

Analisa Pengaruh Kekuatan Material pada Rangka Sepeda Listrik dengan Profil Rectangular Tube terhadap Material Aluminium 6061 dan Baja Aisi 1020 menggunakan Software Ansys Workbench

A. B. Mardika¹, R. Febritasari², I. K. A. Widi³

Program Studi Teknik Mesin S-1, Institut Teknologi Nasional Malang, Kota Malang, Indonesia

Email: adjimahardika39@gmail.com

ABSTRAK

Rangka adalah komponen utama dan penting pada sepeda. Rangka sepeda harus memiliki ketahanan distorsi yang tinggi agar tidak mencelakai pengendara. Melalui penelitian kali ini dilakukan perancangan desain rangka sepeda menggunakan software SolidWorks 2020 yang kemudian dilakukan simulasi dan analisis kekuatan strukturnya untuk mendapatkan parameter distribusi tegangan, displacement, dan nilai faktor keamanan dengan variasi material aluminium 6061 dan baja AISI 1020 dengan bentuk profil rectangular tube menggunakan software Ansys Workbench. Dari hasil penelitian yang telah dilakukan diketahui nilai equivalen stress maksimal pada rancangan rangka dengan material baja AISI 1020 sebesar 84,852 MPa dan pada rancangan rangka dengan material aluminium paduan 6061 sebesar 84,066 MPa. Nilai total deformasi maksimal pada rancangan rangka dengan material aluminium 6061 sebesar 0,30591 mm, nilai total deformasi maksimal ini lebih besar dari rancangan rangka dengan material baja AISI 1020 dengan nilai total deformasi sebesar 0,1082 mm. Nilai angka keamanan minimal pada rancangan rangka dengan material baja AISI 1020 sebesar 2,3813, nilai ini lebih besar dari pada rancangan rangka dengan material aluminium paduan 6061 yang sebesar 1,5518. Hal ini menunjukkan pengaruh sifat mekanik pada material baja yang lebih baik dari pada aluminium seperti nilai tegangan tarik yang dimiliki oleh baja lebih tinggi dari pada aluminium 6061.

Kata Kunci: ANSYS, aluminium 6061, baja AISI 1020, FEM, rangka

PENDAHULUAN

Sepeda merupakan salah satu alat transportasi praktis dan ramah lingkungan, akan tetapi daya jelajah dan kecepatan pada sepeda ini sangat terbatas. Seiring dengan perkembangan teknologi, mulailah dipasangkan sepeda dengan mesin yang berpenggerak motor listrik. Maka dari itu perkembangan pada sepeda listrik terus dilakukan untuk mendapatkan kendaraan yang praktis, cepat, tangguh dan efisien[1]. Sepeda listrik terdiri dari rangka, roda dan rem serta suspensi. Seluruh gaya atau beban pada sepeda ditopang oleh rangka. Rangka sepeda adalah komponen penting dari semua jenis sepeda, di mana sadel, stang, dan roda dipasang bersama-sama [2]. Bahan rangka dapat berupa aluminium atau baja atau paduan sedemikian rupa sehingga tidak boleh melengkung akibat jalan bergelombang. Selain itu, apabila terjadi distorsi pada rangka maka tidak boleh ditransmisikan ke tubuh manusia, oleh karena itu rangka atau frame harus memiliki ketahanan distorsi yang tinggi[3].

Untuk itulah perancangan desain rangka merupakan tahap yang sangat penting untuk menentukan kekuatan dan nilai keamanan pada sepeda tersebut. Analisa desain konstruksi rangka sepeda pada umumnya dapat dilakukan secara manual ataupun melalui simulasi program. Melakukan Analisis Elemen Hingga (FEA) pada rangka sepeda telah menjadi kegiatan umum bagi perancang dan insinyur sepeda dengan harapan dapat meningkatkan kinerja rangka[4]. Maka dari itu untuk meningkatkan akurasi dalam menganalisis struktur rangka sepeda kali ini akan dilakukan secara simulasi dengan software Ansys yang dilengkapi dengan banyak fitur-fitur yang mendukung untuk menganalisa distribusi tegangan, displacement, dan safety factor dengan mudah dan cepat[5]. Ada berbagai macam bahan yang digunakan dalam rangka sepeda. Rangka sepeda pada awalnya terbuat dari kayu, tetapi dengan perkembangan zaman yang modern maka digunakanlah bahan material terbaru dari aluminium, baja, titanium dan serat karbon[6].

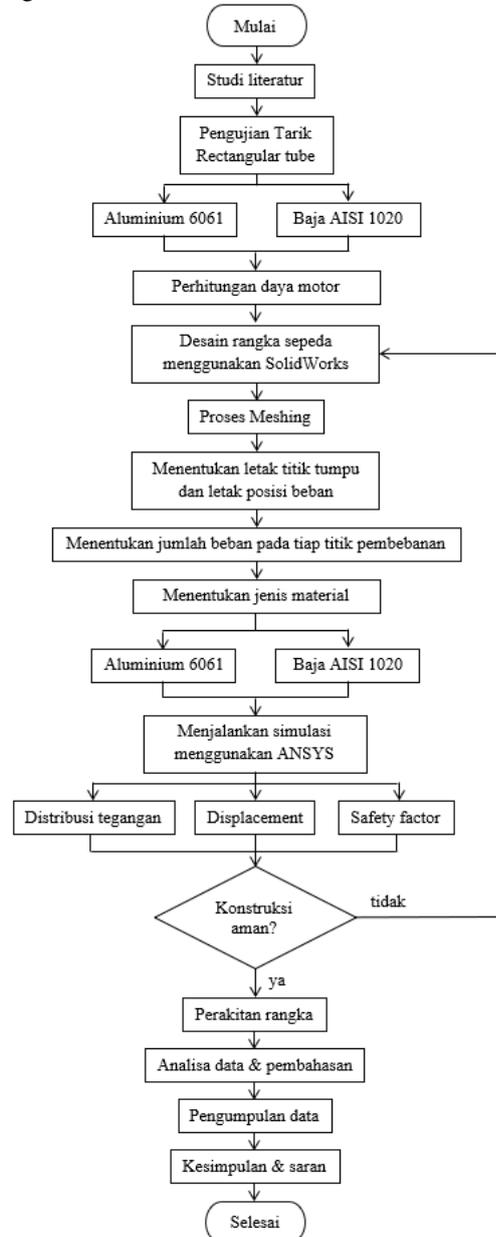
Pada penelitian kali ini dilakukan dengan membuat desain rancangan rangka sepeda pada software SolidWorks 2020 yang kemudian dilakukan simulasi dan analisis kekuatan strukturnya untuk mendapatkan parameter distribusi tegangan, displacement, dan nilai faktor keamanan dengan variasi material aluminium 6061 dan baja AISI 1020 dengan bentuk profil rectangular tube menggunakan software Ansys Workbench.

METODE PENELITIAN

Penelitian kali ini dilakukan dengan proses pembuatan rancangan desain model rangka dengan software SolidWorks dan kemudian melakukan analisa kekuatan struktur rangka terhadap pembebanan dengan variasi material yang berbeda melalui pemrograman simulasi menggunakan software ANSYS. Variabel pada penelitian kali ini sebagai berikut:

- Variabel bebas : Material Aluminium 6061 dan Baja AISI 1020

- Variabel terikat : Nilai distribusi tegangan, displacement dan safety factor.
Alur penelitian kali ini dijelaskan pada diagram alir berikut:



Gbr. 1. Diagram Alir Penelitian

Prosedur pada penelitian ini, dimulai dari melaksanakan proses pengujian tarik untuk mengetahui nilai properti dari material aluminium 6061 dan baja AISI 1020 dengan bentuk profil rectangular tube. Pengujian tarik ini dilakukan bertujuan untuk mengetahui nilai yield dan ultimate tensile strength yang sesuai dengan keadaan asli material yang akan digunakan pada prototipe sepeda yang dibuat. Setelah itu dilakukan pengujian tarik pada mesin uji tarik dengan prosedur standar JIS Z 2201. Pengujian dilakukan hingga sampel mengalami deformasi untuk menemukan nilai dari sifat mekanis material yang akan digunakan dalam input engineering data material pada pemrograman software ANSYS untuk kemudian dilakukan simulasi rangka.

