

# PERANCANGAN DAN ANALISIS KEKUATAN FRAME SEPEDA HIBRID “TRISONA” MENGGUNAKAN SOFTWARE AUTODESK INVENTOR

Bambang Setyono<sup>1)</sup>, Mrihrenaningtyas<sup>2)</sup>, Abdul Hamid<sup>3)</sup>

<sup>1)2)</sup>Jurusan Teknik Mesin, Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya

<sup>3)</sup>Jurusan Teknik Elektro, Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya

Email: bambang@itats.ac.id, nink65@yahoo.com, Hamid.elektro@gmail.com

## ABSTRACT

*Trisona hybrid bicycle is a bicycle that is driven by three sources of motion, that motion by a manual pedal, compressed air pneumatic motors motion, and motion of the electric motor. This research aims to design and analyze the strengths frame with load variations riders ranging from 0-95 kg using the software autodesk inventor. By using the Stress Analysis feature that comes with the method of finite element analysis (FEA), we can know the outcome in the form of von misses stress, displacement, and the safety factor. Frame design results 1 inch in diameter, the material of the steel mill. Frame length = 1200 mm, width = 180 mm, height = 618 mm. The results of the simulation analysis of the smallest safety factor for motorists weight 0 kg = 8.93; 65 kg = 2.72; 85 kg = 2.19; 95 kg = 1.99. Limits safe construction for minimal dynamic load = 2. Therefore the construction of safe bike rider's weight 0-85 kg, while for the weight of the rider 95 kg unsafe. Location damaged occurred in the connection between the head tube and down tube.*

*Keywords: trisona hybrid bikes, frames, von misses stress, displacement, safety factor*

## ABSTRAK

Sepeda *hybrid trisona* adalah sepeda yang digerakkan oleh tiga sumber gerak, yaitu gerak manual oleh engkol kaki, gerak motor pneumatik udara bertekanan, dan gerak motor listrik. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan menganalisis kekuatan frame dengan variasi beban pengendara mulai dari 0 – 95 kg menggunakan *software autodesk inventor*. Dengan menggunakan fitur *Stress Analysis* yang dilengkapi dengan metode *finite element analysis (FEA)*, dapat diketahui luaran berupa *von misses stress, displacement, dan safety factor*. Frame hasil rancangan berdiameter 1 inchi, material dari *mill steel*. Panjang frame = 1200 mm, lebar = 180 mm, tinggi = 618 mm. Hasil analisis simulasi angka keamanan terkecil untuk berat pengendara 0 kg = 8,93; 65 kg = 2,72 ; 85 kg = 2,19 ; 95 kg = 1,99. Batas konstruksi aman untuk beban dinamis minimal = 2. Dengan demikian konstruksi sepeda aman untuk berat pengendara 0 – 85 kg, sedangkan untuk berat pengendara 95 kg tidak aman. Lokasi tidak aman terjadi disambungan *down tube* dengan *head tube*.

Kata-kunci: sepeda *hybrid trisona, frame, von misses stress, displacement, angka keamanan*

## PENDAHULUAN

Sepeda merupakan alat transportasi yang murah dan ramah lingkungan, namun memiliki keterbatasan pada daya jelajah dan kecepatan. Pada perkembangannya mulailah digunakan sepeda motor dengan bahan bakar bensin. Disatu sisi mampu mengatasi keterbatasan daya jelajah dan kecepatan, namun disisi lain menimbulkan pencemaran udara. Untuk mengatasi hal ini munculah teknologi sepeda listrik. Dengan sepeda listrik ini tidak menimbulkan pencemaran udara karena tidak ada pembakaran, hanya memiliki sedikit kekurangan yaitu keterbatasan daya listrik dan lamanya waktu untuk pengisian kembali daya listrik (*recharger*).

Berangkat dari keterbatasan-keterbatasan yang dimiliki sepeda pancal, sepeda penggerak udara bertekanan tinggi, dan sepeda listrik maka diciptakanlah sepeda trisona. Sepeda trisona adalah sepeda yang memiliki tiga sumber gerak yaitu gerak manual pancal pedal, gerak motor *pneumatic* dari udara bertekanan tinggi dan gerak dari motor listrik. Dengan demikian ketiga sumber gerak ini akan saling melengkapi.

