

# Analisa *Fatigue* pada Rangka Sepeda Trandem dengan Menggunakan Metode Elemen Hingga

Arief Maulana, Julendra Bambang Ariatedja

Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember

*e-mail*: ariefcanga@gmail.com

**Abstrak**—Sepeda Trandem diciptakan untuk mengakomodir kebutuhan masyarakat akan sepeda solo dan sepeda tandem dalam satu sepeda. Oleh karena itu dibutuhkan penelitian-penelitian selanjutnya untuk melengkapi dan mendukung inovasi tersebut. Penelitian dimulai dengan studi literatur, studi awal, serta pengumpulan data-data dari penelitian sebelumnya yang nantinya akan dijadikan dasaran untuk melakukan permodelan pada perangkat lunak elemen hingga. Dilakukan permodelan dengan menggunakan solid meshing dengan ukuran 5 mm dan Span Angle Fine, serta pembebanan diakibatkan oleh pengendara dengan massa 100 kg tanpa memperhatikan kondisi jalan pada pembebanan minimum, dan memperhitungkan kondisi ketika menghadapi speed bump dengan tinggi  $\pm 0.2$  m sehingga diberikan koefisien dinamis sebesar 3, data yang akan didapatkan berupa Maximum Stress Principal (Von Mises), yang selanjutnya akan diolah menjadi *Fatigue Life* dan *Fatigue Safety Factor* dari sepeda Trandem. Hasil dari penelitian ini didapatkan bahwa terjadi *overdesign* dari segi *fatigue*, dikarenakan nilai *fatigue life* yang terlalu besar, sehingga dilakukan *improvement* pada rangka sepeda Trandem. *Improvement* dilakukan dengan mengecilkan ketebalan rangka sepeda Trandem, yang semula memiliki tebal sebesar 3 mm menjadi 1.5 mm, dan didapatkan penurunan nilai *fatigue life* yang signifikan menjadi  $\pm 18$  tahun dengan nilai *fatigue safety factor* 0.8626.

**Kata Kunci**—Analisa *Fatigue*, Metode Elemen Hingga, Sepeda.

## I. PENDAHULUAN

INDUSTRI sepeda di Indonesia merupakan salah satu industri yang maju di Indonesia, selain Cina, Taiwan, dan India [1]. Dan jumlah sepeda yang dipergunakan untuk *Bike-Sharing Program* di Asia mencapai angka 367,240 unit sepeda [2] yang membuktikan bahwa sepeda merupakan salah satu alat transportasi yang banyak digunakan.

Hal ini mendorong terciptanya banyak inovasi pada industri sepeda. Salah satu inovasi yang ada di Indonesia adalah sepeda Trandem yang diciptakan oleh bapak Bambang Iskandriawan M. Eng., dosen Desain Produk ITS. Sepeda Trandem adalah merupakan sepeda yang didesain untuk mengakomodir kebutuhan masyarakat akan sepeda solo dan sepeda tandem dalam satu sepeda. Dan untuk mendukung hal tersebut dibutuhkan analisa terhadap sepeda Trandem ini salah satunya *Fatigue Analysis* untuk mencari tahu *Fatigue Life* dan *Fatigue Safety Factor* dari rangka sepeda akibat dari pembebanan dengan metode elemen hingga (*Finite Element Method*).

Penggunaan *Fatigue Analysis* pada penelitian ini dimaksudkan untuk mencari *Fatigue Life* dan *Fatigue Safety*

*Factor* dari rangka sepeda Trandem. Penelitian ini diharapkan dapat menjadi referensi untuk penelitian selanjutnya,

Metode elemen hingga atau (*Finite Element Method*) merupakan metode analisa sebuah struktur dengan mendikritisasi sebuah benda kerja sehingga menjadi elemen dengan jumlah terbatas (*Finite*), penggunaan metode elemen hingga banyak dilakukan untuk menganalisa struktur dikarenakan lebih mudah dalam pengoperasian dan dirasa lebih akurat untuk pemaparan hasil dari analisa.

Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui *fatigue life*, dan *fatigue safety facator* dari rangka sepeda trandem sehingga diharapkan penelitian ini dapat menjadi masukan serta referensi untuk pengembangan sepeda Trandem kedepannya

Dan batasan dari penelitian ini diantaranya, analisa dan permodelan difokuskan pada bagian rangka sepeda Trandem, pengelasan dianggap baik dan *uniform*, pembebanan hanya berasal dari pengemudi dan beban dari sepeda sendiri, pembebanan yang terjadi pada sepeda hanya pembebanan statis, dan tidak ada cacat yang terjadi pada rangka sepeda Trandem.

