



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - TM141585

**PEMBUATAN SAMBUNGAN PART *SEAT TUBE* PADA
SEPEDA MENGGUNAKAN 3D PRINTER BERDASARKAN
*TOPOLOGY OPTIMIZATION DESIGN***

**DIYAN NICHOLAS SHERMAN TAPPO
NRP 2115105048**

**Dosen Pembimbing
Alief Wikarta, ST., M.Sc.Eng., Ph.D.**

**DEPARTEMEN TEKNIK MESIN
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018**

**PEMBUATAN SAMBUNGAN *PART SEAT TUBE* PADA
SEPEDA MENGGUNAKAN 3D PRINTER
BERDASARKAN *TOPOLOGI OPTIMIZATION DESIGN***

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Program Studi S-1 Departemen Teknik Mesin
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

DIYAN NICHOLAS SHERMAN T.

NRP. 021115 45 000048

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

- dr. M. Khoirul Effendi, ST., MSc. Eng.*
1. Alief Wikarta ST, MSc. Eng. Ph.D
NIP. 198202102006041002 (Pembimbing)
 2. Ir. Julendra B. Ariatedja, MT
NIP. 196807061999031004 (Penguji I)
 3. Ari Kurniawan Saputra, ST, MT
NIP. 198604012015041001 (Penguji II)
 4. Dinny Harnany, ST, MSc.
NIP. 2100201405001 (Penguji III)



SURABAYA

JULI, 2018

HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena atas berkat dan karunia-Nya tugas akhir ini dapat terselesaikan. Penulis sangat menyadari bahwa keberhasilan dalam penulisan tugas akhir ini tak lepas dari dukungan dan bantuan dari berbagai pihak. Melalui kesempatan kali ini penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih kepada pihak-pihak yang telah banyak membantu dan mendukung baik secara moril maupun materil dalam proses penyelesaian tugas akhir ini, antara lain:

1. Bapak Alief Wikarta, ST., MSc. Eng. Ph.D, selaku dosen pembimbing tugas akhir yang selalu memberikan saran, motivasi, dan ilmu-ilmu yang sangat bermanfaat bagi penulis.
2. Kedua orang tua tercinta yang senantiasa memberi dukungan dan doa sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini.
3. Bapak Ir. Dr. Agus Sigit Pramono, DEA., Bapak Ir. Julendra Bambang Ariatedja, MT., Bapak Ari Kurniawan Saputra, ST., MT., Bapak M. Khoirul Effendi, ST., M.Sc.Eng., Ibu Diny Harnany, ST., M.Sc., dan Ibu Latifah Nurahmi, ST., M.Sc., Ph.D. selaku dosen penguji baik ketika seminar proposal dan siding tugas akhir penulis, terima kasih atas saran-saran yang telah diberikan.
4. Bapak Dr. Wawan Aries Widodo, ST., MT. selaku Dosen wali penulis, terima kasih atas kebaikan dan kesabaran dalam mengarahkan penulis.
5. Rekan satu tim tugas akhir penulis, Muhamad Faisol dan Muhammad Fahrizal. Terima kasih atas waktu, tenaga dan kawan-kawannya. Tetap sukses kedepannya bro.
6. Teman-teman Lintas Jalur angkatan 2015 terutama pasukan 5 semester (dan 6 semester), terima kasih atas waktu, tenaga dan hiburan selama kuliah bersama.

7. 3D Zaiku, Rajawali 3D, dan Toko “Ojolali” yang telah banyak membantu menyediakan alat dan bahan tugas akhir.
8. Mbah (Teman Faisol dan Fahrizal) yang telah membantu dan memberikan saran selama proses *assembly* dari sepeda ini.
9. Vemba Giarini yang selalu menemani makan, jalan-jalan, mengerjakan skripsi dan kawan-kawannya.
10. Unsisil dan Ade yang telah menghibur penulis disaat sedang jenuh.
11. Yudha Wisnuwardhana, Ogi, dan Ijal yang selalu menyempatkan waktu untuk bermain “The Forest” dengan penulis.
12. Teman-teman dari Soroako yang selalu mendukung dan mendoakan penulis.
13. Seluruh Dosen dan karyawan Departemen Teknik Mesin ITS
14. Seluruh civitas akedemik Departemen Teknik Mesin ITS
15. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu oleh penulis.

Penulis menyadari masih banyak kekurangan dalam penyusunan tugas akhir ini, oleh karena itu saran dan kritik yang membangun dari semua pihak sangat penulis harapkan. Penulis berharap semoga tugas akhir ini dapat memberikan manfaat dan sumbangsih bagi perkembangan ilmu pengetahuan.

Surabaya, Juli 2018

Penulis

**PEMBUATAN SAMBUNGAN PART *HEAD TUBE* PADA
SEPEDA MENGGUNAKAN 3D PRINTER
BERDASARKAN *TOPOLOGY OPTIMIZATION DESIGN***

Nama Mahasiswa : Diyan Nicholas Sherman Tappo
NRP : 2115 105 048
Jurusan : Teknik Mesin FTI-ITS
Dosen Pembimbing : Alief Wikarta, ST, MSc.Eng, PhD.

ABSTRAK

Pengguna sepeda di Indonesia belakangan ini menunjukkan pertumbuhan yang pesat. Sejak diciptakannya sepeda pada abad ke 18 hingga saat ini, sepeda terus berkembang pada bentuk dan penggunaannya. Melihat dari sudut pandang konsumen sepeda, banyak yang lebih tertarik akan model sepeda yang berbeda dari model pada umumnya. Pada saat ini penyambungan antar komponen frame masih dilakukan dengan proses pengelasan namun pengelasan saat ini memiliki keterbatasan dalam penyambungan antar material seperti penyambungan antara aluminium dengan karbon atau untuk material lainnya. Untuk mempermudah proses penyambungan antar dua material yang berbeda dan tidak dimungkinkan dilakukan pengelasan maka proses penyambungan dapat dilakukan dengan cara mengganti sambungan las dengan komponen penyambung yang dibuat dengan menggunakan 3D Printer.

Tahapan pada penelitian ini terdiri dari pemodelan awal sambungan part pada sepeda, simulasi tahap awal dengan menggunakan ANSYS 18 yang meliputi pengaturan boundary condition, meshing dan analisis hasil. Kemudian dilanjutkan dengan simulasi Topology Optimization Design dengan mass retain 60%, 70% dan 80% dimana hasil dari simulasi tersebut akan dilakukan proses smoothing. Setelah itu dilanjutkan dengan simulasi tahap akhir dimana hasil smoothing tersebut diuji kembali dengan metode yang sama dengan simulasi tahap awal,

dan kemudian hasil analisis ini akan digunakan untuk menentukan desain terbaik. Tahap terakhir dari penelitian ini adalah dengan membuat model dari desain terbaik menggunakan 3D Printer, lalu dengan menguji coba sepeda yang telah disambung menggunakan part ini secara langsung.

Dari simulasi ini, desain terbaik terdapat dari hasil pengujian Pedalling pada mass retain 60% dimana tegangan maksimum yang terjadi pada part ini sebesar $6,4835E-05$ MPa untuk pengujian Pedalling Forces, $3,13E-5$ MPa untuk pengujian Horizontal Forces dan $2,1724$ MPa untuk pengujian Vertical Loads. Desain tersebut berhasil dibuat dan diuji meskipun masih ada beberapa evaluasi.

Kata Kunci : Topology optimization design, Prototyping dengan 3d Printer, CEN 14766, Frame Sepeda.

**DEVELOPMENT CONNECTOR OF HEAD TUBE PART
BIKE USING 3D PRINTER
BASED ON TOPOLOGY OPTIMIZATION DESIGN**

Name : Diyan Nicholas Sherman Tappo
NRP : 2115 105 048
Department : Teknik Mesin FTI-ITS
Academic Supervisor : Alief Wikarta, ST, MSc.Eng, PhD.

ABSTRACT

Bicycle users in Indonesia have recently shown rapid growth. Since the creation of bicycles in the 18th century to the present day, the bike continues to grow in shape and usage. Looking from the consumer's point of view of the bike, many are more interested in the different bike models of the model in general. At this time the interconnection between the frame components is still done by the welding process but the current welding has limitations in the interconnection of materials such as grafting between aluminum with carbon or for other materials. To facilitate the process of connecting between two different materials and not possible welding then the connection process can be done by replacing the welding connection with the connecting components made using 3D Printer.

The stages of this study consisted of the initial modeling of the connection of parts on the bicycle, the initial simulation using ANSYS 18 which included setting boundary conditions, meshing and result analysis. Then followed by Topology Optimization Design simulation with 60%, 70% and 80% mass retain where the result of the simulation will be smoothing process. After that it is followed by a final stage simulation where the smoothing results are re-tested with the same method as the initial stage simulation, and then the results of this analysis will be used to determine the best design. The last stage of this research is to create models from

the best design using 3D Printer, then by testing the bike that has been connected using this part directly.

From this simulation, the best design is from Pedaling result in 60% retain mass where the maximum stress that occurs in this part is $6,4835E-05$ MPa for Pedaling Forces test, $3,13E-5$ MPa for Horizontal Forces test and $2,1724$ MPa for testing Vertical Loads. The design was successfully created and tested although there are still some evaluations.

Key Word : Topology optimization design, Prototyping dengan 3d Printer, CEN 14766, Bike Frame.

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN.....	i
KATA PENGANTAR.....	iii
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL	xvi
BAB 1.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan Penelitian.....	4
1.5 Manfaat Penelitian.....	4
1.6 Sistematika Laporan	4
BAB 2.....	7
2.1 Pengenalan dan bagian <i>frame</i> United Miami XC02.....	7
2.1.1 Top Tube	9
2.1.2 Head Tube	9
2.1.3 Seat Tube	10
2.1.4 Down Tube	10
2.1.5 Seat Stay	10
2.1.6 Chain Stay	10
2.1.7 Bottom Bracket.....	10

2.2	Standar Pengujian CEN.....	11
2.2.1	<i>Frame - Fatigue Test with Horizontal Forces</i>	11
2.3	Metode Elemen Hingga (<i>Finite Element Method</i>).....	14
2.4	<i>Topology Optimization of 3d Structure using ANSYS and MATLAB</i>	16
2.5	Teori Kegagalan (<i>Fatigue</i>)	20
BAB 3	27
3.1	Digram Alir Penelitian.....	27
3.1.1	Studi Literatur dan Data Penelitian.....	29
3.1.2	Perancangan.....	30
3.1.3	Simulasi	30
3.1.4	Analisa Hasil Simulasi dan Kesimpulan.....	44
3.2	Evaluasi Hasil.....	44
BAB 4	45
4.1	Data Hasil Simulasi	45
4.1.1	<i>Frame - Fatigue Test with Horizontal Forces</i>	45
4.1.2	<i>Frame Fatigue Test with Pedalling Forces</i>	49
4.1.3	<i>Fatigue Test with Vertical Loads</i>	52
4.1.4	Penentuan Desain	56
4.2	Validasi Fatigue.....	59
4.2.1	AISI 4130	60
4.2.1	ePA-CF <i>Filament</i>	62
4.3	Pembuatan Part Sambungan	65
4.4	Uji Coba Desain dan Analisis Hasil Akhir	70

BAB 5.....	73
5.1 Kesimpulan.....	73
5.2 Saran.....	73
DAFTAR PUSTAKA.....	75
LAMPIRAN	77

HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Perbandingan <i>frame</i> sepeda antara (a) sambungan pengelasan dan (b) sambungan menggunakan part 3D Printer	3
Gambar 2.1	United Miami XC02 dan bagiannya	8
Gambar 2.2	Bagian-bagian <i>frame</i>	9
Gambar 2.3	<i>Fatigue Test with Horizontal Forces</i> [7]	12
Gambar 2.4	<i>Fatigue test with pedalling force</i> [7]	13
Gambar 2.5	<i>Fatigue test with vertical force</i> [7]	14
Gambar 2.6	<i>MBB beam menggunakan MATLAB</i> [1]	18
Gambar 2.7	<i>MBB beam menggunakan ANSYS</i> [1]	18
Gambar 2.8	<i>Cantilever beam menggunakan MATLAB</i> [1]....	19
Gambar 2.9	<i>Cantilever beam menggunakan ANSYS</i> [1].....	19
Gambar 2.10	<i>Amplitudo Tegangan</i> [8]	21
Gambar 2.11	<i>Diagram Soderberg</i> [8]	22
Gambar 2.12	<i>Tegangan Equivalen</i> [8]	23
Gambar 2.13	Diagram Pertumbuhan Fatigue [8]	25
Gambar 2.14	S_a vs N_f [8]	25
Gambar 3.1	Diagram alir tugas akhir	28
Gambar 3.2	Spesifikasi geometri <i>frame</i> United Miami XC02 (Sumber: Penulis).....	30
Gambar 3.3	Diagram alir simulasi	33
Gambar 3.4	Grafik hubungan antara tegangan maksimal	

	dengan ukuran <i>meshing</i>	35
Gambar 3.5	Pengaturan <i>boundary condition</i> dari pengujian <i>Frame Fatigue Test with Pedalling Forces</i>	36
Gambar 3.6	Pengaturan <i>boundary condition</i> dari pengujian <i>Fatigue Test with Horizontal Forces</i>	37
Gambar 3.7	Pengaturan <i>boundary condition</i> dari pengujian <i>Fatigue test with vertical loads</i>	38
Gambar 3.8	Pengujian (a) deformasi dan (b) tegangan	39
Gambar 3.9	Hasil geometri <i>Topology Optimization</i>	40
Gambar 3.10	Model hasil pemodelan kembali	41
Gambar 3.11	Pengujian pada model hasil pemodelan kembali (a) deformasi dan (b) tegangan	42
Gambar 3.12	3D Printer Sunhokey Prusa I3	43
Gambar 4.1	<i>Frame Impact Test</i> untuk melihat hasil (a) tegangan dan (b) deformasi yang terjadi pada <i>part</i> sambungan.....	46
Gambar 4.2	Hasil <i>topology</i> dari pengujian <i>Frame Impact Test</i> dengan (a) <i>mass retain</i> 60%, (b) <i>mass retain</i> 70% dan (c) <i>mass retain</i> 80%.....	48
Gambar 4.3	<i>Frame Fatigue Test with Pedalling Forces</i> untuk melihat hasil (a) tegangan dan (b) deformasi yang terjadi pada <i>part</i> sambungan.	50

Gambar 4.4	Hasil <i>topology</i> dari pengujian <i>Frame Fatigue Test with Pedalling Forces</i> dengan (a) <i>mass retain</i> 60%, (b) <i>mass retain</i> 70% dan (c) <i>mass retain</i> 80%	51
Gambar 4.5	<i>Fatigue Test with Vertical Forces</i> untuk melihat hasil .(a) tegangan dan (b) deformasi yang terjadi pada <i>part</i> sambungan.	53
Gambar 4.6	Hasil <i>topology</i> dari pengujian <i>Fatigue Test with Vertical Loads</i> dengan (a) <i>mass retain</i> 60%, (b) <i>mass retain</i> 70% dan (c) <i>mass retain</i> 80%	55
Gambar 4.7	Skema dalam penentuan desain yang akan dipilih.	57
Gambar 4.8	Grafik hubungan antara berat <i>part</i> sambungan dengan persentase <i>mass retain</i>	58
Gambar 4.9	Grafik perbandingan nilai <i>cycle</i> yang dianjurkan <i>standard</i> CEN 14766 dengan nilai <i>cycle</i> hasil hitungan	65
Gambar 4.10	Produk sambungan antara <i>Top Tube</i> dan <i>Seat Tube</i>	66
Gambar 4.11	Hasil <i>assembly</i> antara <i>part</i> penyambung dengan <i>frame</i> sepeda	70
Gambar 4.12	Sepeda dengan sambungan <i>3D Print</i> diuji coba.	71
Gambar 4.13	Retakan akibat beban hentakan	72

HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Hasil analisa MBB <i>beam</i>	17
Tabel 2.2	Hasil analisa <i>cantilever beam</i>	17
Tabel 3.1	Data <i>Meshing</i>	35
Tabel 4.1	Data Massa dan Stress untuk <i>part</i> sambungan yang terpilih dari desain	59
Tabel 4.2	Besar gaya yang terjadi untuk masing-masing pengujian	60
Tabel 4.3	Spesifikasi 3D Printer Sunhokey Prusa i3	66
Tabel 4.4	Parameter pengaturan printing	68

HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pengguna sepeda di Indonesia belakangan ini menunjukkan pertumbuhan yang pesat. Sejak diciptakannya sepeda pada abad ke 18 hingga saat ini, sepeda terus berkembang pada bentuk dan penggunaannya. Saat ini, beberapa material telah menjadi pilihan utama dalam hal perancangan dan pembuatan *frame* sepeda. Material-material yang sering digunakan dalam pembuatan *frame* adalah baja, aluminium, titanium dan *carbon fiber*. Beberapa dari material material tersebut memiliki kelebihan dan kelemahan masing-masing.

