

Optimasi Desain Rangka Sepeda Gunung Menggunakan Metode Elemen Hingga

Yuris Setyoadi^{a*}, Gilar Pandu Annanto^b

^aProgram Studi S-1 Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas PGRI Semarang
Jl. Dr. Cipto No. 24 Sidodadi Timur Semarang

^bProgram Studi S-2 Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro
Jl. Prof Sudharto, SH., Tembalang-Semarang 50275, Telp +62247460059

*E-mail: yurissetyoadi@upgris.ac.id

Abstract

Increased of interest in bicycle, trigger the rate of technology development on bicycle itself. The strength of the frame became the main focus of the study, especially for the bicycle that will be used on a special occasion that intended to withstand an high load, mountain bike was the example. The design of mountain bike, need a frame which has an optimal stiffness and high maneuverability, but still less in weight. The main focus of this study was to test the present mountain bike frame and ran an optimization using finite element method. The stress which obtained from the analysis will be used as a parameter to calculate the safety factor of the frame. The safety factor value and the initial masses will be used as parameter to obtain optimal thickness of the frame.

Keyword : optimization, finitie element, mountain bike, frame

Abstrak

Meningkatnya ketertarikan pada dunia persepedaan memicu kemajuan teknologi pada sepeda itu sendiri. Kekuatan pada pada bagian *frame* banyak dijadikan sorotan, terutama untuk sepeda yang ditujukan untuk kegiatan – kegiatan yang berpotensi menimbulkan beban yang tinggi, salah satunya adalah sepeda gunung. Perencanaan sepeda gunung memerlukan rangka yang memiliki kekakuan optimal serta memiliki kemampuan manuver yang tinggi, namun tetap harus mempertimbangkan berat yang seringan mungkin. Penelitian yang dilakukan adalah menguji kekuatan serta melakukan optimasi dari rangka sepeda gunung dengan menggunakan metode elemen hingga. Tegangan yang didapatkan dari pengujian akan digunakan untuk menentukan nilai *safety factor* dari rangka sepeda. Nilai dari *safety factor* serta massa awal dari rangka sepeda akan digunakan sebagai parameter dalam proses optimasi untuk menentukan ketebalan optimal dari rangka sepeda gunung.

Kata kunci : optimization, finitie element, mountain bike, frame

1. Pendahuluan

Dewasa ini, terjadi peningkatan dalam ketertarikan pada dunia persepedaan [1]. Ada cukup banyak literatur mengenai kemajuan teknologi sepeda. Hampir sebagian besar mengacu pada pembahasan mengenai keamanan pada bagian *frame* atau rangka [1-7]. Dalam perencanaan rangka sepeda, terdapat beberapa prioritas yang harus dipenuhi, antara lain meminimalkan massa dari rangka, memaksimalkan kekakuan saat terjadi perpindahan beban dari tangan dan kaki untuk bergerak, mengatur ketinggian dari rangka untuk mendapatkan sensasi berkendara yang lembut, dan memaksimalkan kemampuan rangka dalam menahan beban yang tinggi [1].



Gambar 1. Jenis – jenis rangka sepeda (a) XTC , (b) Cannondale Super , (c) Specialized FSR [8].

Rangka sepeda memiliki beberapa jenis, yaitu *XTC*, *Cannondale Super V*, dan *Specialized FSR* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1. Pemilihan jenis rangka sepeda tergantung dengan kebutuhan serta tujuan utama dari sepeda itu sendiri. Jenis rangka *XTC* merupakan salah satu jenis rangka yang paling umum digunakan dalam merancang sebuah sepeda gunung ataupun untuk sepeda yang diperuntukkan dalam kondisi jalan yang ekstrim [8]. Pada umumnya, perencanaan rangka sepeda gunung cukup berbeda dibandingkan dengan perencanaan rangka sepeda biasa (*road bike*). Dalam perencanaan sepeda gunung, di perlukan desain rangka yang mampu memberikan kekakuan yang optimal serta memiliki kemampuan dalam bermanuver yang tinggi, tentunya hal ini akan berpengaruh pada massa dari rangka sepeda gunung yang akan menjadi sedikit lebih berat dibandingkan dengan rangka dari sepeda biasa [5]. Oleh sebab itu, tujuan dari penelitian ini adalah melakukan sebuah proses optimasi pada desain rangka sepeda gunung yang telah dirancang agar dapat meminimalisir massa dari rangka sepeda namun tetap tidak mengabaikan kekuatan dari rangka sepeda itu sendiri.

