

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

MUHAMAD FAISOL

02111645000056

Dosen Pembimbing ALIEF WIKARTA ST, MSc. Eng. Ph.D 198202102006041002

DEPARTEMEN TEKNIK MESIN FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER SURABAYA - 2018



THE MANUFACTURE EXTENSION OF THE HEAD TUBE PART ON BICYCLE USING 3D PRINTER BASED ON TOPOLOGY OPTIMIZATION DESIGN

MUHAMAD FAISOL 02111645000056

Academic Supervisor ALIEF WIKARTA ST, MSc. Eng. Ph.D 198202102006041002

MECHANICAL ENGINEERING DEPARTMENT FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY SEPULUH NOPEMBER INSTITUT OF TECHNOLOGY SURABAYA – 2018

PEMBUATAN SAMBUNGAN PART HEAD 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 : MUHAMAD FAISOL NRP. 021116 45 000056

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

9/n Khoirul Eftendi, ST. MSC. Eng.

- 1. <u>Alief Wikarta ST, MSc. Eng. Ph.D</u> NIP. 198202102006041002
- 2. <u>Ir. Julendra B. Ariatedja, MT</u> NIP. 196807061999031004
- 3. <u>Ari Kurniawan Saputra, ST, MT</u> NIP. 198604012015041001
- 4. <u>Dinny Harnany, ST, MSc.</u> NIP. 2100201405001



SURABAYA JULI, 2018

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

Nama Mahasiswa	: Muhamad Faisol
NRP	: 021116 45000 056
Jurusan	: Teknik Mesin FTI-ITS
Dosen Pembimbing	: Alief Wikarta, ST, Msc.Eng,PhD.

ABSTRAK

Sepeda merupakan salah satu sarana transportasi yang terus berkembang pada bentuk dan penggunaan disetiap zamannya. Pada saat ini penyambungan antar komponen *frame* sepeda masih dilakukan dengan proses pengelasan, namun pengelasan ini memiliki keterbatasan yaitu akan timbulnya HAZ yang akan menurunkan kekuatan material yang bisa menimbulkan korosi serta keterbatasan dalam penyambungan antar material seperti penyambungan antara material *steel* AISI 4130 dengan Filamen ePA *carbon fiber*. Untuk mempermudah proses penyambungan antar dua material yang berbeda, tidak dimungkinkan dilakukan pengelasan maka proses penyambungan dapat dilakukan dengan cara mengganti sambungan las dengan komponen penyambung yang dibuat dengan menggunakan 3D Printer.

Analisa penelitian ini menggunakan elemen hingga dengan metode yang digunakan adalah *Topology Optimization Design*. Sepeda yang dianalisa adalah UNITED Miami XC 02 dengan material AISI 4130 yang akan dipadukan dengan filamen ePA *carbon fiber* pada *head tube*. Tujuan dari penelitian ini adalah melakukan optimasi sambungan *part head tube* pada sepeda dengan mengurangi massa sebesar 15% 30% dan 40% berdasarkan standar pengujian CEN 14766. Untuk melakukan pemodelan pada

frame digunakan software Solidwork 2017 dan software ANSYS 18 untuk analisa *statical* dan *topolgy optimization*.

Setelah pemodelan *part head tube*, dilakukan simulasi tahap awal yaitu static structure yang menghasilkan bahwa dapat dilakukan topologi optimasi berdasarkan tegangan hasil simulasi masih jauh dibawah tegangan izinnya. Selanjutnya simulasi tahap akhir yaitu simulasi topologi optimasi, simulasi static structure hasil topologi, dan analisa fatigue hasil topologi. Hasil dari simulasi optimasi topologi part head tube didapat massa terkecil pada pengujian vertical force pengurangan massa 40% sebesar 0,42552 kg. Hasil topologi dismooting pada part head tube dan dilakukan simulasi static structure dengan pengujian standard CEN 14766 yang menghasilkan tegangan maksimal pada setiap pengujian masih dibawah tegangan izin material. Selanjutnya dilakukan analisa fatigue yang menghasilkan life (cyle) sudah melebihi batas minimal life (cyle) yang terdapat pada standard CEN 14766. Dari hasil simulasi diperoleh grafik hubungan antara tegangan maksimal dari masing-masing pengujian berdasarkan standard CEN 14766 sebelum dan setelah dilakukan topologi optimasi pada part head tube. Pembuatan part head tube dilakukan dengan menggunakan 3D printer dengan material filamen ePA carbon fiber.

Kata Kunci : UNITED Miami XC 02, Part head tube, Topology optimization design, CEN 14766, Produk dengan 3d Printer.