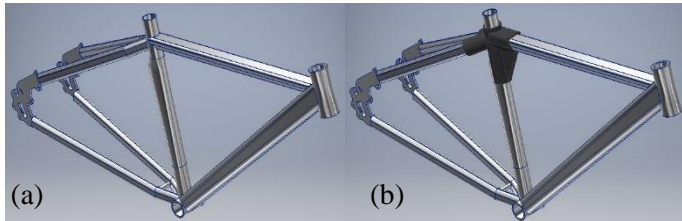
Melihat dari sudut pandang konsumen sepeda, banyak yang lebih tertarik akan model sepeda yang berbeda dari model pada umumnya. Hal ini akan menimbulkan proses produksi yang lebih sulit jika proses produksi masih dilakukan seperti saat ini. Salah satu proses yang membuat proses produksi semakin sulit adalah adalah proses penyambungan pada saat pembuatan *frame*. Kesulitan terdapat pada saat material pada *frame* diinginkan berbeda atau geometri yang sulit untuk dilakukan penyambungan. Pada saat ini penyambungan antar komponen *frame* masih dilakukan dengan proses pengelasan namun pengelasan saat ini memiliki keterbatasan dalam penyambungan antar material seperti penyambungan antara aluminium dengan karbon atau untuk material lainnya. Untuk mempermudah proses penyambungan antar dua material yang berbeda dan tidak dimungkinkan dilakukan pengelasan maka proses penyambungan dapat dilakukan dengan cara mengganti sambungan las dengan komponen penyambung yang dibuat dengan menggunakan *3D Printer* (Gambar 1.1).

Untuk mendapatkan geometri *part* sambungan yang optimal maka dilakukan *Topology Optimization Design*,

dimana fitur ini dapat mengoptimalkan suatu geometri hingga didapatkan geometri paling optimal pada pembebanan tertentu. Namun hasil dari proses *Topology Optimization Design* menghasilkan geometri yang rumit maka untuk membentuk geometri tersebut dapat dibuat dengan proses *3D Printer* dimana proses permesinan tidak mampu melakukannya.

Beberapa penelitian mengenai analisa *frame* sepeda sudah pernah dilakukan, seperti SIMULASI FATIGUE FRAME MOUNTAIN BIKE DENGAN VARIASI BAHAN DAN KETEBALAN MENGGUNAKAN STANDAR CEN 14766 oleh Irvan Hedapratama dari Institut Teknologi Sepuluh Nopember [1] Penelitian ini menganalisa *fatigue* pada *frame mountain bike* dengan menggunakan standar CEN 14766. Saat ini sambungan antar *frame* pada sepeda masih menggunakan pengelesan, hal tersebut akan menjadi masalah jika antar part *frame* yang akan disambung berbeda material. Untuk itu penyambungan akan dilakukan menggunakan *3D Printer*. Sedangkan untuk memaksimalkan hasil dari *3D Printer* maka dilakukan *topology optimization design* yang sudah pernah dilakukan, seperti *Topology optimization of 3d structure using ANSYS and MATLAB* oleh K. Atani, A. Makrizi dan B. Radi dari MISI dan LIMII Morocco [2] Penelitian ini menyajikan studi optimasi topologi tiga dimensi dari beberapa struktur, optimasi dilakukan dengan membandingkan perhitungan numerik menggunakan MATLAB dan secara geometris tiga dimensi menggunakan ANSYS.

Melihat belum adanya penelitian akan *topology optimization design* tentang sambungan *frame* sepeda menggunakan *3D Printer* mendorong penulis untuk mengambil tugas akhir dengan judul: “PEMBUATAN SAMBUNGAN PART PADA SEPEDA MENGGUNAKAN 3D PRINTER BERDASARKAN TOPOLOGY OPTIMIZATION DESIGN ”



Gambar 1.1 Perbandingan *frame* sepeda antara (a) sambungan pengelasan dan (b) sambungan menggunakan part 3D Printer

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah untuk melakukan optimasi pada sambungan antar komponen pembentuk *frame* sepeda:

1. Bagaimanakah hasil simulasi dari *frame* United Miami XC02 dengan menggunakan metode pengujian CEN 14766?
2. Bagaimanakah bentuk geometri yang paling optimum dari produk *Joining Frame Bicycle* dengan metode analisa *Topology Optimization Design*?
3. Bagaimanakah pembuatan produk *Joining Frame Bicycle* menggunakan *3D Printer*?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah dari tugas akhir ini adalah:

1. Sepeda yang digunakan sebagai patokan penelitian ini adalah sepeda United Miami XC02.
2. Produk yang dianalisis khusus sambungan dibawah *saddle*.
3. Analisa yang digunakan dengan cara simulasi menggunakan *software* berbasis metode element hingga.

4. Hasil dari simulasi yang hendak dianalisa adalah *maximum stress*, *deformation*, dan persentase pengurangan masa pada produk yang akan dibuat.
5. Hasil geometri dari proses *Topology Optimization Design* akan didekati dengan pembuatan model ulang untuk mencari *maximum stress*, dan *deformation* yang terjadi pada produk yang akan dibuat.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian untuk melakukan optimasi pada sambungan antar komponen pembentuk *frame* sepeda:

1. Mengetahui hasil simulasi dari *frame* United Miami XC02 dengan menggunakan metode pengujian CEN 14766.
2. Mengetahui bentuk geometri yang paling optimum dari produk *Joining Frame Bicycle* dengan metode analisa *Topology Optimization Design*.
3. Mengetahui pembuatan produk *Joining Frame Bicycle* menggunakan *3D Printer*.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Memberikan kajian baru terhadap pengembangan perancangan sepeda.
2. Sebagai sarana dari penelitian dan pengembangan ilmu di bidang *Topology Optimization Design*.
3. Data hasil penelitian dapat digunakan dan dijadikan sebagai referensi untuk penelitian selanjutnya.

1.6 Sistematika Laporan

Sistematika laporan terdiri dari 5 bab, dimana isi dari tiap bab berisi sebagai berikut:

Bab 1 Pendahuluan

Bab ini berisikan tentang latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian dan sistematika laporan.

Bab 2 Dasar Teori

Bab ini berisikan tentang dasar-dasar ilmu yang mendukung pengerjaan tugas akhir.

Bab 3 Metodologi

Bab ini berisi tentang langkah-langkah yang dilakukan untuk memperoleh hasil yang diinginkan dalam penelitian ini, baik langkah-langkah permodelan dan langkah-langkah simulasi.

Bab 4 Hasil dan Analisis

Berisi tentang analisis data hasil eksperimen yang telah dilakukan untuk mendapatkan suatu kesimpulan.

Bab 5 Kesimpulan dan Saran

Pada bagian ini berisi kesimpulan hasil dan saran untuk penelitian lebih lanjut.

HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN

BAB 2 DASAR TEORI

2.1 Pengenalan dan bagian *frame* United Miami XC02

United Miami XC02 merupakan salah satu produk yang dikeluarkan oleh produsen sepeda yaitu United. Produk ini merupakan perpaduan antara *road bike* dan *mountain bike*. Karena perpaduan tersebut maka produk ini banyak diminati oleh masyarakat.

Bagian-bagian dari United Miami XC02 secara garis besar dapat dilihat pada gambar 2.1, dibagi menjadi tujuh bagian yaitu:

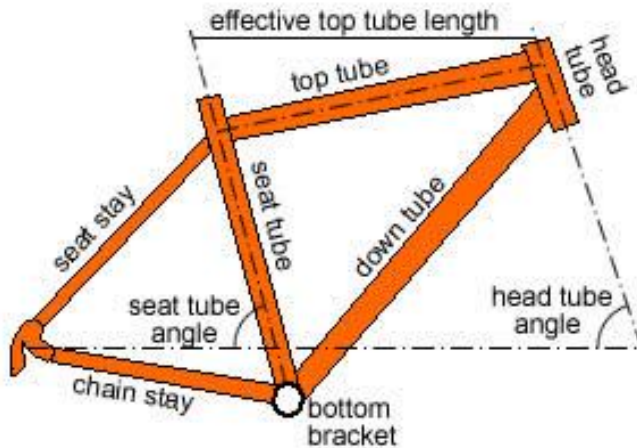
- A. *Saddle area*: di bagian ini terdapat tempat duduk pengendara (*saddle*), dan pipa penghubung antara *saddle* dengan *frame* (*seat post*).
- B. *Frame*: kerangka sepeda yang merupakan pipa-pipa yang disambung menjadi satu. Bagian pipa tersebut adalah: *top tube*, *down tube*, *seat tube*, *seat stay*, *chain stay*, dan *head tube*. *Frame* akan dijelaskan lebih lanjut pada sub-bab dibawah.
- C. *Front set*: pada bagian ini terdapat karet yang berguna sebagai pegangan serta kendali pengemudi (*handlebar grip*), bagian; depan *frame* sepeda (*head tube*), peredam getaran bagian depan (*shock absorber*), rem bagian depan.
- D. *Wheel*: terdapat bagian yang berupa jeruji-jeruji panjang (*spokes*), as kecil roda bagian depan (*hub*), velg bagian depan (*rim*), ban depan (*tire*), katup saluran angin untuk ban (*valve*).
- E. *Fork*: pada bagian ini untuk *mountain bike* terdapat suspensi sedangkan untuk *city bike* tidak menggunakan suspensi.

- F. Bagian yang berguna sebagai pijakan kaki (pedal) serta batang yang memindahkan gaya dari kaki menuju ke gear depan (*crank arm*).

Frame atau yang biasa disebut rangka sepeda merupakan salah satu komponen penting disepeda. Bahan pembentuk dari sepeda pun ada bermacam-macam, diantaranya: *Aluminium*, *Steel*, *Titanium* dan bahkan ada yang menggunakan bahan komposit yaitu *Carbon Fiber*. Pada gambar 2.2 dibawah ini adalah penjelasan dari bagian-bagian *frame*:



Gambar 2.1 United Miami XC02 dan bagiannya



Gambar 2.2 Bagian-bagian *frame*

2.1.1 Top Tube

Top tube adalah bagian atas dari rangka sepeda, yang panjangnya dapat menentukan ukuran frame dan penggunaan sepeda. Bagian ini menghubungkan *seat tube* dengan head tube.

2.1.2 Head Tube

Head tube merupakan bagian yang menghubungkan frame dengan fork. Pada head tube ada komponen bearing, letaknya di atas dan bawah lubang head tube. Bearing berfungsi untuk mengurangi hambatan karena gesekan sehingga memudahkan handling kemudi. Derajat kemiringan head tube atau head tube angle juga mempengaruhi handling pengemudi, apabila derajatnya makin kecil maka posisi duduk akan semakin menunduk dan bila derajatnya makin besar maka posisi tubuh akan lebih tegak.

2.1.3 Seat Tube

Seat tube merupakan bagian dengan fungsi sebagai dudukan dari seat post juga penghubung antara *seat stay* dan *chain stay*. Panjang maupun diameter *seat tube* sangat mempengaruhi ukuran frame serta jenis seat post. Pada *seat tube* biasanya terdapat *front derailleur* atau *bottle cage* (tempat minum).

2.1.4 Down Tube

Letak bagian ini berada di bawah yang tersambung diantara *head tube* dengan *bottom bracket*. *Down tube* memiliki variasi lengkungan yang berbeda-beda pada tiap jenis sepeda, hal ini dipengaruhi dari kegunaan dari sepeda tersebut.

2.1.5 Seat Stay

Seat stay berada pada bagian belakang sepeda, dan berfungsi untuk menopang *seat tube*, *chain stay* serta ban belakang. Ukuran panjang *seat stay* juga mempengaruhi *handling*, bila ukurannya semakin panjang maka semakin stabil akan tetapi bila ukurannya semakin pendek maka ketika digunakan maka semakin lincah

2.1.6 Chain Stay

Chain stay yang terletak di bagian bawah sepeda ini menghubungkan *seat stay* dan *bottom bracket*. Sama seperti *seat stay*, ukuran panjang *chain stay* juga mempengaruhi *handling*. Apabila *chain stay* panjang maka sepeda tidak akan gampang terangkat ketika menuruni bukit, sebaliknya apabila *chain stay* pendek maka sepeda akan lebih mudah ketika berbelok ketika menghindari bebatuan.

2.1.7 Bottom Bracket

Bottom Bracket terletak dibagian bawah *seat tube* yang menghubungkan *chain stay*, *seat tube* dan *down tube* dalam satu *frame*. Bagian ini juga berfungsi sebagai dudukan dari *as crankset*. Ada banyak ukuran panjang diameter luar untuk

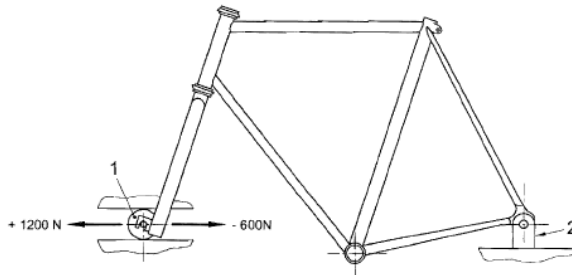
bottom bracket yaitu: 68 mm, 70 mm, 73 mm, 83 mm, dan 100 mm akan tetapi produsen sepeda saat ini lebih banyak memakai ukuran 68 mm dan 73 mm pada *city bike*.

2.2 Standar Pengujian CEN

Pada penelitian ini menggunakan acuan standar CEN (*The European Committee for standardization*) yang merupakan standar resmi eropa. CEN menyediakan platform untuk pengembangan standar eropa dan dokumen teknis lainnya untuk berbagai macam produk termasuk sepeda. Banyak nomor seri untuk sepeda yang disediakan oleh CEN seperti: CEN 14764 (*City Bike*), CEN 14781 (*Racing Bike*), CEN 14766 (*Mountain Bike*) dan lain-lain. Isi dari CEN untuk sepeda adalah standar pengujian dari komponen-komponen sepeda dengan tujuan agar hasil produk yang dihasilkan nanti mempunyai lifetime pemakaian yang lama serta aman ketika digunakan. Dalam penelitian ini standar yang dipakai adalah CEN 14766 yang masuk kategori sepeda *Mountain Bike*. Untuk komponen *mountain bike* dalam CEN 14766 ada beberapa pengujian dalam standar lab yang ada sebelum sepeda dijual secara umum. Berikut adalah penjelasan isi dari standar pengujian frame CEN 14766:

2.2.1 *Frame - Fatigue Test with Horizontal Forces*

Pada pengujian ini frame akan diberikan gaya secara horisontal pada bagian *fork* lalu fix pada bagian *rear end* seperti Gambar 2.3. Pengujian dilakukan untuk melihat apakah *frame* retak atau patah dengan beban *fatigue* searah horisontal dengan siklus yang sudah ditetapkan (50.000 siklus). Bila tidak terdapat retak atau patah pada pipa atau sambungan *frame* sesuai siklus yang ditetapkan maka *frame* lolos uji.



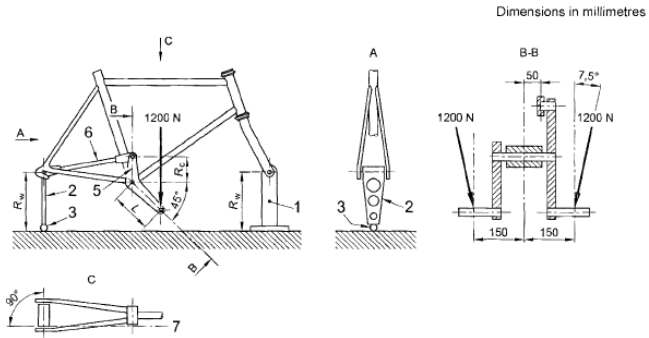
Key

- 1 Free-running guided roller
- 2 Rigid, pivoted mounting for rear axle attachment point

Gambar 2.3 *Fatigue Test with Horizontal Forces* [7]

2.2.2 *Frame Fatigue Test with Pedalling Forces*

Pengujian frame pada Gambar 2.4 ini bertujuan untuk mengetahui apakah frame dapat menahan beban fatigue yang disebabkan oleh gaya yang ditekan pada pedal sepeda dengan batas siklus yang ditentukan.