2. Permodelan

2.1 Material Model

Ada cukup banyak jenis material yang digunakan dalam pembuatan rangka sepeda. Pada awalnya rangka sepeda terbuat dari bahan kayu, namun dewasa ini pembuatan dari rangka sepeda sudah mulai beralih menggunakan bahan dasar dari logam [7]. Material yang akan digunakan dalam proses analisis ini adalah *Aluminum 6061-T6*. Material *aluminum 6061-T6* yang digunakan telah diatur dengan sifat elastis-plastis. Adapun sifat mekanik dari material dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Sifat mekanis dari *Aluminum 6061-T6* [7]

Sifat Mekanis	Nilai
<i>Density (g/cc)</i>	2,7
<i>Modulus of Elasticity (GPa)</i>	68,9
<i>Poisson's Ratio</i>	0,33
<i>Ultimate Tensile Strength (MPa)</i>	310
<i>Tensile Yield Strength (MPa)</i>	276

2.2 Geometri

Geometri yang akan digunakan dalam penelitian ini merupakan geometri dari rangka sepeda gunung berjenis *XTC* dengan ukuran *medium*. Detail dari dimensi pada setiap bagian – bagian yang akan digunakan (*top tube length*, *seat tube angle*, *head tube angle*, *wheelbase*, *chain stay length*, *seat tube length*, *head tube length*, dan massa) dalam proses perancangan sepeda dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Dimensi dari rangka sepeda gunung

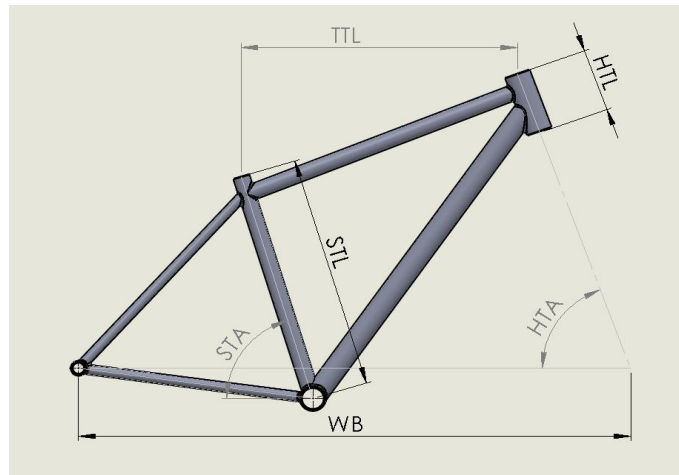
Bagian	Kode	Ukuran
<i>Top Tube Length</i>	TTL	609,6 mm
<i>Seat Tube Angle</i>	STA	73 ⁰
<i>Head Tube Angle</i>	HTA	70 ⁰
<i>Wheelbase</i>	WB	1088 mm
<i>Chain Stay Length</i>	CSL	466,26 mm
<i>Seat Tube Length</i>	STL	482,6 mm
<i>Head Tube Length</i>	HTL	127 mm
Massa		4,71 Kg

Untuk ukuran pipa *hollow* yang akan digunakan dalam proses perancangan dari rangka sepeda gunung dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Ukuran pipa *hollow* pada rangka sepeda

