,37	171425
	1,4	91,99	0,116222	5,00	295360
	1	136,9	0,1602	3,36	57086
420	1,2	112,7	0,137642	4,08	133057
	1,4	98,39	0,124593	4,68	216142
	1	145,9	0,171	3,15	44557
450	1,2	120,2	0,146895	3,83	104725
	1,4	104,9	0,132965	4,39	167847
	1	155,0	0,1818	2,97	36914
480	1,2	127,6	0,156154	3,61	79155
	1,4	111,4	0,141338	4,13	134102
	1	163,9	0,1925	2,81	30980
510	1,2	135,1	0,165403	3,40	59836
	1,4	117,8	0,149709	3,90	108644
	1	172,9	0,2033	2,66	26216
540	1,2	142,5	0,174664	3,23	47380
	1,4	124,3	0,158082	3,70	85691
	1	181,9	0,2141	2,53	22373
570	1,2	149,9	0,183918	3,07	40476
	1,4	130,8	0,166454	3,52	66672
	1	-	-	-	-
600	1,2	157,4	0,193171	2,92	34777
	1,4	137,3	0,174825	3,35	52581
	1	-	-	-	-
630	1,2	164,8	0,202425	2,79	30098
	1,4	143,8	0,183199	3,20	44614
	1	-	-	-	-
660	1,2	172,2	0,211686	2,67	26250
	1,4	150,4	0,191571	3,06	38834
	1	-	-	-	-
690	1,2	179,6	0,220942	2,56	23033
	1,4	156,7	0,199941	2,94	34148
	1	-	-	-	-
720	1,2	-	-	-	-
	1,4	163,4	0,2083	2,82	29982
	1	-	-	-	-
750	1,2	-	-	-	-
	1,4	169,9	0,216688	2,71	26565
	1	-	-	-	-
780	1	-	-	-	-



	1,2	-	-	-	-
	1,4	176,2	0,225058	2,61	23691
810	1	-	-	-	-
	1,2	-	-	-	-
	1,4	182,6	0,23343	2,52	21185

Pada ketebalan 1,0 mm, rangka mampu menahan beban hingga 570 kgf dengan tegangan von Mises maksimum sebesar 181,9 MPa, deformasi 0,2141 mm, dan umur kelelahan 22.373 siklus. Tegangan ini masih di bawah tegangan luluh (460 MPa), namun melebihi batas aman menurut kriteria Soderberg (112 MPa). Umur kelelahan tidak memenuhi standar SNI 1049:2008 (≥ 70.000 siklus), maupun batas minimum ISO 4210-2:2014 (≥ 50.000 siklus). Rangka dinyatakan aman secara statik ($FoS = 2,52$), namun kurang andal untuk penggunaan jangka panjang pada beban berulang tinggi.

Pada ketebalan 1,2 mm, beban maksimum yang dapat ditahan adalah 690 kgf dengan tegangan maksimum 179,6 MPa, deformasi 0,2209 mm, dan umur kelelahan 23.033 siklus. Nilai tegangan juga melebihi batas Soderberg, namun lebih rendah dari tegangan luluh. Umur kelelahan sedikit lebih tinggi dibandingkan ketebalan 1 mm, tetapi tetap belum memenuhi standar. Dengan nilai FoS sebesar 2,56, ketebalan ini memberikan kompromi optimal antara kapasitas beban dan umur kelelahan.

Pada ketebalan 1,4 mm, rangka mampu menahan beban tertinggi yaitu 810 kgf, dengan tegangan maksimum 182,6 MPa, deformasi 0,2334 mm, dan umur kelelahan 21.185 siklus. Tegangan kembali melebihi batas Soderberg dan umur kelelahan justru sedikit lebih rendah. Walaupun memberikan daya dukung beban terbesar, hasil ini menunjukkan bahwa peningkatan ketebalan tidak selalu meningkatkan umur kelelahan. FoS sebesar 2,53 menunjukkan struktur tetap aman secara statik.

KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil menganalisis ketahanan rangka sepeda gunung (MTB) berbahan AISI 4130 terhadap variasi ketebalan (1 mm, 1,2 mm, dan 1,4 mm) dan beban statik bertahap menggunakan simulasi metode elemen hingga. Hasil menunjukkan bahwa seluruh model memiliki tegangan maksimum di sambungan *top tube* dan *down tube* serta deformasi terbesar di area *seat tube*. Umur kelelahan terendah juga muncul di sambungan tersebut.

Pada ketebalan 1 mm, beban maksimum 570 kgf menghasilkan tegangan 181,9 MPa, deformasi 0,2141 mm, dan umur kelelahan 22.373 siklus. Ketebalan 1,2 mm mampu menahan 690 kgf (179,6 MPa, 0,2209 mm, 23.033 siklus), dan 1,4 mm menahan hingga 810 kgf (182,6 MPa, 0,2334 mm, 21.185 siklus). Semua ketebalan memenuhi faktor keamanan minimum ($FoS \geq 2,5$) secara statik.

Namun, berdasarkan standar ISO 4210-2:2014 (≥ 50.000 siklus) beban maksimum yang masih aman adalah 420 kgf, 510 kgf, dan 600 kgf untuk ketebalan 1 mm, 1,2 mm, 1,4 mm, secara berturut-turut. Sedangkan berdasarkan SNI 1049:2008 (≥ 70.000 siklus), beban maksimum yang masih aman adalah 390 kgf, 480 kgf, dan 540 kgf untuk ketebalan 1 mm, 1,2 mm, 1,4 mm, secara berturut-turut. Berdasarkan kriteria Soderberg (tegangan tidak melebihi 112 MPa), batas beban aman tertinggi adalah 330 kgf, 390 kgf, dan 480 kgf untuk ketebalan 1 mm, 1,2 mm, 1,4 mm, secara berturut-turut.

DAFTAR PUSTAKA

[1] H. Saputra and M. Zulkarnain, "Simulasi Tegangan dan Perubahan Bentuk Pada Rangka Sepeda Air Hamors Menggunakan Software Solidwork 2013"

[2] T. Wu, *Static and dynamic analyses of mountain bikes and their riders*, M.S. thesis, Dept. of Mechanical Engineering, University of Pittsburgh, 2012.

[3] K. F. O'Connor and R. Seebruck, "Non-powered bicycle injuries and fatalities. U.S. Consumer Product Safety Commission, 2024," 2024. [Online]. Available: <https://www.cpsc.gov>

[4] C. Hölzel, F. Hoechtl, and V. Senner, "Operational loads on sport bicycles for possible misuse," *Procedia Engineering*, vol. 13, pp. 75-80, 2011. doi: 10.1016/j.proeng.2011.05.054



- [5] Y. Setyoadi, G. P. Annanto, "Optimasi desain rangka sepeda gunung menggunakan metode elemen hingga," *ROTASI*, vol. 20, no. 3, pp. 172-177, Jul. 2012.
- [6] International Organization for Standardization. *ISO 4210-6:2014 - Cycles – Safety requirements for bicycles – Part 6: Frame and fork test methods*. Geneva: ISO, 2014.
- [7] Badan Standardisasi Nasional. *SNI 1049:2008 - Sepeda: Syarat keselamatan*. Jakarta: BSN, 2008.
- [8] Dassault Systèmes. *Internal Materials Database in SolidWorks 2023*. Accessed through SolidWorks Simulation Module.
- [9] Budynas, R. G., & Nisbett, J. K., "*Shigley's Mechanical Engineering Design*"
- [10] I. Hedapratama, "*Simulasi Fatigue Frame Mountain Bike dengan Variasi Bahan dan Ketebalan Menggunakan Standar CEN 14766*", Tugas Akhir, Jurusan Teknik Mesin, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, 2016.