THE MANUFACTURE EXTENSION OF THE HEAD TUBE PART ON BICYCLE USING 3D PRINTER BASED ON TOPOLOGY OPTIMIZATION DESIGN

Name	: Muhamad Faisol
NRP	: 021116 45000 056
Department	: Teknik Mesin FTI-ITS
Supervisior	: Alief Wikarta, ST, Msc.Eng,PhD.

ABSTRACK

Bicycle one of the transportation that always has an expanding in every shapes and their use in every era. Nowadays to connecting the bicycle frame with the other component still created through the welding process, but the welding process is also has a limitation that will bring out HAZ that will reduce the strength of the materials which causing corrosion and limitation in interconnection between materials such as steel AISI 4130 material with ePA carbon fiber and material steel AISI 4130 through Filamen ePA carbon fiber amd AI Alloy 6061. To simplify the process of connecting between two different materials, it is not possible to do weld process can be done by replacing the extension weld with a connector component that made using 3D printer.

This research is used the element Topology Optimization Design. Bicycle that will be analyse is UNITED Miami XC 02 with AISI 4130 material that be paired with filament ePA carbon fiber towards the head tube. The purpose of this research is to optimizing the connection of head tube on bicycle. The analysis will done by decrease the mass part of head tube in the amount of 15% 30% and 40% according through the standard test of CEN 14766. To make modelling of frame it is use Solidwork 2017 and ANSYS 18 software for statical analyse and topology optimization.

Modelling process head tube is done, and then continues with the first simulation which is static structure that obtains maximum stress of head tube that part head tube is still do topology optimization according through the result simulation with stress permit. Afterward is last simulation that is topology optimization, static structure simulation the result of topology, and fatigue analyse the result of topology. The result simulation of topology optimize part head tube is obtained smallest mass on vertical force testing of reduction mass 40% in the amount of 0,42552 kg from the origin mass 0,66023 kg. The topology result is done smoothing through the head tube, done by static structure simulation of the standard test of CEN 14766 that produce maximum stress in every test which is still under of material permit of stress. Furthermore the fatigue analyse that produce life (cyle) is beyond the minimum limit of life (cyle) that be found on the standard test of CEN 14766. From the result that gained to the graphics relation between maximum stress through the each standard test of CEN 14766 to fiber before and after the implementation topology optimization on the head tube part. The production part of head tube is done by use 3D printer with the material filament ePA carbon fiber.

Keywords : UNITED Miami XC 02, Part head tube, Topology optimization design, CEN 14766, 3D printer product.

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat, hidayah, serta inayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan judul "Pembuatan Sambungan *Part Head Tube* Pada Sepeda Menggunakan 3D Printer Berdasarkan *Topologi Optimization Design*". Tugas Akhir ini disusun sebagai salah satu syarat kelulusan akademis dalam menempuh pendidikan Program Studi Sarjana S1 Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Dalam penyusunan Tugas Akhir ini, penulis berusaha menerapkan ilmu yang didapat selama menjalani perkuliahan di S1 Teknik Mesin. Kiranya penulis tidak akan mampu menyelesaikan Tugas Akhir ini tanpa bantuan, saran, dukungan dan motivasi dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

- 1. Keluarga penulis, terutama orang tua, Bapak H. M. Rofiq dan Ibu Hj. Bairoh, dan juga Adik Arif Hidayat. yang selalu mendoa'kan dan memberikan dukungan moral serta dukungan materi kepada penulis.
- 2. Bapak Alief Wikarta ST, MSc. Eng. Ph.D, selaku dosen pembimbing yang telah memberikan saran serta bimbinganya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini.
- 3. Bapak Ir. Bambang Pramujati, MSc.Eng, PhD selaku ketua jurusan Teknik Mesin ITS.
- 4. Bapak Suwarno, ST., MSc., PhD selaku koordinator Tugas Akhir jurusan Teknik Mesin ITS.
- 5. Bapak Dosen Penguji yang telah memberikan saran serta masukan guna menyempurnakan Tugas Akhir ini dan Para

Dosen Teknik Mesin ITS yang memberikan bimbingan kepada penulis.

- 6. Teman-teman M3NER maupun LJ ITS, semua anak bimbing Pak Alief terutama Fahrizal dan Diyan yang merupakan satu topik tugas akhir dalam pembuatan sepeda.
- 7. Teman penulis, Eva Fathia yang selalu menyemangati serta mengingatkan kesehatan dan Steffi Atsa yang membantu mengkoreksi bahasa inggris.
- 8. Selaku pemilik kos ibu Virta yang sudah meminjamkan ruangan gudang untuk melakukan proses print 3D.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa penyusunan laporan tugas akhir ini masih belum sempurna, untuk itu kritik dan saran yang membangun sangat penulis harapkan. Akhir kata penulis berdoa agar segala bantuan yang diberikan mendapat balasan dan rahmat dari Allah SWT. Semoga hasil dari laporan tugas akhir ini dapat bermanfaat sebagaimana yang diharapkan. Amin.