Bagian	Ukuran
<i>Top Tube</i>	31,75 mm x 2 mm
<i>Seat Tube</i>	31,75 mm x 2 mm
<i>Seat – Head Tube</i>	44,45 mm x 2 mm
<i>Head Tube</i>	50,80 mm x 2 mm
<i>Upper Chain Stay Tube</i>	19,05 mm x 2 mm
<i>Lower Chain Stay Tube</i>	19,05 mm x 2 mm

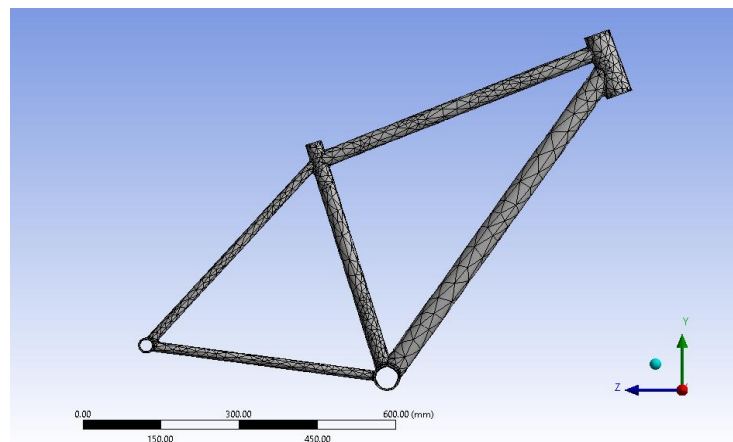
Model sepeda 3D dari rangka sepeda gunung yang telah dirancang dapat dilihat pada Gambar 2. Pembuatan model sepeda 3D ini menggunakan software *SolidWorks 2015*



Gambar 2. 3D Model dari rangka sepeda

2.3 Mesh

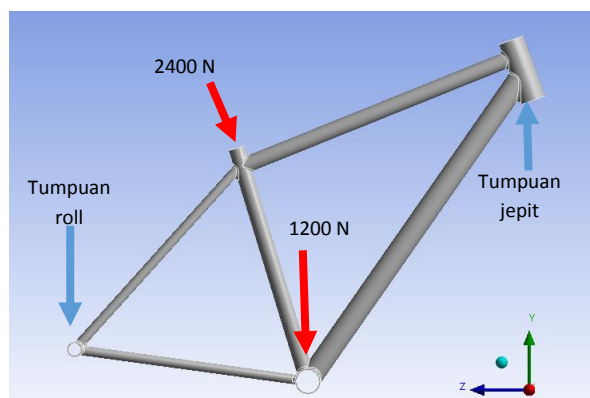
Mesh yang digunakan untuk analisis sepeda berjenis *tetrahedral*. Pemilihan jenis *mesh* ini karena *mesh* berjenis *tetrahedral* memiliki kemampuan yang bagus untuk diaplikasikan pada geometri yang cukup kompleks [9]. Dari proses *mesh* yang dilakukan, terdapat jumlah *nodal* sebanyak 25779 dan *element* sebanyak 13285. Hasil dari proses *meshing* dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Tetrahedral mesh pada rangka sepeda

2.4 Kondisi Batas

Nilai dari beban yang akan di aplikasikan pada model menggunakan nilai dari penelitian yang telah dilakukan oleh *Covill et al* [2]. Beban sebesar 2400 N di aplikasikan searah pada bagian *seat tube* dan beban sebesar 1200 N diaplikasikan pada bagian pedal dengan mengarah ke bawah dari sumbu *y*. Bagian permukaan bawah *head tube* diberikan tumpuan jepit, sedangkan untuk bagian ujung *chain stay* diberikan tumpuan *roll*. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 4 mengenai kondisi batas yang diberikan.