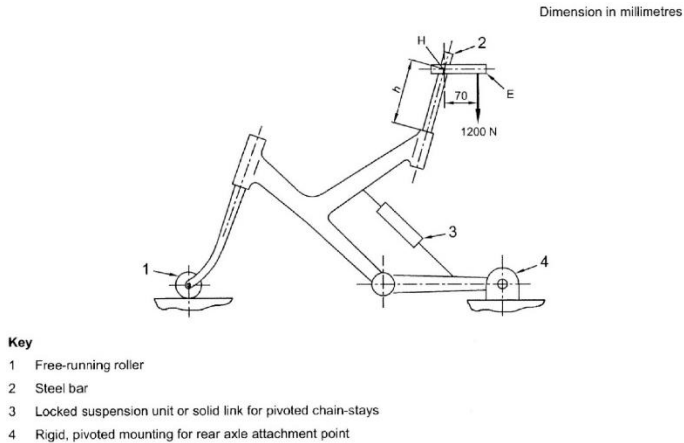


- Key**
- R_w Height of rigid mount and vertical link
 - R_c Length of vertical arm (75 mm)
 - L Length of crank replacement (175 mm)
 - 1 Rigid mount
 - 2 Vertical link
 - 3 Ball-joint
 - 4 Adaptor assembly
 - 5 Vertical arm
 - 6 Tie-rod
 - 7 Centre-line of tie-rod

Gambar 2.4 *Fatigue test with pedalling forces* [7]

2.2.3 *Fatigue Test with Vertical Loads*

Pada pengujian ini frame akan diberikan gaya secara vertikal pada bagian *seat tube* lalu fix pada bagian *rear end* seperti Gambar 2.5. Pengujian dilakukan untuk melihat apakah *frame* retak atau patah dengan beban *fatigue* searah vertikal dengan siklus yang sudah ditetapkan (50.000 siklus). Bila tidak terdapat retak atau patah pada pipa atau sambungan *frame* sesuai siklus yang ditetapkan maka *frame* lolos uji.



Gambar 2.5 *Fatigue test with vertical loads* [7]

2.3 Metode Elemen Hingga (*Finite Element Method*)

Pada tahun 1950 *Finite Element Method* (FEM) atau biasanya disebut *Finite Element Analysis* (FEA) pertama kali diperkenalkan dan mengalami banyak perkembangan hingga saat ini. FEM adalah prosedur numeris yang bisa digunakan untuk menyelesaikan masalah-masalah dalam bidang rekayasa (*engineering*), seperti analisa tegangan pada struktur, perpindahan panas, dan aliran fluida.

Perkembangan metode elemen hingga yang saat ini dapat dilihat salah satu contohnya ada dalam industri sepeda motor. Dengan dibantu metode elemen hingga, proses analisis dan evaluasi yang mencakup keseluruhan aspek termasuk unjuk kerja desain dari sepeda motor baru tersebut dapat dilakukan bertahun-tahun sebelum produk sepeda motor tersebut dijual ke pasaran. Metode ini dapat menganalisa kekuatan dari seluruh komponen-komponen sepeda motor, sifat dan ketahanan *fatigue* dan juga tegangan yang dapat timbul dari frame sepeda motor.

Metode ini digunakan ketika masalah-masalah rekayasa dimana *exact solution / analytical solution* tidak dapat diselesaikan. Pada intinya, FEM membagi suatu benda yang akan dianalisa menjadi bagian-bagian kecil dengan jumlah hingga (*finite*). Bagian-bagian ini disebut elemen, dan tiap elemen yang satu dengan lainnya dihubungkan dengan nodal (*node*) lalu dibangun persamaan matematika yang menjadi representasi benda tersebut. Proses pembagian benda menjadi beberapa bagian disebut *meshing*.

FEM memakai prosedur numerik untuk menyelesaikan masalah yang diatur menggunakan persamaan differensial. Yang membedakan karakteristik FEM dengan prosedur numerik lain yaitu:

1. FEM memakai pers integral sebagai penyelesaiannya untuk menghasilkan sistem persamaan aljabar.
2. FEM juga memakai fungsi kontinyu untuk mendeteksi kuantitas yang tidak diketahui.

Ada lima langkah dasar dalam FEM, yaitu:

1. Mendeskripsikan daerah-daerah yang meliputi penempatan, penomoran, dan juga penentuan koordinat dari titik-titik nodal.
2. Menentukan derajat ataupun orde persamaan dengan pendekatan linear atau kuadratik. Persamaan dinyatakan sebagai fungsi nodal.
3. Penyusunan sistem persamaan-persamaan.
4. Penyelesaian sistem persamaan-persamaan.
5. Penghitungan kuantitas yang dicari, kuantitas dapat berupa komponen tegangan dan lain-lain.

Akhirnya pada struktur penyelesaian didapat deformasi di setiap nodal yang kemudian digunakan untuk mendapatkan besar-besaran regangan (*strain*) dan tegangan (*stress*). Pada

umumnya FEM memakai metode matriks dalam penyelesaiannya sehingga membutuhkan proses perhitungan yang banyak dan berulang-ulang dengan persamaan yang sama, karena itu digunakan media berupa komputer dengan bahasa pemrogramannya.

Saat ini banyak sekali perangkat lunak (*software*) yang berfungsi untuk menganalisa dengan metode elemen hingga (*finite element*) salah satunya adalah Autodesk Inventor. Software ini juga dapat membantu analis dan melakukan tugas dalam hal:

- Membuat model 3D atau mentransfer file CAD (*Computer Aided Design*) dari sebuah produk, komponen, struktur maupun sistem.
- Melakukan tes dari *prototype* yang berkerja dalam lingkungan yang kurang memungkinkan. Seperti: pengeboran, alat medis, dan lain-lain.
- Mengaplikasikan beban sesuai dengan kenyataan dan juga kondisi parameter desain lainnya.
- Mengoptimalkan desain awal dari model dalam usaha agar performa model dapat diperbaiki dan juga untuk pengurangan biaya produksi.
- Mempelajari respon fisik model sebagai akibat dari pembebanan yang terjadi, seperti tingkat tegangan (*stress level*), distribusi temperatur, dan atau pengaruh medan elektromagnetik.

2.4 *Topology Optimization of 3d Structure using ANSYS and MATLAB*

Pada tahun 2001 K. Atani, A. Makrizi dan B. Radi melakukan penelitian mengenai *topology optimization design* yang berjudul “*Topology Optimization of 3d Structure using ANSYS and MATLAB*” [1]. Penelitian ini membandingkan hasil *topology optimization* dari *software* ANSYS dengan *software*

MATLAB, simulasi dilakukan pada kasus MBB *beam* dan *cantilever beam*.

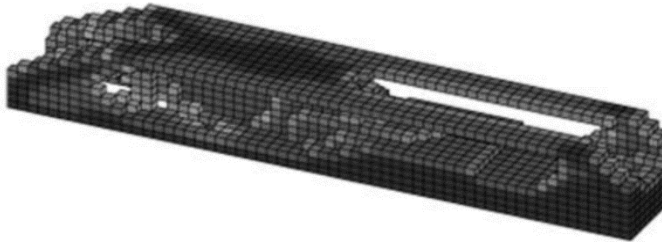
Setelah dilakukan simulasi, ditemukan hasil simulasi yang identik baik dari hasil *software* ANSYS maupun dari *software* MATLAB. Hasil dari analisa MBB *beam* ditunjukkan pada tabel 2.1 dan 2.2. Tampak visual dari hasil simulasi ditunjukkan pada gambar 2.6, 2.7, 2.8 dan 2.9.

Tabel 2.1 Hasil analisa MBB *beam*

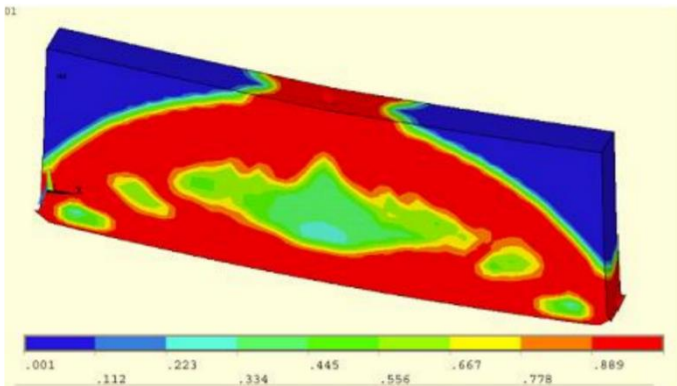
	U_x	U_y	U_z	ϵ_{vmtot}	σ_{vm}
Nodes	1	3570	1	2341	4681
Minimum	-	-	-	0,1.10 ⁻²	0,42.10 ⁻⁵
m	0,48.10 ⁻³	0,8.10 ⁻³	0,85.10 ⁻³		
Nodes	60	60	3601	1	1
Maximum	-	0,22.10 ⁻⁴	0,22.10 ⁻⁴	0,25.10 ⁻²	0,25.10 ⁻⁷
m	0,16.10 ⁻³				

Tabel 2.2 Hasil analisa *cantilever beam*

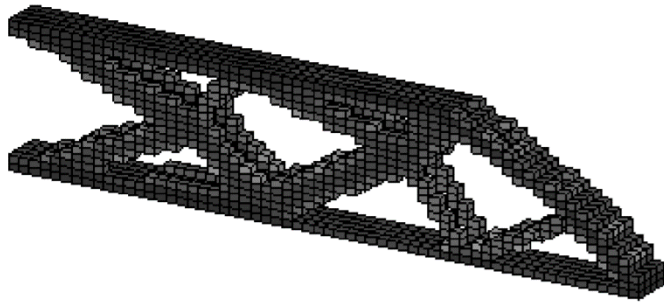
	U_x	U_y	U_z	ϵ_{vmtot}	σ_{vm}
Nodes	1	3570	1	2341	4681
Minimum	-	-	-	0,21.10 ⁻²	1,52.10 ⁻⁴
m	0,19.10 ⁻²	0,84.10 ⁻²	0,25.10 ⁻³		
Nodes	60	60	3601	1	1
Maximum	0,16.10 ⁻²	-	0,25.10 ⁻⁴	0,11.10 ⁻²	0,46.10 ⁻⁷
m		0,48.10 ⁻²			



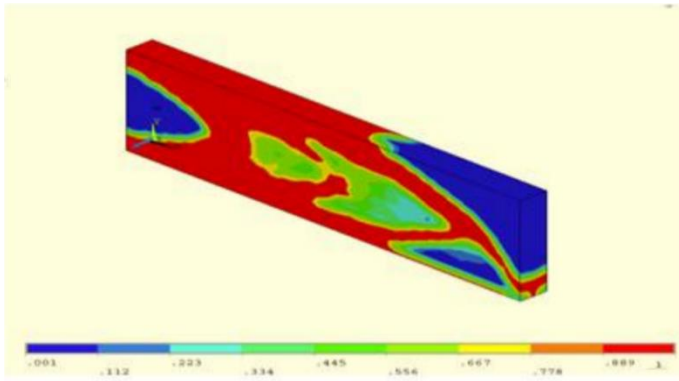
Gambar 2.6 MBB *beam* menggunakan MATLAB [1]



Gambar 2.7 MBB *beam* menggunakan ANSYS [1]



Gambar 2.8 *Cantilever beam* menggunakan MATLAB [1]



Gambar 2.9 *Cantilever beam* menggunakan ANSYS [1]

2.5 Teori Kegagalan (*Fatigue*)

Dalam merancang suatu desain teknik, salah satu hal dasar yang perlu dipertimbangkan adalah menentukan batas tegangan atas dan batas tegangan bawah yang akan diterima material tersebut. Batas tegangan ini akan menghasilkan tegangan yang berfluktuasi. Bagian dari komponen tegangan yang akan diuraikan beberapa diantaranya seperti dalam Gambar 2.10 adalah [8]:

Siklus tegangan berfluktuasi mempunyai dua komponen dasar yaitu tegangan rata-rata S_m , dan tegangan amplitudo S_a , sedangkan S_r adalah rentang tegangan (*Range*) yang merupakan perbedaan selisih antara tegangan maksimum dan minimum pada siklus.

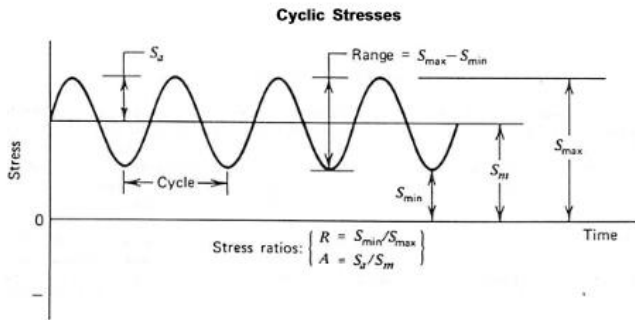
$$S_r = S_{maks} - S_{min} \dots\dots\dots (2.1)$$

Untuk besarnya tegangan bolak-balik S_a (amplitudo), adalah setengah dari daerah batas tegangan S_r :

$$S_a = \frac{S_r}{2} = \frac{S_{maks} - S_{min}}{2} \dots\dots\dots (2.2)$$

Lalu tegangan rata-rata S_m (*mean stress*), adalah setengah dari penjumlahan tegangan maksimum dan minimum.

$$S_m = \frac{S_{maks} + S_{min}}{2} \dots\dots\dots (2.3)$$



Gambar 2.10 Amplitudo Tegangan [8]

Untuk rumus pada data-data kelelahan, menggunakan dua besaran perbandingan yaitu sebagai berikut:

- Perbandingan tegangan: $R = \frac{S_{min}}{S_{maks}} \dots \dots \dots (2.4)$
- Perbandingan amplitudo: $A = \frac{S_a}{S_m} = \frac{1-R}{1+R} \dots \dots \dots (2.5)$

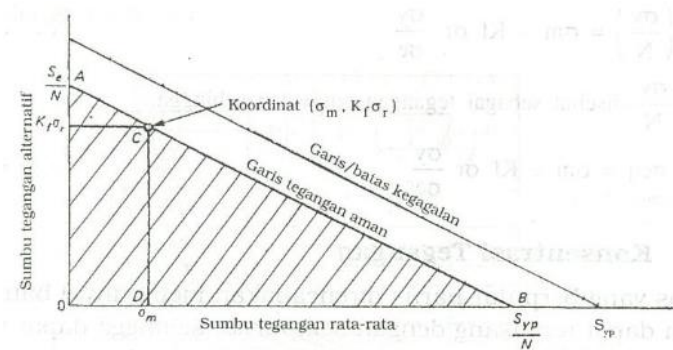
Ada beberapa teori kegagalan yang sudah diungkapkan oleh para ilmuwan, diantaranya adalah sebagai berikut:

- Kriteria Soderberg

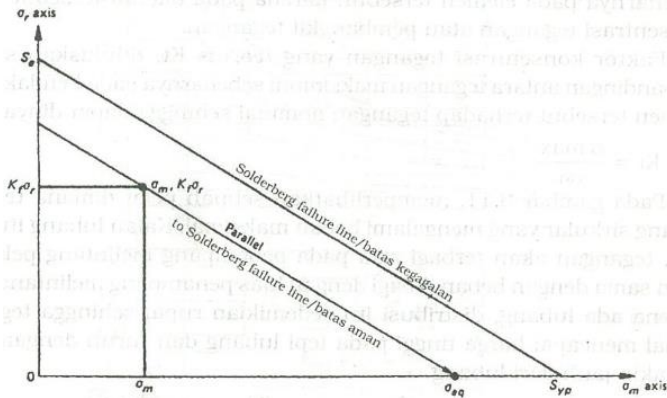
Ilmuan bernama soderberg membuat diagram seperti gambar 2.11 ketika diagram ini dibuat, *endurance limit* (S_e) dan tegangan luluh (S_y) memegang peranan yang sangat penting. Dalam diagram soderberg, S_e dan S_y diplotkan dalam sumbu koordinat yang mana S_e arah sumbu ordinat dan S_y arah sumbu absis. Garis lurus ditarik dari titik S_e dan S_y sehingga menghasilkan garis yang disebut garis kegagalan. Lalu apabila faktor keamanan (N) dimasukkan, maka didapatkan dua titik yaitu S_e / N dan S_y / N kemudian ditarik kembali garis

lurus yang sejajar dengan garis kegagalan, garis ini disebut garis tegangan yang aman. Garis tegangan yang aman adalah garis batas daerah aman terhadap tegangan fluktuasi tersebut.