Pada pengujian tarik pengambilan data dilakukan sebanyak 9 kali setiap sampelnya. Berikut ini data yang didapatkan setelah dilakukan pengujian tarik material:

Tabel 1. Data hasil uji tarik material aluminium 6061

Spesimen	Beban Maksimal (N)	Jarak (mm)	Yield Strength (N/mm ²)	Ultimate Tensile Strength (N/mm ²)	Regangan
1	11432,5926	4,61	138,2345	152,4346	0,0922
2	11010,9066	3,30	132,9520	146,8121	0,0660
3	10549,9941	3,51	130,2585	140,6666	0,0702

4	10910,8788	3,74	130,4938	145,4784	0,0748
5	11085,4371	3,74	135,2795	147,8058	0,0748
6	10418,5849	3,95	127,5649	139,0452	0,0790
7	10712,7844	3,29	131,6706	142,8371	0,0790
8	10585,2980	3,29	130,8599	141,1373	0,0658
9	9218,2510	2,85	116,7645	122,9100	0,0570
Rata-rata	10658,3031	3,59	130,4531	142,1252	0,0732

Tabel 2. Data hasil uji tarik material baja AISI 1020

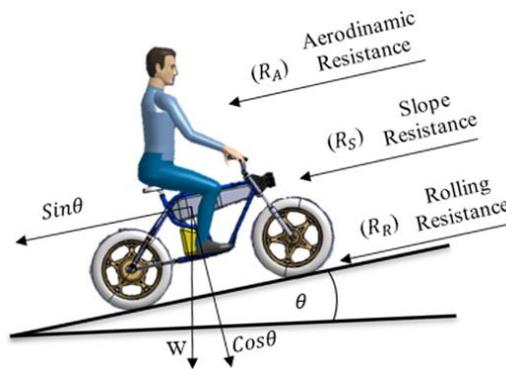
Spesimen	Beban Maksimal (N)	Jarak (mm)	Yield Strength (N/mm ²)	Ultimate Tensile Strength (N/mm ²)	Regangan
1	21131,3694	15,15	208,6855	281,7516	0,3030
2	21808,0283	15,37	200,2126	290,7737	0,3074
3	21047,0322	15,37	196,8914	280,6271	0,3074
4	20937,1978	12,74	197,0744	279,1626	0,2548
5	21674,6578	14,49	202,8015	288,9954	0,2898
6	22590,5990	14,93	205,4689	301,2080	0,2986
7	23051,5115	14,49	205,2336	307,3535	0,2898
8	22645,5162	15,81	200,9448	301,9402	0,3162
9	21953,1667	14,93	201,2325	292,7089	0,2986
Rata-rata	21871,0088	14,81	202,0606	291,6134	0,2962

Tahap selanjutnya yaitu membuat rancangan desain dari model rangka yang akan digunakan. Dalam menentukan rancangan sepeda terlebih dahulu harus memperhitungkan hambatan propulsif pada kendaraan untuk memperkirakan daya motor listrik yang sesuai. Adapun gaya hambat total sepeda yang terdiri dari gaya hambat aerodinamic resistance (drag), gaya hambat rolling resistance, gaya hambat tanjakan/slope resistance[7]. Berat total (m_t) yang digunakan adalah berat pengendara ditambah berat rangka yang terberat dan berat komponen, sebesar:

$$m_t = m_{pengendara} + m_{rangka} + m_{komponen} \quad (1)$$

$$m_t = 100 \text{ kg} + 10,63,479 \text{ kg} + 8 \text{ kg}$$

$$m_t = 118,63479 \text{ kg}$$



Gbr 2. Gaya pada sepeda

a. Aerodynamic resistance

Untuk mengetahui nilai gaya hambat aerodinamis dilakukan perhitungan berdasarkan persamaan:

$$R_A = 0,5 \times \rho \times A_f \times C_d \times V^2 \quad (2)$$

Dimana:

R_A = Gaya hambat angin pada pengendara dan sepeda

ρ = Massa jenis udara ($1,2 \text{ kg/m}^3$)

A_f = Luas frontal pengendara dan sepeda ($0,5 \text{ m}^2$) [8]

C_d = Koefisien hambatan (1,0) [8]

V^2 = Kecepatan relatif antara kendaraan dengan udara m/s (30 km/h)

Maka perhitungannya adalah:

$$R_A = 0,5 \times 1,2 \times 0,5 \times 1,0 \times 8,33^2$$

$$R_A = 20,8167 \text{ N}$$

b. Rolling resistance

Gaya ini merupakan gesekan pada roda yang berhubungan dengan jalan. Hal ini dipengaruhi oleh kualitas sepeda, roda, permukaan jalan, tekanan roda, berat pengendara dan sepeda.

$$R_R = m_t \times g \times C_r \quad (3)$$

Dimana:

RR = Gaya rolling resistance

m_t = massa total

g = percepatan gravitasi (9,81 m/s²)

C_r = koefisien rolling resistance ban sepeda pada jalan aspal 0,004 dan pada jalan tanah kasar 0,008 [9]

Maka perhitungannya adalah:

<ul style="list-style-type: none"> - Untuk jalan aspal $R_R = 118,63479 \times 9,81 \times 0,004$ $R_R = 4,6553 N$ 	<ul style="list-style-type: none"> - Untuk jalan tanah kasar $R_R = 118,63479 \times 9,81 \times 0,008$ $R_R = 9,3105 N$
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

c. Slope resistance

Ketika menanjak, sepeda membutuhkan daya yang cukup untuk membawa beban sendiri ditambah berat yang ditopang. Ini merupakan pengaruh dari kemiringan jalan dan kecepatan. Semakin bertambahnya ketinggian, maka energi potensial juga meningkat.

$$R_S = m_t \times g \times \sin\theta \quad (4)$$

Dimana:

RS = Gaya slope resistance

m_t = massa total

g = percepatan gravitasi (9,81 m/s²)

$\sin\theta$ = Gradien kemiringan jalan untuk kecepatan 30 km/jam sebesar 10%=5,71° [10]

Maka perhitungannya adalah:

$$R_S = 118,63479 \times 9,81 \times \sin(5,71)$$

$$R_S = 115,7912 N$$

d. Hambatan total

Setelah semua perhitungan hambatan didapat maka selanjutnya menjumlah seluruh hambatan untuk mendapatkan nilai beban hambatan total.