## II. METODOLOGI PENELITIAN

### A. Prosedur Penelitian

Pada Gambar 1, secara garis besar penelitian ini dibagi menjadi beberapa tahapan diantaranya studi literatur dan pengambilan data yang nantinya data tersebut digunakan baik dalam pembuatan geometri dengan menggunakan perangkat lunak untuk menggambar teknik ataupun perangkat lunak elemen hingga untuk dilakukan simulasi statis, dan dilanjutkan dengan simulasi *fatigue* sesuai standard dan pembebanan operasional, dalam penelitian ini digunakan TBIS 4210-6:2018[3] lalu dilakukan validasi terhadap hasil simulasi dengan perhitungan manual, apabila hasil simulasi menyatakan adanya *overdesign* pada rangka sepeda maka diberikan *improvement* terhadap rangka sepeda dan dilakukan simulasi kembali agar dapat diketahui efek *improvement* dari rangka sepeda Trandem.



Gambar 1. Prosedur Penelitian Secara Garis Besar.

**B. Studi Literatur**

Studi Literatur dilakukan dengan mencari referensi terkait dengan penelitian ini, dari mulai buku, tugas akhir sebelumnya, jurnal, *website*, dan lain sebagainya. Beberapa refensi yang digunakan antara lain “Analisis *Fatigue* pada *Slewing Tower Level Luffing Crane* Berbasis Metode Elemen Hingga” [4] yang dijadikan penulis sebagai dasar dalam melakukan *fatigue analysis* pada penelitian ini, kemudian *Thesis* yang berjudul “*Fatigue Behaviour of 6061 Aluminium Alloy and Its Composite*” [5] yang berisikan data *fatigue* dari Al 6061 yang mana merupakan material yang digunakan pada penelitian kali ini, lalu yang berikutnya adalah “*Analisa Tegangan dan Deformed Shape pada Rangka Sepeda Fixie*”[6] yang dijadikan penulis sebagai salah satu dasar penentuan beban pada kondisi tertentu.

**C. Pengambilan Data**

Pengambilan data dilakukan melalui beberapa sumber, diantaranya untuk data geometri sepeda *Trandem* didapatkan dari tim sepeda *Trandem* dengan geometri seperti pada Gambar 2, dengan material Al 6061 [7] dimana data material akan dijelaskan pada Tabel 1. Untuk sifat mekanik, dan Tabel 2. Untuk data *fatigue* dari material tersebut.

Tabel 1.  
Data *Fatigue* dari Material Al 6061 [5]

Cycle (N)	Stress Amplitude (MPa)
$4.2 \times 10^3$	373.62
$6.5 \times 10^3$	348.35
$2 \times 10^4$	300
$9 \times 10^4$	254.94
$2.5 \times 10^5$	200
$5 \times 10^5$	170.33
$4.5 \times 10^6$	142.19
$4.1 \times 10^7$ – did not fail	121.97

Tabel 2  
*Mechanical Properties* dari Al 6061 [8]

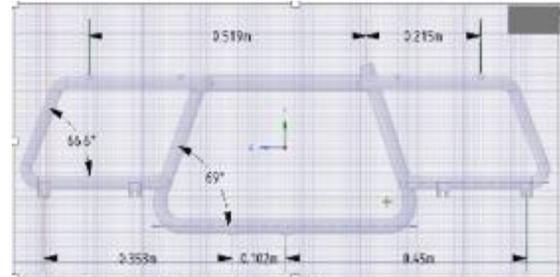
Properties	Unit (SI)
Ultimate Tensile Strength	310 MPa
Tensile Yield Strength	276 MPa
Modulus of Elasticity	68.9 GPa
Poisson’s Ratio	0.33
Fatigue Strength	96.5 MPa
Shear Modulus	26 GPa
Shear Strength	207 MPa
Density	2.7 g/cc

**D. Proses Simulasi**

Proses simulasi dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak elemen hingga, sebelum disimulasikan dengan perangkat lunak elemen hingga dilakukan pembuatan geometri rangka sepeda *trandem* seperti Gambar 2, yang nantinya dengan perangkat lunak elemen hingga dilakukan proses diskritisasi (*meshing*) yaitu pembagian geometri menjadi elemen elemen kecil dengan jumlah terbatas (*finite*), proses penentuan bentuk dan ukuran *meshing* dilakukan dengan melakukan uji konvergensi .

Jumlah dan ukuran elemen yang digunakan dalam penelitian kali ini akan ditentukan dengan melakukan uji konvergensi. Bentuk *meshing* yang diterapkan pada geometri rangka sepeda

*trandem* adalah *Automatic Mesh* dikarenakan sulit untuk mendapatkan kualitas *meshing* maksimum ketika diterapkan *Hex Dominant*. Dilakukan uji konvergensi dengan mengubah *Span Angle* dan ukuran *meshing* pada *Element Size*. Hasil simulasi berupa *Maximum Stress* dari setiap variasi akan dibandingkan dan dilakukan perhitungan *error*, apabila *element quality* sudah baik dan *error* dari simulasi sudah mencapai  $\leq 5\%$  maka *meshing* dapat dikatakan konvergen.