Apabila faktor konsentrasi tegangan lelah (K_f) dimasukkan, maka S_r dikalikan dengan K_f , sehingga titik C didapatkan dari titik perpotongan antara S_m dan $K_f S_r$ didalam batas aman. Seperti dalam Gambar 2.11 berikut:



Gambar 2.11 Diagram Soderberg [8]



Gambar 2.12 Tegangan Equivalen [8]

Pada Gambar 2.11 dalam diagram dapat dilihat segitiga AOB dan segitiga CDB serupa sehingga didapatkan hubungan seperti berikut ini:

$$\frac{\left(\frac{S_y}{N}\right) - S_m}{K_f \cdot S_r} = \frac{S_y}{S_e} \dots\dots\dots (2.6)$$

$$\left(\frac{S_y}{N}\right) = S_m + K_f S_r \frac{S_y}{S_e} \dots\dots\dots (2.7)$$

Karena $\frac{S_y}{N}$ juga disebut tegangan ekuivalen sehingga:

$$S_{eq} = S_m + K_f S_r \frac{S_y}{S_e} \dots\dots\dots (2.8)$$

Untuk persamaan batas tegangan diagram soderberg pada gambar 2.11 adalah:

$$\frac{S_a}{S_e} + \frac{S_m}{S_{yp}} = 1 \dots\dots\dots (2.9)$$

Jadi kegagalan dapat terjadi apabila nilai S_a sama dan atau lebih besar daripada S_e begitu juga nilai S_m sama dan atau lebih besar daripada S_{yp} karena angka yang terjadi dapat melebihi angka 1 sehingga melewati batas kegagalan.

Kegagalan dapat pula terjadi apabila angka keamanan yang dipakai kurang dari angka 1. Angka keamanan mendeskripsikan batas kemampuan menerima tegangan per S_{yp} sehingga apabila tegangan yang diberikan kurang dari angka 1 maka material akan dikatakan tidak aman (gagal) karena dengan tegangan yang kecil saja dapat langsung rusak atau *crack*.

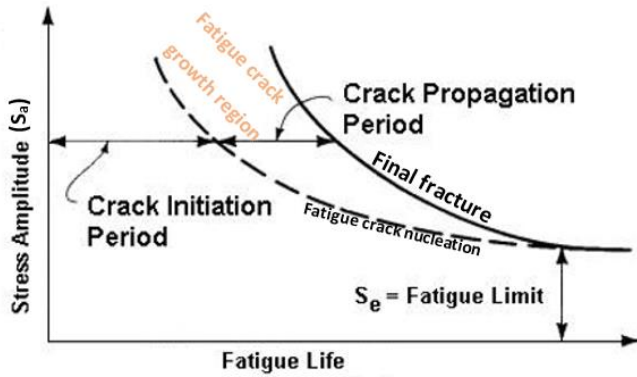
- Teori *modified Goodman*

Kegagalan *fatigue* dengan kurva pada gambar 2.12 dapat didefinisikan sebagai suatu proses yang bermula dari pengintian retak (*inititation crack*) lalu berlanjut dengan merambatnya retak dalam ukuran mikroskopik dan makroskopik sehingga mengakibatkan patah akhir (*fracture*) dari struktur. Proses ini dapat di gambarkan dengan persamaan berikut ini:

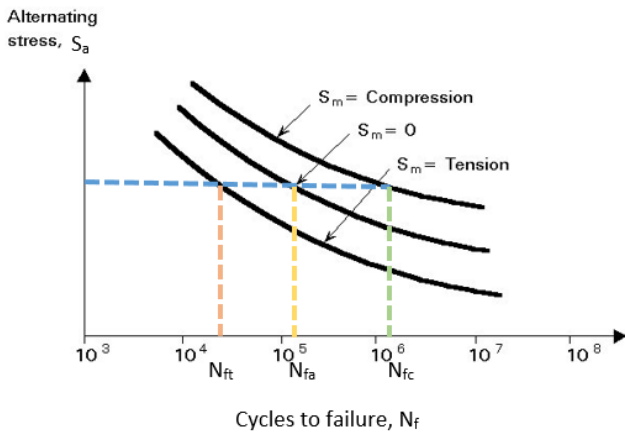
$$N_f = N_i + N_p \dots\dots\dots (2.10)$$

Dimana:

- N_f = Total siklus yang dapat terjadi sampai benda uji mengalami kegagalan *fatigue*.
- N_i = Jumlah siklus yang terjadi sampai benda uji mengalami pengintian retak (*inititation crack*).
- N_p = Jumlah siklus pertumbuhan retak yang terjadi sampai benda uji mengalami patah akhir.



Gambar 2.13 Diagram Pertumbuhan Fatigue [8]



Gambar 2.14 S_a vs N_f [8]

Perbedaan tegangan rata-rata (*mean stress*, S_m) yang terjadi pada suatu material benda uji akan memberikan pengaruh yang signifikan terhadap kekuatan fatiguenya. Seperti yang terlihat pada Gambar 2.13, bahwa perbedaan *mean stress* dengan amplitudo yang sama akan menghasilkan perbedaan jumlah siklus yang dapat diterima.

Hubungan antara mean stress dengan tegangan amplitudonya dapat diketahui dari persamaan *modified goodman*.

$$\frac{S_a}{S_e} + \frac{S_m}{S_u} = 1 \dots\dots\dots (2.11)$$

Dimana:

- S_e = *Fatigue Limit Stress*
- S_u = *Tegangan Ultimate*

Dari persamaan *modified goodman* diatas, kegagalan dapat terjadi apabila nilai S_a sama dan atau lebih besar daripada S_e begitu juga nilai S_m sama dan atau lebih besar daripada S_u karena angka yang terjadi dapat melebihi angka 1 sehingga melewati batas kegagalan.

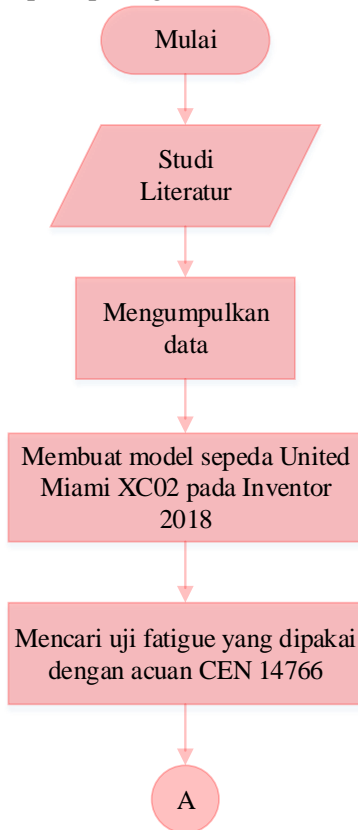
Untuk menghitung *fatigue life* yang terhingga, S_e disubstitusikan dengan S_{Nf} , maka persamaannya berubah menjadi:

$$\frac{S_a}{S_{Nf}} + \frac{S_m}{S_u} = 1 \dots\dots\dots (2.12)$$

BAB 3 METODOLOGI

3.1 Digram Alir Penelitian

Sejumlah tahapan-tahapan disusun agar di dalam penyelesaian tugas akhir ini diperoleh tujuan yang diharapkan. Tahapan-tahapan tersebut ditunjukkan dalam bentuk diagram alir (*flowchart*) seperti pada gambar 3.1.





Gambar 3.1 Diagram alir tugas akhir

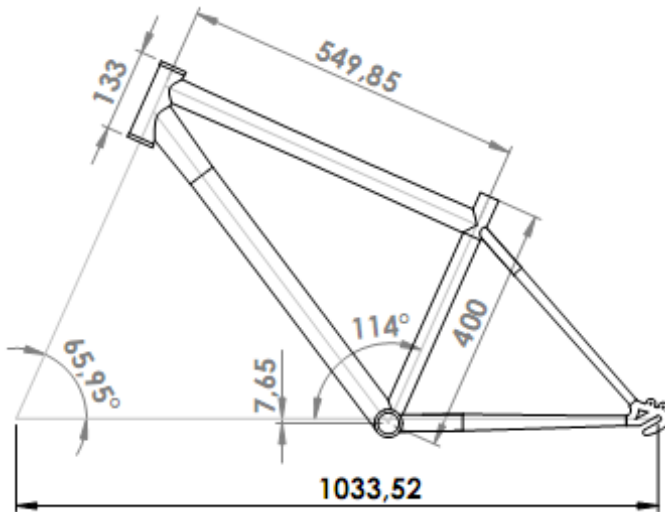
Metodologi pada penyusunan tugas akhir ini seperti pada Gambar 3.1, dapat dilihat bahwa penelitian dimulai dengan studi literatur mengenai *topology optimization design* pada *frame city bike*, merumuskan permasalahan, mengumpulkan data-data tentang *frame mountain bike*, memodelkan struktur *frame mountain bike* dengan *Inventor 2018*, menganalisa parameter uji *fatigue* yang mengenai *frame mountain bike* dengan mengacu pada standar CEN 14766. Kemudian melakukan simulasi *static structure* dan *topology optimization design* pada *ANSYS 18*, melakukan pemodelan kembali pada

Autodesk Inventor 2018. Tahap terakhir yaitu melakukan simulasi dan analisa pada model yang telah di modelkan kembali, lalu membuat kesimpulan.

3.1.1 Studi Literatur dan Data Penelitian

Langkah pertama pada penelitian ini adalah studi literatur, hal ini dilakukan untuk memperkaya wawasan dan landasan dalam materi yang diambil sebagai tugas akhir ini. Pada tahap ini pengumpulan data dilakukan untuk menunjang pengerjaan tugas akhir, dapat berupa media cetak seperti *textbook* atau *handbook* maupun *soft file* yang berupa *e-book* ataupun media elektronik (internet). Tema yang dicari adalah seputar frame sepeda terutama *frame city bike* dan standar pengujian *fatigue* pada CEN. Selain itu dibutuhkan juga topik-topik yang berkaitan dengan elemen hinggga dan metode-metode *topology optimization design*.

Untuk melakukan optimasi pada part sambungan antar *frame*, dibutuhkan data spesifikasi dari sepeda United Miami XC02, Untuk material dari sepeda tersebut menggunakan AISI 4130 seperti gambar 3.2.



Gambar 3.2 Spesifikasi geometri *frame* United Miami XC02
(Sumber: Penulis)

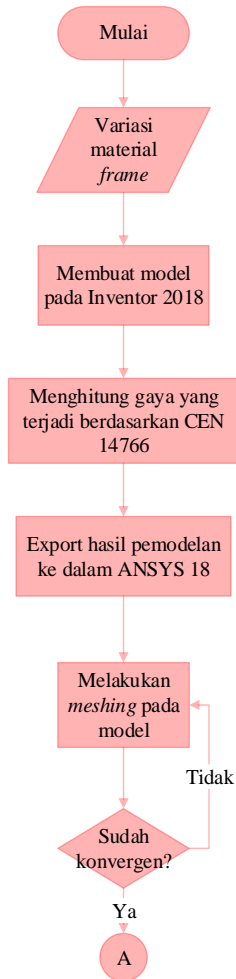
3.1.2 Perancangan

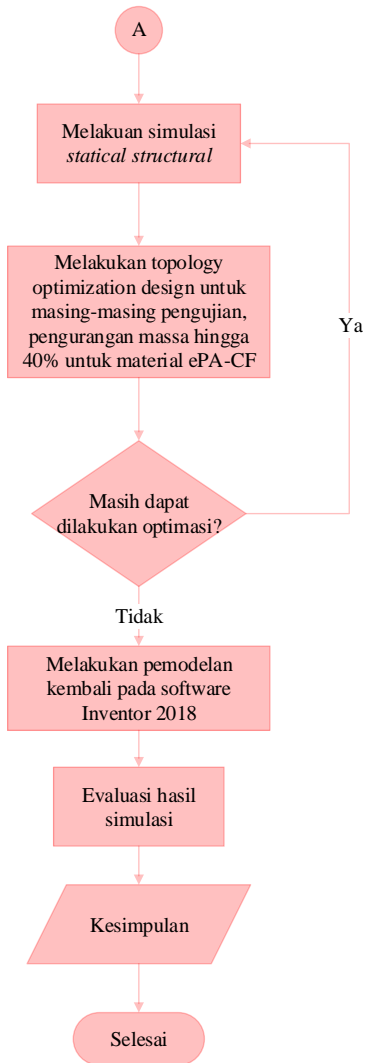
Pada proses awal perancangan dilakukan terlebih dulu analisa terhadap kondisi awal *frame* pada penyambungan pengelasan, hasil dari analisa akan menjadi acuan untuk *part* penyambung sejauh mana hasil optimasi akan dilakukan. Pemodelan *part* penyambung antar *frame* yang akan dianalisa dibuat dengan tanpa adanya lubang, lalu dilakukan pengurangan masa hingga didapatkan geometri *part* penyambung yang paling optimum.

3.1.3 Simulasi

Pengujian yang akan dilakukan dalam penelitian ini adalah simulasi pengujian *topology optimization* untuk acuannya terlebih dahulu dilakukan simulasi pengujian *statical structure* pada software ANSYS 18, model hasil dari proses *topology optimization* akan di modelkan kembali pada software

Inventor 2018, lalu kembali dilakukan simulasi pengujian *statical structure* untuk model yang telah di modelkan ulang pada software ANSYS 18, hasil simulasi pengujian *statical structure* ini akan dibandingkan dengan hasil *statical structure* untuk model existing. Gambar 3.8 menunjukkan diagram alir simulasi.





Gambar 3.3 Diagram alir simulasi

1. Tahap Pertama : Pemodelan

Pembuatan model ini dilakukan untuk *frame* sepeda United Miami XC02, dimana pemodelan dilakukan pada software Inventor 2018.

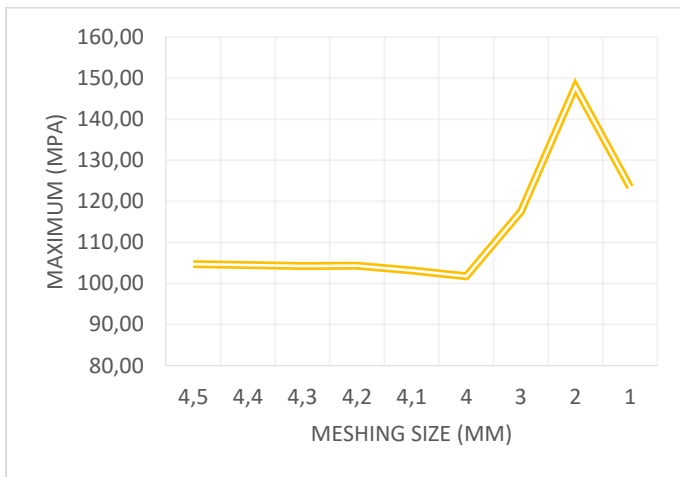
2. Tahap kedua : *Meshing*

Tahap kedua ini dimulai dengan menghitung gaya – gaya yang terjadi pada *frame* dengan berdasarkan pada CEN 14766, lalu mengubahnya menjadi gaya yang searah dengan sumbu x dan sumbu y. Untuk melakukan simulasi *statical structure* pada software ANSYS 18 dibutuhkan parameter besarnya *meshing*.

Penentuan besarnya *meshing* dilakukan dengan cara melakukan *statical structure* dengan berdasarkan gaya yang telah dihitung sebelumnya, lalu dibandingkan nilai tegangan maksimal yang terjadi untuk masing – masing ukuran *meshing* hingga didapatkan hampir tidak terjadi perubahan antara hasil tegangan maksimum dengan ukuran *meshing* yang ditentukan. Penentuan parameter *meshing* ini dilakukan untuk *frame* sepeda awal pada setiap keadaan existing. Data *meshing* dapat dilihat pada tabel 3.1 dan grafik *meshing* dapat dilihat pada gambar 3.4.

