

## Analisa Kekuatan Rangka Sepeda Listrik Menggunakan *Software SolidWorks*

Muhammad Awwaluddin

*Program Studi Teknik Mesin, Universitas Pamulang, Jl. Surya Kencana No. 1, Tangerang Selatan, Indonesia*

E-mail: dosen00543@unpam.ac.id

*Masuk :18 Januari 2019*

*Direvisi : 7 Februari 2019*

*Disetujui : 20 Februari 2019*

**Abstrak:** Rangka sepeda listrik merupakan komponen yang sangat penting untuk menopang keseluruhan beban, sehingga perlu dilakukan analisa. Analisa rangka yang tepat dan akurat akan memberikan hasil yang maksimal, dalam kekuatan atau kenyamanan. Dalam analisa rangka sepeda listrik ini tidak menggunakan metode perhitungan, dikarenakan banyaknya kendala dan kurang akuratnya hasil. Maka dilakukan menggunakan bantuan *Software SolidWorks*. Dengan menggunakan fitur *SolidWorks Simulation* yang dilengkapi dengan metode *Finite Element Analysis (FEA)*, maka dapat diketahui fenomena yang terjadi pada rangka sepeda listrik, yaitu dengan hasil keluaran *Von Mises Stress, Displacement, Safety Factor*. Material rangka menggunakan Aluminium Alloy 6061 dengan dimensi panjang rangka = 1351 mm, lebar = 110 mm dan tinggi = 714 mm. Hasil analisa simulasi pada rangka sepeda, beban maksimal yang bisa terima rangka sebesar 200 kg. Batas konstruksi aman beban minimal = 2, dengan angka faktor keamanan sebesar 2,039 dan tegangan Von Mises = 134,868 N/mm<sup>2</sup> terletak pada bagian pertemuan *seat tube* dengan *seat stay tube*.

**Kata kunci:** rangka, sepeda listrik, *finite element analysis, software Solidworks*

**Abstract:** *Electric bike frames are a very important component to sustain the overall load, so it needs to be analyzed. Appropriate and accurate frame analysis will provide maximum results, in strength or comfort. In the analysis of electric bicycle framework is not using the method of calculation, due to the many constraints and less accurate results. It is done using the help of SolidWorks Software. By using SolidWorks Simulation feature which is equipped with Finite Element Analysis (FEA) method, it can be known that phenomenon happened on electric bicycle frame, that is with output of Von Mises Stress, Displacement, Safety Factor. The frame material utilizes Aluminum Alloy 6061 with dimensions of frame length = 1351 mm, width = 110 mm and height = 714 mm. Results of simulation analysis on the bike frame, the maximum load that can accept the order of 200 kg. The construction safe load limit of at least = 2, with a security factor number of 2.03903 and Von Mises = 134.868 N / mm<sup>2</sup> is located on the seat tube meeting section with seat stay tube.*

**Keywords:** *frame, electric bicycle, finite element analysis, software SolidWorks*

### PENDAHULUAN

Salah satu komponen utama sepeda listrik adalah rangka sepeda. Ada beberapa faktor yang harus diperhatikan dalam perancangan sepeda. Selain dari estetika dan ergonomi, faktor kekuatan komponen juga harus diperhatikan, terutama rangka sepeda. Untuk itulah analisa rangka sepeda listrik menggunakan *Software SolidWorks* yang dapat mengatasi berbagai kendala dalam menganalisa bila menggunakan perhitungan secara manual. Dalam mensimulasi rangka sepeda listrik ini berharap dapat mengetahui distribusi tegangan, *displacement*, dan angka keamanan dengan beban pengendara yang divariasikan dari 120 kg sampai dengan 220 kg.[1]

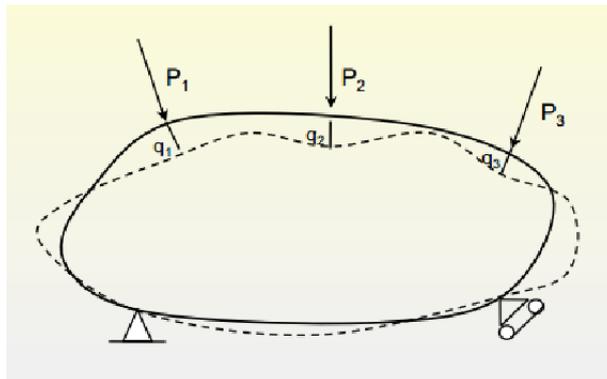
## DASAR TEORI

### Analisis Struktur pada Solidworks

#### a. Stress Analysis [2]

*Stress Analysis* merupakan salah satu alat pengujian struktur pada *Solidworks* yang dilakukan dengan menerapkan konsep *Finite Element Analysis* (FEA). Cara kerjanya adalah dengan memecah suatu objek struktur yang akan diuji menjadi elemen – elemen berhingga yang saling terhubung satu sama lain yang akan dikelola dengan perhitungan khusus oleh *software*, sehingga menghasilkan hasil yang lebih akurat.

#### b. Prinsip Superposisi



**Gambar 1.** Displacement pada prinsip superposisi

Sebuah obyek / struktur dikenai, katakanlah, tiga buah gaya  $P_1$ ,  $P_2$ , dan  $P_3$ . Pada lokasi dan arah yang sama dengan tiga gaya tsb, terjadilah *displacement* pada komponen sebesar  $q_1$ ,  $q_2$ , dan  $q_3$ .