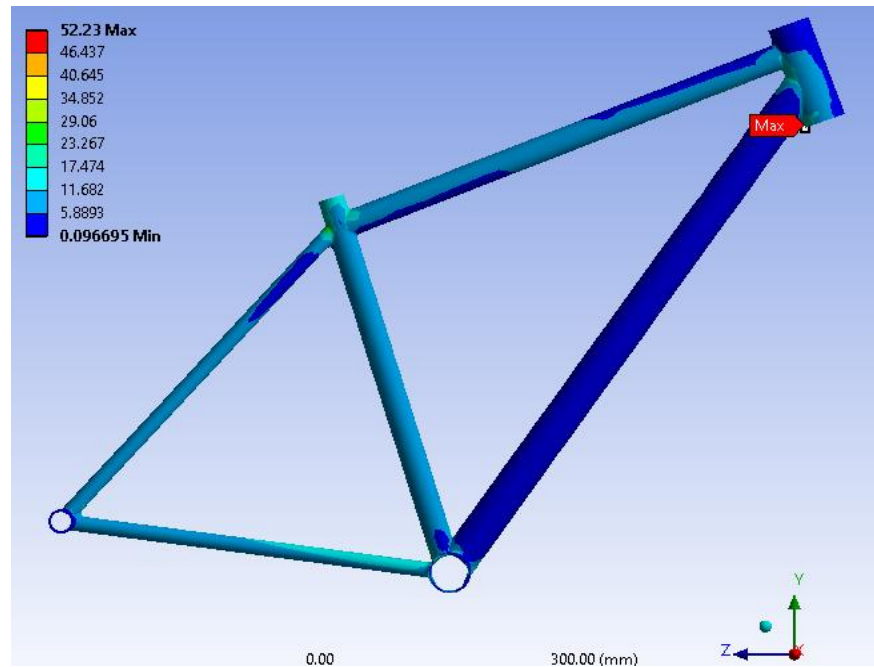


Gambar 4. Kondisi batas yang diberikan pada analisis rangka sepeda

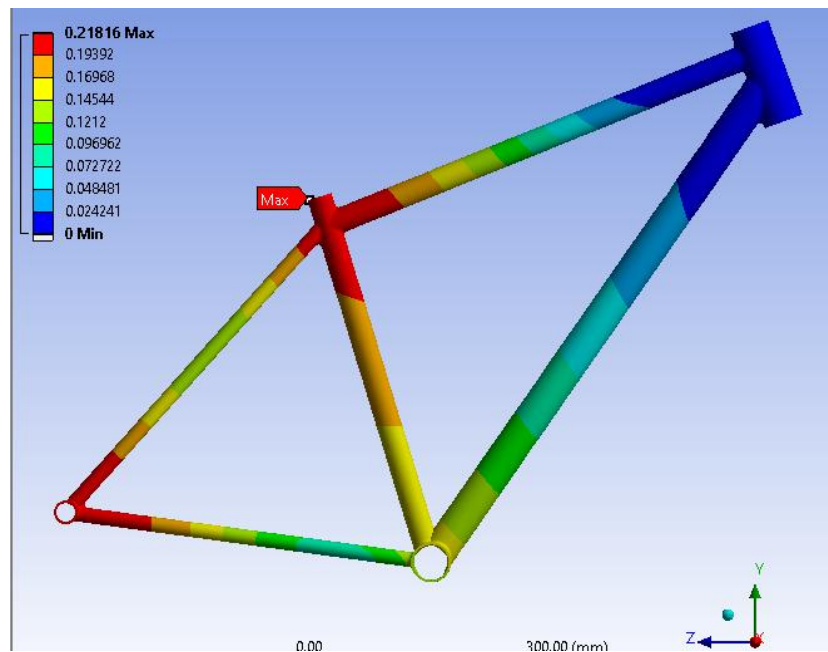
3. Hasil dan Pembahasan

Dari hasil analisis metode elemen hingga, Gambar 5 menunjukkan distribusi dari tegangan yang terjadi akibat pembebanan yang diberikan kepada rangka sepeda. Tegangan sebesar 52,23 MPa terjadi pada bagian *head tube*. Hal ini disebabkan karena terdapat jarak antara *head tube* menuju pusat beban. Sedangkan untuk tegangan yang terjadi pada bagian *seat tube* berkisar di range 23 – 40 MPa.