Tabel 3.1 Data *Meshing*

Mes hing (mm)	4,5	4,4	4,3	4,2	4,1	4	3	2	1
Stress (MPa)	104,7	104,48	104,24	104,3	103,17	101,80	117,50	147,85	123,45



Gambar 3.4 Grafik hubungan antara tegangan maksimal dengan ukuran *meshing*

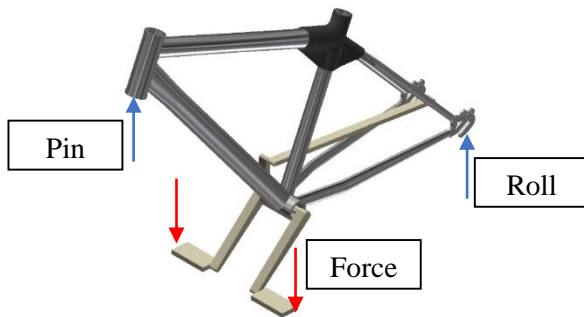
Dengan melihat hasil grafik *meshing* maka dapat ditentukan parameter *meshing* yang diambil untuk melakukan simulasi adalah *meshing* dengan *size* 4,3 mm. Setelah didapatkan parameter *meshing* maka dapat dilakukan tahapan analisa *statical structure*.

3. Tahap Ketiga : Pengaturan Boundary Condition

Pada tahapan ini dilakukan pengaturan boundary condition, dimana pengaturan boundary condition ini diupayakan agar menyerupai kondisi pengujian asli dari CEN 14766. Adapun pengujian CEN 14766 terbagi atas 3 yaitu:

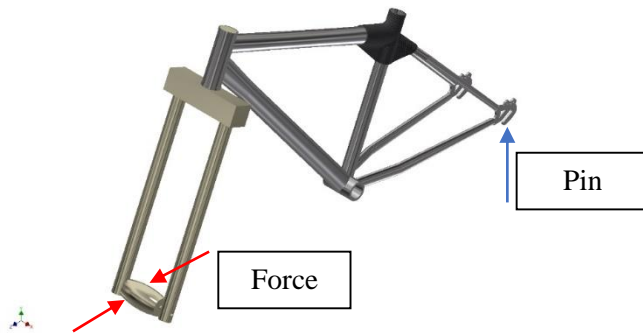
- *Frame Fatigue Test with Pedalling Forces*

Pada pengujian ini beban diberikan pada pedal sebesar 1000 N dengan sudut $7,5^\circ$ sesuai dengan gambar 2.4 lalu pada bagian rear end sebagai roll support dan head tube sebagai pin support seperti gambar 3.5.



Gambar 3.5 Pengaturan boundary condition dari pengujian *Frame Fatigue Test with Pedalling Forces*

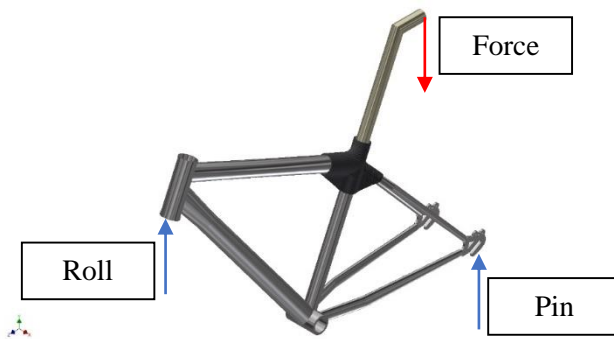
- *Fatigue Test with Horizontal Forces*
Pada pengujian ini beban diberikan pada pedal sebesar -600 N dan +1200 N searah sumbu Z sesuai dengan gambar 2.3 lalu pada bagian rear end sebagai pin support seperti gambar 3.6.



Gambar 3.6 Pengaturan boundary condition dari pengujian *Fatigue Test with Horizontal Forces*.

- *Fatigue test with vertical loads*

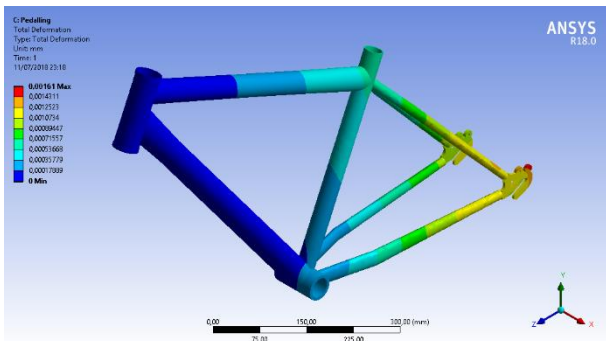
Pada pengujian ini beban diberikan pada *saddle* - 1200 N searah sumbu Y sesuai dengan gambar 2.5 lalu pada bagian *rear end* sebagai *pin support* dan pada *head tube* sebagai *roll support* seperti gambar 3.7.



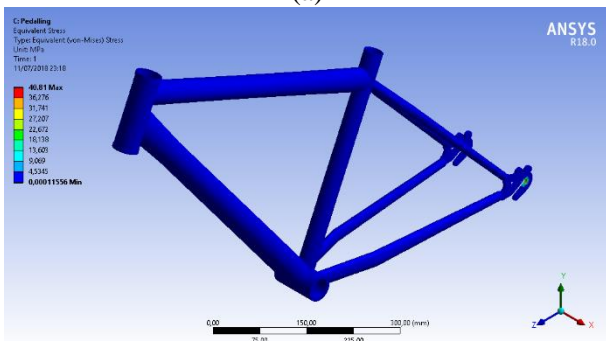
Gambar 3.7 Pengaturan boundary condition dari pengujian *Fatigue test with vertical loads*.

4. Tahap Keempat : Analisa *Statical Structure*

Tahap ini dilakukan dengan parameter *meshing size* 4,3 mm, material yang digunakan adalah AISI 4130 sedangkan untuk part sambungan menggunakan *filament ePA-CF* dari *eSUN*. Sedangkan untuk hasil dari simulasi di set untuk kalkulasi deformasi yang terjadi pada *frame* dan tegangan yang terjadi pada *frame*. Untuk hasil dari simulasi dapat dilihat pada gambar 3.8.



(a)

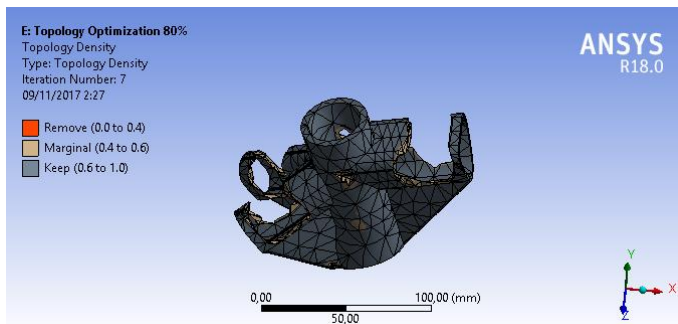


(b)

Gambar 3.8 Pengujian (a) deformasi dan (b) tegangan

5. Tahap Keempat : Analisa *Topology Optimization*

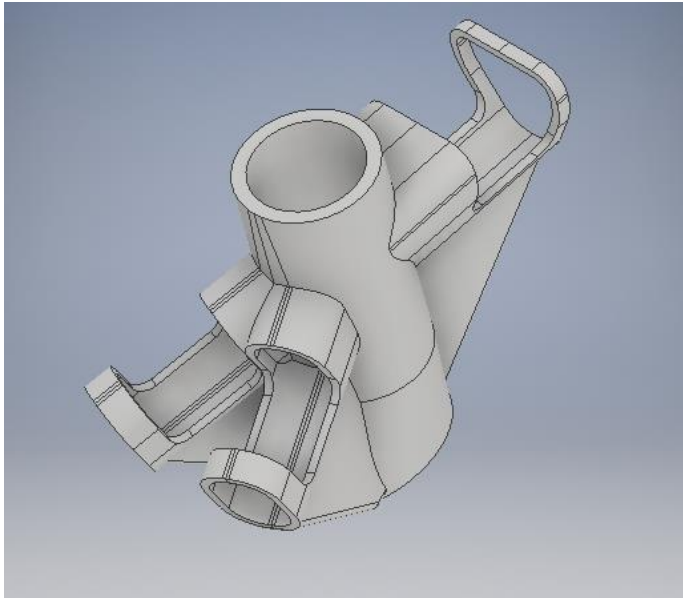
Pada tahap ini dilakukan pengurangan masa pada model dengan setingan awal sebesar 20%, apabila masih dapat dioptimasi maka akan dilakukan kembali pengurangan masa dengan penambahan persentase pengurangan sebesar 10%, hingga part penyambung tidak dapat dioptimasi lagi, hasil dari analisa *topology optimization* dapat dilihat pada gambar 3.6.



Gambar 3.9 Hasil geometri *Topology Optimization*

6. Tahap Keenam : *Smoothing* (Pemodelan Kembali)

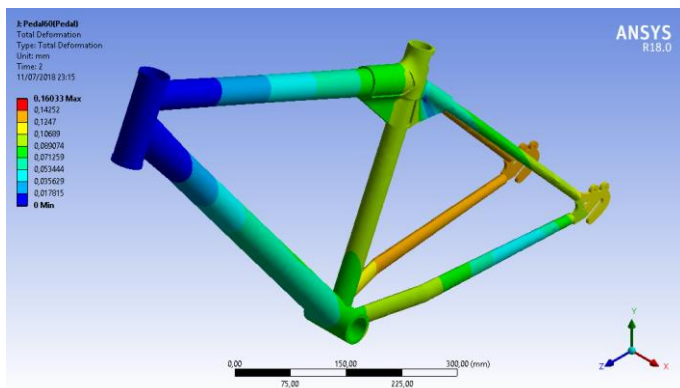
Pada tahap ini geometri hasil *topology optimization* dihaluskan dengan membuat ulang model pada software Inventor 2018, dengan koordinat acuan geometri berdasarkan pada hasil geometri analisa *topology optimization*. Hasil dari proses *smoothing* dapat dilihat pada gambar 3.7.



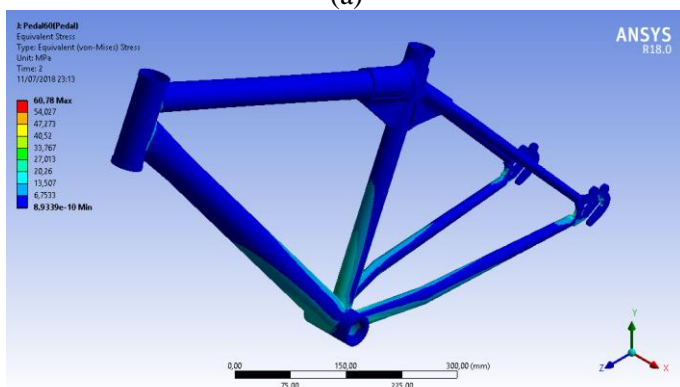
Gambar 3.10 Model hasil pemodelan kembali

7. Tahap Ketujuh : Analisa *Statical Structur* (model hasil *smoothing*)

Pada tahap ini model hasil *smoothing* dipindahkan ke *software* ANSYS 18 untuk dilakukan analisa *statical structure*, hasil dari analisa ini akan dibandingkan dengan hasil *statical structure* pada *frame* awal sebelum dilakukan *topology*. Hasil analisa *statical structure* dapat dilihat pada gambar 3.8.



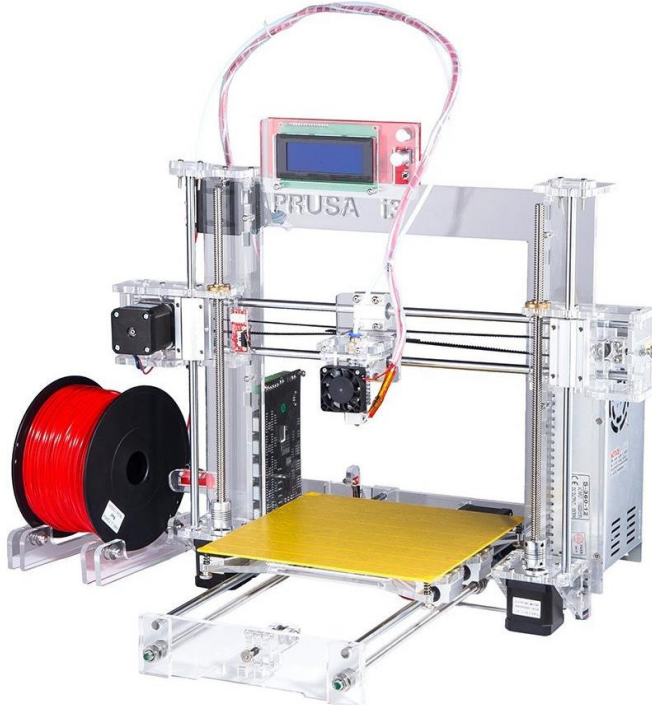
(a)



(b)

Gambar 3.11 Pengujian pada model hasil pemodelan kembali (a) deformasi dan (b) tegangan

8. Tahap Kedelapan : Pembuatan *Part* pada 3D Printer



Gambar 3.12 3D Printer Sunhokey Prusa I3

Pada tahap ini model yang paling optimum hasil dari analisa simulasi ANSYS 18 berdasarkan nilai *deformation dan stress*, akan dibuat sebagai *part* dengan menggunakan *3D Printer*. Model *3D Printer* yang digunakan untuk pembuatan *part* adalah Sunhokey Prusa I3 dari Sunhokey, ilustrasi dari *3D Printer* dapat dilihat pada gambar 3.9.

3.1.4 Analisa Hasil Simulasi dan Kesimpulan

Hasil dari simulasi yang telah dilakukan kemudian dianalisa, Hasil tersebut berupa deformasi yang terjadi pada sambungan antar *frame* dan tegangan maksimum (Von Mises) yang terjadi pada sambungan antar *frame*.

Nilai deformasi dan tegangan yang didapatkan dari simulasi akan dibandingkan dengan nilai deformasi dan tegangan pada *frame* dengan kondisi *existing* masing-masing variasi material, sehingga akan menjadi batasan seberapa jauh optimasi yang terjadi pada sambungan antar *frame* dengan geometri yang dibentuk oleh proses *topology optimization*.

Dengan diperolehnya nilai deformasi dan tegangan pada setiap persentase pengurangan masa sambungan antar *frame*, maka dapat dibentuk grafik fungsi hubungan antara persentase pengurangan masa dengan deformasi dan hubungan antara persentase pengurangan masa dengan tegangan.

3.2 Evaluasi Hasil

Dari grafik deformasi terhadap pengurangan masa sambungan antar *frame* dan tegangan terhadap pengurangan masa sambungan antar *frame* dapat ditarik kesimpulan pada batas persentase pengurangan masa manakah yang akan menghasilkan pengurangan masa paling optimum dari sambungan antar *frame*, dengan geometri paling optimum sehingga pembebanan yang terjadi pada sambungan antar *frame* lebih kecil dari keadaan *existing*.

BAB 4

HASIL DAN ANALISA

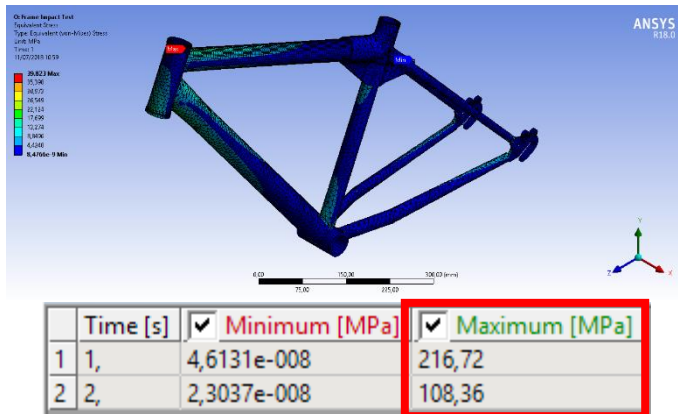
4.1 Data Hasil Simulasi

Setelah dilakukan simulasi *statical structure* dan *topology optimization design* berdasarkan CEN 14766, maka diperoleh data hasil berupa *part* sambungan dengan geometri paling ringan dan nilai tegangan pada *part* sambungan yang aman. Hasil tersebut akan dibedakan berdasarkan 3 tipe pengujian yang ada.