$$F_t = R_A + R_R + R_S \quad (5)$$

<ul style="list-style-type: none"> - Hambatan total pada jalan aspal datar $F_t = R_A + R_R$ $F_t = 20,8167 + 4,7065$ $F_t = 25,5232 N$ - Hambatan total pada jalan aspal menanjak $F_t = R_A + R_R + R_S$ $F_t = 20,8167 + 4,7065 + 115,7912$ $F_t = 141,3144 N$ 	<ul style="list-style-type: none"> - Hambatan total pada jalan tanah datar $F_t = R_A + R_R$ $F_t = 20,8167 + 9,4130$ $F_t = 30,2297 N$ - Hambatan total pada jalan tanah menanjak $F_t = R_A + R_R + R_S$ $F_t = 20,8167 + 9,4130 + 115,7912$ $F_t = 146,0209 N$
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

e. Daya motor

Daya motor yang dibutuhkan diperoleh dengan mengalikan beban total (F_t) dengan kecepatan (V)[9]. Kecepatan diperoleh dengan asumsi perkiraan kecepatan yang diharapkan. Pada rancangan sepeda yang akan dibuat saat ini diharapkan dikendarai di jalan aspal dan tanah dengan kecepatan 30 km/jam[11]. Maka daya motor yang dibutuhkan sebesar:

$$P = F_t \times V \quad (6)$$

<ul style="list-style-type: none"> - Daya motor pada jalan aspal datar $P = F_t \times V$ $P = 25,5232 N \times 30 km/jam$ $P = 25,5232 N \times 8,33 m/s$ $P = 212,6083 watt$ - Daya motor pada jalan aspal menanjak $P = F_t \times V$ $P = 141,3144 N \times 30 km/jam$ $P = 141,3144 N \times 8,33 m/s$ $P = 1177,1489 watt$ 	<ul style="list-style-type: none"> - Daya motor pada jalan tanah datar $P = F_t \times V$ $P = 30,2297 N \times 30 km/jam$ $P = 30,2297 N \times 8,33 m/s$ $P = 251,8134 watt$ - Daya motor pada jalan tanah menanjak $P = F_t \times V$ $P = 146,0209 N \times 30 km/jam$ $P = 146,0209 N \times 8,33 m/s$ $P = 1216,3541 watt$
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Dari data diatas dibutuhkan mesin dengan daya 212,6083 watt sampai 1216,3541 watt, sedangkan motor yang digunakan mempunyai spesifikasi sebagai berikut:



Gbr 3. Motor BLDC 48V 500watt

Nama	: BLDC motor hub 16 inch
Ukuran lebar poros	: 135 mm
Diameter poros	: 14 mm
Nilai tegangan	: 48 volt
Power	: 500 watt
Kecepatan	: 40 km/jam
Ban model	: 16 x 3.0 inch
Desain rem	: Tromol
Lokasi kabel	: Kiri

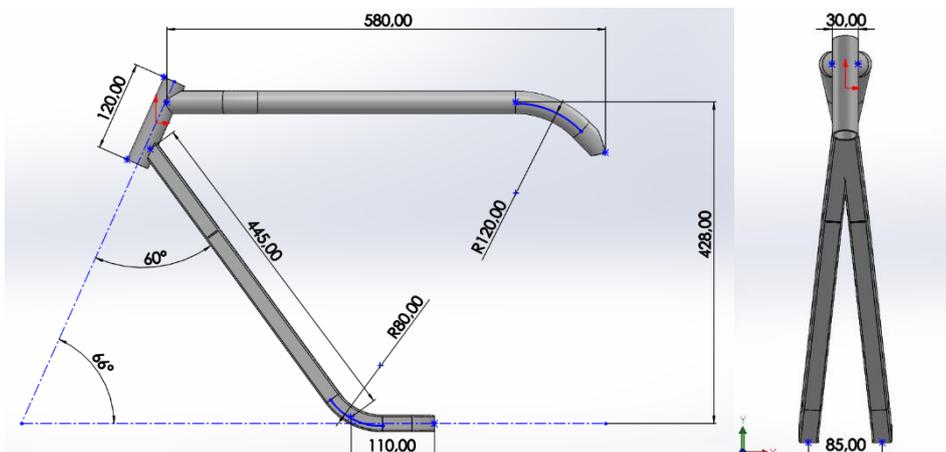
Dengan demikian daya motor yang akan digunakan lebih kecil dari daya hambat maksimal yang diterima, maka motor yang sesuai dengan perhitungan hambatan diatas harus memiliki daya 1250 watt.

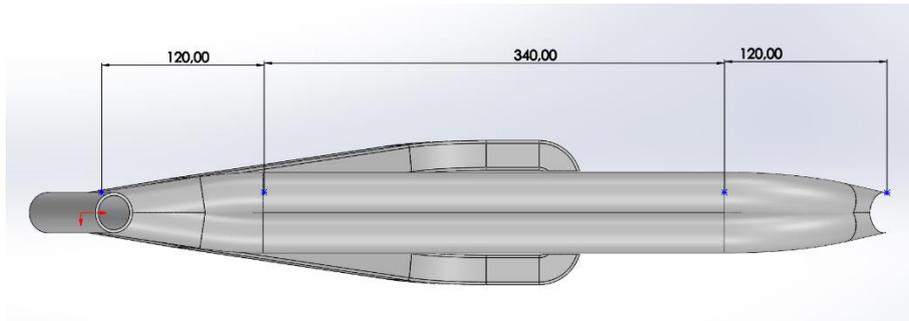
Selanjutnya, memulai proses pengumpulan data dari bentuk dan dimensi dari desain model rangka sepeda listrik, data tersebut yaitu bentuk profil yang digunakan dan geometri dari desain sepeda listrik, menggunakan gambar rancangan model rangka yang telah dibuat sebelumnya untuk menentukan modifikasi desain yang akan diterapkan. Kemudian dilakukan pembuatan sketsa sederhana untuk konstruksi rangka sepeda listrik. Pengumpulan data ini bertujuan untuk mendapatkan desain dari rangka sepeda listrik dengan sebaik mungkin, pembuatan desain itu sendiri menggunakan software Solidwork 2020.

Berikut ini rancangan desain dari model rangka sepeda:

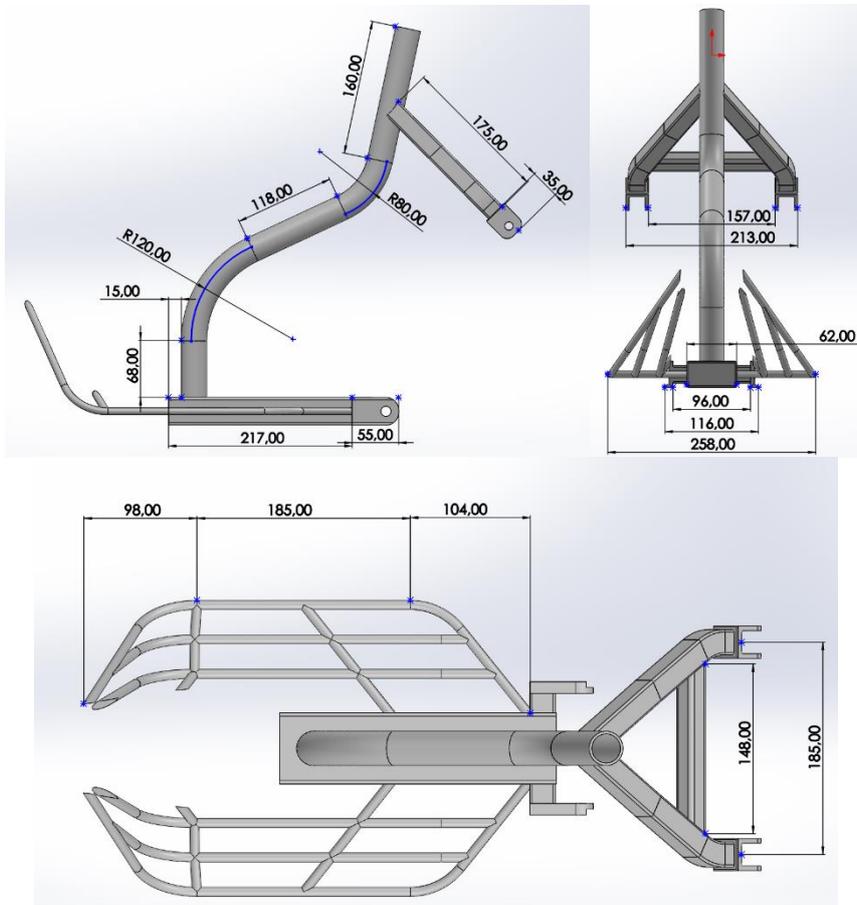


Gbr 4. Desain rancangan model rangka, rancangan sepeda listrik





Gbr 5. Dimensi sub rangka depan

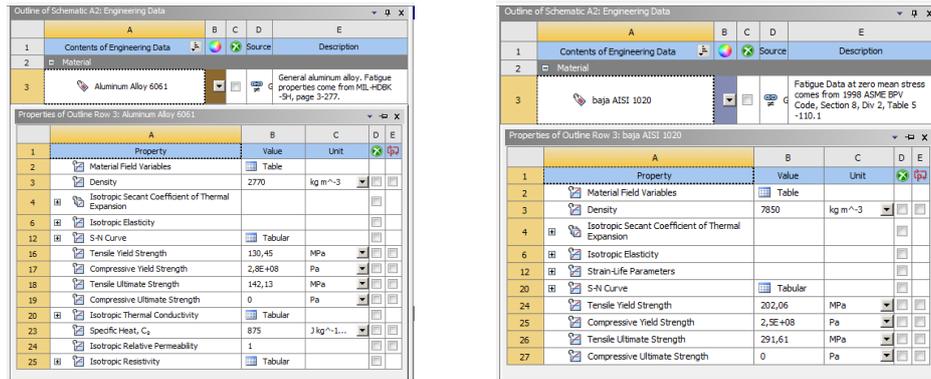


Gbr 6. Dimensi sub rangka belakang

Setelah didapatkan rancangan desain untuk model rangkanya, tahap selanjutnya yaitu melakukan proses simulasi pada software ANSYS WORKBENCH. Tahapan awal yang dilakukan pada software Ansys Workbench yaitu mengatur engineering data, kemudian memasukan geometri gambar yang sudah dibuat, berikutnya melakukan proses meshing dan memasukkan variabel-variabel yang dibutuhkan untuk dilakukannya simulasi.

Pada simulasi ANSYS Workbench kali ini menggunakan fitur analysis system static structural yang dimana akan digunakan dalam perhitungan analisa kekuatan statis dari desain rangka. Tahap pertama pada proses simulasi yaitu melakukan pemilihan jenis material pada rancangan sepeda yang akan disimulasikan. Material yang digunakan adalah material baja AISI 1020 dengan nilai yield strength sebesar 202,0606 N/mm² dan ultimate tensile strength sebesar 291,6134 N/mm², dan juga untuk Alumunium Alloy 6061 menggunakan yield strength sebesar 130,4531 N/mm² dan ultimate tensile strength sebesar 142,1252 N/mm². Nilai yield strength dan ultimate tensile strength diambil dari rata-rata hasil pengujian tarik yang telah didapat agar nilai tegangan tarik material sesuai dengan keadaan asli material.

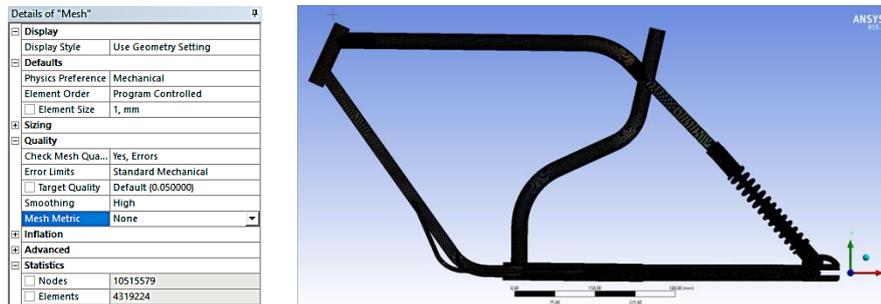
Analisa Pengaruh Kekuatan Material pada Rangka Sepeda Listrik dengan Profil Rectangular Tube terhadap Material Aluminium 6061 dan Baja Aisi 1020 menggunakan Software Ansys Workbench



Gbr 7. Desain rancangan model rangka, rancangan sepeda listrik

Berikutnya proses input geometri, ini dilakukan untuk memasukkan data geometri rancangan desain yang telah dibuat sebelumnya dengan menggunakan software SOLIDWORK.

Kemudian proses Meshing geometri rancangan, pada simulasi kali ini didapatkan proses meshing dengan ukuran mesh sebesar 1 mm dengan nodes sebanyak 10.515.579 dan elements sebanyak 4.319.224, dan bentuk mesh yang dihasilkan berupa tetrahedon dan hexahedon.



Gbr 8. Detail of mesh, mesh pada rangka

Tahap setup merupakan proses menentukan bagian mana saja yang akan menjadi tumpuan dan bagian yang diberi pembebanan. Pembebanan dilakukan sebagai salah satu tahapan proses dari simulasi static structural pada software ANSYS. Beban dari pengendara didistribusikan kepada struktur rangka sepeda sesuai dengan ergonomi bentuk tubuh pengendara.

Tabel 3. Tabel Estimasi Setiap Segment Massa Pada Tubuh Manusia (Kroemer-Elbert.1990)[12]

Segment	Empirical equation	Standard error of estimate
Head	0.0306W + 2.46	0.43
Head and neck	0.0534W + 2.33	0.60
Neck	0.0146W + 0.60	0.21
Head, neck and torso	0.5940W – 2.20	2.01
Neck and torso	0.5582W – 4.26	1.72
Total arm	0.0505W + 0.01	0.35
Upper arm	0.0274W – 0.01	0.19
Forearm and hand	0.0233W – 0.01	0.20
Forearm	0.0189W – 0.16	0.15
Hand	0.0055W + 0.07	0.07
Total leg	0.1582W + 0.05	1.02
Thigh	0.1159W – 1.02	0.71
Shank and foot	0.0452W + 0.82	0.41
Shank	0.0375W + 0.38	0.33
Foot	0.0069W + 0.47	0.11

Gaya yang digunakan dalam pengujian kekuatan material rangka dapat dihitung menggunakan perhitungan empiris tersebut. Pembebanan/load dari tubuh pengendara yang akan ditempatkan pada rangka untuk simulasi static structural akan ditempatkan pada 3 titik dengan berat pengendara yang ditetapkan sebesar W=100kg, berikut perhitungan pada tiap titik pembebanan:

$$F = (\text{Empirical equation}) \times 9,81 \frac{m}{s^2} \quad (7)$$

- a. Titik pertama adalah gaya F1, dimana gaya F1 terdiri dari berat bagian tubuh kepala, leher dan batang tubuh. Perhitungan gaya F1 yaitu gaya head, neck and torso (0.5940W – 2.20) dikali gravitasi:

$$F_1 = (0.5940W - 2.20) \times 9,81 \frac{m}{s^2}$$

$$F_1 = 561,132 N$$

- b. Titik kedua adalah gaya F2, dimana gaya F2 terdiri dari berat bagian tubuh lengan atas, lengan bawah dan tangan. Perhitungan gaya F2 yaitu gaya total arm $(0.0505W + 0.01)$ dikali gravitasi:

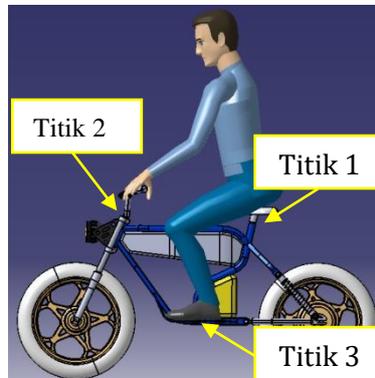
$$F_2 = (0.0505W + 0.01) \times 9,81 \frac{m}{s^2}$$

$$F_2 = 49,6386 N$$

- c. Titik ketiga adalah gaya F3, dimana gaya F3 terdiri dari berat bagian tubuh paha, betis dan kaki. Perhitungan gaya F3 yaitu gaya total leg $(0.1582W+0.05)$ dikali gravitasi:

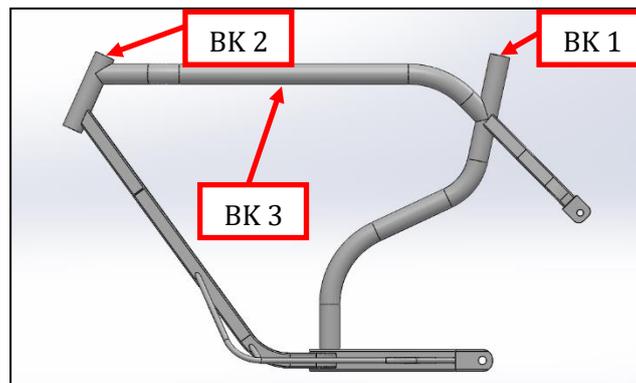
$$F_3 = (0.1582W + 0.05) \times 9,81 \frac{m}{s^2}$$

$$F_3 = 155,6847 N$$



Gbr 9. Titik pembebanan pengendara pada rangka

Pembebanan/load dari komponen sepeda yang ditempatkan pada rangka untuk simulasi static structural akan ditempatkan pada 3 titik dengan pembagian berat ini sesuai dengan penempatan posisi komponen dilektakkan.