Salah satu komponen utama dalam konstruksi sepeda adalah rangka atau frame. Frame ini merupakan penyangga dari keseluruhan konstruksi sepeda. Untuk itulah perancangan kekuatan

frame merupakan sesuatu sangat penting. Analisis desain konstruksi frame sepeda pada prinsipnya dapat dilakukan secara manual maupun melalui simulasi program. Mengingat konstruksi yang kompleks, maka analisis konstruksi secara manual memiliki berbagai keterbatasan, karena harus melakukan beberapa asumsi yang menyebabkan adanya penyimpangan terhadap hasil yang diperoleh, oleh karena itu untuk meningkatkan akurasi hasil analisis, maka analisis perancangan konstruksi frame sepeda trisona dilakukan menggunakan simulasi *software autodesk inventor pro 2015* karena di dalam *software* tersebut dilengkapi fitur-fitur yang mendukung untuk menganalisa distribusi tegangan, *displacement*, dan *safety factor* dengan mudah dan cepat.

Tujuan dari penelitian ini adalah membuat rancangan frame sepeda trisona sekaligus melakukan analisis kekuatan konstruksinya dengan parameter distribusi tegangan, *displacement*, dan angka keamanan menggunakan *software autodesk inventor professional 2015* dengan beban pengendara yang divariasikan mulai 0 kg – 95 kg.

## TINJAUAN PUSTAKA

### Software Autodesk Inventor

*Autodesk Inventor* merupakan sebuah program CAD (*Computer Aided Design*) dengan kemampuan pemodelan tiga dimensi solid untuk proses pembuatan objek prototipe 3D secara visual, simulasi dan drafting beserta dokumentasi data-datanya [1]. Dalam *Inventor*, seorang desainer bisa membuat sketsa 2D produk, memodelkannya menjadi 3D untuk dilanjutkan dengan proses pembuatan prototipe visual atau bahkan yang lebih kompleks lagi, yaitu simulasi. [4][6][7] *Autodesk Inventor*, yang dikembangkan oleh perusahaan perangkat lunak yang berbasis di AS *Autodesk* adalah merupakan perangkat lunak CAD mekanik desain 3D untuk membuat prototipe digital 3D yang digunakan dalam desain, visualisasi dan simulasi produk. [7]

### Analisis Struktur pada Autodesk Inventor

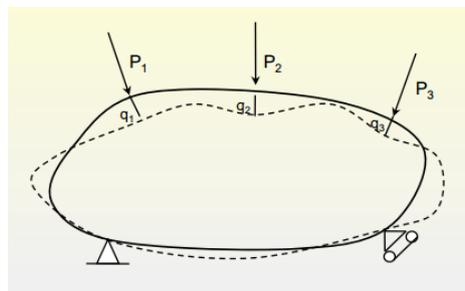
#### a. Stress Analysis

*Stress Analysis* merupakan salah satu alat pengujian struktur pada *Autodesk Inventor* 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. [7]

#### b. Frame Analysis

Selain *Stress Analysis*, pada *Autodesk Inventor* juga terdapat alat pengujian struktur yang lain, yaitu *Frame Analysis*. Konsep dari pengujian ini adalah dengan menerapkan ilmu mekanika teknik yaitu berkaitan dengan struktur *truss*, *beam*, dan *frame*. Input data beban dan tumpuan, sedangkan outputnya diagram tegangan, regangan dan *displacement*. [7]

#### c. 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 : [7]

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

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

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

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

dimana :

$$\{ q \} = \begin{Bmatrix} q_1 \\ q_2 \\ q_3 \end{Bmatrix} \quad [ f ] = \begin{bmatrix} f_{11} & f_{12} & f_{13} \\ f_{21} & f_{22} & f_{23} \\ f_{31} & f_{32} & f_{33} \end{bmatrix} \quad \{ P \} = \begin{Bmatrix} P_1 \\ P_2 \\ P_3 \end{Bmatrix} \quad \dots\dots\dots 4$$