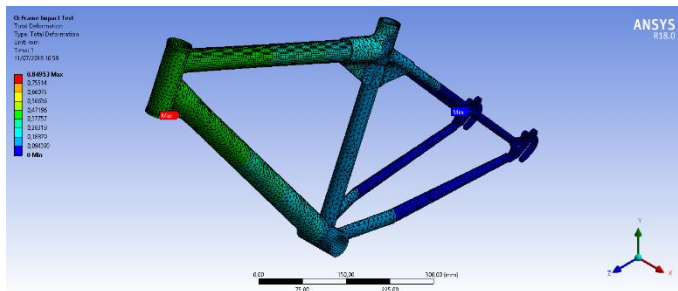
4.1.1 *Frame - Fatigue Test with Horizontal Forces*

Pada pengujian simulasi ini, *fork* sepeda akan dikenakan beban 1200N dan 600N dengan arah *horizontal* secara bergantian untuk mengetahui bentuk hasil *topology* dari *part* sambungan pada *frame* apakah sudah sesuai dengan *standard* atau tidak.

Hasil dari simulasi *horizontal force* ini telah dikomparasikan dengan penelitian sebelumnya oleh Irvan Hedapratama, dimana Irvan menggunakan *mountain bike* dengan material AISI 4130 dengan ketebalan *frame* 1,8 mm yang menghasilkan tegangan *Von-Mises* sebesar 218 MPa. Penulis juga menggunakan sepeda dengan tipe yang sama dengan material AISI 4130 namun ketebalan yang berbeda yaitu 2,5 mm, dimana hasil tegangan *Von-Mises* sebesar 216,72 MPa, dimana semakin tebal *frame* maka tegangan yang terjadi pada *frame* akan menurun.



(a)

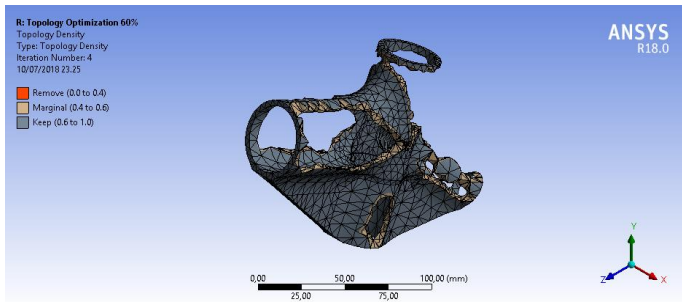


(b)

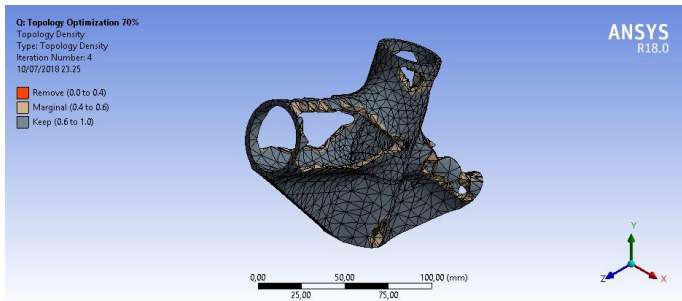
Gambar 4.1 *Frame Impact Test* untuk melihat hasil (a) tegangan dan (b) deformasi yang terjadi pada *part* sambungan.

Pada pengujian ini nilai tegangan terbesar terdapat pada bagian *head tube* sepeda dan untuk tegangan terkecil terdapat pada bagian *seat stay* sepeda. Sedangkan untuk deformasi, nilai terbesar terdapat pada *head tube* dan nilai terkecil terdapat pada *stay*. Dari hasil pengujian ini dihasilkan 3 bentuk hasil

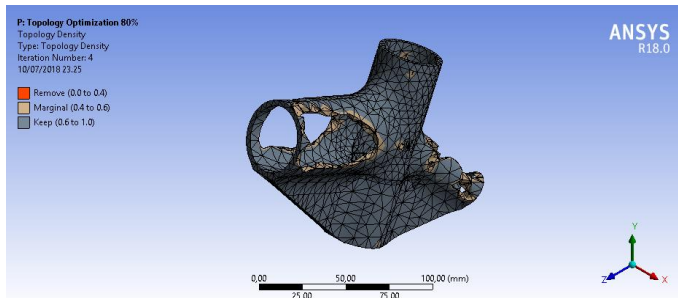
topology dengan *mass retain* 60%, 70% dan 80%. Bentuk tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.2.



(a)



(b)



(c)

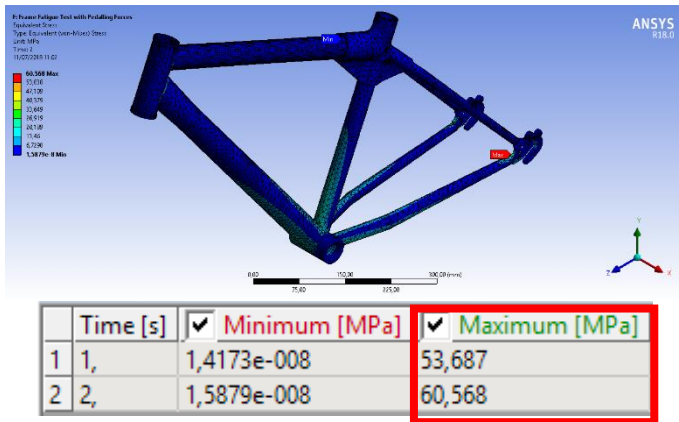
Gambar 4.2 Hasil *topology* dari pengujian *Fatigue Test with Horizontal Forces* dengan (a) *mass retain* 60%, (b) *mass retain* 70% dan (c) *mass retain* 80%.

Setelah *mass retain* ditentukan sebesar 60% maka didapatkan geometri *part* sambungan seperti pada Gambar 4.2(a). Namun pada hasil optimasi tersebut masih terdapat bagian geometri yang masih kasar bahkan terputus, sehingga perlu dilakukan *smoothing*. Hasil akhir dari *Topology Optimization* dengan *mass retain* 60% ini dapat mengurangi massa *part* sambungan menjadi 0,1068 kilogram atau sebesar 69,545% dari massa awal. Untuk *mass retain* sebesar 70% maka didapatkan geometri *part* sambungan seperti pada Gambar 4.2(b). Namun pada hasil optimasi tersebut juga masih terdapat bagian geometri yang masih kasar bahkan terputus, sehingga perlu dilakukan *smoothing*. Hasil akhir dari *Topology Optimization* dengan *mass retain* 70% ini dapat mengurangi massa *part* sambungan menjadi 0,1185 kilogram atau sebesar 77,159% dari massa awal. Dan untuk *mass retain* sebesar 80% maka didapatkan geometri *part* sambungan seperti pada Gambar 4.2(c) berikut. Pada hasil optimasi tersebut masih terdapat bagian geometri yang masih kasar namun terlihat lebih kokoh dibandingkan dengan hasil dari *mass retain* 60% dan

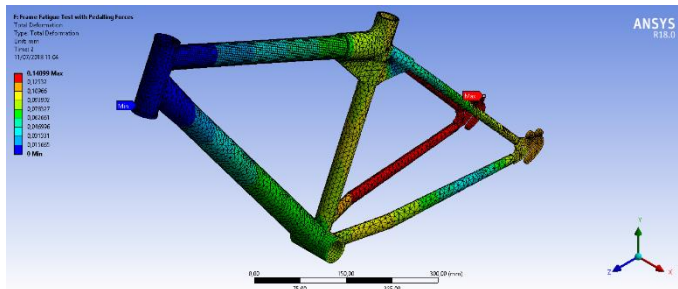
70%, sehingga bentuk tersebut masih perlu dilakukan *smoothing*. Hasil akhir dari *Topology Optimization* dengan *mass retain* 80% ini dapat mengurangi massa *part* sambungan menjadi 0,12993 kilogram atau sebesar 84,604% dari massa awal.

4.1.2 *Frame Fatigue Test with Pedalling Forces*

Pada pengujian simulasi ini, fork sepeda akan dikenakan beban masing-masing 1200N dengan sudut 7.5° terhadap sumbu vertical yang dikenakan pada kedua pedal secara bergantian untuk mengetahui bentukan hasil *topology* dari *frame* apakah sudah sesuai dengan standard atau tidak.



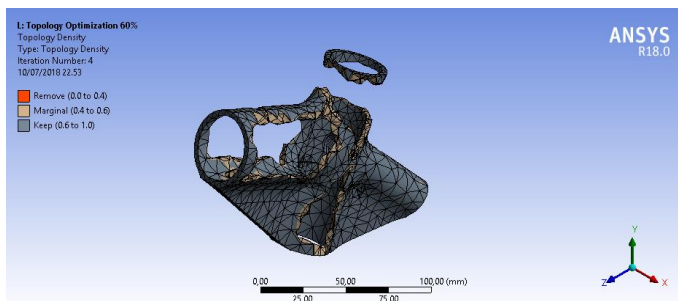
(a)



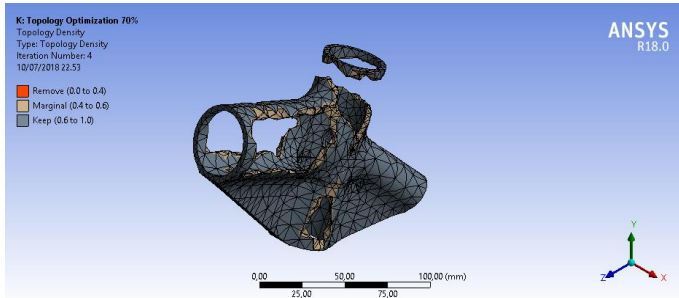
(b)

Gambar 4.3 *Frame Fatigue Test with Pedalling Forces* untuk melihat hasil (a) tegangan dan (b) deformasi yang terjadi pada part sambungan.

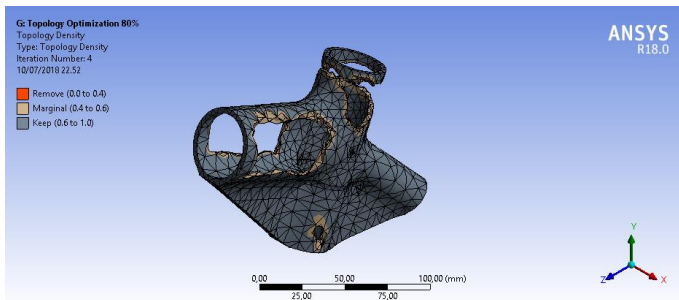
Pada pengujian ini nilai tegangan terbesar terdapat pada bagian *chain stay* sepeda dan untuk tegangan terkecil terdapat pada bagian *top tube* sepeda. Sedangkan untuk deformasi, nilai terbesar terdapat pada *stay* dan nilai terkecil terdapat pada *head tube*. Dari hasil pengujian ini dihasilkan 3 bentuk hasil *topology* dengan *mass retain* 60%, 70% dan 80%. Bentuk tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.4.



(a)



(b)



(c)

Gambar 4.4 Hasil *topology* dari pengujian *Frame Fatigue Test with Pedalling Forces* dengan (a) *mass retain* 60%, (b) *mass retain* 70% dan (c) *mass retain* 80%.

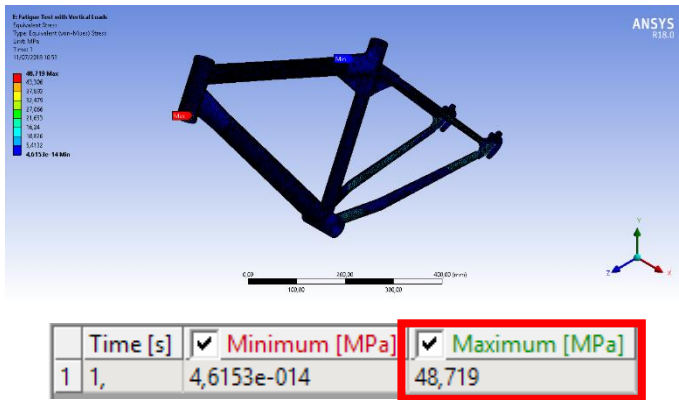
Setelah *mass retain* ditentukan sebesar 60% maka didapatkan geometri *part* sambungan seperti pada Gambar 4.4(a). Namun pada hasil optimasi tersebut masih terdapat bagian geometri yang masih kasar bahkan terputus, sehingga perlu dilakukan *smoothing*. Hasil akhir dari *Topology Optimization* dengan *mass retain* 60% ini dapat mengurangi massa *part* sambungan menjadi 0,11157 kilogram atau sebesar 72,641% dari massa awal. Untuk *mass retain* sebesar 70% maka

didapatkan geometri *part* sambungan seperti pada Gambar 4.4(b). Namun pada hasil optimasi tersebut juga masih terdapat bagian geometri yang masih kasar bahkan terputus, sehingga perlu dilakukan *smoothing*. Hasil akhir dari *Topology Optimization* dengan *mass retain* 70% ini dapat mengurangi massa *part* sambungan menjadi 0,118 kilogram atau sebesar 76,824% dari massa awal. Dan untuk *mass retain* sebesar 80% maka didapatkan geometri *part* sambungan seperti pada Gambar 4.4(c) berikut. Pada hasil optimasi tersebut masih terdapat bagian geometri yang masih kasar namun terlihat lebih kokoh dibandingkan dengan hasil dari *mass retain* 60% dan 70%, sehingga bentuk tersebut masih perlu dilakukan *smoothing*. Hasil akhir dari *Topology Optimization* dengan *mass retain* 80% ini dapat mengurangi massa *part* sambungan menjadi 0,12616 kilogram atau sebesar 82,138% dari massa awal.

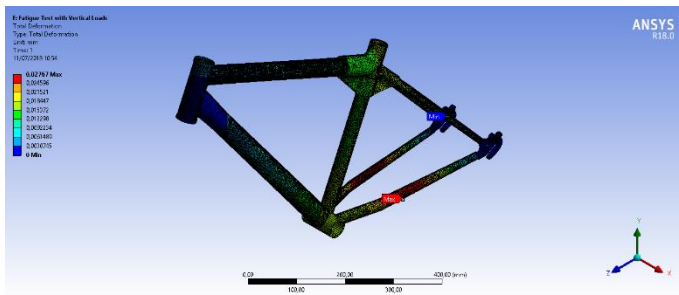
4.1.3 *Fatigue Test with Vertical Loads*

Pada pengujian simulasi ini, fork sepeda akan dikenakan beban 1200N secara vertikal untuk mengetahui bentukan hasil *topology* dari *frame* apakah sudah sesuai dengan standard atau tidak.

Hasil dari simulasi *vertical force* ini telah dikomparasikan juga dengan penelitian sebelumnya, dimana Irfan menggunakan *mountain bike* dengan material AISI 4130 dengan ketebalan *frame* 1,8 mm yang menghasilkan tegangan *Von-Mises* sebesar 101 MPa. Penulis juga menggunakan sepeda dengan tipe yang sama dengan material AISI 4130 namun ketebalan yang berbeda yaitu 2,5 mm, dimana hasil tegangan *Von-Mises* sebesar 48,719 MPa, dimana semakin tebal *frame* maka tegangan yang terjadi pada *frame* akan menurun.



(a)

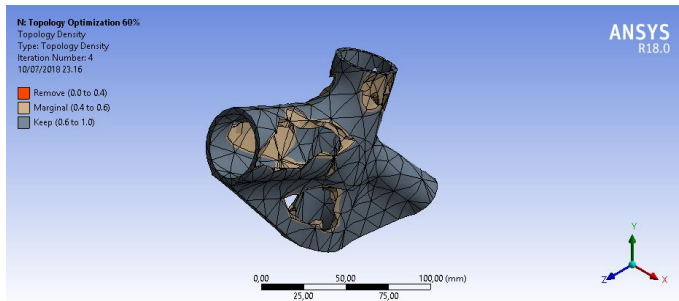


(b)

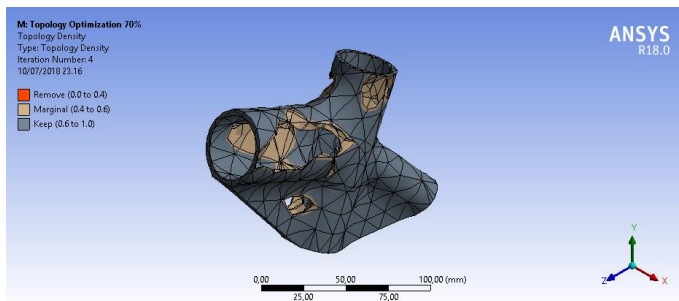
Gambar 4.5 *Fatigue Test with Vertical Forces* untuk melihat hasil (a) tegangan dan (b) deformasi yang terjadi pada *part* sambungan.