Gambar 2. Rangka dari Sepeda *Trandem* [7].

Uji konvergensi dilakukan dengan mengubah *span angle* dari *coarse*, *medium*, dan *fine*, dengan variasi ukuran *meshing* dari *default*, 10 mm, 9 mm, 8 mm, 7 mm, 6 mm, 5 mm, dan 4 mm.

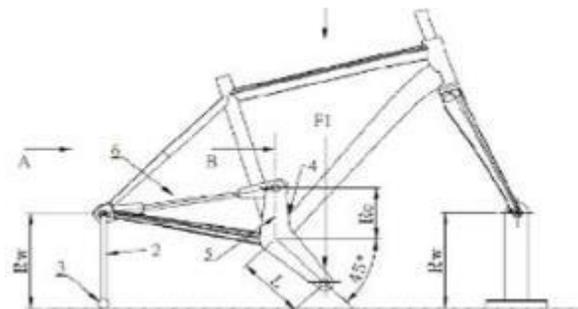
Didapat nilai *meshing* dengan *error* terendah berada pada ukuran 5 mm pada *span angle coarse*, *medium*, dan *fine*, dengan kualitas *meshing* sebesar 68%, 69% dan 70%. Berdasarkan hasil tersebut, ukuran *meshing* sebesar 5 mm dengan *span angle fine* dipilih untuk penelitian kali ini.

**E. Simulasi Sesuai Standard Taiwan Bicycle Industrial Standard (TBIS 4210-6:2018) [3]**

Pengujian *fatigue* mengacu kepada TBIS 4210-6:2018 terdiri dari 2 pengujian, yaitu pengujian terhadap *horizontal force*, dan *pedaling force*. Simulasi *fatigue* terhadap *horizontal force* dilakukan sesuai dengan Gambar 3., dengan kondisi pembebanan dilakukan seperti Gambar 4. Karena sepeda *Trandem* diperuntukan untuk penggunaan masyarakat perkotaan, oleh karena itu dipilih kasus *city and trekking bicycles* untuk pengujian *fatigue* pada kasus ini.



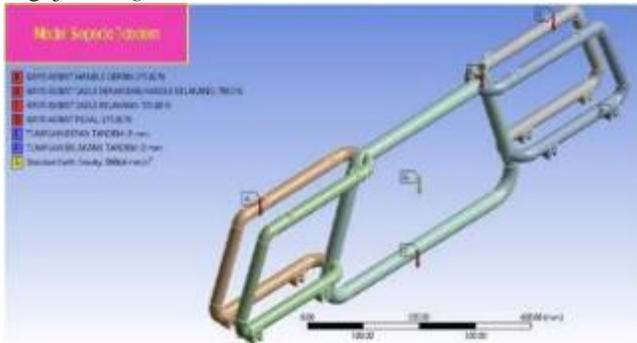
Gambar 3. Skema Pembebanan Terhadap *Horizontal Force*.



Gambar 4. Skema Pembebanan Terhadap *Pedaling Force*.

Dilakukan 2 tahap pengujian pada pengujian ini yaitu *stage 1* dan *stage 2*, dimana pada *stage 1* *frame* sepeda diharuskan untuk melewati 120000 *cycle* dengan gaya  $F_2$  dan  $F_3$  sebesar 450 N, dan pada *stage 2* sebanyak 100000 *cycle* dengan besar  $F_2$  dan  $F_3$  sebesar 500 N. Apabila sepeda dapat melalui *test cycle* tersebut maka sepeda dapat dikatakan aman. Simulasi dilakukan dengan *Load Condition* yang mengacu kepada TBIS 4210-6:2018

Untuk pengujian pedaling force dilakukan mengacu kepada TBIS 4210-6:2018 dengan kondisi seperti pada Gambar 4. dengan nilai  $F_1$  sebesar 1000 N untuk Stage 1 dan 1100 N untuk *stage 2*. Rangka Sepeda dapat dikatakan aman apabila dapat melalui 120.000 *cycle* untuk *stage 1*, dan 100.000 *cycle* untuk pengujian *stage 2*.



Gambar 5. Kondisi Pembebanan pada Rangka Sepeda Trandem.

**F. Simulasi dengan Pembebanan Operasional**

Pada simulasi ini pembebanan akan berasal dari beban operasional yang berasal dari 2 pengendara dengan massa 100 kg yang berlokasi pada bagian *sadle*, *handle*, dan *pedal* dari sepeda seperti pada Gambar 5, dengan pembagian pembebanan 22% dari beban pengemudi berada pada *handle*, dan *pedal*, dan sebesar 55% berada pada *sadle* [5] yang ditabulasi seperti pada Tabel 3. sebagai pembebanan dalam kondisi minimum. Beban maksimum didapat dari hasil perhitungan beban operasional pengemudi dengan memperhitungkan kondisi jalan yang yaitu pada kondisi kritis dimana pengendara menghadapi *road bump* dengan tinggi  $\pm 20$  cm, dan diberikan *Dynamic Factor* sebesar 3, sehingga gaya yang bekerja saat kondisi ini adalah 3 kali dari beban operasional [9] dengan kondisi pembebanan seperti pada Gambar 5. dengan besar pembebanan seperti pada Tabel 3.