Surabaya, 10 Juni 2018

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMA	N JUDUL	i
LEMBAR	PENGESAHAN	ii
ABSTRAK	<u>.</u>	iii
ABSTRACH	Κ	v
KATA PEN	NGANTAR	vii
DAFTAR I	SI	ix
DAFTAR (GAMBAR	xiv
DAFTAR	ГАВЕL	xviii
BAB 1 PEN	NDAHULUAN	1
1.1 L	atar Belakang	1
1.2 R	umusan Masalah	
1.3 B	Batasan Masalah	
1.4 T	`ujuan Penelitian	
1.5 N	Ianfaat Penelitian	
1.6 S	istematika Laporan	5
BAB 2 DA	SAR TEORI	7
2.1 U	United Miami XC 02 (2012)	7
2.1.1	Top Tube	9
2.1.2	Head Tube	9
2.1.3	Seat Tube	9
2.1.4	Down Tube	9
2.1.5	Seat Stay	10
2.1.6	Chain Stay	10

	2.1.7	Bottom Bracket	. 10
2.2	St	tandar Pengujian CEN	. 10
	2.2.1	FrameFatique Test With Horizontal Force	. 11
	2.2.2	Frame fatigue test with pedalling forces	. 12
	2.2.3	Fatigue test with vertical loads	. 13
2.3	M	letode Optimasi Topologi	. 13
2.4	M	fetode Elemen Hingga (Finite Element Method)	. 14
2.5	T	eori Kegagalan Lelah	. 17
2.6	31	D Printer	. 23
2.7	S	tudi Pustaka	. 25
	2.7.1 Varias 14766. 2.7.2 Mode	Binulasi Fatigue Frame Mountain Bike den i Bahan dan Ketebalan Menggunakan Standart C Bicycle Frame Analysis Using Finite Elem	igan CEN 25 ient 27
	2.7.3 ANS	Topology Optimization of 3d Structure us YS and MATLAB	ing . 30
BA	B 3 ME'	TODOLOGI	33
3.1	D	igram Alir Penelitian	. 33
	3.1.1	Studi Literatur	. 34
	3.1.2	Pengumpulan Data	. 34
	3.1.3	Pemodelan	. 37
	3.1.4	Simulasi Tahap Awal	. 38
	3.1.5	Simulasi Tahap Akhir	. 46
	3.1.6	Pembuatan Part Headtube dengan Printer	3D . 47

Х

	3.1.7	Realisasi dan Uji Coba Desain	50
	3.1.8	Kesimpulan	. 50
BAB	4 HAS	SIL DAN ANALISA	51
4.1	Si	mulasi Tahap Awal	. 51
	4.1.1	Tahap Keempat Analisa Statical Structure	. 52
	4.1.2	Tahap Kelima Analisa Hasil Statical Structure	. 54
4.2	Si	mulasi Tahap Akhir	. 55
	4.2.1	Topologi Optimasi	. 55
	4.2.2	Smooting Hasil Topologi Optimasi	. 63
	4.2.3 Optim	Simulasi <i>Static Structure</i> Hasil Topo	logi . 64
	4.2.4	Analisa Fatigue Hasil Topologi Optimasi	. 70
	4.2.5 A	Analisa Hasil	. 77
4.3	3 Ha	sil Realisasi dan Uji Coba Desain Akhir	80
	4.3.1	Hasil Realisasi Desain Akhir	. 80
	4.3.2	Uji Coba Desain Akhir	. 82
BAB	VKES	SIMPULAN DAN SARAN	85
DAF	TAR P	USTAKA	
LAM	IPIRA	Ň	

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Sambungan <i>head tube</i> pada <i>frame</i> sepeda2
Gambar 2.1	United Miami XC 02 dan bagiannya8
Gambar 2.2	Bagian-bagian <i>frame</i> 8
Gambar 2.3	Fatigue test with horizontal force12
Gambar 2.4	Fatigue test with pedalling force12
Gambar 2.5	Fatigue test with vertical force13
Gambar 2.6	Hasil Metode Topologi Optimasi14
Gambar 2.7	Amplitudo tegangan18
Gambar 2.8	Diagram Soderberg19
Gambar 2.9	Tegangan Equivalen19
Gambar 2.10	Diagram Pertumbuhan Fatique21
Gambar 2.11	S _a vs N _f 22
Gambar 2.12	Mesin 3D Printer Prusa i424
Gambar 2.13	Letak maksimum von misses pada <i>horizontal force</i>
Gambar 2.14	Case 1 falling Mass28
Gambar 2.15	Case 2 Falling Mass29
Gambar 2.16	MBB beam menggunakan MATLAB
Gambar 2.17	MBB beam menggunakan ANSYS32