Menurut prinsip superposisi, *displacement* yang terjadi bisa ditulis sebagai :

$$q_1 = f_{11} P_1 + f_{12} P_2 + f_{13} P_3 \quad (1)$$

$$q_2 = f_{21} P_1 + f_{22} P_2 + f_{23} P_3 \quad (2)$$

$$q_3 = f_{31} P_1 + f_{32} P_2 + f_{33} P_3 \quad (3)$$

yang secara ringkas dapat ditulis sebagai :  $\{ q \} = [ f ] \cdot \{ P \}$  dimana :

$$\{ q \} = \begin{pmatrix} q_1 \\ q_2 \\ q_3 \end{pmatrix} \quad [ f ] = \begin{bmatrix} f_{11} & f_{12} & f_{13} \\ f_{21} & f_{22} & f_{23} \\ f_{31} & f_{32} & f_{33} \end{bmatrix} \quad \{ P \} = \begin{pmatrix} P_1 \\ P_2 \\ P_3 \end{pmatrix}$$

Dengan  $f_{ij}$  adalah koefisien fleksibilitas yang mendefinisikan displacement di  $i$  karena satu unit beban yang bekerja di  $j$ , dan matrik  $[f]$  disebut sebagai matrik fleksibilitas. Persamaan diatas dapat pula ditulis sebagai :

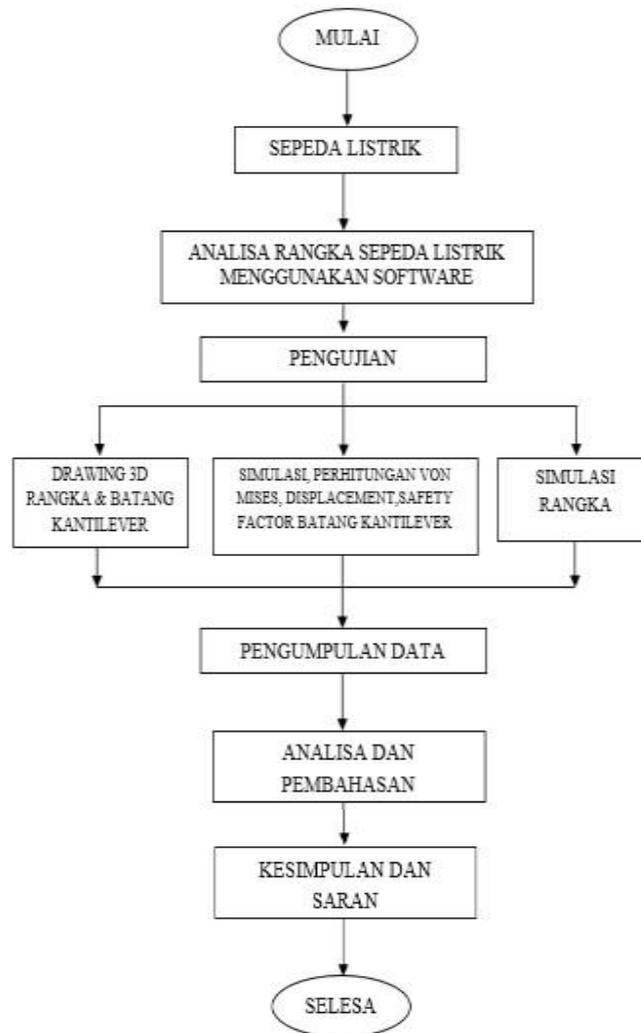
$$\{ P \} = [ k ] \cdot \{ q \} \quad (5)$$

dimana :

$$[ k ] = [ f ]^{-1} \quad (6)$$

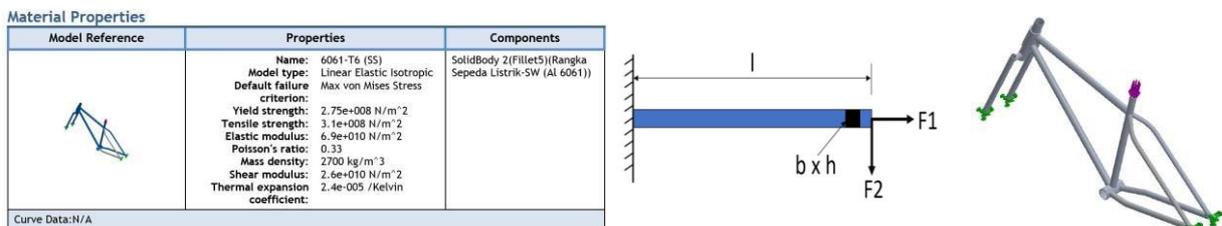
## METODOLOGI

Proses analisa rangka sepeda listrik mengikuti alur diagram seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.



**Gambar 2.** Alur diagram

Diagram proses pengujian menggunakan material properties yang sudah ada pada software solidworks yaitu Al 6061 dan di komparasi dengan Properties of Wrought Aluminum handbook [3]. Penelitian pertama mencari nilai error antara software dan perhitungan dengan mensimulasikan batang kantilever. Penelitian kedua, fokus pada simulasi rangka yang sudah dibuat gambar 3D dengan software tanpa perhitungan dan data simulasi kemudian di analisa. Titik tumpu pada dudukan poros roda depan dan belakang. Untuk beban dibuat bervariasi mulai dari 120 kg – 220 kg di letakan pada bagian batang sadel penumpang.