Gbr 10. Letak pembebanan komponen sepeda

Berikut komponen yang ditopang oleh rangka sepeda beserta beratnya:

Tabel 4. Tabel berat komponen yang ditopang rangka

Komponen sepeda	Berat	Jumlah	Berat Total
Throtle set/handel gas	300 g	1	0,3 kg
Handle rem set	300 g	2	0,6 kg
Handlebar/stir	650 g	1	0,65 kg
Controller	250 g	1	0,25 kg
Reducer	107 g	1	0,107 kg
Aki	1280 g	4	5,12 kg
Sadel	500 g	1	0,5 kg
Seatpost	330 g	1	0,33 kg
Total	3717 g	12	8 kg

Titik pembebanan untuk Berat Komponen(BK) pada titik satu ditempatkan pada permukaan seat tube bagian atas dengan komponen meliputi sadel dan seatpost. Pembebanan komponen pada titik dua ditempatkan pada permukaan head tube bagian atas dengan komponen meliputi throtle, handle rem, dan handlebar. Pembebanan komponen pada titik tiga ditempatkan pada permukaan top tube bagian bawah dengan komponen meliputi controller, reducer dan baterai/aki.

Berat total pada titik pembebanan komponen sepeda adalah berat setiap komponen pada setiap titik pembebanan dikalikan dengan gravitasi yaitu sebagai berikut:

$$F = (m_{komponen}) \times 9,81 \frac{m}{s^2} \quad (8)$$

- Berat Komponen 1

$$F_1 = (m_{sadel} + m_{seatpost}) \times 9,81 \frac{m}{s^2}$$

$$F_1 = (0,5 \text{ kg} + 0,33 \text{ kg}) \times 9,81 \frac{m}{s^2}$$

$$F_1 = 8,1423 \text{ N}$$

- Berat Komponen 2

$$F_2 = (m_{throttle} + m_{handlerem} + m_{handlebar}) \times 9,81 \frac{m}{s^2}$$

$$F_2 = (0,3 \text{ kg} + 0,6 \text{ kg} + 0,65 \text{ kg}) \times 9,81 \frac{m}{s^2}$$

$$F_2 = 15,2055 \text{ N}$$

- Berat Komponen 3

$$F_3 = (m_{controller} + m_{reducer} + m_{aki}) \times 9,81 \frac{m}{s^2}$$

$$F_3 = (0,25 \text{ kg} + 0,107 \text{ kg} + 5,12 \text{ kg}) \times 9,81 \frac{m}{s^2}$$

$$F_3 = 53,7294 \text{ N}$$

Selanjutnya menggabungkan pembebanan dari berat pengendara dengan berat komponen yang ditopang oleh rangka sesuai penempatan yang telah ditentukan. Dari penggabungan beban berat pengendara dan beban oleh komponen sepeda maka didapat 4 titik letak posisi pembebanan pada rangka, berikut total beban pada tiap titik pembebanan rangka:

- Titik A = F1 berat pengendara 1 ditambah dengan F1 berat komponen 1

$$FA = 561,132 \text{ N} + 8,1423 \text{ N}$$

$$FA = 569,2743 \text{ N}$$

- Titik B = F2 berat pengendara 2 ditambah dengan F2 berat komponen 2

$$FB = 49,6386 \text{ N} + 15,2055 \text{ N}$$

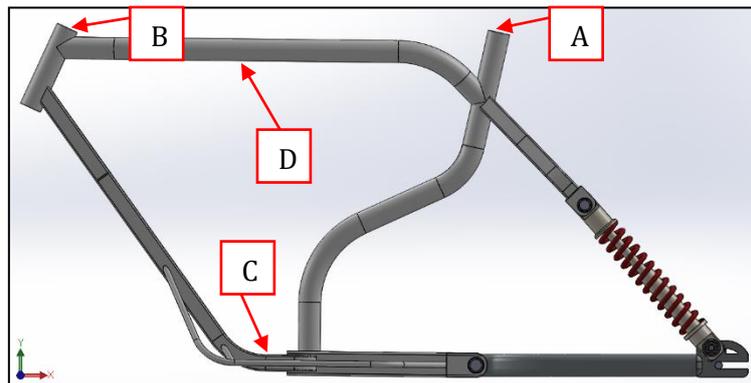
$$FB = 64,8441 \text{ N}$$

- Titik C = titik C berisi perhitungan F3 berat pengendara 3

$$FC = 155,6847 \text{ N}$$

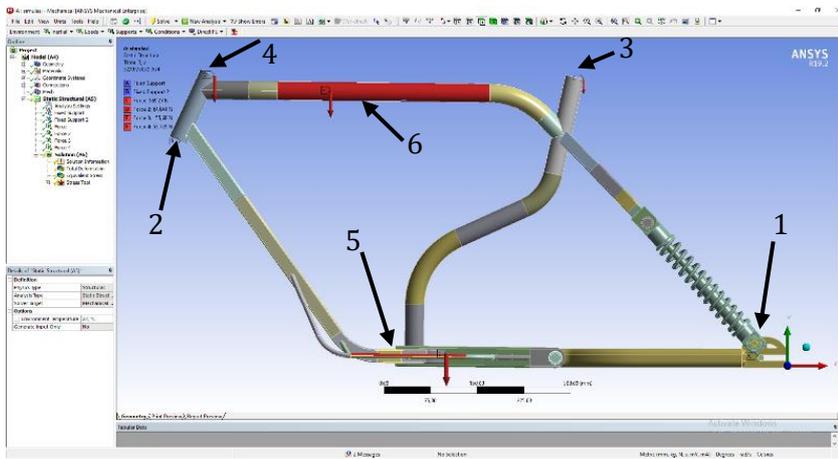
- Titik D = untuk titik D hanya berisi perhitungan F3 berat komponen 3

$$FD = 53,7294 \text{ N}$$



Gbr 11. Letak pembebanan total pada rangka

Tumpuan pada rancangan rangka ini terdapat pada permukaan head tube bagian bawah dan poros as roda belakang. Untuk titik pembebanan A terletak pada permukaan seat tube bagian atas sebesar 569,2743 N, titik pembebanan B terletak pada permukaan head tube bagian atas sebesar 64,8441 N, titik pembebanan C terletak pada permukaan pijakan bagian atas sebesar 155,6847 N, titik pembebanan D terletak pada permukaan top tube bagian bawah sebesar 53,7294 N. Data pembebanan tersebut didapat dari perhitungan berat tubuh dan komponen yang ditopang oleh rangka.