Gambar 3.1	<i>Flowchart</i> Penelitian
Gambar 3.2	Spesifikasi geometri <i>frame</i> United Miami XC 0236
Gambar 3.3	Pemodelan <i>Frame</i>
Gambar 3.4	Flowchart Simulasi Tahap Awal
Gambar 3.5	Boundary conditions dan loads pada horizontal force test
Gambar 3.6 t	Boundary conditions dan loads pada vertical force est
Gambar 3.7	Boundary conditions dan loads pada pedalling force test
Gambar 3.8	Gambar hasil probe node tegangan down tube 43
Gambar 3.9	Gambar hasil uji konvergensi pada beberapa variasi bentuk mesh
Gambar 3.10	Flowcart Simulasi Tahap Akhir46
Gambar 3.11	1 3D Printer Sunhokey Prusa I347
Gambar 3.12	2 Setting Layout Cura49
Gambar 3.13	Contoh Hasil 3D Printer
Gambar 4.1	Analisa Statical Structure Horizontal Force52
Gambar 4.2	Analisa Statical Structure Vertical Force53
Gambar 4.3	Analisa Statical Structure Pedalling Force54
Gambar 4.4	Skema Simulasi Topologi Optimasi56

Gambar 4.5	Hasil Topologi 15% Horizontal Force57
Gambar 4.6	Hasil Topologi 30% Horizontal Force57
Gambar 4.7	Hasil Topologi 40% Horizontal Force58
Gambar 4.8	Hasil Topologi 15% Vertical Force58
Gambar 4.9	Hasil Topologi 30% Vertical Force59
Gambar 4.10	Hasil Topologi 40% Vertical Force
Gambar 4.11	Hasil Topologi 15% Pedalling Force 60
Gambar 4.12	Hasil Topologi 30% Pedalling Force61
Gambar 4.13	Hasil Topologi 40% Pedalling Force
Gambar 4.14	Smooting Hasil Topologi64
Gambar 4.15	Static Structure Horizontal Force Hasil Topologi Pada Frame
Gambar 4.16	Static Structure Horizontal Force Hasil Topologi Pada Headtube
Gambar 4.17	Static Structure Vertical Force Hasil Topologi Pada Frame67
Gambar 4.18	Static Structure Vertical Force Hasil Topologi Pada Headtube67
Gambar 4.19	<i>Static Structure Pedalling Force</i> Hasil Topologi Pada <i>Frame</i>
Gambar 4.20	Static Structure Pedalling Force Hasil Topologi Pada Headtube

xvii

Gambar 4.21	Grafik Hubungan Tegangan Maksimum Deng Pengujian CEN 14766 Pada <i>Frame</i>	gan 78
Gambar 4.22	Grafik Hubungan Tegangan Maksimum Deng Pengujian CEN 14766 Pada <i>Head Tube</i>	gan .79
Gambar 4.23	Part Headtube Dengan Filamen ePA CF	80
Gambar 4.24	Finishing Part Headtube Filamen ePA CF	81
Gambar 4.25	Assembly Part Head Tube Pada Frame	82
Gambar 4.26	Uji Coba Desain Akhir	82
Gambar 4.27	Kemiringan Salah Satu Region	83
Gambar 4.28	Timbulnya <i>Crack</i>	.84

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Maksimum static von misses horizontal force26
Tabel 2.2	Maksimum static von misses vertical force26
Tabel 2.3	Hasil analisa MBB <i>beam</i> 31
Tabel 2.4	Hasil analisa <i>cantilever beam</i> 31
Tabel 3.1	Data Material
Tabel 3.2	Tabel variasi bentuk meshing44
Tabel 4.1	Hasil Analisa statical structure Simulasi Tahap Awal55
Tabel 4.2	Tabel Massa Part Headtube Hasil Topologi 63
Tabel 4.3	Analisa Simulasi <i>Static Structure</i> Hasil Topologi Optimasi70

BAB 1 PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sepeda pertama kali diciptakan berasal dari negara Perancis dengan sebutan velocipede pada abad ke-18. Sepeda ini pertama kali digunakan oleh seorang penjaga hutan untuk mobilitas dalam hutan. Di Indonesia sepeda digunakan sebagai alat transportasi olahraga maupun sebagai hobi. Seiring dengan perkembangannya zaman, kini bentuk sepeda semakin bervariasi sesuai dengan kebutuhan. Frame sepeda saat ini memiliki jenis material seperti baja, aluminium, titanium, dan *carbon fiber*. Beberapa dari material material tersebut memiliki kelebihan dan kelemahan masing-masing.