**Gambar 3.** Propertis material, sistem kantilever, fixed rangka

Proses *meshing* dengan jumlah elemen 66565 dan 127144 node, dimana benda yang akan dianalisis didiskritisasi sehingga struktur utama menjadi elemen-elemen yang memiliki ukuran lebih kecil dan berjumlah tertentu dan berhingga, proses *running Simulation* dilakukan setelah seluruh proses pra-analisa dan *meshing* dilakukan, proses *Running* tersebut berjalan dengan pembacaan proses perhitungan dengan metode *Finite Element Analysis (FEM)*, proses *meshing* adalah proses penghalusan jumlah element dan nodes pada bagian yang mengalami tegangan yang kritis. Pada bagian yang mengalami tegangan maksimum tersebut. Proses ini dilakukan setelah proses *Running* pertama selesai sehingga bisa didapat hasil yang akan lebih mendekati akurat dan yang terakhir adalah *End simulation*, memuat hasil simulasi berupa distribusi tegangan, *displacement*, dan angka keamanan diseluruh elemen *frame*. [4]

Mesh Information - Details	
Total Nodes	127144
Total Elements	66565
Maximum Aspect Ratio	156.88
% of elements with Aspect Ratio < 3	32.2
% of elements with Aspect Ratio > 10	0.772
% of distorted elements(Jacobian)	0
Time to complete mesh(hh:mm:ss)	00:01:56
Computer name:	ARIEF-ENG07



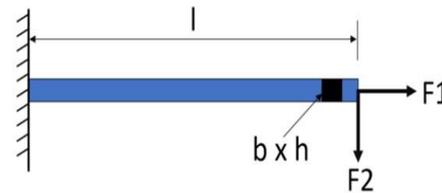
Gambar 4. Mesh information detail, meshing pada rangka

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Batang kantilever

Batang kantilever disimulasi dan dihitung dengan parameter parameter yang sudah ditentukan sebagai berikut.

PARAMETER		NILAI	SATUAN
NAMA	SIMBOL		
Panjang batang	l	200	mm
Panjang penampang batang	b	10	mm
Lebar penampangbatang	h	10	mm
F1	F1	30	N
F2	F2	9,81	N
Tegangan luluh material	$S_f$	275	N/mm <sup>2</sup>
Modulus elastis (Al 6061)	E	68900	N/mm <sup>2</sup>



Gambar 5. Parameter pada sistem kantilever

Contoh perhitungan [5] :

□ Defleksi maksimum yang terjadi pada batang kantilever yaitu :

Diketahui : Gaya yang bekerja di arah y (F2)/W : 9,81 N

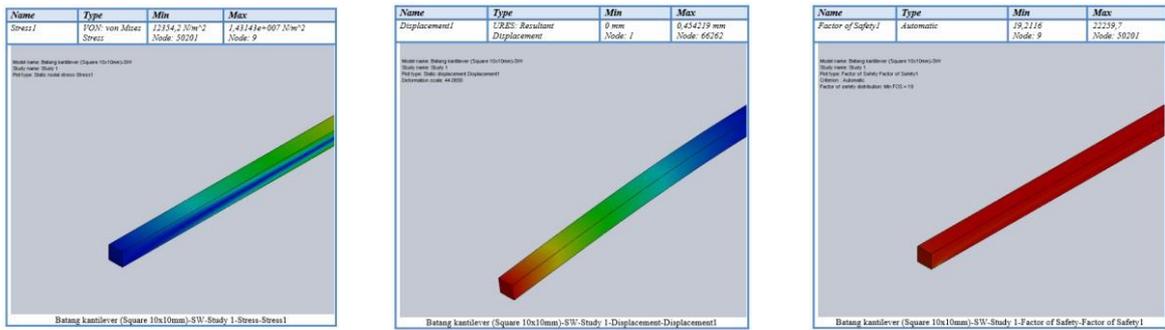
Panjang batang kantilever (l) : 200 mm

Modulus elastisitas (E) : 68900 N/mm<sup>2</sup>

Momen inersia (I) : 833,33 mm<sup>4</sup>

Maka :

$$\begin{aligned}
 y &= \frac{Wxl^3}{3xEI} \\
 &= \frac{9,81 \text{ N} \times (200 \text{ mm})^2}{3 \times 68900 \text{ N/mm}^2 \times 833,33 \text{ mm}^4} \\
 &= 0,455 \text{ mm}
 \end{aligned}$$



Gambar 6. Hasil simulasi Kantilever

Hasil simulasi dan perhitungan kemudian dilakukan perbandingan nilai selisih/error :

Tabel 1. nilai selisih/error perhitungan

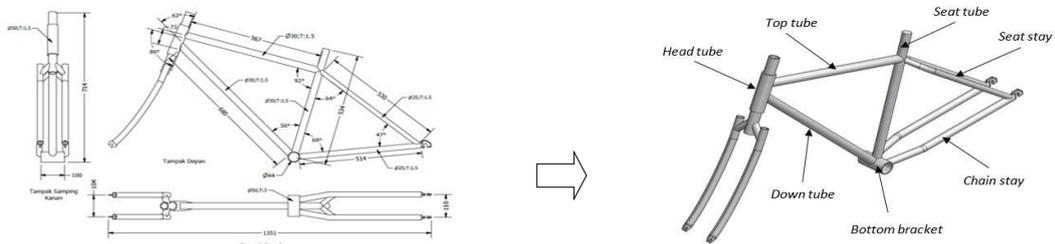
PARAMETER		TEORI	SIMULASI	$\eta$ (%)	SATUAN
NAMA	SIMBOL				
Displacement	y	0,4550	0,454219	0,16	mm
Von Mises Stress	$\sigma_1$	12,07279713	14,314271	15,66	N/mm <sup>2</sup>
Faktor keamanan	$\eta$	22,77848265	19,2116	18,57	-

Dari tabel diatas bisa disimpulkan bahwa perhitungan dan simulasi menggunakan *Software*, prosentase perbedaan terbesar sebesar **18,6 %**.