Tabel 3.

Besar dan Lokasi Pembebanan Operasional

Lokasi Pembebanan	Besarnya (N)	
	Minimum	Maksimum
Handle	215.82	647.46
Sadle Depan + Handle Belakang	755.37	2266.11
Sadle Belakang	539.55	1618.65
Pedal	215.82	647.46
Beban Sepeda	20.9361	20.9361

**G. Simulasi Fatigue**

Simulasi *fatigue* dilakukan dengan menentukan jenis pembebanan pada tiap pengujian, untuk pengujian sesuai TBIS 4210-6:2018 pembebanan dilakukan secara *fully reversed* dengan *scale factor* sebesar -1 dengan *Mean Stress Theory* yang digunakan yaitu *Gerber*, lalu untuk simulasi *fatigue* akibat dari pembebanan operasional, terlebih dahulu dicari besarnya

tegangan maksimum akibat dari pembebanan minimum ( $\sigma_{min}$ ) dan maksimum ( $\sigma_{max}$ ), yang mana nilai tersebut digunakan sebagai dasaran perhitungan rasio tegangan siklik ( $R$ ) dengan Persamaan (1).

$$R = \frac{\sigma_{min}}{\sigma_{max}} \tag{1}$$

Setelah didapatkan nilai dari rasio tegangan siklik ( $R$ ) apabila nilai  $R = -1$  maka digunakan kondisi pembebanan *fully reversed*, dan apabila nilai  $R = 0$  atau  $R = \infty$  berarti kondisi pembebanannya adalah *zero based*, dan apabila nilai  $R$  bukan 0,  $\infty$ , atau -1 maka pembebanan yang terjadi adalah pembebanan siklik dengan rasio tegangan siklik dari hasil perhitungan persamaan (1), dengan *Mean Stress Theory* yaitu *Gerber*.

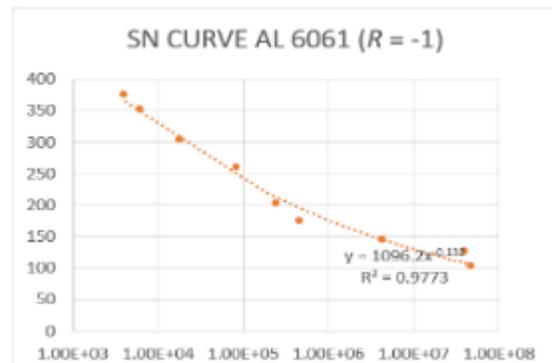
Persamaan *Gerber* dapat dilihat dari persamaan (2) adalah persamaan digunakan untuk mencari nilai dari *Alternating Stress* pada penelitian ini, yang nantinya nilai *Alternating Stress* akan digunakan dalam perhitungan untuk mencari nilai dari *fatigue life*.

$$Alternating\ Stress = \sigma_a \left( \frac{S_u^2}{S_u^2 - \sigma_m^2} \right) \tag{2}$$

**H. Tahap Validasi**

Tahap validasi dilakukan pada tiap tahapan simulasi dengan tujuan untuk mengetahui apakah simulasi sudah berjalan sesuai dengan teori atau belum. Validasi pada simulasi *fatigue* dilakukan validasi dengan membandingkan hasil simulasi dengan hasil perhitungan manual yaitu perhitungan dengan menggunakan persamaan dari grafik *S-N Curve Al 606*, Gambar 6 yang didapatkan dari hasil *plotting* data *fatigue Al 6061* ke dalam bentuk grafik melalui perangkat lunak *spreadsheet*, sehingga dapat diketahui *trendline* dari grafik sehingga hubungan antara *Alternating Stress* ( $S$ ) dan *Cycle* ( $N$ ) dari *Al 6061* dapat diketahui ke dalam bentuk persamaan (3).

$$S = 1096,2 \times N^{0,312} \tag{3}$$



Gambar 6. Grafik dari S-N Curve dari Al 6061 dalam Bentuk *Semi-log*.