Salah satu proses yang membuat proses produksi semakin sulit adalah adalah proses penyambungan pada saat pembuatan frame. Kesulitan terjadi 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 seperti penyambungan antara material steel AISI 4130 dengan filamen ePA carbon fiber. Pada proses pengelasan ini juga memungkinkan timbulnya HAZ yang akan menurunkan kekuatan material yang bisa menimbulkan korosi. Untuk mempermudah proses penyambungan antar dua material berbeda yang tidak mungkin dilakukan pengelasan maka proses penyambungan pada part head tube dapat dilakukan dengan cara mengganti sambungan las dengan komponen penyambung yang dibuat dengan menggunakan 3D Printer Sunhokey Prusa I3 dengan material filamen ePA Carbon Fiber.

Untuk mendapatkan geometri sambungan *part head tube* seperti gambar 1.1 pada sepeda yang optimal maka dilakukan analisa *static and fatigue test* berdasarkan *standart* CEN 14766. Analisa dilanjutkan dengan elemen hingga menggunakan metode *Topology Optimization Design*, dimana fitur ini dapat mengoptimalkan suatu geometri part *head tube* sehingga didapatkan geometri paling optimal. Namun hasil dari proses *Topology Optimization Design* menghasilkan geometri yang rumit, sehingga untuk membentuk geometri *part head tube* tersebut dapat dibuat dengan proses *3D Printer* dimana proses pemesinan tidak dapat dilakukan.



Gambar 1.1 Sambungan *Headtube* pada *Frame* Sepeda (Sumber: Penulis)

Beberapa penelitian mengenai analisa *frame* sepeda sudah pernah dilakukan, seperti Carbon Fiber Bicycle Frame Analysis Using Finite Element Modeling oleh Brazilian Congress of Mechanical Engineering [1]. Penelitian ini menganalisa frame sepeda dengan material karbon yang diuji coba dengan falling mass. Penelitian lain juga telah dilakukan seperti Simulasi Fatigue Frame Mountain Bike Dengan Variasi Bahan Dan Ketebalan Menggunakan Standar CEN 14766 oleh Irvan Hedapratama dari Institut Teknologi Sepuluh Nopember [2]. Penelitian ini menganalisa *fatigue* pada *frame mountain bike* dengan menggunakan standar CEN 14766. 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 [3]. 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 head tube frame sepeda menggunakan 3D Printer mendorong penulis untuk mengambil tugas akhir dengan judul: "PEMBUATAN SAMBUNGAN PART HEAD TUBE PADA SEPEDA MENGGUNAKAN 3D PRINTER BERDASARKAN TOPOLOGY OPTIMIZATION DESIGN"

1.2 Rumusan Masalah

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

- 1. Bagaimanakah hasil simulasi dari sambungan *part head tube* dengan menggunakan metode pengujian CEN 14766?
- 2. Bagaimanakah bentuk geometri yang paling optimum dari produk *head tube* pada *frame* sepeda dengan metode analisa *Topology Optimization Design*?
- 3. Bagaimanakah pembuatan produk *head tube* pada *frame* sepeda menggunakan *3D Printer*?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah dari tugas akhir ini adalah:

- 1. Sepeda yang digunakan dalam penelitian ini adalah sepeda UNITED MIAMI XC 02 (2012).
- 2. Produk yang dianalis khusus sambungan *head tube*.

- 3. *Bearing* yang terdapat pada *head tube* diasumsikan aman.
- 4. Analisa yang digunakan dengan cara simulasi menggunakan *software* berbasis metode element hingga.
- 5. Hasil dari simulasi yang hendak dianalisa adalah *maximum stress, deformation,* dan persentase pengurangan massa pada produk yang akan dibuat.
- 6. 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:

- Mengetahui hasil simulasi dari sambungan part head tube dengan menggunakan metode pengujian CEN 14766.
- 2. Mengetahui bentuk geometri optimum dari produk *head tube* pada *frame* sepeda dengan metode analisa *Topology Optimization Design*.
- 3. Mengetahui pembuatan produk *head tube* pada *frame* sepeda 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 Analisa

Bab ini berisikan tentang simulasi tahap akhir berupa simulasi topologi optimasi, simulasi *static structure* hasil topologi, analisa *fatigue*, penentuan dan pembuatan *part head tube*.

Bab 5 Kesimpulan dan Saran

Bab ini berisikan tentang kesimpulan dan saran dalam penelitian ini

[Halaman ini sengaja dikosongkan}

BAB 2

DASAR TEORI

2.1 Pengenalan dan bagian *frame* United Miami XC 02 (2012)

United Miami XC 02 (2012) merupakan salah satu produk yang dikeluarkan oleh PT. Terang Dunia Internusa yang memiliki pabrik utama di Jakarta. Produk ini merupakan jenis *mountain bike* yang merupakan hasil pabrikan lokal, namun sepeda gunung ini tidak kalah dengan produk luar negeri [4].