### Rangka sepeda listrik Pra-proses analisa

Sebelum melakukan proses analisa rangka sepeda listrik. Ada beberapa prosedur yang harus dilakukan untuk proses analisa, yaitu :

1. Meninjau ulang hasil gambar tiga dimensi (3D) yang telah dibuat sebelumnya dengan mengecek apakah dimensi, nama komponen/part dan karakteristik benda solid memenuhi.



Gambar 7. Drawing 2D dan 3D rangka

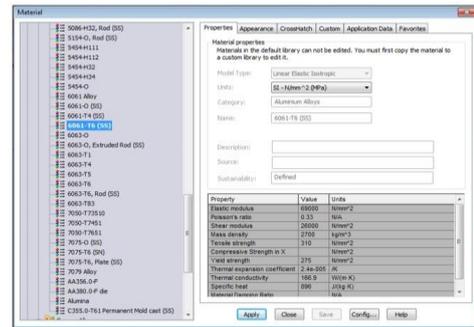
2. Melakukan verifikasi material yang digunakan. Yaitu dengan membandingkan data material Propertis yang ada pada *Software* dengan material properstis yang ada pada standar material *handbook*. Material yaitu Aluminium 6061.

**Table 83 Typical mechanical properties of alloy 6061**

Temper	Tensile strength		Yield strength		Elongation, %			Shear strength	
	MPa	ksi	MPa	ksi	1.6 mm (1/16 in.) mach. specimen	13 mm (1/2 in.) diam. specimen	MPa	ksi	
<b>Base 6061</b>									
O	124	18	55	8	25	30	83	12	
T4, T451	241	35	145	21	22	25	165	24	
T6, T651	310	45	276	40	12	17	207	30	
<b>Alkalid 6061</b>									
O	117	17	48	7	25	...	76	11	
T4, T451	228	33	131	19	22	...	152	22	
T6, T651	290	42	255	37	12	...	186	27	

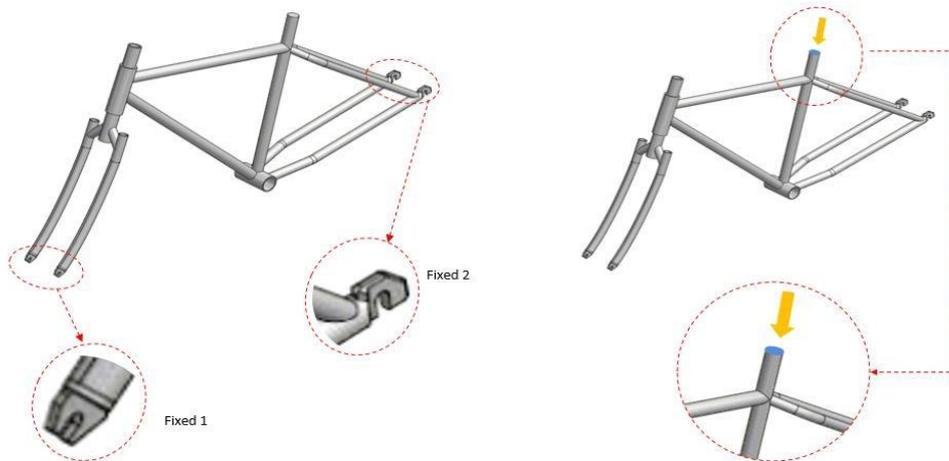
175 °C (350 °F). T4 temper: no stretch, 255 MPa (37 ksi); 5% stretch, 295 MPa (43 ksi); 10% stretch, 324 MPa (47 ksi)  
**Hardness.** T4 temper: 76 HR15T  
**Poisson's ratio.** 0.33  
**Elastic modulus.** Tension, 69 GPa ( $10 \times 10^6$  psi); shear, 25.4 GPa ( $3.75 \times 10^6$  psi)  
**Fatigue strength.** T4 temper: 117 MPa (17 ksi) at  $10 \times 10^6$  cycles; sheet flexural specimens

**Mass Characteristics**  
**Density.** 2.70 g/cm<sup>3</sup> (0.098 lb/in.<sup>3</sup>) at 20 °C (68 °F)  
**Thermal Properties**  
**Liquidus temperature.** 650 °C (1200 °F)  
**Solidus temperature.** 585 °C (1085 °F)  
**Incipient melting temperature.** 577 °C (1070 °F)  
**Coefficient of thermal expansion.**



Gambar 8. Material Handbook, material software properties

- Langkah selanjutnya yaitu menentukan *fixtures* atau titik tumpu. Jenis constrain pada simulasi ini menggunakan *Fixed Geometry*. Titik tumpu diletakan di 2 (dua) titik pada rangka sepeda yang sudah dimodelkan. Dan menentukan beban atau load yang akan di topang rangka. Beban yang akan digunakan 120 kg – 220 kg. Beban yang akan dimasukkan dalam simulasi adalah beban yang berbentuk *Force* (N). Gaya ditempatkan pada titik *Seat tube* bagian atas. Beban yang bervariasi akan dilakukan simulasi secara bertahap. Berikut titik yang akan diberi gaya luar, gaya pengendara.