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 : <sup>[7]</sup>

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

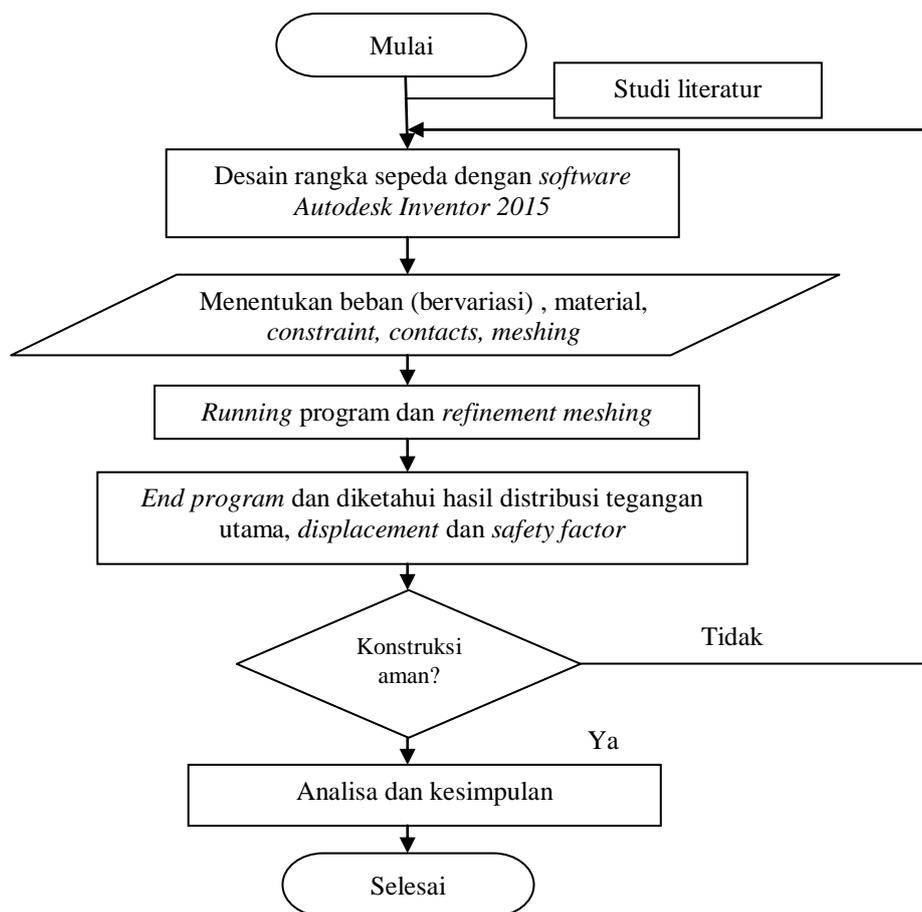
dimana :

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

## METODE

Penelitian dilaksanakan di laboratorium Desain, laboratorium CNC & CAD-CAM dan di Workshop Teknologi Tepat Guna ITATS. Penelitian berupa merancang desain sepeda Trisona kemudian melakukan analisis kekuatan konstruksi dengan beban pengendara bervariasi menggunakan *software autodesk inventor professional 2015*. Variabel bebas dan tak bebas dirancang sebagai berikut :

- Variabel bebas : beban pengendara yaitu 0 kg, 65 kg, 85 kg, 95 kg.
  - Variabel tak bebas : distribusi tegangan utama, *displacement*, dan angka keamanan.
- Alur penyelesaian ditunjukkan dengan diagram alir di bawah ini :



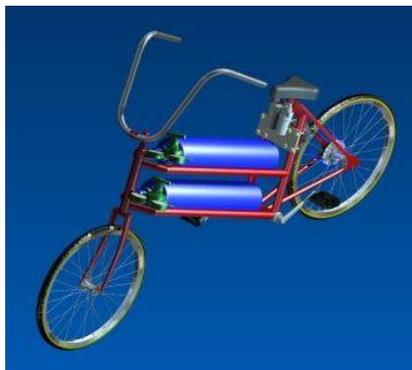
Gambar 2. Flowchart penelitian

Prosedur simulasi analisis kekuatan konstruksi frame menggunakan *software autodesk inventor* dengan membuat model rangka atau frame 2D dan 3D, memverifikasi material atau mengisi tabel material properties, menentukan *constraints* dilakukan dengan acuan posisi dari tumpuan yang ada pada produk desain yang telah dimodelkan. *Constraints* dapat berupa *fixed constraints*, *pin constraints*, dan *friction constraints*, menentukan posisi dan besar beban di *frame*. Beban dibuat bervariasi mulai dari 0 kg – 95 kg, proses *meshing*, dimana sistem kontinyu benda yang akan dianalisis didiskritisasi sehingga struktur utama menjadi elemen-elemen yang memiliki ukuran lebih kecil dan berjumlah tertentu dan berhingga, proses *running program* dilakukan setelah seluruh proses pra-analisa dan *meshing* dilakukan, proses *Running* tersebut berjalan dengan pembacaan proses perhitungan dengan metode *Finite Element Analysis (FEM)*, proses *refinement meshing* adalah proses penghalusan jumlah element dan nodes pada bagian yang mengalami tegangan yang kritis. Pada bagian yang mengalami tegangan maksimum tersebut, dilakukan proses *refinement meshing* dengan menggunakan fitur *local mesh control*. 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*.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### *Desain 3D keseluruhan dan frame sepeda Trisona*

Desain 3 D sepeda Trisona secara keseluruhan dan frame hasil rancangan menggunakan *software autodesk inventor* dapat dilihat seperti pada Gambar 3 dan 4 di bawah ini.