Gambar 6 menunjukkan deformasi total yang terjadi akibat pembebanan. Terlihat bahwa terjadi deformasi terbesar yaitu 0,21816 mm pada bagian *seat tube*. Berbeda dengan konsentrasi tegangan sebelumnya, bagian *head tube* tidak menunjukkan indikasi deformasi. Selain pada *head tube*, pada bagian *chain stay* juga menunjukkan deformasi yang berkisar pada angka 0,19 – 0,21 mm.

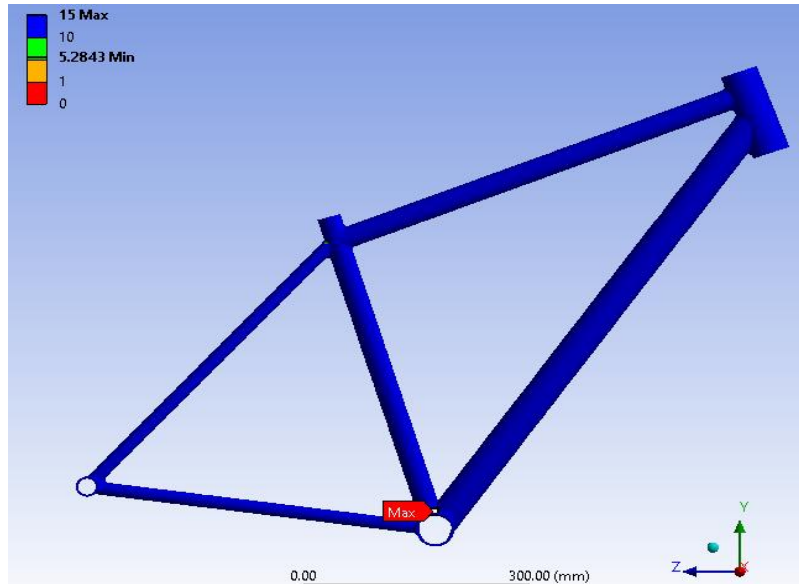


Gambar 5. Distribusi tegangan yang terjadi akibat pembebanan pada rangka sepeda.



Gambar 6. Deformasi yang terjadi akibat pembebanan pada rangka sepeda.

Gambar 7 menunjukkan distribusi dari *safety factor* yang terjadi pada rangka sepeda. Secara keseluruhan, terdapat nilai *safety factor* yaitu 5,2843. Nilai *safety factor* yang terjadi masih cukup besar, karena menurut *Holzel et al* [10], nilai *safety factor* untuk rangka sepeda minimal adalah 1,5. Karena nilai *safety factor* yang masih lebih tinggi, hal ini akan memberikan kesempatan untuk melakukan proses optimasi pada rangka sepeda.



Gambar 7. Nilai *safety factor* yang terjadi pada rangka sepeda.

4. Optimasi

Proses optimasi adalah sebuah proses yang dilakukan untuk dapat menghasilkan suatu hasil yang terbaik pada kondisi yang telah ditentukan. Dalam desain, konstruksi, dan *maintenance engineering*, proses optimasi sangat berperan penting. Tujuan utama dari proses ini adalah untuk meminimalkan usaha yang diperlukan ataupun memaksimalkan potensi dari sebuah sistem [11].

Rangka sepeda yang telah dilakukan analisis menggunakan metode elemen hingga masih menunjukkan kesempatan untuk dilakukan proses optimasi. Nilai *safety factor* yang terjadi masih dapat di kurangi dengan mengubah ketebalan dari material yang digunakan. Tentunya hal ini akan berimpak pada pengurangan massa total dari rangka sepeda itu sendiri. Tabel 4 merupakan *objective function* dari proses optimasi yang dilakukan.