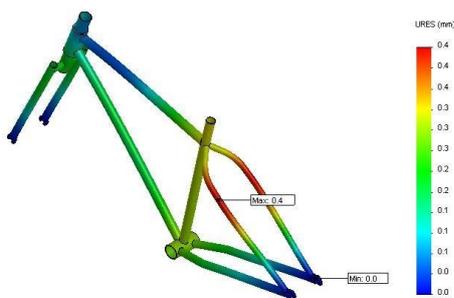
Gambar 9. Posisi fixed dan Force

**Proses dan hasil simulasi**

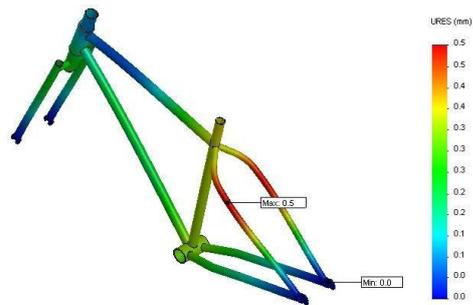
**1. Displacement**

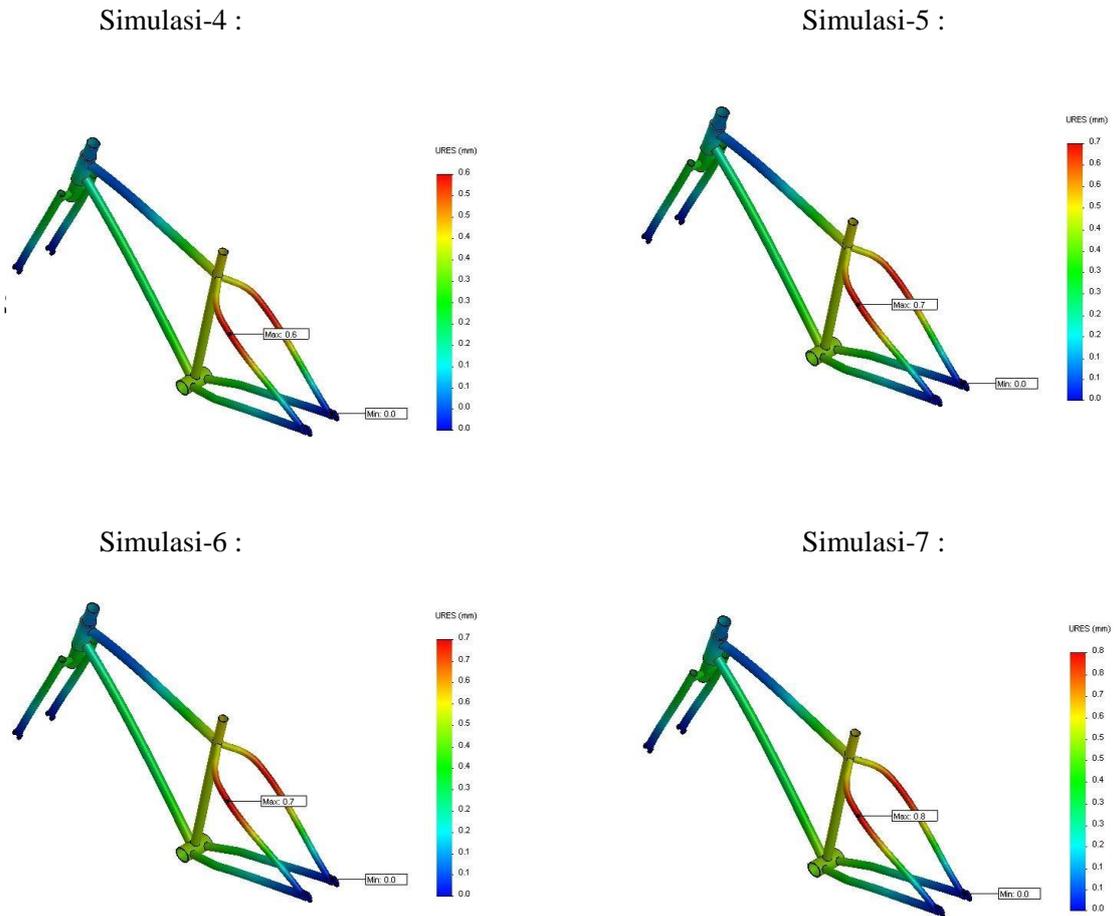
Hasil *displacemen* pada simulasi :

Simulasi-1 :



Simulasi-2 :