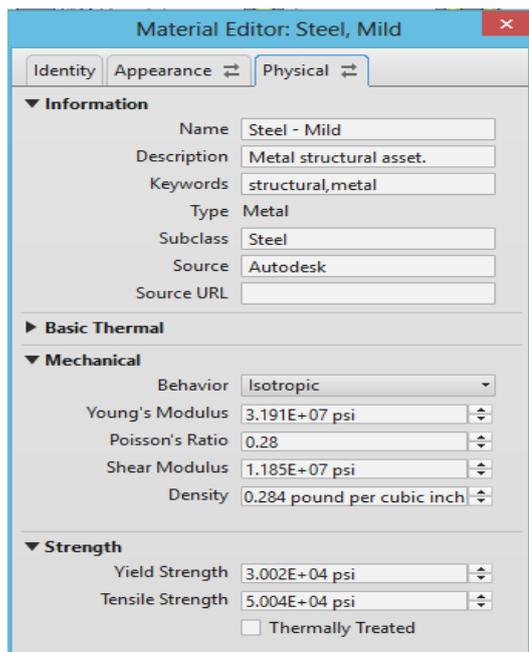
Gambar 3. Desain sepeda trisona



Gambar 4. *Exploded view* frame sepeda trisona

### **Verifikasi Material**

Pada *software Autodesk Inventor*, material ditentukan pada saat proses pemodelan setiap *part*. Material pada setiap *part* tersebut akan diverifikasi ulang saat proses pengujian. Verifikasi material tersebut terdapat pada *material properties* dan juga akan ditampilkan saat meminta *report* dari hasil *running* simulasi. Tampilannya seperti pada tabel berikut ini :



Gambar 5. Tampilan dari *material properties*

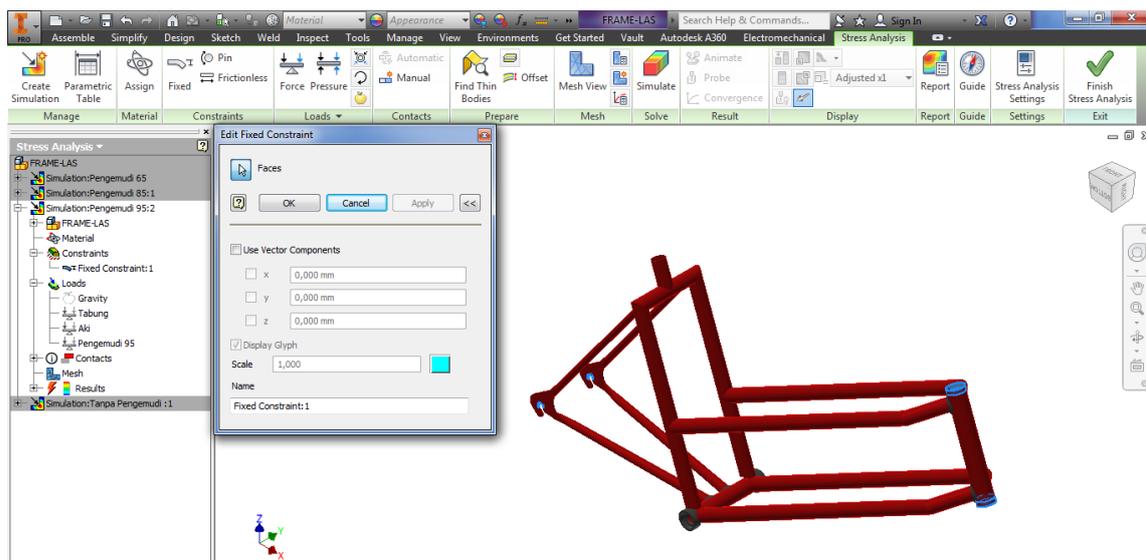
**Material(s)**

Name	Steel, Mild	
General	Mass Density	7.85 g/cm <sup>3</sup>
	Yield Strength	207 MPa
	Ultimate Tensile Strength	345 MPa
Stress	Young's Modulus	220 GPa
	Poisson's Ratio	0.275 ul
	Shear Modulus	86.2745 GPa