Hasil *cycle* yang didapat nantinya akan dikonversi menjadi tahun dengan asumsi sepeda digunakan dengan kecepatan 20 km/jam dan beroperasi selama 24 jam sehari maka, dalam satu hari sepeda menempuh jarak sejauh 480 km dengan asumsi kedua yaitu dalam 1 km terjadi satu siklus beban siklik akibat irregularity pada jalan sehingga didapat 480 *cycle* dalam 1 hari. Sehingga *Fatigue Life* dari rangka sepeda dapat dikonversi menjadi tahun seperti perhitungan berikut:

1. *Cycle* per hari = 480 *cycle*/hari

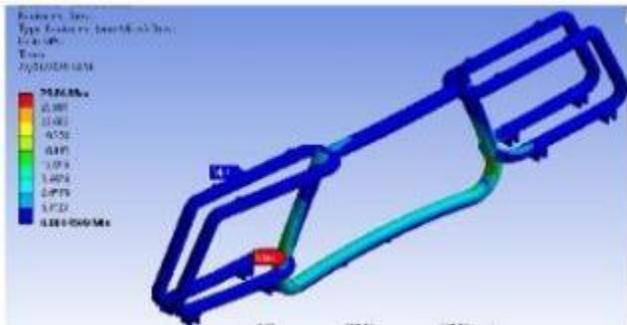
- 2. Dalam satu tahun = 365 hari/tahun x 480 cycle/hari  
= 175.200 cycle/tahun

Apabila hasil dari perbandingan perhitungan manual dengan hasil simulasi didapatkan *error* yang kecil maka dapat dikatakan bahwa simulasi *fatigue* yang dilakukan sudah sesuai dengan kenyataan aktualnya.

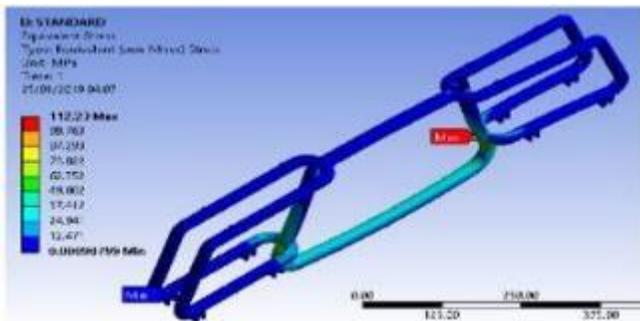
III. DATA HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Simulasi dengan Kondisi Pembebanan sesuai TBIS 4210-6:2018

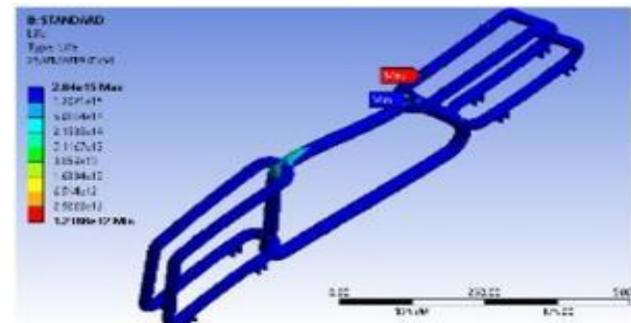
Didapat hasil Didapat *Maximum Stress* 29.06 MPa untuk pembebanan *horizontal force* pada Gambar 7, dan sebesar 112.21 MPa pada Gambar 8 untuk pembebanan *pedaling force*, dari hasil tersebut dapat dikatakan bahwa rangka ini aman dari segi statis dikarenakan masih jauh dibawah *Ultimate Strength* dari material Al 6061 T6, dan didapatkan *maxium Stress* berada pada lokasi sambungan yang sesuai dengan kondisi aktual dari pengujian *fatigue* pada rangka sepeda menurut TBIS 4210-6:2018, karena salah satu tujuan dari pengujian *fatigue* adalah untuk mengetahui kekuatan sambungan dari frame sepeda yang diujikan.



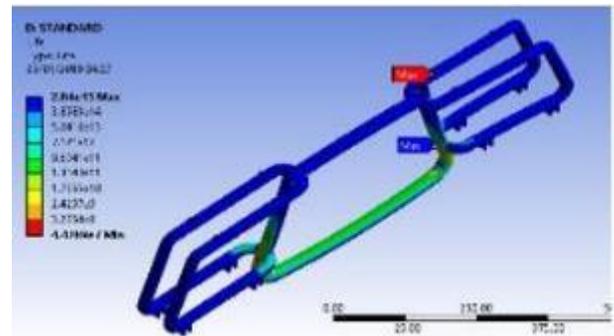
Gambar 7. Tegangan Maksimum Hasil Simulasi *Fatigue* Terhadap *Horizontal Force*.



Gambar 8. Tegangan Maksimum Hasil Simulasi *Fatigue* Terhadap *Pedaling Force*.



Gambar 9. Hasil *Fatigue Life* dari Simulasi Terhadap *Horizontal Force*.