Tabel 4. *Objective function*

Function		Status
<i>Objective function</i>	Massa	Minimal
<i>Boundary condition</i>	<i>Safety Factor</i>	$1,5 < x < 3$

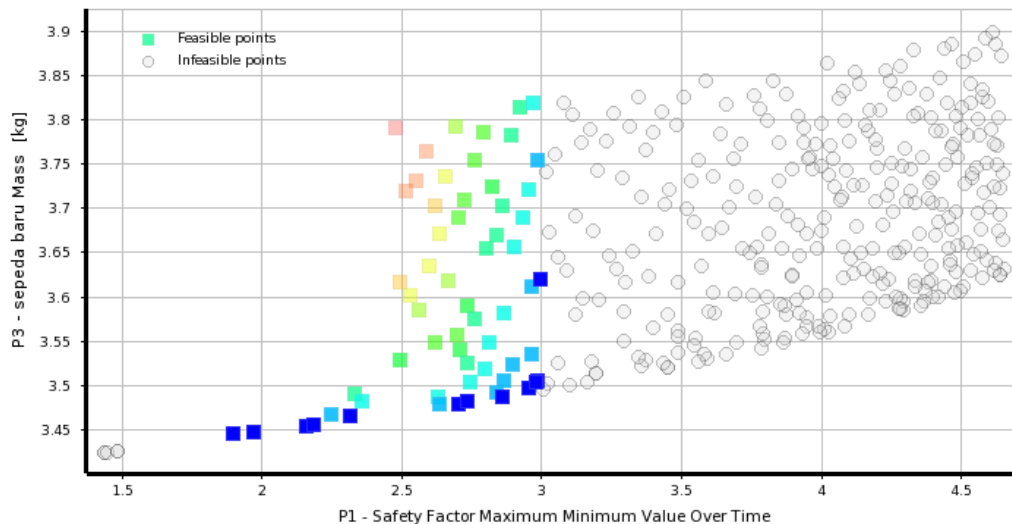
Untuk mencapai *objective function* yang telah ditentukan, maka diperlukan perubahan pada bagian desain. Tabel 5 menunjukkan desain variabel yang digunakan dalam proses optimasi.

Tabel 5. Desain Variabel

Bagian	Ketebalan	
	Batas bawah	Batas Atas
<i>Top Tube</i>	0,5 mm	2 mm
<i>Seat Tube</i>	0,5 mm	2 mm
<i>Seat – Head Tube</i>	0,5 mm	2 mm
<i>Head Tube</i>	0,5 mm	2 mm
<i>Upper Chain Stay Tube</i>	0,5 mm	2 mm
<i>Lower Chain Stay Tube</i>	0,5 mm	2 mm

Tabel 6. Hasil proses optimasi

Bagian	Opsi 1	Opsi 2	Opsi 3
<i>Top Tube</i>	0,60 mm	0,65 mm	0,63 mm
<i>Seat Tube</i>	0,60 mm	0,65 mm	0,63 mm
<i>Seat – Head Tube</i>	0,60 mm	0,82 mm	1,04 mm
<i>Upper Chain Stay Tube</i>	0,64 mm	0,55 mm	0,58 mm
<i>Lower Chain Stay Tube</i>	0,64 mm	0,55 mm	0,58 mm
Massa	3,49 kg	3,48 kg	3,48 kg
<i>Safety Factor</i>	2,83	2,70	2,73



Gambar 8. Persebaran *feasible* dan *infeasible points* selama proses iterasi dilakukan.

Dari proses optimasi yang dilakukan, terdapat 3 pilihan hasil yang di sarankan dalam perubahan desain yang akan dilakukan. Tabel 6 menunjukkan pilihan – pilihan terbaik yang didasarkan dari *objective function* serta desain variabel yang digunakan. Opsi pertama menunjukkan opsi terbaik dari beberapa opsi yang telah dilakukan.