Bagian-bagian dari United Miami XC 02 secara garis besar dapat dilihat pada gambar 2.1, dibagi menjadi enam 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. Sepeda ini memiliki zoom suspension 26" yang terbuat dari komponen-komponen pilihan. Untuk F-Derail, United Miami XC 02 ini menggunakan Shimano FD-C051, sedangkan untuk R-Derail, sepeda ini menggunakan Shimano RD-TX51.
- F. Bagian yang berguna sebagai pijakan kaki (pedal) serta batang yang memindahkan gaya dari kaki menuju ke gear depan (*crank arm*).



Gambar 2.1 United Miami XC 02 dan bagiannya [4]



Gambar 2.2 Bagian-bagian frame

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*. United Miami XC 02 ini memiliki frame MTB 26" x 4400 mm. Pada gambar 2.2 dibawah ini adalah penjelasan dari 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 Sepeda Dengan CEN

Standart Eropa ini telah dikembangkan atas permintaan di seluruh Eropa, dan tujuannya adalah untuk memastikan seluruh produksi sepeda sesuai dengan standart yang ada. Tes ini sudah dirancang untuk memastikan kekuatan dan daya tahan pada baganbagian sepeda seacara keseluruhan yang mempertimbangkan aspek keselamatan [5].

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 lainnnya 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 14764 yang masuk kategori sepeda *City Bike*. Untuk komponen *city bike* dalam CEN 14764 ada beberapa pengujian dalam standar lab yang ada sebelum sepeda dijual secara umum. Berikut adalah penjelasan isi dari standar pengujian frame CEN 14764 [2] :

2.2.1 Frame Fatuque Test With Horizontal Forces

Test ini bertujuan untuk mengetahui apakah frame kuat ketika menerima gara tarik dan gaya tekan dengan arah horizontal seperti pada Gambar 2.3 berikut ini:



Gambar 2.3 Fatuque Test With Horizontal Force [5]

Frame akan lolos pengujian ini apabila diberikan beban dinamis secara horizontal sebesar +1200 N dan -600 N memiliki nilai siklus minimal sebesar 50.000

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 minimal 100.000.



Gambar 2.4 Fatigue test with pedalling force [5]

Dimension in millimetres



Key

- 1 Free-running roller
- 2 Steel bar
- 3 Locked suspension unit or solid link for pivoted chain-stays
- 4 Rigid, pivoted mounting for rear axle attachment point

Gambar 2.5 Fatigue test with vertical force [5]

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 dibawah ini:

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.

2.3 Metode Optimasi Topologi

Optimasi topologi adalah sebuah rekayasa yang digunakan untuk meningkatkan kinerja dari struktur. Metode optimasi topologi dipolpulerkan oleh Xie dan Steven di awal 1990-an dan sejak itu metode ini terus berkembang untuk memecahkan berbagai masalah. Metode ini didasarkan pada konsep sederhana dengan secara bertahap mengurangi atau menghapus material yang tidak efisien dari struktur [6].

Proses optimasi topologi ini akan menghasilkan struktur dengan bentuk geometri dan topologi yang optimal. Secara teoritis metode ini tidak dapat menjamin bahwa prosedur tersebut akan menghasilkan solusi yang terbaik, optimasi topologi ini harus tetap mendapatkan kontrol dari pengguna metode ini. Teknik ini menyediakan fitur yang menarik dalam pemecahan bentuk struktural yang efisien dan tahapan bentuk desain konseptual.



Gambar 2.6 Hasil Proses Topologi Optimasi [3]

2.4 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 bertahuntahun sebelum produk sepeda motor tersebut dijual ke pasaran. Metode ini dapat menganalisa kekuatan dari seluruh komponenkomponen 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*). Bagianbagian 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 kooordinat 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 besarbesaran 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 (*finnite element*) salah satunya adalah Solidwork 2015. 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.

2.5 Teori Kegagalan lelah (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 2.13 adalah [7]:

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 perbedaaan selisih antara tegangan maksimum dan minimum pada siklus.

$$S_r = S_{maks} - S_{min} \tag{2.1}$$

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

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

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

$$S_m = \frac{S_{maks} + S_{min}}{2} \tag{2.3}$$



Gambar 2.7 Amplitudo Tegangan [7]

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

- Perbandingan tegangan: $R = \frac{S_{min}}{S_{maks}}$ (2.4)
- Perbandingan amplitudo: $A = \frac{S_a}{S_m} = \frac{1-R}{1+R}$ (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 2.7 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) dimasukan, 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 (Kf) dimasukan, maka S_r dikalikan dengan Kf, sehingga titik C didapatkan dari titik perpotongan antara S_m dan Kf S_r didalam batas aman. Seperti dalam Gambar 2.8 berikut :



Gambar 2.9 Tegangan Equivalen [7]