Gambar 6. Hasil report simulasi *stress analysis*

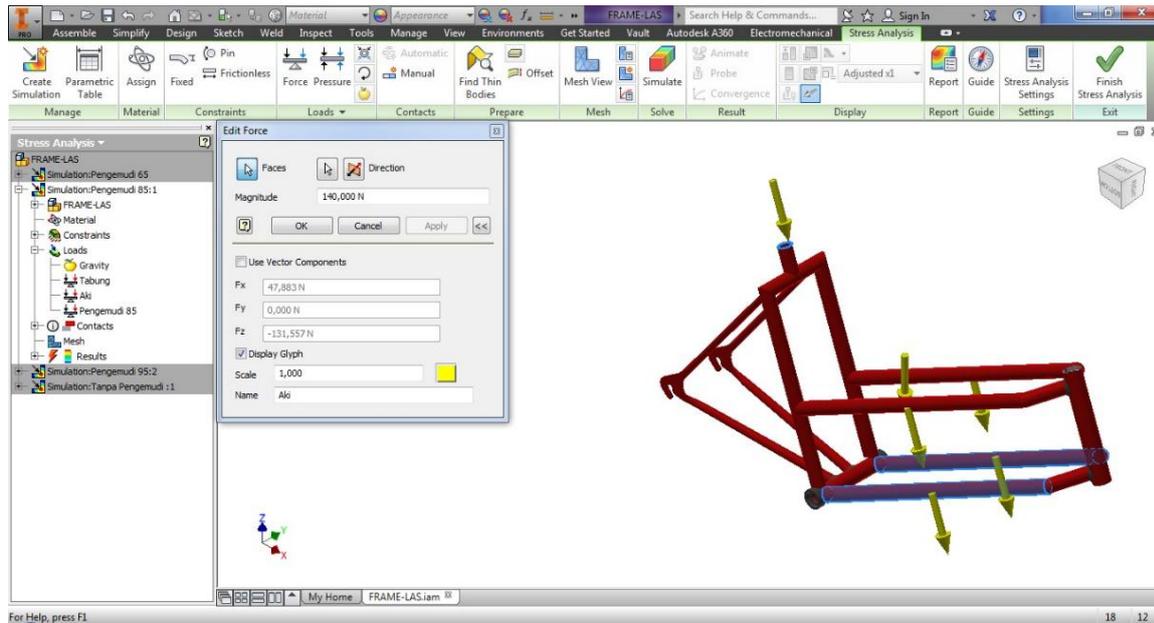
**Menentukan Constraint dan Pembebanan**

Langkah berikutnya adalah menentukan *constraint* dilakukan dengan acuan posisi dari tumpuan yang ada pada produk desain yang telah dimodelkan. *Constraints* dapat berupa *fixed constraints*, *pin constraints*, dan *friction constraints*. Sedangkan beban atau berat pengendara dibuat bervariasi mulai dari 0 kg , 65 kg, 85 kg dan 95 kg. Berikut akan ditampilkan hasil simulasi-simulai pada beban maksimal yaitu pada berat pengendara 95 kg.



Gambar 7. Tampilan *constraints* dengan beban pengendara 95 kg

Frame tidak hanya menerima beban dari pengendara saja, namun juga menerima beban dari berat frame itu sendiri, motor pneumatik, tabung udara beserta perlengkapannya.