Pada pengujian ini nilai tegangan terbesar terdapat pada bagian *head tube* sepeda dan untuk tegangan terkecil terdapat pada bagian *top tube* sepeda. Sedangkan untuk deformasi, nilai terbesar terdapat pada *chain stay* dan nilai terkecil terdapat pada *seat stay*. Dari hasil pengujian ini dihasilkan 3 bentuk hasil

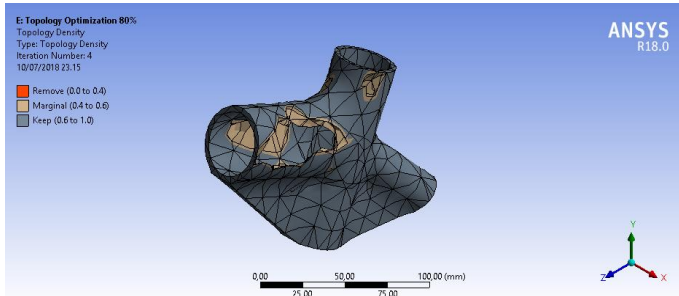
topology dengan *mass retain* 60%, 70% dan 80%. Bentuk tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.6.



(a)



(b)



(c)

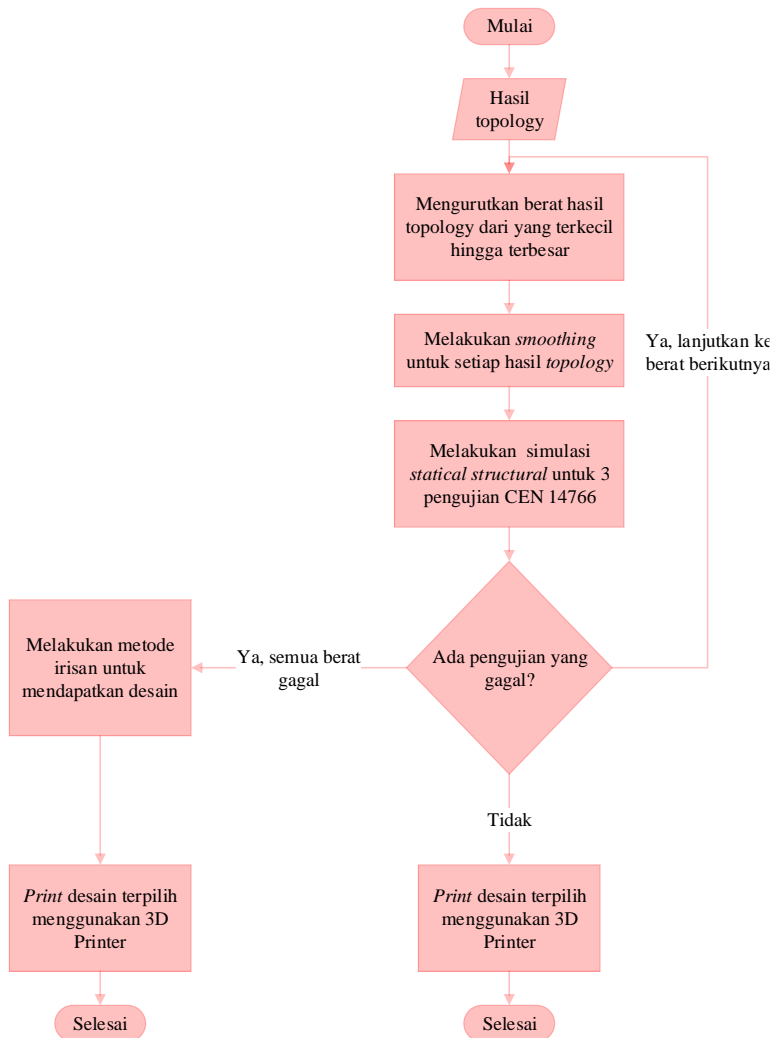
Gambar 4.6 Hasil *topology* dari pengujian *Fatigue Test with Vertical Loads* dengan (a) *mass retain* 60%, (b) *mass retain* 70% dan (c) *mass retain* 80%.

Setelah *mass retain* ditentukan sebesar 60% maka didapatkan geometri *part* sambungan seperti pada Gambar 4.6(a). Namun pada hasil optimasi tersebut masih terdapat bagian geometri yang masih kasar bahkan terputus, sehingga perlu dilakukan *smoothing*. Hasil akhir dari *Topology Optimization* dengan *mass retain* 60% ini dapat mengurangi massa *part* sambungan menjadi 0,13119 kilogram atau sebesar 80,954% dari massa awal. Untuk *mass retain* sebesar 70% maka didapatkan geometri *part* sambungan seperti pada Gambar 4.6(b). Namun pada hasil optimasi tersebut juga masih terdapat bagian geometri yang masih kasar bahkan terputus, sehingga perlu dilakukan *smoothing*. Hasil akhir dari *Topology Optimization* dengan *mass retain* 70% ini dapat mengurangi massa *part* sambungan menjadi 0,13854 kilogram atau sebesar 85,486% dari massa awal. Dan untuk *mass retain* sebesar 80% maka didapatkan geometri *part* sambungan seperti pada Gambar 4.6(c) berikut. Pada hasil optimasi tersebut masih terdapat bagian geometri yang masih kasar namun terlihat lebih kokoh dibandingkan dengan hasil dari *mass retain* 60% dan 70%, sehingga bentuk tersebut masih perlu dilakukan

smoothing. Hasil akhir dari *Topology Optimization* dengan *mass retain* 80% ini dapat mengurangi massa *part* sambungan menjadi 0,14551 kilogram atau sebesar 89,787% dari massa awal.

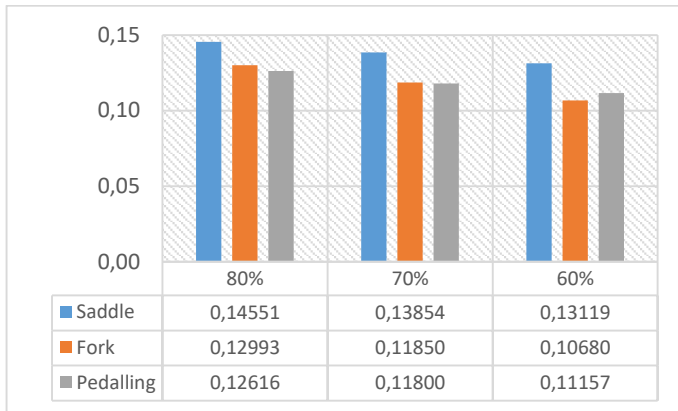
4.1.4 Penentuan Desain

Untuk menentukan desain yang akan dipilih akan dilakukan beberapa tahapan. Pada gambar 4.7 menunjukkan skema mengenai tahapan dalam menentukan desain yang akan dipilih.



Gambar 4.7 Skema dalam penentuan desain yang akan dipilih.

Penentuan desain ditentukan menurut dari berat hasil *topology* terendah hingga tertinggi. Tiap hasil *topology* kemudian di *smoothing* kemudian diuji kembali menggunakan 3 pengujian CEN 14766. Namun jika semua berat yang diuji gagal, maka akan dilakukan metode irisan. Untuk perbandingan berat hasil *topology* dapat dilihat pada Gambar 4.8.



Gambar 4.8 Grafik hubungan antara berat *part* sambungan dengan persentase *mass retain*.

Dengan melihat Gambar 4.8 maka dapat ditentukan urutan berat hasil *topology* yang dilakukan. Untuk berat teringan terdapat pada pengujian *Fatigue Frame with Horizontal Forces* dengan *mass retain* 60%, sedangkan untuk massa terberat terdapat pada pengujian *Fatigue Test with Vertical Loads* dengan *mass retain* 80%.

Dalam penentuan desain ini terpilih hasil *topology* dari pengujian *Frame Fatigue Test with Pedalling Forces* dengan *mass retain* 60% dengan massa 0,1157 kg. Data perbandingan berat dan tegangan antara *part* sambungan sebelum dan sesudah proses *topology* dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Data *Massa* dan *Stress* untuk *part* sambungan yang terpilih dari desain

Pengujian	Mass Retain (%)	Massa (Kg)		Stress (Mpa)	
		Sebelum	Sesudah	Sebelum	Sesudah
<i>Frame Fatigue Test with Pedalling Forces</i>	60	0,15355	0,11157	4,7E-05	6,4835E-05
<i>Frame Fatigue Test with Horizontal Forces</i>				1,5998E-05	3,13E-05
<i>Fatigue Test with Vertical Loads</i>				0,25494	2,1724
<i>ePA-CF - Tensile Yield Strength</i>					118

4.2 Validasi Fatigue

Untuk membuktikan apakah hasil pengujian sudah valid maka akan dihitung dengan rumus *fatigue* sesuai dengan penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Irvan Hedapratama mengenai SIMULASI FATIGUE FRAME MOUNTAIN BIKE DENGAN VARIASI BAHAN DAN KETEBALAN MENGGUNAKAN STANDAR CEN 14766. Dimana validasi dari Irvan Hedapratama menggunakan metode dari *Sodeberg*. Validasi ini dibedakan menjadi 2 berdasarkan material dari *frame* dan material dari sambungan *part* pada sepeda. Data untuk tegangan maximum dan minimum yang terjadi pada masing-masing pengujian dapat dilihat pada tabel 4.2, data tersebut didapatkan dari hasil simulasi *statical structural* pada

part setelah proses *smoothing* (Contoh sumber gaya terdapat pada gambar 4.1, 4.3 dan 4.5).

Tabel 4.2 Besar gaya yang terjadi untuk masing-masing pengujian.

Pengujian	AISI 4130		ePA-CF	
	Max (Mpa)	Min (Mpa)	Max (Mpa)	Min (Mpa)
<i>Frame Fatigue Test with Pedalling Forces</i>	117,06	81,977	6,4835E-05	6,0296E-05
<i>Frame Fatigue Test with Horizontal Forces</i>	216,72	108,36	3,13E-05	1,60E-05
<i>Fatigue Test with Vertical Loads</i>	48,731	0	2,1724	0

4.2.1 AISI 4130

Berikut adalah perhitungan pada *frame* setelah menggunakan *part* sambungan dengan bahan AISI 4130 dengan *Fatigue Test with Vertical Force* untuk mendapatkan N_f (Jumlah cycle):

$$S_{max} = 48,731 \text{ N/mm}^2$$

$$S_{min} = 0 \text{ N/mm}^2$$

$$S_u = 460 \text{ N/mm}^2$$

- Tegangan Amplitudo (S_a) :

$$S_a = \left| \frac{S_{max} - S_{min}}{2} \right|$$

$$S_a = \left| \frac{48,731 - 0}{2} \right|$$

$$S_a = 24,3655 \text{ N/mm}^2$$

- Tegangan rata-rata (S_m) :

$$S_m = \frac{S_{max} + S_{min}}{2}$$

$$S_m = \frac{48,731 + 0}{2}$$

$$S_m = 24,3655 \text{ N/mm}^2$$

- Tegangan umur *fatigue* (S_{Nf}) :

$$S_{Nf} = \frac{S_a}{\left(1 - \frac{S_m}{S_u}\right)}$$

$$S_{Nf} = \frac{24,3655}{\left(1 - \frac{24,3655}{460}\right)}$$

$$S_{Nf} = 25,7283 \text{ N/mm}^2$$

- Tegangan batas *fatigue* (S_f) :

$$S_f = k_a \times k_b \times k_c \times \frac{S_u}{2}$$

Dimana:

$$k_a = a S_{ut}^b$$

$$k_a = 0,8$$

$$k_b = \left(d/7,62\right)^{-0,107}$$

$$k_b = 0,5$$

$$k_c = 0,6$$

$$S_f = 0,8 \times 0,5 \times 0,6 \times \frac{460}{2}$$

$$S_f = 55,2 \text{ N/mm}^2$$

- Kemiringan kurva (B) :

$$B = \left(\frac{1}{6}\right) \times \log \frac{S_f}{S_u}$$

$$B = \left(\frac{1}{6}\right) \times \log \frac{55,2}{460}$$

$$B = -0,15347$$

- Umur *fatigue* (N_f) :

$$N_f = \sqrt[B]{\frac{S_{Nf}}{S_u}}$$

$$N_f = \sqrt[-0,15347]{\frac{25,7283}{460}}$$

$$N_f = 144.612.394,2 \text{ cycles}$$

Pada standard CEN 14766 untuk pengujian *Fatigue Test with Vertical Force* dinyatakan bahwa syarat untuk pengujian ini adalah *Fatigue* dari *frame* adalah 50.000 *cycles*. Berdasarkan hasil dari hitungan untuk material AISI 4130 berdasarkan *Fatigue Test with Vertical Force* dinyatakan aman karena nilai hasil hitungan lebih besar dibandingkan dari standard yang diajukan yaitu 144.612.394,2 *cycles*.

4.2.1 ePA-CF Filament

Selain dari perhitungan untuk material AISI 4130 ditampilkan pula perhitungan untuk material ePA-CF *Filament*. Berikut adalah contoh perhitungan pada sambungan dengan bahan ePA-CF dengan *Fatigue Test with Vertical Force* untuk mendapatkan N_f (Jumlah cycle):

$$S_{max} = 2,1724 \text{ N/mm}^2$$

$$S_{min} = 0 \text{ N/mm}^2$$

$$S_u = 118 \text{ N/mm}^2$$

- Tegangan Amplitudo (S_a) :

$$S_a = \left| \frac{S_{max} - S_{min}}{2} \right|$$

$$S_a = \left| \frac{2,1724 - 0}{2} \right|$$

$$S_a = 1,0862 \text{ N/mm}^2$$

- Tegangan rata-rata (S_m) :

$$S_m = \frac{S_{max} + S_{min}}{2}$$

$$S_m = \frac{2,1724 + 0}{2}$$

$$S_m = 1,0862 \text{ N/mm}^2$$

- Tegangan umur *fatigue* (S_{Nf}) :

$$S_{Nf} = \frac{S_a}{\left(1 - \frac{S_m}{S_u}\right)}$$

$$S_{Nf} = \frac{1,0862}{\left(1 - \frac{1,0862}{118}\right)}$$

$$S_{Nf} = 1,0963 \text{ N/mm}^2$$

- Tegangan batas *fatigue* (S_f) :

$$S_f = k_a \times k_b \times k_c \times \frac{S_u}{2}$$

Dimana:

$$k_a = aS_{ut}^b$$

$$k_a = 1,2$$

$$k_b = \left(d/7,62\right)^{-0,107}$$

$$k_b = 0,5$$

$$k_c = 0,6$$

$$S_f = 1,2 \times 0,5 \times 0,6 \times \frac{118}{2}$$

$$S_f = 21,24 \text{ N/mm}^2$$

- Kemiringan kurva (B) :

$$B = \left(\frac{1}{6}\right) \times \log \frac{S_f}{S_u}$$

$$B = \left(\frac{1}{6}\right) \times \log \frac{21,24}{118}$$

$$B = -0,1241$$

- Umur *fatigue* (N_f) :

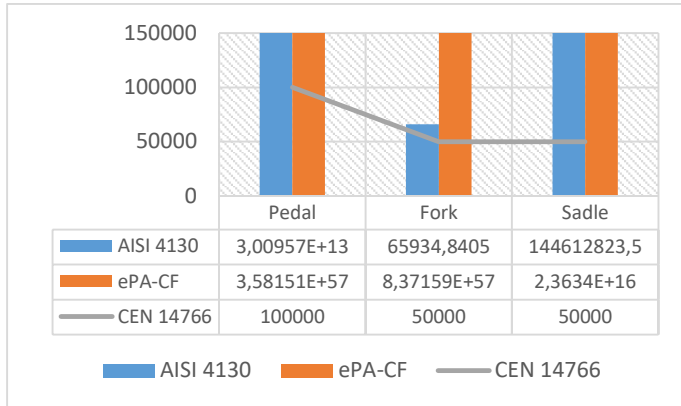
$$N_f = \sqrt[B]{\frac{S_{Nf}}{S_u}}$$

$$N_f = \sqrt{-0,1241} \frac{1,0963}{118}$$

$$N_f = 2,36 \times 10^{16} \text{ cycles}$$

Perhitungan untuk material ePA-CF juga dilakukan berdasarkan pada standard CEN 14766 untuk pengujian *Fatigue Test with Vertical Force* dinyatakan bahwa syarat untuk pengujian ini adalah *Fatigue* dari *frame* adalah 50.000 *cycles*. Berdasarkan hasil dari hitungan untuk material AISI 4130 berdasarkan *Fatigue Test with Vertical Force* dinyatakan aman karena nilai hasil hitungan lebih besar dibandingkan dari standard yang diajukan yaitu $2,36 \times 10^{16}$ *cycles*.