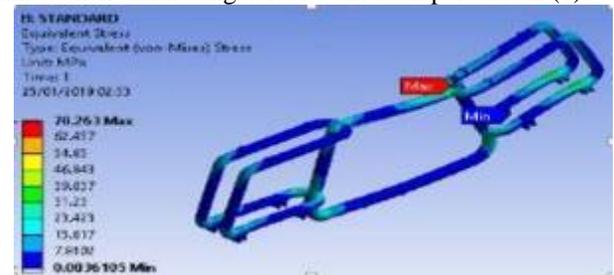


Gambar 10. Hasil *Fatigue Life* dari Simulasi Terhadap *Pedaling Force*.

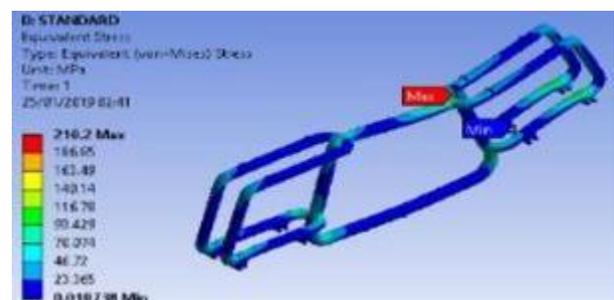
Didapatkan bahwa *Fatigue Life* dari sepeda tandem mencapai 2.84e15 cycle pada Gambar 9 dan *Fatigue Life* terendah yang dapat dicapai pada pengujian ini adalah sebesar 1.24e12 cycle pada Gambar 10 yang berlokasi pada sambungan las pada rangka sepeda, hal ini sejalan dengan besaran tegangan yang terjadi, dimana lokasi dengan tegangan terbesar memiliki nilai *Fatigue Life* yang terendah, begitu pula sebaliknya, yang mana rangka sepeda dapat dikatakan aman karena menurut TBIS 4210-6:2018 rangka harus melewati 120.000 cycle agar dapat dikatakan aman.

B. Hasil dari Simulasi dengan Beban Operasional

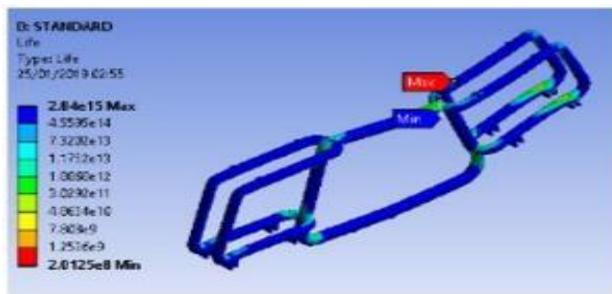
Dari data hasil simulasi didapat tegangan maksimum dari hasil pembebanan operasional minimum adalah sebesar 70.263 Mpa pada Gambar 11, dan tegangan maksimum hasil dari pembebanan operasional maksimum adalah sebesar 210.2 Mpa, Gambar 12. Lokasi terjadinya tegangan maksimum juga sama dengan hasil sebelumnya, dimana lokasi sambungan merupakan titik dimana terjadinya tegangan maksimum. Hasil diatas nantinya akan digunakan untuk mendapatkan nilai rasio tegangan siklik (R) melalui persamaan (1) dan didapatkan hasil rasio tegangan siklik sebesar 0.334278 yang menandakan bahwa pembebanan siklik yang terjadi tidak berasal dari pembebanan *fully reversed* atau *zero based* melainkan pembebanan siklik dengan rasio dari hasil persamaan (1).



Gambar 11. Hasil Tegangan Maksimum dari Kondisi Pembebanan Operasional Minimum.



Gambar 12. Hasil Tegangan Maksimum dari Kondisi Pembebanan Operasional Maksimum.



Gambar 13. *Fatigue Life* Hasil dari Pembebanan Operasional.

Pada Gambar 13, nilai rasio tegangan siklik nantinya akan digunakan untuk melakukan simulasi *fatigue* dan didapatkan hasil *fatigue life* sebesar  $2.84e15$  cycle maksimum, dan  $2.0125e8$  cycle minimum dimana dengan nilai *fatigue safety factor* sebesar  $0.8626 - 15$  dimana nilai 15 adalah *safety factor* maksimum yang dapat ditunjukkan oleh perangkat lunak elemen hingga yang digunakan dalam penelitian ini.

C. Perbandingan Hasil Simulasi dengan Perhitungan

Dilakukan perhitungan secara manual untuk melakukan validasi terhadap simulasi yang dilakukan. Pada simulasi *fatigue* dilakukan perhitungan manual untuk mengetahui nilai *alternating stress* dengan persamaan (2) yang dilanjutkan dengan mencari nilai *cycle* dari nilai *alternating stress* yang didapat dengan menggunakan persamaan (3) dilanjutkan dengan konversi *fatigue life* dari satuan *cycle* menjadi tahun dengan konversi yang sudah dibahas pada bagian sebelumnya. Dari hasil diatas didapatkan bahwa antara perhitungan manual dengan hasil simulasi memiliki selisih yang sedikit, sehingga dapat dikatakan bahwa simulasi sudah sesuai dengan teori yang ada. Hasil simulasi juga mengindikasikan adanya *overdesign* dari rangka sepeda dikarenakan *fatigue life* dari sepeda dirasa terlalu lama, oleh karena itu dimungkinkan dilakukan *improvement* terhadap sepeda agar tidak terjadi *overdesign*.