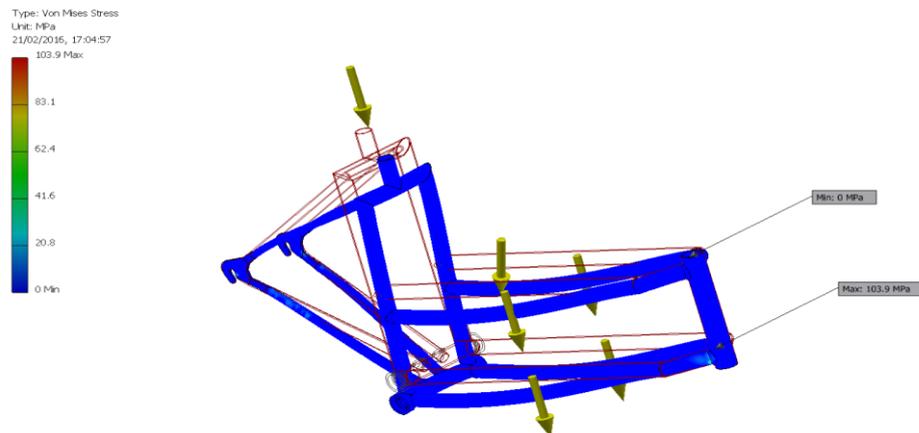


Gambar 8. Tampilan pembebanan gaya dengan beban pengendara 95 kg

### **Meshing, Running Program, dan Refinement Meshing**

Langkah utama dalam analisis struktur menggunakan metode elemen hingga adalah proses *meshing*, dimana sistem kontinyu benda yang akan dianalisis didiskritisasi sehingga struktur utama menjadi elemen-elemen yang memiliki ukuran lebih kecil dan berjumlah tertentu dan berhingga. Pada simulasi saat ini, frame dijadikan 60.385 *elements* dan 119.571 *nodes*.

Proses *Running* dilakukan setelah seluruh proses pra-analisa dan *meshing* dilakukan. Proses *running* tersebut berjalan dengan pembacaan proses perhitungan dengan metode *Finite Element Analysis (FEM)*.



Gambar 9. Hasil *refinement meshing*

Proses *Refinement Meshing* adalah proses penghalusan jumlah *element* dan *nodes* pada bagian yang mengalami tegangan yang kritis. Pada bagian yang mengalami tegangan maksimum tersebut, dilakukan proses *refinement meshing* dengan menggunakan fitur *local mesh control*.

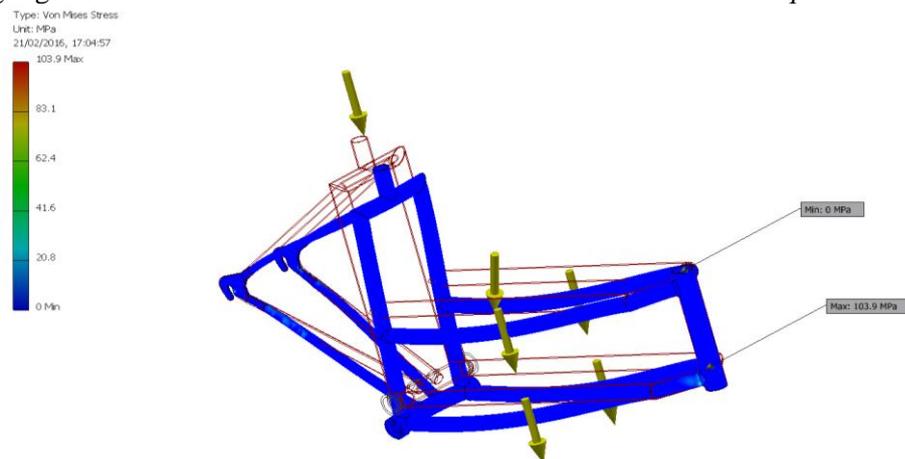
Proses ini dilakukan setelah proses *running* pertama selesai sehingga bisa didapat hasil yang akan lebih mendekati akurat.

### End Simulation

Setelah proses *running*, maka didapat hasil-hasil dari simulasi tersebut. Terdapat beberapa hasil yaitu berupa *von misses stress*, *1<sup>st</sup> principal stress*, *3<sup>rd</sup> principal stress*, *displacement*, dan *safety factor*.

### Von Misses Stress

Tegangan salah satu *post-processor* adalah hasil perhitungan hubungan tegangan – regangan pada model benda, regangan diperoleh dari *deformation* yang dialami model. Tegangan ekuivalen yang digunakan metode *Von-Mises*. Berikut ini ilustrasi hasil analisis *equivalent stress*.



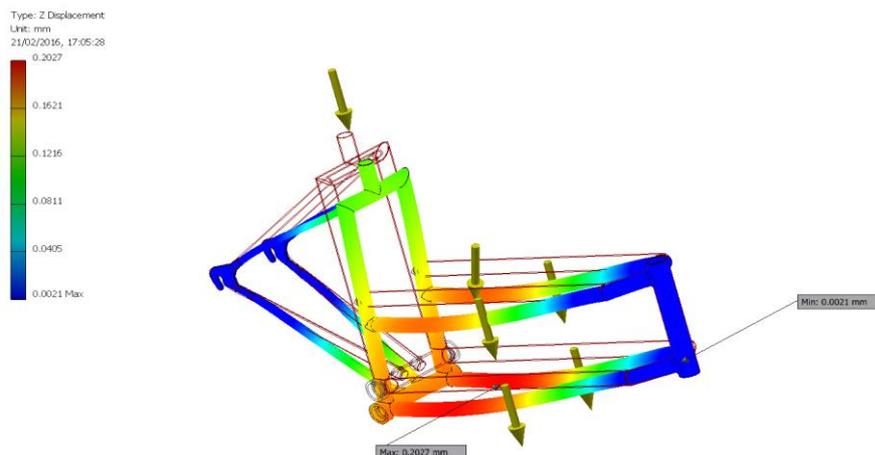
Gambar 10. Tampilan *Equivalent stress* dengan beban pengendara 95 kg