Pada Gambar 2.8 dalam diagram dapat dilihat segitiga AOB dan segitiga CDB serupa sehingga didapatkan hubungan seperti berikut ini:

$$\frac{\frac{S_y}{N} - S_m}{Kf.S_r} = \frac{S_y}{S_e}$$
(2.6)

$$\left(\frac{S_y}{N}\right) = S_m + Kf S_r \frac{S_y}{S_e}$$
(2.8)

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

$$S_{eq} = S_m + Kf S_r \frac{S_y}{S_e}$$
(2.9)

Untuk persamaan batas tegangan diagram soderberg pada gambar 2.1 adalah:

$$\frac{S_a}{S_e} + \frac{S_m}{S_{yp}} = 1 \tag{2.10}$$

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 di berikan 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 2.9 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:

$$N_f = N_i + N_p \tag{2.11}$$

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 2.10 Diagram Pertumbuhan Fatigue [7]



Gambar 2.11 $S_a vs N_f [7]$

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 2.10, 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*.

$$\frac{s_a}{s_e} + \frac{s_m}{s_u} = 1 \tag{2.12}$$

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:

$$\frac{S_a}{S_{Nf}} + \frac{S_m}{S_u} = 1$$
 (2.13)

2.6 3D Printer

3D printer adalah proses pembuatan benda padat tiga dimensi dari sebuah desain secara digital menjadi sebuah bentuk 3D yang memiliki volume. Prinsip utama untuk mencetak 3d printer yaitu membutuhkan data yang berbentuk 3 dimensi biasa disebut dengan *CAD* (*Computer Aided Design*). *CAD* merupakan aplikasi yang mampu menampilkan data dalam 3 dimensi. Berbeda dengan teknologi seperti pada mesin CNC (computer numerical control) yaitu substractive manufacturing, 3D printing menganut teknologi additive manufacturing di mana objek terbangun dengan membentuk layer per layer material, bukan membuang material seperti pada *laser cutting/milling machine*. Cara kerja mesin 3D printer yaitu [8] :

1. Model 3D

Model Objek 3D dapat dibuat dengan menggunakan software khusus untuk model desain 3D yang printernya mendukung contohnya seperti *solidwork, catia, delcam* dll.

2. Proses Print

Apabila desainnya sudah dibuat anda bisa langsung print di *3D printer*. Kemudian proses pencetakan pun dimulai, lamanya proses pencetakkan ini tergantung dari besar dan ukuran model. Proses printing menggunakan prinsip dasar Additive Layer dengan rangkaian proses mesin membaca rancangan 3D dan mulai menyusun lapisan secara berturutterut untuk membangun model virtual digabungkan secara otomatis untuk membentuk susunan lengkap yg utuh.

3. Finishing

Pada tahap ini anda dapat menyempurnakan bagian-bagian kompleks yang bisa jadi disebabkan oleh over sized atau ukuran yang berbeda dari yang diinginkan. Teknik tambahan untuk menyempurnakan proses ini dapat pula menggunakan teknik multiple material atau material berbeda; multiple color atau kombinasi warna.



Gambar 2.12 Mesin 3D Printer Prusa i3 [8]

24

2.7 Studi Pustaka

2.7.1 Simulasi *Fatigue Frame Mountain Bike* dengan Variasi Bahan dan Ketebalan Menggunakan Standart CEN 14766

Pada tahun 2016 Irvan Hedrapratama melakukan penelitian mengenai pengujian standart CEN dengan judul "SIMULASI FATIGUE FRAME MOUNTAIN BIKE DENGAN VARIASI BAHAN DAN KETEBALAN MENGGUNAKAN STANDAR CEN 14766" [2]. Penelitian ini menjelaskan mengenai simulasi fatigue frame mountain bike dengan horizontal force dan vertical force menggunakan standar CEN 14766. Data yang digunakan adalah hasil simulasi berupa von misses dari pengujian static horizontal force dengan gaya -600 N dan +1200 N dan von misses dari pengujian static vertical force dengan gaya 0 N dan +1200 N. Hasil yang didapatkan adalah berupa distribusi dari titik maksimum dan minimum dari nilai von misses, life (cycles), safety factor dan damage frame mountain bike.

Pada pengujian *static horizontal force* dilakukan dua kali simulasi, yaitu simulasi pertama dengan menempatkan gaya horizontal sebesar -600 N dan simulasi kedua dengan menempatkan gaya horizontal sebesar +1200 N. Penempatan gayagaya tersebut diletakkan pada bagian drop out dari fork dummy sedangkan pada bagian rear end frame dibuat tidak berubah posisi atau *fixed*. Hasil simulasi static horizontal force dengan variasi ketebalan 1,4 mm, 1,6 mm dan 1,8 mm dan variasi material AISI 4130 Steel dan Aluminium AA 6061 T6 kemudian ditunjukkan dalam Tabel 2.1.