Gambar 10. Displacement hasil simulasi rangka

Hasil simulasi defleksi

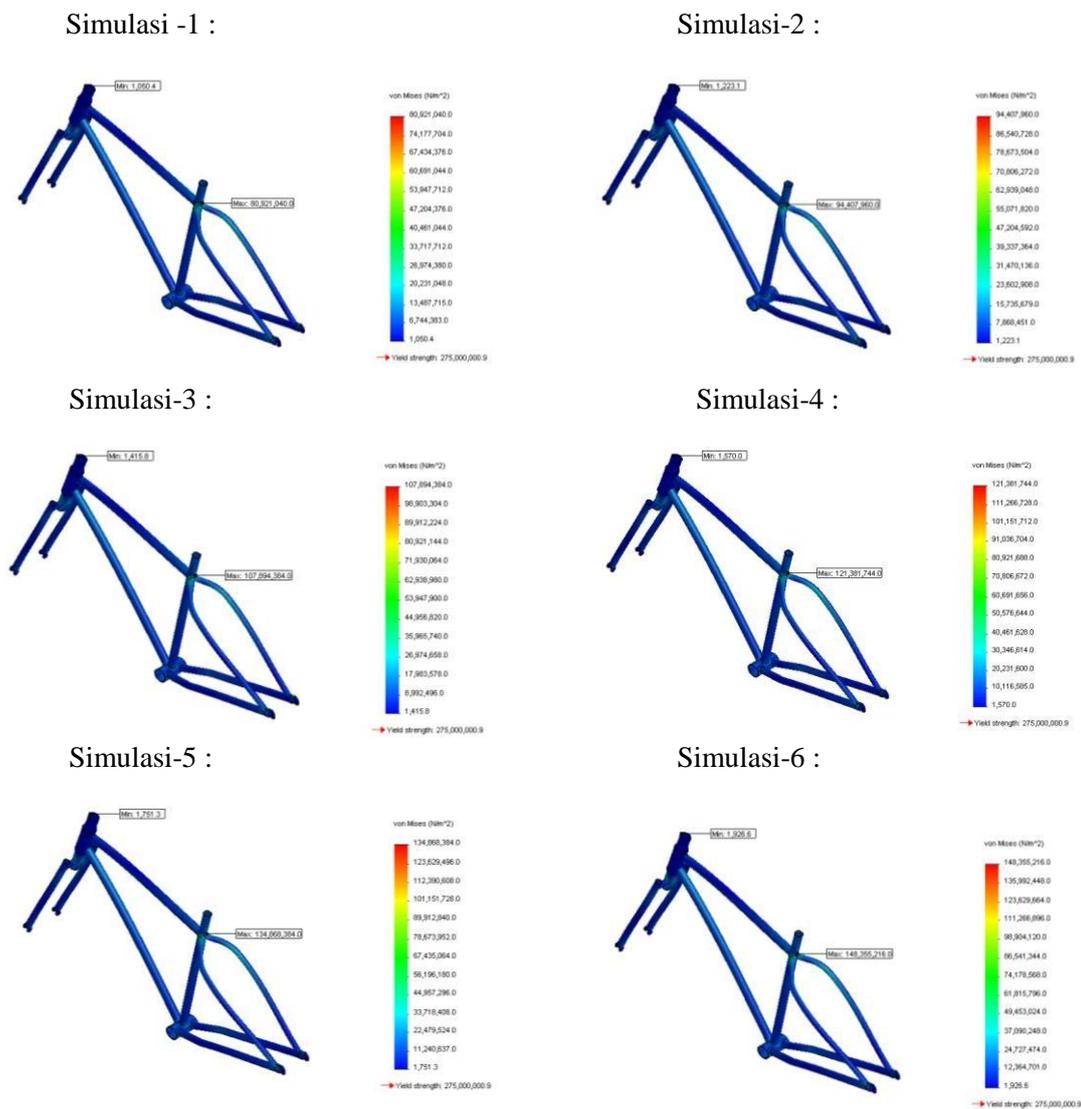
Tabel 2. Hasil simulasi Displacement

Simulasi	Gaya (N)	Defleksi (mm)	Posisi
1	1177,2	0,4	Seat stay tube
2	1373,4	0,5	
3	1569,6	0,5	
4	1765,8	0,7	
5	1962,0	0,7	
6	2158,2	0,8	

Dari hasil tabel simulasi untuk poin defleksi diatas dapat disimpulkan bahwa defleksi terbesar terjadi di bagian *Seat Stay Tube*.

2. Von Mises

Hasil tegangan *Von Mises* pada rangka sepeda listrik sebagai berikut :



Gambar 11. Von Mises hasil simulasi rangka

Hasil simulasi Tegangan *Von Mises*:

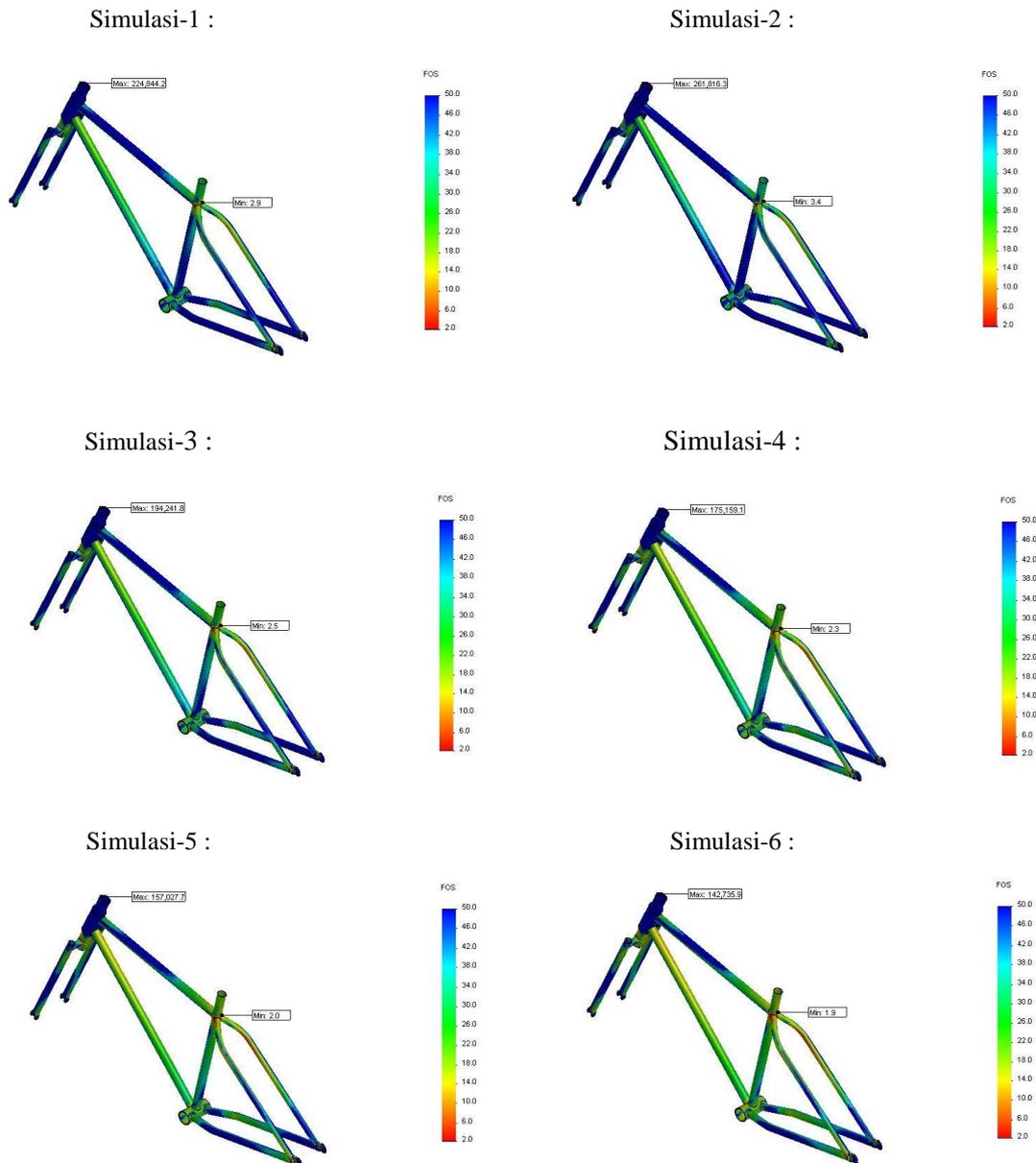
Tabel 3. Hasil simulasi Tegangan Von Mises