Tegangan ekuivalen maksimum terjadi di bagian las rangka bagian depan sebesar 103,9 MPa, kemudian tegangan ekuivalen minimum sebesar 0 MPa.

### Displacement

Hasil utama dari analisis struktur statis menggunakan metode elemen adalah *deformation* atau *displacement*. Berikut ini ilustrasi hasil analisis total *deformation* pada model.

Hasil simulasi menunjukkan bahwa total *deformation* terbesar ada pada rangka samping penyangga tempat duduk sebesar 0,2382 mm, dan total *deformation* terkecil ada pada bagian yang dekat dengan *fix Constraints* / daerah tumpuan yaitu sebesar 0 mm. Berikut ini ilustrasi total *deformation* dengan kondisi *undeformed shape* dari model.

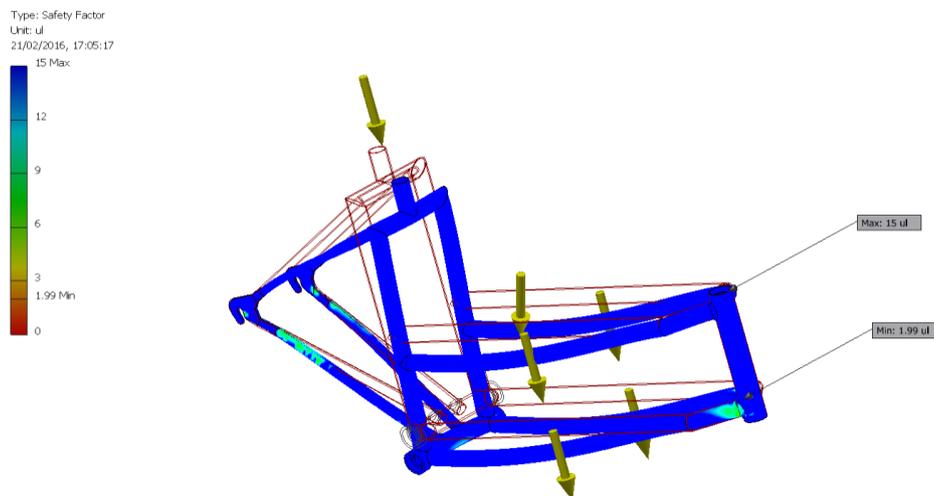


Gambar 11. Tampilan *displacement*

Total deformation dapat dijabarkan ke arah sumbu X, Y dan Z. Komponen perpindahan ini disebut *directional deformation*. *Displacement* terbesar hanya terjadi pada sumbu Z atau sumbu yang searah dengan gaya grafitasi. Hasil simulasi menunjukkan bahwa *X Axis – directional deformation* terbesar ada pada bagian tempat duduk pengendara = 0,1924 mm dan terkecil pada bagian rangka yang berwarna biru muda = 0,036 mm. *Displacement* pada arah sumbu Y terbesar ada pada rangka penyangga bawah = 0,08485mm, terkecil pada *head tube* = 0,08255 mm. Sedangkan *displacement* arah sumbu Z (arah ke atas-bawah) terbesar pada rangka bawah = 0,2027 mm, terkecil pada bagian *head tube* = 0,0021 mm. Ini berarti pada bagian-bagian tersebut berdeformasi ke bawah atau arah positif sumbu Z akibat pada bagian tersebut teraplikasi gaya sedang posisi aplikasi gaya tidak bergeser arah ke depan-belakang. Adapun deformasi total adalah superposisi dari deformasi arah sumbu X, Y dan Z.

### Safety Factor

*Safety factor* atau angka keamanan merupakan salah satu parameter penting untuk menentukan apakah suatu konstruksi itu aman atau tidak. *Safety Factor* merupakan perbandingan antara tegangan ijin bahan dengan tegangan yang terjadi. Konstruksi dinyatakan aman apabila angka keamanannya di atas satu.