Proses optimasi menunjukkan bahwa rangka sepeda yang telah di optimasi menunjukkan perubahan pada ketebalan rangka. Pada *top tube*, *seat tube* dan *seat – head tube* mendapat ketebalan hingga 0,6 mm dan untuk *upper chain stay tube* dan *lower chain stay tube* mendapat ketebalan hingga 0,64 mm untuk menghasilkan penurunan massa menjadi 3,49 kg dengan nilai *safety factor* sebesar 2,83.

5. Kesimpulan

Rangka sepeda yang di desain telah melalui proses analisis menggunakan metode elemen hingga, dimana dari pembebanan yang telah dilakukan menghasilkan tegangan maksimum sebesar 52,23 MPa dengan nilai *safety factor* 5,283. Proses optimasi yang dilakukan pada rangka sepeda mampu menekan massa dari rangka sepeda yang semula 4,71 kg menjadi 3,49 kg dengan nilai *safety factor* berada pada 2,83. Dengan proses optimasi yang dilakukan, rangka sepeda dapat dibuat dengan berat total yang semakin ringan namun tidak mempengaruhi pada kekuatan serta ketahanan rangka itu sendiri karena *safety factor* dari hasil optimasi masih berada diatas nilai dari *safety factor* yang direkomendasikan untuk pembuatan rangka sepeda.

Referensi

- [1] D. Covill, A. Blyden, D. Coren, S. Begg, "Parametric Finite Element Analysis Of Steel Bicycle Frames : The Influence Of Tube Selection On Frame Stiffness," *Procedia Eng.*, Vol. 112, Pp. 34–39, 2015.
- [2] D. Covill, S. Begg, E. Elton, M. Milne, R. Morris, T. Katz, "Parametric Finite Element Analysis Of Bicycle Frame Geometries," *Procedia Eng.*, Vol. 72, Pp. 441–446, 2014.
- [3] F. Dwyer, A. Shaw, R. Tombarelli "Material And Design Optimization For An Aluminum Bike Frame," Worcester Polytechnic Institute, 2012.
- [4] A. Yakup, W. Djoko, K. Karmiadjim A. I. Ramadhan, "Optimasi Desain Rangka Sepeda Berbahan Baku Komposit Berbasis Metode Anova," *Jurnal Teknologi*, 8.1, 17-22., 2016.
- [5] C. Ferrares., L. Garibaldi, D. Perocchio, B. A. D Piombo, "Dynamic behaviour and optimisation of frames for road and mountain bikes".Society for Experimental Mechanics, Inc, 16 th International Modal Analysis Conference. Vol. 1, pp. 387-393, 1998.
- [6] R. Davis, M. L. Hull, "Design Of Aluminum Bicycle Frames," *Journal of Mechanical Design* No. October 1981, 2014.
- [7] R. Gupta, G. V. R. S. Rao, "Analysis Of Mountain Bike Frame By FEM" *Journal of Mechanical Design* No. January, Pp. 0–12, 2017.
- [8] M. Hilbert, R. Bucinell, "Design Optimization Of A Dual Suspension Cross-Country Mountain Bike." Union College, 2004.
- [9] J. Y. Wu, R. Lee, "The Advantages Of Triangular And Tetrahedral Edge Elements For Electromagnetic Modeling With The Finite-Element Method," *Ieee Trans. Antennas Propag.*, Vol. 45, No. 9, Pp. 1431–1437, 1997.
- [10] C. Hölzel, F. Hoehchl, V. Senner, "Operational Loads On Sport Bicycles For Possible Misuse," *Procedia Eng.*, Vol. 13, Pp. 75–80, 2011.
- [11] S. S. Rao, "Engineering Optimization: Theory And Practice." John Wiley & Sons, 2009.