No. Simulasi	Gaya (N)	<i>Von Mises</i> (N/mm <sup>2</sup> )	Posisi
1	1177,2	80,9	Pertemuan seat tube dengan seat stay tube
2	1373,4	94,4	
3	1569,6	107,9	
4	1765,8	121,4	
5	1962,0	134,9	
6	2158,2	148,4	

Dari hasil tabel simulasi untuk poin tegangan *Von Mises* diatas dapat disimpulkan bahwa tegangan terbesar terjadi di bagian pertemuan *Seat Tube* dengan *Seat Stay Tube*.

3. **Faktor Keamanan (Safety Factor)**

Hasil *Safety Factor* pada rangka sepeda listrik sebagai berikut :



Gambar 12. Safety Factor hasil simulasi rangka

Hasil simulasi *Safety Factor*:

Tabel 4. Hasil simulasi Safety Factor

No. Simulasi	Gaya (N)	Safety Factor		Posisi
		Teori	Simulasi	
1	1177,2	3,39838	3,4	Pertemuan seat tube dengan seat stay tube
2	1373,4	2,91289	2,9	
3	1569,6	2,54880	2,5	
4	1765,8	2,26557	2,3	
5	1962,0	2,03903	2,0	
6	2158,2	1,85366	1,9	

Dari hasil tabel simulasi untuk poin *Safety Factor* diatas dapat disimpulkan bahwa *safety factor* terjadi di bagian **pertemuan *Seat Tube* dengan *Seat Stay Tube***.

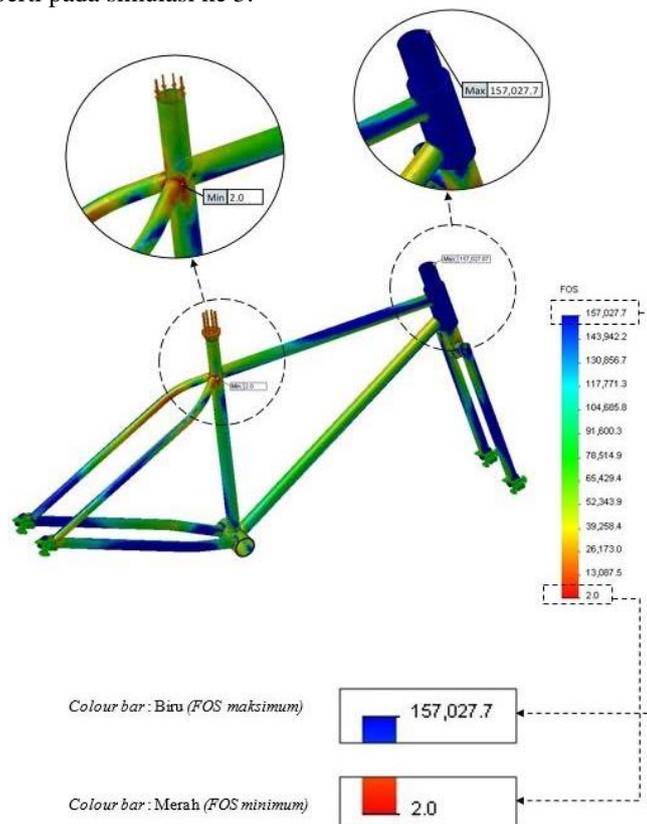
### Hasil rekap simulasi dan perhitungan

Dari hasil perhitungan dan simulasi yang sudah dijalankan, dapat di simpulkan sebagai berikut :