Tabel 4.

Perbandingan Hasil Perhitungan Manual dengan Hasil Simulasi		
	Perhitungan Tangan	Hasil Simulasi
TBIS <i>Horizontal Force</i>	$6.59e6$ Tahun	$7.19e6$ Tahun
TBIS <i>Pedaling Force</i>	183 Tahun	19.2 Tahun
Pembebanan Operasional	$2.96e6$ Tahun	$2.51e6$ Tahun

D. Improvement

Dari hasil pengujian sebelumnya, desain dari rangka sepeda Trandem ini mengalami *overdesign*, dikarenakan hasil dari *fatigue life* dirasa terlalu berlebih hingga mencapai ratusan tahun setelah dikonversikan kedalam tahun, sehingga dilakukan *improvement* terhadap desain dari rangka sepeda Trandem.

Terdapat banyak pilihan untuk melakukan *improvement* seperti melakukan pergantian material, atau pergantian bentuk dari geometri sepeda Trandem. Pergantian material terhadap desain ini dirasa belum dibutuhkan karena pemilihan material sudah dilakukan pada penelitiannya sebelumnya, dan didapat material *Al 6061* sebagai material optimum, sehingga pilihan *improvement* dapat dilakukan dengan pergantian dimensi atau geometri dari rangka sepeda Trandem.

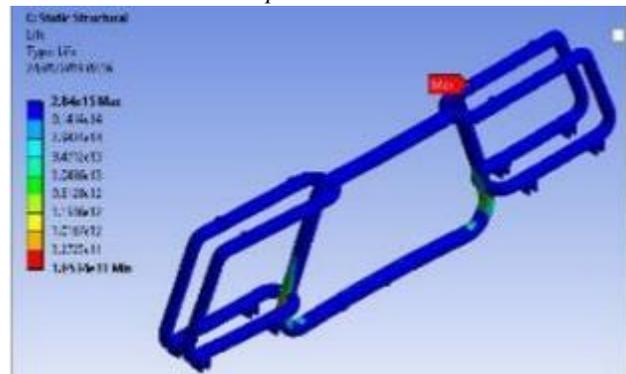
Perubahan geometri dari rangka sepeda Trandem urung dilakukan karena melihat nilai fungsional dari rangka sepeda Trandem berada pada bentuk geometri dari rangka sepeda Trandem itu sendiri, dan akhirnya dilakukan *improvement* berupa perubahan dimensi dari ketebalan rangka sepeda Trandem yang semula setebal 0.3 mm menjadi 0.15 mm.

Efek dari *improvement* tersebut didapatkan perubahan yang cukup jauh. Didapatkan *fatigue life* dari hasil *improvement* adalah sebesar  $1.053e11$  cycle dan  $2.95e6$  cycle untuk simulasi pada *horizontal force* dan *pedaling force* pada TBIS 4210-6:2018 pada Gambar 14 dan Gambar 15, dan *fatigue life* hasil dari pembebanan operasional adalah sebesar  $3.048e6$  cycle pada Gambar 16, dan tabulasi dari hasil simulasi dituangkan dalam Tabel 5.

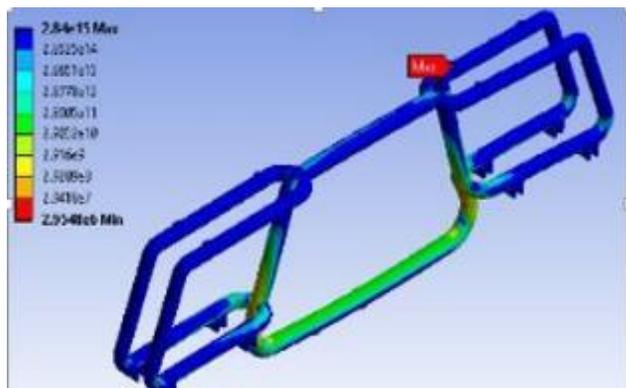
Tabel 5. Hasil Simulasi Setelah *Improvement*

	Design Sebelumnya	Hasil Improvement
TBIS <i>Horizontal Force</i>	$7.19e6$ Tahun	$6.1e5$ Tahun
TBIS <i>Pedaling Force</i>	251 Tahun	17.2 Tahun
Pembebanan Operasional	$1.51e6$ Tahun	<b>17.6 Tahun</b>