Keterangan gambar:

1. Tumpuan 1
2. Tumpuan 2
3. Pembebanan 1
4. Pembebanan 2
5. Pembebanan 3
6. Pembebanan 4

Gbr 12. Tumpuan dan pembebanan pada desain rancangan

Tahapan berikutnya yaitu memasukkan parameter ditetapkan antara lain: total deformation yang akan digunakan sebagai nilai displacement, equivalent stress(von-mises) sebagai nilai distribusi tegangan, dan safety faktor sebagai nilai angka keamanan. Selanjutnya yaitu proses perhitungan numerik simulasi static structural dijalankan.

Proses yang terakhir melakukan pengumpulan data dari simulasi stress analysis yang telah dilakukan pada software ANSYS. Dari hasil analisa yang telah dilakukan maka dapat ditemukan pengaruh dan perbandingan antara material aluminium 6061 dan baja AISI 1020 pada desain rangka dengan bentuk profil dan dimensi yang sama.

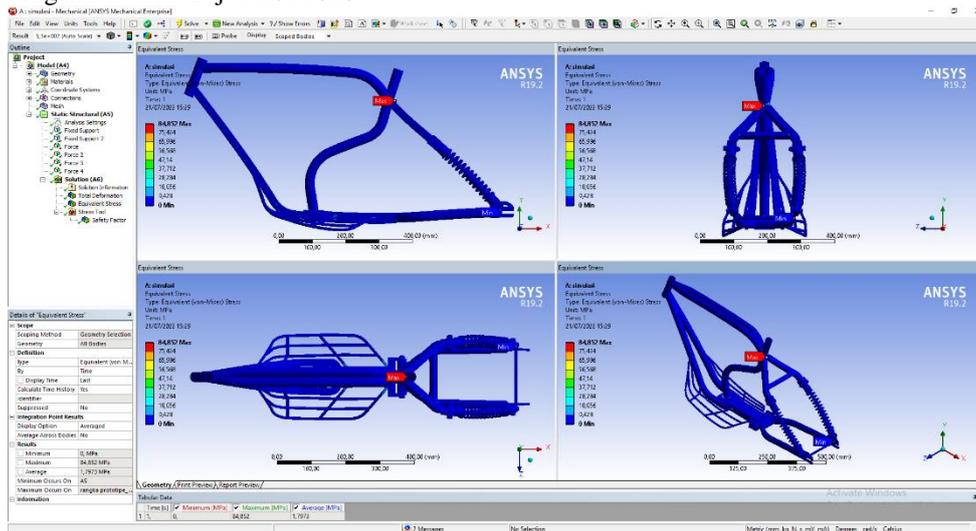
Setelah hasil simulasi didapatkan, proses berikutnya yaitu melakukan perakitan dari desain rangka untuk dilakukan pengujian secara nyata terhadap pengujian jalan kendaraan yang sesuai dengan standar pengujian yang telah ditetapkan untuk menentukan kelayakan rangka yang dihasilkan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Data yang dihasilkan dari simulasi berupa gambaran fenomena statika struktur pada rancangan rangka sesuai dengan yang diinginkan seperti: distribusi tegangan, pergeseran struktur, dan faktor keamanan. Berikut ini data yang didapatkan dari simulasi setiap rancangan rangka dengan material yang berbeda:

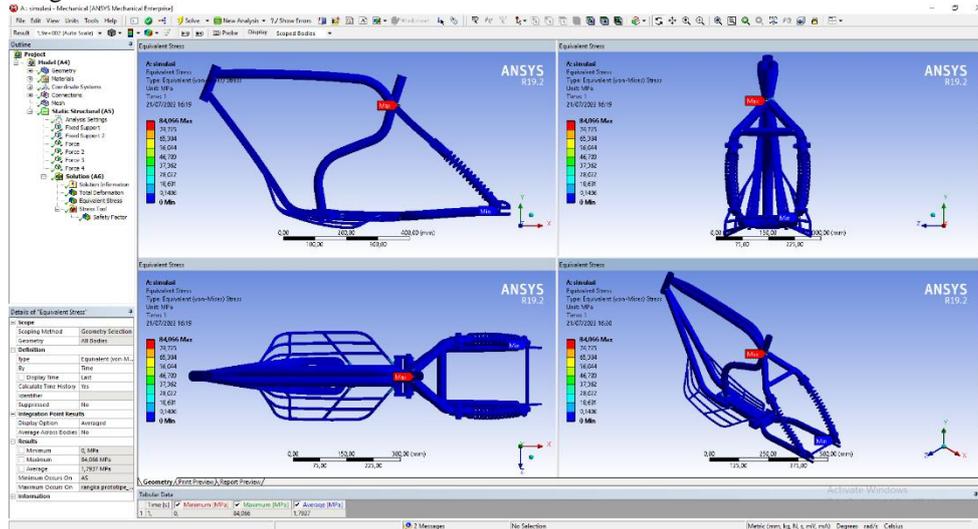
A. Nilai Distribusi Tegangan

- Rangka dengan Material Baja AISI 1020



Gbr 13. Hasil distribusi tegangan pada rangka baja

- Rangka dengan Material Aluminium 6061



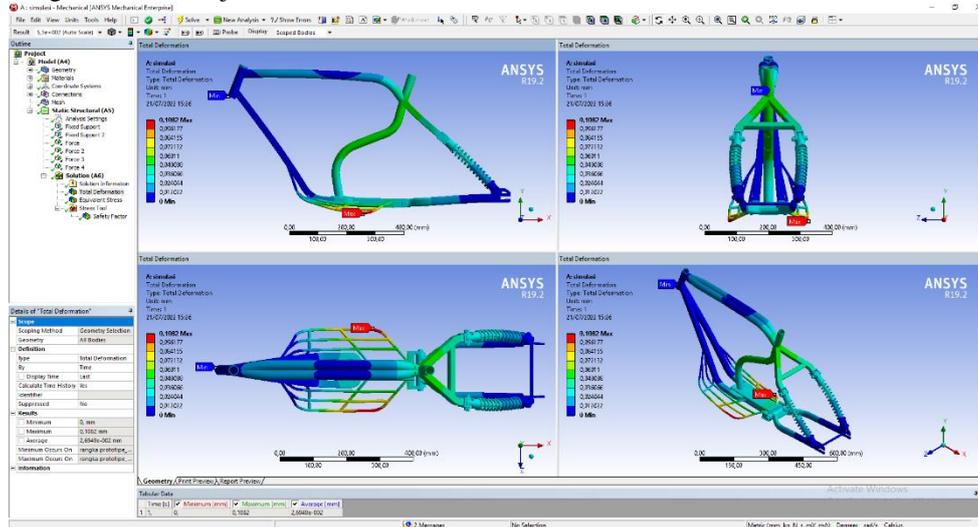
Gbr 14. Hasil distribusi tegangan pada rangka aluminium

Pada gambar 13, rangka dengan material baja AISI 1020 mengalami deformasi dengan nilai equivalent stress maksimal sebesar 84,852 MPa pada profil seat stay bagian atas, nilai equivalent stress minimal sebesar 0 MPa pada poros as roda belakang dan nilai equivalent stress rata-rata sebesar 1,7973 MPa..

Pada gambar 14, rangka dengan material aluminium 6061 mengalami deformasi dengan nilai equivalent stress maksimal sebesar 84,066 MPa pada profil seat stay bagian atas, nilai equivalent stress minimal sebesar 0 MPa pada poros as roda belakang dan nilai equivalent stress rata-rata sebesar 1,17937 MPa..