Untuk hasil dari seluruh perhitungan *fatigue* dapat dilihat pada gambar 4.9 dimana dari gambar tersebut dapat dilihat nilai *cycle* dari *part* hasil *topology* untuk masing-masing pengujian untuk material AISI 4130 dan material ePA-CF. Dari gambar 4.9 tersebut dapat disimpulkan bahwa *part* tersebut sudah layak untuk dibuat karena nilai *cycle* yang didapatkan sudah melebihi batas yang disarankan oleh CEN 14766.



Gambar 4.9 Grafik perbandingan nilai *cycle* yang dianjurkan *standard* CEN 14766 dengan nilai *cycle* hasil hitungan.

4.3 Pembuatan Part Sambungan

Setelah mendapatkan hasil dari analisis *topology optimization*, dimana desain yang terpilih adalah hasil dari *Topology Optimization* pada pengujian *Frame Fatigue Test with Pedalling Forces* dengan *mass retain* 60%. Hasil simulasi dapat dilihat pada tabel 4.1, setelah penentuan desain selesai maka akan masuk ke tahap selanjutnya yaitu pembuatan *part*, dimana hasil dari *topology* ini akan dibuat menggunakan *3D Printer*.

Pembuatan *part* menggunakan *3D Printer* dikarenakan *3D Printer* mampu membuat bentukan yang tidak dapat dikerjakan oleh proses permesinan konvensional maupun oleh permesinan modern seperti CNC, bentukan tersebut berupa model dari desain *part* itu sendiri dan bentukan lubang yang terbentuk dari hasil *topology*. Sehingga pembuatan *part* sambungan ini dilakukan oleh *3D Printer*. Untuk hasil dari pembuatan *part* ini dapat dilihat pada gambar 4.10.



Gambar 4.10 Produk sambungan antara *Top Tube* dan *Seat Tube*.

Spesifikasi dari 3D Printer yang digunakan pada proses pembuatan part ini dapat dilihat pada tabel 4.2. Selain itu ada parameter-parameter yang harus diatur agar menghasilkan geometri yang baik, parameter yang digunakan pada proses pembuatan part ini dapat dilihat pada tabel 4.3.

Tabel 4.3 Spesifikasi 3D Printer Sunhokey Prusa i3
Printing Specification

<i>Print Size (XYZ)</i>	200 x 200 x 180 mm
<i>Print Speed</i>	40 - 100 mm/s
<i>Layer Resolution</i>	0,1 mm
<i>Filament Diameter</i>	1,75 mm
<i>Filament Compatibility</i>	ABS, PLA, HIPS, PVA, NYLON
<i>Print Plate Size (upgrade)</i>	213 X 213 mm

Mechanical Specification

<i>Chassis</i>	Acrylic Frame + Threaded Rods
<i>No. of Extruder</i>	1
<i>Nozzle Type</i>	E3D V5
<i>Stepper Motor</i>	42 mm Hybrid Stepper Motor

Temperature Specification

<i>Extruder Temperature</i>	280 deg C (maximum)
<i>Heating Bed Temperature</i>	110 deg C (maximum)

Electrical Specification

<i>AC Input</i>	200-240VAC/2,4A
<i>Power Requirement</i>	DC 12V/30A
<i>Connectivity (Interface)</i>	USB, LCD Display, SD Card

Electronic Specification

<i>Electronics (Motherboard)</i>	MKS GEN-2Z v1.2
----------------------------------	-----------------

Tabel 4.4 Parameter pengaturan printing.

Parameter	Pengaturan
<i>Material</i>	ePA-CF (Hitam)
<i>Layer Height</i>	0,2 mm
<i>Wall Thickness</i>	0,8 mm
<i>Top/Bottom Thickness</i>	0,8 mm
<i>Infill Density</i>	100%
<i>Infill Pattern</i>	Grid
<i>Printing Temperature</i>	255 deg C
<i>Bed Temperature</i>	100 deg C
<i>Diameter Filament</i>	1,75 mm
<i>Flow</i>	100%
<i>Retraction Speed</i>	25 mm/s
<i>Print Speed</i>	40 mm/s
<i>Top/Bottom Speed</i>	15 mm/s
<i>Travel Speed</i>	150 mm/s
<i>Support Overhang Angle</i>	50 deg
<i>Support Pattern</i>	Zig-Zag
<i>Support Infill</i>	12%
<i>Plate Adhesion Type</i>	Brim

Pada tabel 4.4 tercantum pengaturan yang dilakukan untuk membuat part sambungan, pengaturan ini didapatkan dari proses *trial-error*, karena pengaturan ini tidak sama untuk semua model geometri yang akan di *print*, jadi jika penelitian

berikutnya mengacu pada parameter ini namu geometri yang di *print* berbeda, kemungkinan benda yang di *print* tidak akan sesuai dengan desain yang diharapkan.

Adapun beberapa kesulitan dan solusi yang didapatkan selama proses pembuatan part sambungan ini adalah:

1. *Wrapping*

Wrapping adalah kegagalan produk karena adanya *bending* pada bagian ujung benda sebelum benda tersebut selesai di *print*. Hal ini kemungkinan terjadi akibat penyusutan *filament* terlalu cepat. Adapun beberapa solusi dari permasalahan ini adalah dengan meningkatkan suhu *heatbed* dan menambahkan zat adhesif pada *heatbed*, zat ini dapat berupa lem UHU.

2. *Filament* tidak menempel pada *heatbed*.

Permasalah ini biasa terjadi apabila jarak *heatbed* dengan *nozzle* masih telalu jauh, selain itu kemungkinan yang lain adalah *heatbed* kekurangan zat adhesif. Solusi yang dapat diberikan adalah dengan mengatur kembali *offset* antara *heatbed* dengan *nozzle* antara 0,005-0,1 mm dan penambahan zat adhesif pada *heatbed*.

3. *Support*

Support merupakan bentukan yang dibuat guna menyangga bagian-bagian pada benda yang *overhang*, kesulitan terdapat pada pengaturan *support* yang tepat agar mampu menjangkau bagian-bagian yang rumit namun tetap mudah untuk dilepaskan.

4. *Clogging*

Clogging merupakan penyumbatan pada *nozzle* akibat *filament* yang menumpuk didalam *nozzle*. Biasanya

gejala ini terjadi akibat jarak *nozzle* terhadap *heatbed* terlalu dekat.

4.4 Uji Coba Desain dan Analisis Hasil Akhir

Setelah desain akhir telah terbentuk maka tahapan selanjutnya adalah adalah proses *assembly* semua sambungan dengan part tiap frame sepeda seperti pada gambar 4.11. Setelah itu sepeda diuji coba dengan dikendarai (Gambar 4.12).



Gambar 4.11 Hasil *assembly* antara *part* penyambung dengan *frame* sepeda.



Gambar 4.12 Sepeda dengan sambungan *3D Print* diuji coba.

Hasil dari pembuatan *part* ini dapat dilakukan dengan baik dan dapat di-*assembly* meskipun masih ada kekurangan dari sepeda ini, antara lain:

1. Proses *Assembly*

Selama proses *assembly* terjadi beberapa masalah. Masalah ini didapat dikarenakan sudut yang sedikit berbeda antara desain sepeda dengan *part* penyambung. Selain itu lubang antara *part* dengan *tube* ada beberapa yang kurang pas hal ini dikarenakan bentuk *tube* yang oval. Untuk mengatasi hal ini sebaiknya desain sepeda menggunakan sudut yang mudah dan menggunakan *tube* yang bulat.

2. Kegagalan pada saat penanjakan

Kegagalan ini diakibatkan adanya hentakan yang tiba-tiba pada sepeda. Hal ini mengakibatkan adanya retakan pada *part* hasil *3D Print* (Gambar 4.13). Untuk

mengatasi hal ini dapat dilakukan dengan penambahan ketebalan pada desain awal sambungan.



Gambar 4.13 Retakan akibat beban hantakan.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil analisis yang telah dilakukan, didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Dari hasil simulasi *Topology Optimization Design* berdasarkan metode pengujian CEN 14766 didapatkan urutan massa terkecil hingga terbesar.
2. Dari urutan massa tersebut didapatkan bentuk paling optimum adalah bentuk dari massa terkecil kedua, yaitu 0,11157 kg. Hasil ini didapat dari simulasi kembali bentuk tersebut menggunakan CEN 14766. Desain tersebut menghasilkan tegangan maksimum sebesar 6,4835E-05 MPa untuk pengujian *Peddalling Forces*, 3,13E-5 MPa untuk pengujian *Horizontal Forces* dan 2,1724 MPa untuk pengujian *Vertical Loads*.
3. Proses pembuatan *part* ini dilakukan menggunakan *3D Printer*. Dimana dalam proses pembuatan *part* ini didapatkan parameter-parameter yang paling optimum untuk mencetak *part* ini.

5.2 Saran

Dalam penelitian ini tentunya banyak kendala dan masalah sehingga untuk memudahkan penelitian berikutnya adapun saran yang dapat diberikan sebagai berikut:

1. Sebaiknya untuk model sepeda tidak berdasarkan sepeda yang sudah ada di pasaran, melainkan peneliti membuat model sepeda sendiri. Hal ini bertujuan untuk memudahkan desain sambungan antar *part* pada sepeda.

2. Untuk metode sambungan antara part sambungan dengan *frame* sepeda sebaiknya di modelkan tirus untuk memudahkan membongkar dan memasangnya.
3. Sebelum *filament* digunakan untuk pembuatan part sebaiknya dilakukan dulu uji kekuatan agar parameter yang digunakan tepat.
4. Hasil parameter pada *3D Printer* tidak dapat dijadikan suatu acuan dikarenakan kondisi *part* hingga kondisi ruangan pada saat pembuatan *part* bisa berbeda-beda.

DAFTAR PUSTAKA

1. Atani, K. et. all. 2016. *Topology Optimization of 3D Structure Using ANSYS and MATLAB*. *IOSR Journal of Mathematics*. vol. 12, pp. 63-69.
2. Hedapratama, I. 2016. *SIMULASI FATIGUE FRAME MOUNTAIN BIKE DENGAN VARIASI BAHAN DAN KETEBALAN MENGGUNAKAN STANDAR CEN 14766*. Tugas Akhir. Tidak diterbitkan. Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember : Surabaya.
3. Taufik, S. 2017. *PROTOTYPING PULLEY SEPEDA MOTOR LISTRIK GESITS MENGGUNAKAN 3D PRINTER BERDASARKAN METODE TOPOLOGY OPTIMIZATION DESIGN*. Tugas Akhir. Tidak diterbitkan. Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember : Surabaya.
4. Suwardi, M.A. 2017. *OPTIMASI TOPOLOGI PADA OVERHEAD CRANE BOX GIRDER KAPASITAS 5TX23M DENGAN MENGGUNAKAN SOFTWARE ELEMEN HINGGA*. Tugas Akhir. Tidak diterbitkan. Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember : Surabaya.
5. Hibbeler, R. C. 2011. *Mechanics of Material*, 8th Edition. Pearson Prentice Hall.
6. Bendsøe, M. P. and Sigmund, O. 2002. *Topology Optimization: Theory, Methods, and Applications*, 2nd Edition. Springer.
7. CEN 14766, *Mountain – Bicycle – Safety Requirement and Test Method – Part 4.8: Frames*

8. Budynas, Richard G. And J. Keith Nisbett. 2011, *Shigley's Mechanical Engineering Design 10th – Chapter 6: Fatigue Failure Resulting from Variable Loading*. McGraw-Hill Companies. Inc : United States of America.

LAMPIRAN



3D PRINTING FILAMENT

(Filament specification: 1.75mm / 2.85mm)

FILAMENT	Print Temp(°C)	Bed Temp(°C)	Density (g/cm ³)	Distortion Temp (°C,0.45MPa)	Melt Flow Index (g/10min)	Tensile Strength (MPa)	Elongation at Break (%)	Bending Strength (MPa)	Flexural Modulus (MPa)	250° Heat Strength (g/11)
PLA	190-210	No Heat(60-80)	1.24	58	5(190°C/2.16kg)	65	8	97	3600	4
PLA+	205-225	No Heat(60-80)	1.24	52	2(190°C/2.16kg)	60	29	87	3642	7
ABS	220-260	110	1.04	78	12(220°C/10kg)	43	22	66	2348	19
ABS+	220-260	110	1.06	73	15(220°C/10kg)	40	30	68	2443	42
eABS MAX	200-240	100-110	1.18	85	60(220°C/10kg)	45	30	55	2400	48
eASA	220-260	70-110	1.0	105	10-15(220°C/10kg)	50	30	35	4300	19
HIPS	220-260	110	1.05	80	3(200°C/5kg)	27	55	39	2280	11
PETG	230-250	No Heat/80	1.23	64	20(250°C/2.16kg)	49	228	68	2027	8
PVA	180-210	No Heat(60-80)	1.25	/	/	22	360	/	/	/
eSmooth	190-210	45-55	/	63.5	4-6(190°C/2.16kg)	46.16	273.14	71.41	2799.32	4.39
eClean	160-300	/	0.95	45	/	23	580	/	/	29
Wood	190-220	No Heat/80	0.70	45	15(190°C/2.16kg)	/	/	/	/	/
eBamboo	200-220	25-70	1.2	48	10-18(220°C/10kg)	28	3-7	35	2000	10
Color Change	190-220	No Heat(60-80)	1.24	58	11(190°C/2.16kg)	65	5	97	3600	4
Bronze	180-210	No Heat/60	1.27	50	62(190°C/2.16kg)	66	16	106	4442	4
eCopper	200-220	40	2.46	52	/	40	4	64	4954	4
eAl-Fill	200-220	No Heat/40	1.48	52	/	45	5	74	4885	4
eSteel	200-220	40	2.46	48	14(190°C/2.16kg)	42	11	52	4520	7
ePA (Nylon)	240-260	80-110	1.12	50	5(230°C/2.16kg)	57	196	57	1495	15
ePA-CF	240-260	80	1.2	160	8(250°C/5kg)	118	5	164	8500	11.5
ePA-CF	240-260	60-90	1.25	120.7	15(220°C/10kg)	100.96	16.72	126.45	3213.96	13.67
ePC	235-260	110	1.20	93	45(300°C/1.2kg)	57	160	80	2333	48
eFlex (TPU)	210-230	No Heat	1.12	/	/	52	500	/	/	/
eElastic (TPE)	210-230	No Heat	1.14	/	/	32	420	/	/	/
eMate (PCL)	80-110	45	1.33	51	4(110°C/2.16kg)	17	228	25	849	23

CERTIFICATION



CONTACT US:

TEL: +86 755 2603 1979
 Email: bright@brightcn.net
 Web: www.esun3d.net
 WhatsApp: +86 186 8883 3126



HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN

BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Soroako, 3 November 1992, penulis yang biasa dipanggil dengan nama “Diyan” ini memiliki nama lengkap Diyan Nicholas Sherman Tappo, dan merupakan anak pertama dari 2 bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal yaitu di TK YPS Singkole Soroako, SD YPS Lawewu Soroako, SMP YPS Singkole Soroako, SMAK Kolese Santo Yusup Malang dan Akademi Teknik Soroako di bidang gambar dan perancangan. Setelah lulus dari

Akademi Teknik Soroako tahun 2014, penulis mengikuti ujian masuk Lintas Jalur dan diterima di Jurusan Teknik Mesin FTI-ITS pada tahun 2015 dan terdaftar dengan NRP 2115105048.