Gambar 12. Tampilan *safety factor* saat dengan beban pengendara 95 kg

Tabel 1. Rekapitulasi simulasi konstruksi *frame*

Hasil Simulasi		Berat Pengendara			
		0 kg	65 kg	85 kg	95 kg
<i>Von misses</i>	<i>Maximum</i>	23,17 Mpa	76,07 MPa	94,67 MPa	103,9 MPa
	<i>Minimum</i>	0	0	0	0
<i>Displacement</i>	<i>Maximum</i>	0,08196 mm	0.1747 mm	0.2171 mm	0.2382 mm
	<i>Minimum</i>	0	0	0	0
<i>Principal Stress</i>	<i>Maximum</i>	27,65 MPa.	75,58 MPa	94,03 MPa	103,2 MPa
	<i>Minimum</i>	-5,13 MPa.	-26,41MPa	32,93 MPa	-36,2 MPa
<i>Shear Stress</i>	<i>Maximum</i>	2,9 MPa.	8.8MPa.	11 MPa	12 MPa
	<i>Minimum</i>	-22,86 MPa.	-112,1 MPa	-139,5 MPa	-153,3 MPa
<i>Safety factor</i>	<i>Maximum</i>	15	15	15	15
	<i>Minimum</i>	8,93	2,72	2,19	1,99

Dari Gambar 12 dan Tabel 1 terlihat bahwa pada pembebanan maksimum yaitu saat berat pengendara = 95 kg diperoleh angka keamanan tertinggi = 15 yaitu pada bagian *head tube* atas (*head set*), sedangkan angka keamanan terendah = 1,99 di *down-tube* bagian depan. Berdasarkan Dobrovolsky (*machine element*) bahwa untuk beban statis angka keamanan : 1,25 – 2 ; beban dinamis : 2 – 3 ; beban kejut 3 – 5. Konstruksi rangka sepeda tersebut masuk dalam kelompok beban dinamis sehingga angka keamanannya minimal 2,00 maka untuk berat pengendara 95 kg tidak aman, sedangkan untuk berat pengendara 85 kg ke bawah aman.

### Sepeda Hibrid Trisona Hasil Rancangan

Dari hasil proses manufaktur yang mengacu pada desain dan ukuran yang telah di depan, maka terciptalah satu unit prototip sepeda hybrid trisona seperti gambar di bawah ini.



Gambar 13. Penampakan sepeda hybrid trisona hasil rancangan

### UCAPAN TERIMA-KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya kepada Direktur Riset dan Pengabdian Kepada Masyarakat Kemenristek DIKTI yang telah memberi dukungan pendanaan terhadap penelitian ini melalui skim Penelitian Hibah Bersaing tahun anggaran 2016.

### KESIMPULAN

Berdasarkan hasil simulasi analisis kekuatan konstruksi frame sepeda trisona menggunakan *software autodesk inventor professional 2015* dapat disimpulkan bahwa konstruksi frame sepeda trisona aman untuk berat pengendara maksimal 85 kg.

### DAFTAR PUSTAKA

- [1] 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
- [2] Dobrovolsky, et al, 1974. *Machine Element*, Moscow MIR Publishers.
- [3] Luiz Carlos Gertz, et al, (2014). *Chassis Design for Electric Car Prototype*, SAE Technical Paper # 2014-36-2015.
- [4] Mahardika, A. P. (2011). *Introducing Autodesk Inventor*, Retrieved February 2013, from isometriview <http://isometriview.wordpress.com/2011/12/08/introducing-to-autodesk-inventor>.
- [5] M.M Tehrani, et al, (2011). *Design of Anti-Lock Regenerative Braking System for a Series Hybrid Electric Vehicle*, International Journal Automotive Engineering, Vol 1, Number 2, June 2011.
- [6] Pinem, Mhd. Daud, (2010). *Analisis Struktur dengan Metode Elemen Hingga (Finite Element Method)*, Bandung: Rekayasa Sains.

- [7] Saddam Jahidin, Jauhar Manfaat, (2013). *Rancang Bangun 3D Konstruksi Kapal Berbasis Autodesk Inventor untuk Menganalisa Berat Konstruksi*, Jurnal Teknik Pomits, Vol 2, No 1, ISSN ; 2337-3539 (2301-9271 Print).
- [8] Waguespack, Curtis. (2013). *Mastering Autodesk Inventor 2013 and Autodesk Inventor LT 2013*, Sybex.