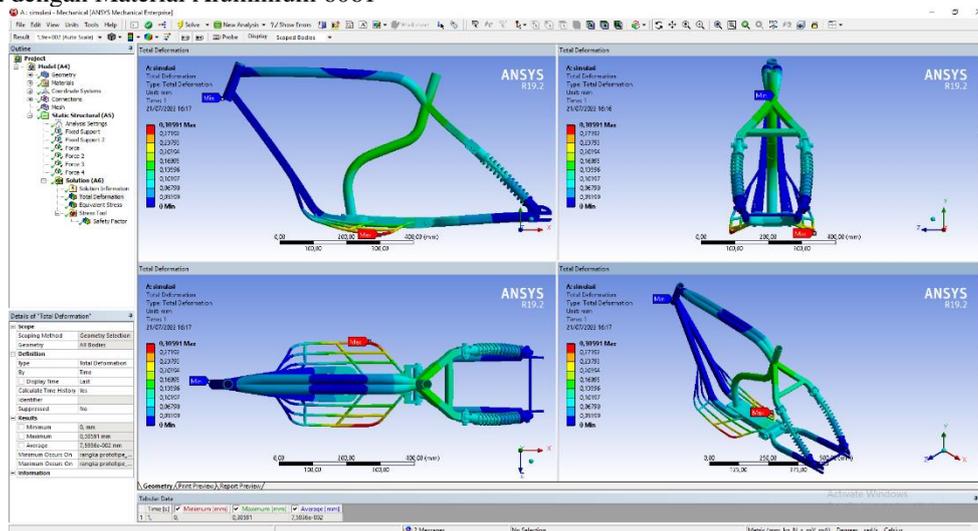
B. Nilai Jarak Titik Pergeseran

- Rangka dengan Material Baja AISI 1020



Gbr 15. Hasil total deformasi pada rangka baja

- Rangka dengan Material Aluminium 6061



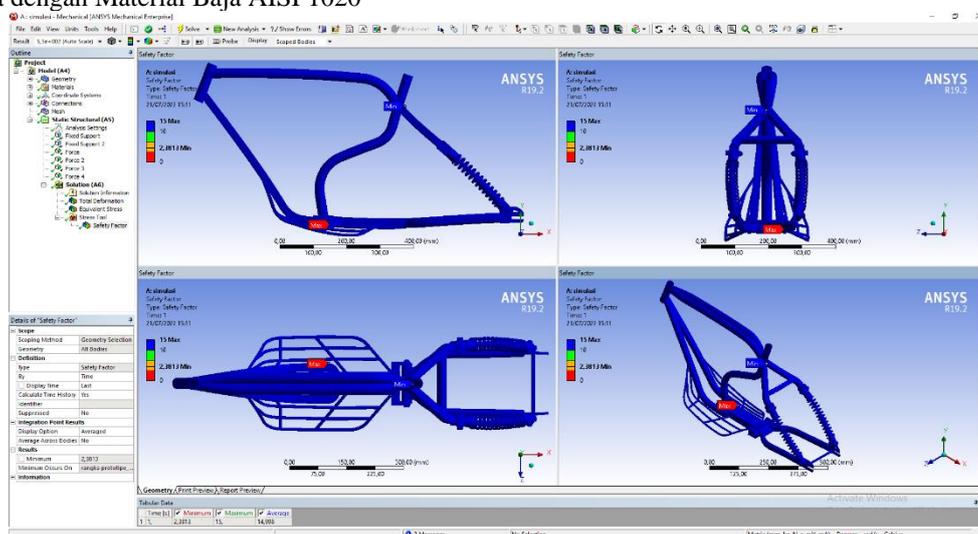
Gbr 16. Hasil total deformasi pada rangka aluminium

Pada gambar 15, rangka dengan material baja AISI 1020 mengalami pergeseran struktur rangka dengan nilai total deformation maksimal sebesar 0,1082 mm pada profil pijakan bagian samping kanan, nilai total deformation minimal sebesar 0 mm pada head tube bagian bawah dan nilai total deformation rata-rata sebesar 0,026949 mm..

Pada gambar 16, rangka dengan material aluminium 6061 mengalami pergeseran struktur rangka dengan nilai total deformation maksimal sebesar 0,30591 mm pada profil pijakan bagian samping kanan, nilai total deformation minimal sebesar 0 mm pada head tube bagian bawah dan nilai total deformation rata-rata sebesar 0,075936 mm.

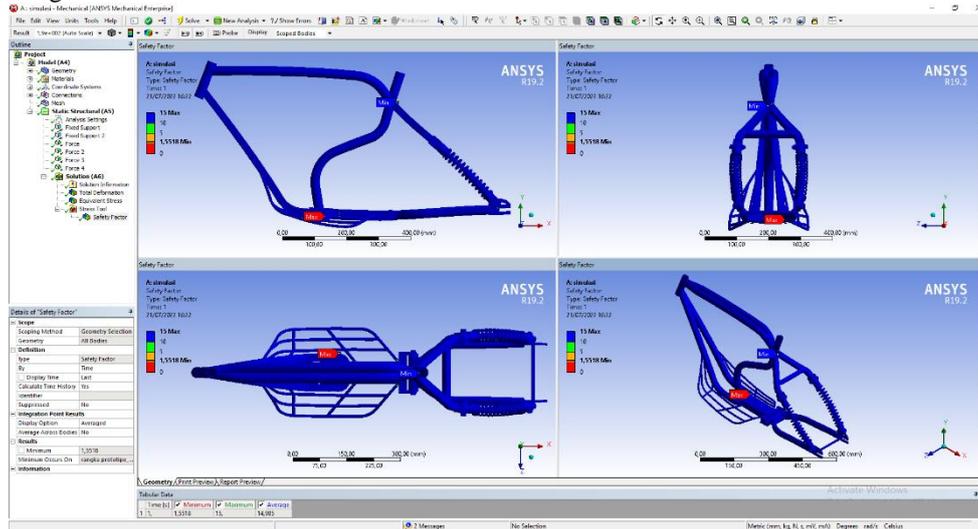
C. Nilai Faktor Keamanan

- Rangka dengan Material Baja AISI 1020



Gbr 17. Hasil safety factor pada rangka baja

- Rangka dengan Material Aluminium 6061



Gbr 18. Hasil safety factor pada rangka aluminium

Pada gambar 4.17, rangka dengan material baja AISI 1020 mendapatkan nilai faktor keamanan rangka dengan nilai safety factor maksimal sebesar 15 pada profil down tube bagian bawah kanan, nilai safety factor minimal sebesar 2,3813 pada profil seat stay bagian atas dan nilai safety factor rata-rata sebesar 14,998.

Pada gambar 4.18, rangka dengan material aluminium 6061 mendapatkan nilai faktor keamanan rangka dengan nilai safety factor maksimal sebesar 15 pada down tube bagian bawah kanan, nilai safety factor minimal sebesar 1,5518 pada profil seat stay bagian atas dan nilai safety factor rata-rata sebesar 14,985.

Dari hasil simulasi FEM yang dilakukan pada rancangan rangka sepeda terhadap variasi penggunaan material rangka yang berbeda, telah didapat data sebagaimana pada tabel 3 dibawah ini.

Tabel 5. Data hasil simulasi

	Aluminium 6061			Baja AISI 1020		
	Distribusi tegangan (MPa)	Total Deformasi (mm)	Faktor keamanan	Distribusi tegangan (MPa)	Total Deformasi (mm)	Faktor keamanan
Maks	84,066	0,30591	15	84,852	0,1082	15
Min	0	0	1,5518	0	0	2,3813
Rata-rata	1,17937	0,075936	14,985	1,7973	0,026949	14,998

Dari perbandingan tersebut didapat bahwa nilai equivalent stress maksimal pada rancangan rangka dengan material baja AISI 1020 lebih besar dari rancangan rangka dengan material aluminium paduan 6061. Material properti yang mempengaruhi nilai equivalent adalah shear modulus[13]. Nilai total deformasi maksimal pada rancangan rangka dengan material aluminium 6061 lebih besar dari rancangan rangka dengan material baja AISI 1020, hal ini dikarenakan nilai tegangan tarik yang menentukan kekuatan bahan pada material aluminium 6061 lebih kecil dari material baja AISI 1020. Nilai strength pada material sangat mempengaruhi besar dan kecilnya nilai deformasi yang dihasilkan[14]. Nilai angka keamanan minimal pada rancangan rangka dengan material baja AISI 1020 lebih besar dari pada rancangan rangka dengan material aluminium paduan 6061, hal ini membuktikan bahwa rancangan rangka dengan material baja lebih aman untuk dipakai dibandingkan rangka aluminium dikarenakan ketahanan dari rangka baja lebih besar. Nilai faktor keamanan minimal untuk suatu struktur mampu menahan beban dinamis yaitu 2-3[15]. Dari sini dapat diketahui bahwa perbedaan nilai properti material akan menyebabkan perbedaan nilai kekuatan bahan material tersebut, semakin tinggi sifat mekanik suatu material maka semakin baik material tersebut digunakan karena memiliki ketahanan untuk mempertahankan bentuk dan dimensinya terhadap deformasi yang diterima.