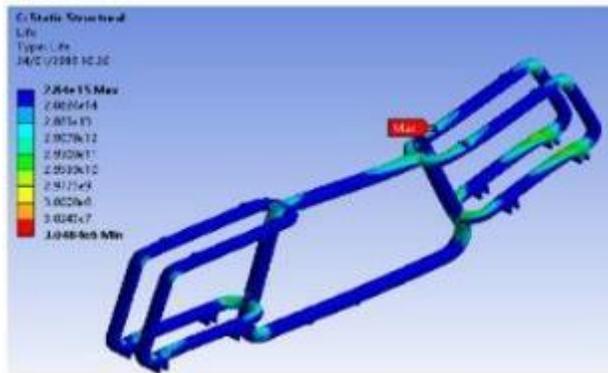
*Fatigue life* hasil *improvement* turun hingga menyentuh angka 18 tahun dengan *fatigue safety factor* sebesar  $1.0194 - 15$  yang mana hasil ini dirasa cukup, karena pada rangka sepeda dapat melalui pengujian *fatigue* dengan standar TBIS 4210-6:2018, dan pada simulasi *fatigue* oleh pembebanan operasional, sepeda dapat menahan beban 3 kali dari beban operasionalnya, sehingga rangka sepeda Trandem dirasa cukup aman setelah dilakukan *improvement*.



Gambar 14. Hasil *Fatigue Life* dari Rangka Hasil *Improvement* dengan Pembebanan dari *Horizontal Force*.



Gambar 15. Hasil *Fatigue Life* dari Rangka Hasil *Improvement* dengan Pembebanan dari *Pedaling Force*.



Gambar 16. Hasil *Fatigue Life* dari Rangka Hasil *Improvement* dengan Pembebanan Operasional.

#### IV. KESIMPULAN & SARAN

##### A. Kesimpulan

Berdasarkan simulasi yang sudah dilakukan terhadap rangka sepeda Trandem, didapatkan kesimpulan sebagai berikut :

1. *Fatigue Life* dari Sepeda Trandem berada pada nilai  $1.15e+3$  tahun berdasarkan perhitungan manual, dan hal ini sejalan dengan hasil simulasi yang menyatakan bahwa *Fatigue Life* dari sepeda trandem berada pada nilai  $1.17e+3$  tahun
2. *Fatigue Safety Factor* dari Sepeda Trandem berada pada rentang 0.8626 hingga 15 (Maksimum)
3. Terindikasi adanya overdesign dari sepeda dikarenakan hasil dari *fatigue life* mencapai angka hingga ratusan tahun, yang mana dirasa berlebihan, oleh karena itu dibutuhkan *improvement* terhadap geometri atau material dari rangka sepeda Trandem
4. Dilakukan *improvement* dengan merubah ketebalan rangka sepeda dari yang semula 3 mm menjadi 1.5 mm, dan didapatkan perubahan yang cukup besar, yang semula umur *fatigue* dari sepeda mencapai angka  $1.17e3$  tahun, umur *fatigue* dari rangka sepeda Trandem dapat turun mencapai 18 tahun dengan *fatigue safety factor* 1.09-15

##### B. Saran

Berdasarkan hasil, dan kendala selama proses simulasi ini maka penulis memberikan saran sebagai berikut :

1. Permodelan geometri bisa didetailkan lagi hingga terdefinisi bentuk dari fork dan sambungan yang aktual dengan geometri sesungguhnya
2. Pada proses simulasi didapatkan tegangan tertinggi pada bagian sambungan antara lokasi *saddle* dengan rangka sepeda, yang mungkin dapat diatasi dengan penambahan ketebalan, atau pergantian material
3. Dapat digunakan *Reversed Bending S-N Curve* untuk dilakukan dalam penelitian, karena diindikasikan kegagalan dapat terjadi akibat *bending*, dan juga *tensile/compression*

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] "Bicycle Production Reaches 130 Million Units | Worldwatch Institute."
- [2] "EPI Releases - Bicycle Share Fact Sheet | EPI."
- [3] Taiwan, *Taiwan Bicycle Standard 2018*. Taiwan, 2018.
- [4] H. A. R. Cahyono, J. B. Ariatedja, and J. B. Ariatedja, "Analisis *Fatigue* pada Slewing Tower Level Luffing Crane Berbasis Metode Elemen Hingga," *J. Tek. ITS*, vol. 7, no. 2, pp. B128–B133, Dec. 2018.
- [5] P. H. Lim and L. Looney, "Fatigue Behaviour of 6061 Aluminium Alloy and Its Composite Master in Engineering," 2001.
- [6] A. Berlianto, "Analisa Struktur Rangka Sepeda Fixie dengan Menggunakan Metode Elemen Hingga."
- [7] B. Iskandriawan, A. Windharto, and A. Dwi Krisbianto, "Main Frame Structure Exploration of Sliding Tandem Bike as the Effort to Enhance Product Feature."
- [8] "Mechanical Properties of Al 6061 T6."
- [9] J. Brown and A. Robertson, "Motor Vehicle Structures: Concepts and Fundamentals."