**Tabel 5.** Hasil simulasi *Software SolidWorks*

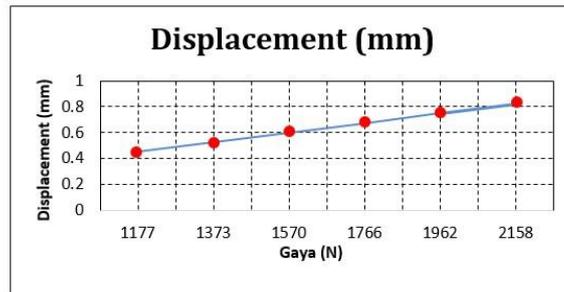
Simulasi ke	Massa (kg)	Gaya (N)	<i>Safety Factor</i> ( $\eta$ )	<i>Displacement</i> (mm)	<i>Von Mises</i> (N/mm <sup>2</sup> )	Tegangan Luluh Material (N/mm <sup>2</sup> )
1	120	1177,2	3,4	0,4	80,9	275
2	140	1373,4	2,9	0,5	94,4	275
3	160	1569,6	2,5	0,6	107,9	275
4	180	1765,8	2,3	0,7	121,4	275
<b>5</b>	<b>200</b>	<b>1962,0</b>	<b>2,0</b>	<b>0,7</b>	<b>134,9</b>	<b>275</b>
6	220	2158,2	1,9	0,8	148,4	275

Berdasarkan tabel diatas bahwa pembebanan massa maksimal sebesar 220 kg dengan angka faktor keamanan terkecil sebesar 1,85366 dan terjadi pada bagian pertemuan *seat tube* dengan *seat stay tube*. Untuk angka faktor keamanan adalah : 2 –3 [6]. Rangka sepeda listrik sepeda listrik ini termasuk kontruksi dengan faktor keamanan minimal 2. Jadi untuk pengendara dengan massa 220 kg tidak aman, sedangkan massa maksimal 200 kg aman seperti pada simulasi ke 5.



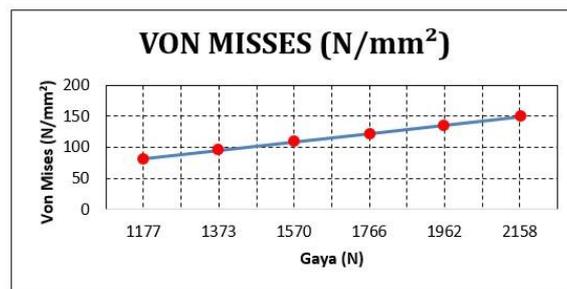
**Gambar 13.** Safety Factor simulasi ke 5

1. Grafik hubungan antara Gaya (F) dengan *Displacement* (Y)



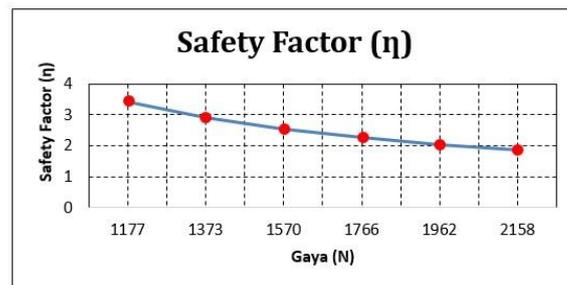
**Gambar 14.** Grafik gaya dengan displacement

2. Grafik hubungan antara Gaya (F) dengan tegangan *Von Mises* ( $\sigma_e$ )



**Gambar 15.** Grafik gaya dengan tegangan Von Mises

3. Grafik hubungan antara Gaya (F) dengan tegangan *Safety Factor* ( $\eta$ )



**Gambar 16.** Grafik gaya dengan tegangan Safety Factor

## KESIMPULAN

Berdasarkan simulasi analisa kekuatan rangka sepeda listrik menggunakan *Software SolidWorks* beban maksimal yang bisa ditopang adalah 200 kg. Tegangan maksimum Von Mises yang terjadi pada rangka sepeda listrik terletak pada bagian pertemuan *seat tube* dengan *seat stay tube* sebesar 134,868 N/mm<sup>2</sup> dengan tegangan luluh material 275 N/mm<sup>2</sup> dan *safety factor* 2,03903. Defleksi maksium yang terjadi pada rangka sepeda listrik terletak pada bagian *seat stay tube* sebesar 0,747001 mm, dengan defleksi ijin sebesar 5,625 mm.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ricky. 2009. “ Perancangan dan Pembuatan Alat Pengukuran Kestabilan Putaran Roda
- [2] Kekuatan Frame Sepeda Hibrid “Trisona” Menggunakan Software Autodesk Inventor, *Jurnal Iptek* vol 20 No. 2, Desember 2016. \
- [3] Bambang Daryanto W dan Andra Berlianto Tedjo. 2012. “Analisis Tegangan dan Deformed Shape pada Rangka Sepeda Fixie”, *Jurnal POMITS* Vol. 1, No. 1, (2012) 1-5.
- [4] Abdul Hamid, Mrihrenaringtyas dan Bambang Setyono. 2016. “Perancangan dan Analisis
- [5] Bambang Setyono, Setyo Gunawan (2015). Perancangan dan Analisis Chassis Mobil Listrik “Semut Abang ” Menggunakan *Software Autodesk Inventor Pro 2013*, Seminar Nasional Sains dan Teknologi Terapan III 2015 ISBN 978-602-98569-1-0.
- [6] *Properties of Wrought Aluminum . ASM Handbook, Volume 2: Properties and Selection: Nonferrous Alloys and Special-Purpose Materials, ASM Handbook Committee, p 62-122, DOI: 10.1361/asmhba0001060.*