KESIMPULAN

Rancangan rangka dengan material Aluminium Alloy 6061 memiliki massa rangka sebesar 6,35795 kg. Nilai equivalent stress pada rangka dengan material aluminium 6061 maksimal sebesar 84,066 MPa pada profil seat stay bagian atas, nilai equivalent stress minimal sebesar 0 MPa pada poros as roda belakang dan nilai equivalent stress rata-rata sebesar 1,17937 MPa. Nilai total deformasi rangka dengan material aluminium 6061 maksimal sebesar 0,30591 mm pada profil pijakan bagian samping kanan, nilai total deformasi minimal sebesar 0 mm pada head tube bagian bawah dan nilai total deformation rata-rata sebesar 0,075936 mm. Nilai safety factor material aluminium 6061 maksimal sebesar 15 pada down tube bagian bawah kanan, nilai safety factor minimal sebesar 1,5518 pada seat stay bagian atas dan nilai safety factor rata-rata sebesar 14,985.

Rancangan rangka dengan material Baja AISI 1020 memiliki massa rangka sebesar 10,63479 kg. Nilai equivalen stress pada rangka dengan material baja AISI 1020 maksimal sebesar 84,852 MPa pada profil seat stay bagian atas, nilai equivalen stress minimal sebesar 0 MPa pada poros as roda belakang dan nilai equivalen stress rata-rata sebesar 1,7973 MPa. Nilai total deformasi material baja AISI 1020 maksimal sebesar 0,1082 mm pada profil pijakan bagian samping kanan, nilai total deformation minimal sebesar 0 mm pada profil head tube bagian bawah dan nilai total deformation rata-rata sebesar 0,026949 mm. Nilai safety factor material baja AISI 1020 maksimal sebesar 15 pada profil down tube bagian bawah kanan, nilai safety factor minimal sebesar 2,3813 pada profil seat stay bagian atas dan nilai safety factor rata-rata sebesar 14,998.

Dari nilai equivalen stress maksimal pada rancangan rangka dengan material baja AISI 1020 lebih besar dari rancangan rangka dengan material aluminium paduan 6061, nilai total deformasi maksimal pada rancangan rangka dengan material aluminium lebih besar dari rancangan rangka dengan material baja AISI 1020, nilai angka keamanan minimal pada rancangan rangka dengan material baja AISI 1020 lebih besar dari pada rancangan rangka dengan material aluminium paduan 6061 dengan nilai angka keamanan 2,3813 maka rancangan dapat dikatakan aman [15]. Hal ini dipengaruhi oleh sifat mekanik material baja yang lebih baik dari pada aluminium seperti nilai tegangan tarik yang dimiliki oleh baja lebih tinggi dari pada aluminium 6061.

Rancangan yang dipakai untuk dijadikan prototipe adalah rancangan dengan material baja AISI 1020 karena memiliki nilai angka keamanan lebih besar dari rancangan dengan material aluminium 6061, dengan perhitungan daya motor yang sesuai sebesar 1250 watt dan berat penumpang sebesar 100 kg mampu melaju dengan kecepatan 30 km/jam pada jalan aspal dan tanah kasar.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] B. Setyono and A. Hamid, "PERANCANGAN DAN ANALISIS KEKUATAN FRAME SEPEDA HIBRID ' TRISONA ' MENGGUNAKAN SOFTWARE AUTODESK INVENTOR," pp. 37–46.
- [2] M. S. M. Sani, N. A. Nazri, S. N. Zahari, N. A. Z. Abdullah, and G. Priyandoko, "Dynamic Study of Bicycle Frame Structure," *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 160, no. 1, 2016, doi: 10.1088/1757-899X/160/1/012009.
- [3] S. Balaguru, E. Natarajan, S. Ramesh, and B. Muthuvijayan, "Analisis Struktural dan Modal Rangka Skuter untuk Desain Peningkatan," vol. 16, pp. 1106–1116, 2019.
- [4] D. Covill, S. Begg, E. Elton, M. Milne, R. Morris, and T. Katz, "Parametric finite element analysis of bicycle frame geometries," *Procedia Eng.*, vol. 72, pp. 441–446, 2014, doi: 10.1016/j.proeng.2014.06.077.
- [5] M. Awwaluddin, "Analisa Kekuatan Rangka Sepeda Listrik Menggunakan Software SolidWorks," *Pist. J. Tech. Eng.*, vol. 3, no. 1, pp. 5–16, 2019.
- [6] N. Y. Patil and E. N. Aitavade, "Static Structural Analysis of Foldable Frame for Bicycle using Finite Element Method," *Int. Res. J. Eng. Technol.*, 2019, [Online]. Available: www.irjet.net.
- [7] T. Fahrudin, "Analisis Bodi Pada Kendaraan Bermotor Roda Dua Menggunakan Simulasi Berbasis Matlab R2019," *J. Bait dan Manufaktur*, vol. 01, no. 01, 2019.
- [8] C. Gromke and B. Ruck, "Passenger car-induced lateral aerodynamic loads on cyclists during overtaking," *J. Wind Eng. Ind. Aerodyn.*, vol. 209, no. November 2020, p. 104489, 2021, doi: 10.1016/j.jweia.2020.104489.
- [9] A. B. Pratama, P. Studi, D. Tiga, T. Mesin, F. Teknik, and U. S. Maret, "Laporan tugas akhir disain dan analisa rangka pada purwarupa sepeda retro hybrid," 2017.
- [10] Direktorat Jenderal Bina Marga, "Tata Cara Perencanaan Geometrik Jalan Antar Kota No. 038/TBM/1997 Direktorat Jenderal Bina Marga," no. 038, pp. 1–54, 1997.
- [11] Aloisius de Rozari and Yudi Hari Wibowo, "Faktor-faktor Yang Menyebabkan Kemacetan Lalu Lintas di Jalan Utama Kota Surabaya," *J. Penelit. Adm. Publik*, vol. 1, no. 1, pp. 1–5, 2015, doi: 10.1007/s13398-014-0173-7.2.
- [12] K. H. E. Kroemer, H. J. Kroemer, and K. E. Kroemer-Elbert, *Engineering Physiology*. 2010.
- [13] M. Y. Santoso, K. I. Putri, and R. Sandora, "Penentuan Faktor Keamanan Material Ganjal Kapal Untuk Dok Galangan Kapal," *J. Poli-Teknologi*, vol. 20, no. 2, pp. 153–159, 2021, doi: 10.32722/pt.v20i2.3248.
- [14] I. Dzioba and S. Lipiec, "ASSESSMENT OF THE CRITICAL VALUES OF STRESS AND STRAIN OF MATERIAL ON THE BASIS OF ANALYSIS OF UNIAXIAL TENSILE TEST DATA Eksploatacja i testy," pp. 54–57, 2016.
- [15] "Dobrovolsky. V, Zablonsky. K, Mak. S, Radchik. A and Erlich. L, Machine Elements A Text Book, translated from the Russian by Troitsky. A, second printing, Peace Publishers, Moscow, (1982)," p. 1982, 1982.