Ketebalan (mm)	Maksimum - 600 N (MPa)	Maksimum +1200 N (MPa)
1,4	126,341	252,682
1,6	113,410	226,819
1,8	109,498	218,983
1,4	117,906	235,812
1,6	108,651	217,303
1,8	100,621	201,246
	Ketebalan (mm) 1,4 1,6 1,8 1,4 1,6 1,4	Ketebalan (mm)Maksimum - 600 N (MPa)1,4126,3411,6113,4101,8109,4981,4117,9061,6108,6511,8100,621

Tabel 2.1 Maksimum static von misses horizontal force [2]

Tabel 2.2 Maksimum static von misses vertical force [2]

Bahan	Ketebalan (mm)	Maksimum +1200 N (MPa)
AISI 4130 STEEL AA 6061 T6 ALUMINIUM	1,4	103,696
	1,6	102,732
	1,8	101,152
	1,4	89,732
	1,6	86,125
	1,8	85,891



Gambar 2.13 Letak maksimum von misses pada *horizontal force* [2]

Pada pengujian *static vertical force* dilakukan satu kali simulasi yaitu dengan menempatkan gaya vertikal sebesar +1200 N. Penempatan gaya tersebut diletakkan pada bagian saddle dari seat post dummy sedangkan pada bagian rear end frame dibuat tidak berubah posisi. Hasil simulasi *static vertical force* dengan variasi ketebalan 1,4 mm, 1,6 mm dan 1,8 mm dan variasi material AISI 4130 Steel dan Aluminium AA 6061 T6 kemudian ditunjukkan dalam Tabel 2.2

2.7.2 Bicycle Frame Analysis Using Finite Element Modeling

Pada tahun 2011 Diego dan Mauricio melakukan penelitian mengenai *Finite Element Modeling* yang berjudul "*Carbon Fiber Bicycle Frame Analysis Using Finite Element Modeling*" [1]. Penelitian ini mengalisa suatu *frame* sepeda menggunakan *carbon fibre* yang bertujuan mengurangi massa pada *frame* sepeda dan mendapatkan geometri *frame* sepeda yang sesuai dengan finite element modelling yang menggunakan software ABAQUS.

Pada percobaan kasus pertama penelitian yang dilakukan Diego dan Mauricio yaitu *falling mass* dengan 22,5 kg massa *impact* pada *frame-fork assembly* yang akan dijatuhkan dengan kondisi awal kecepana 1,9 m/s dan ketinggian 180 mm kearah roller yang bermassa 1 kg. Hasil simulasi dari kasus pertama tampak pada gambar 2.6



Gambar 2.14 Case 1 falling Mass [1]



Gambar 2.15 Case 2 Falling Mass [1]

Dapat dilihat dengan skala warna yang terjadi bahwa *failure* ditunjukan pada pagian *head tube*. Waktu untuk menghentikan massa pada simulasi pertama adalah 3,5 10-2 detik. Dengan massa 22,5 kg dan kecepatan awal 1,9 m/s, gaya rata-rata yang bekerja selama *shock* adalah 1221 N dan gaya yang bekerja pada frame sebesar 11319,45 N. Nilai ini jauh lebih tinggi dari perkiraan untuk pengujian ini, menunjukkan bahwa frame stabil pada kasus pertama

Pada percobaan kasus kedua dengan *assembly* yang sama untuk *falling mass test* dengan massa 70 kg ditempatkan pada *seat tube* yang segaris dengan pusat gravitasi yang berjarak 75 mm dari ujungnya. Hasil simulasi dari kasus pertama tampak pada gambar 2.7. Dapat dilihat dengan skala warna yang terjadi bahwa *failure* ditunjukan pada pagian *head tube, seat tube,* dan *bottom bracket.* Untuk tes kedua, waktu untuk berhenti adalah 1,4 10-2 detik dengan massa 70 kg dan kecepatan awal 1 m/s, gaya rata-rata yang bekerja pada tes kedua adalah 5000 N dan gaya yang bekerja pada frame sebesar 20683,5 N. Nilai ini jauh lebih tinggi dari perkiraan untuk pengujian ini, menunjukkan bahwa frame stabil pada kasus kedua.

2.7.3 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*" [3]. 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* ditunjukan pada tabel 2.1 dan 2.2. Tampak visual dari hasil simulasi ditunjukan pada gambar 2.6, 2.7, 2.8 dan 2.9.

	Ux	Uy	Uz	Evmtot	σ_{vm}
Nodes	1	3570	1	2341	4681
Minimum	-	-0,8.10	-	0,1.10-2	0,42.10
	0,48.10-	3	0,85.10-		5
	3		3		
Nodes	60	60	3601	1	1
Maximum	-	0,22.10-	0,22.10-	0,25.10-	0,25.107
	0,16.10-	4	4	2	
	3				

Tabel 2.3 Hasil analisa MBB beam [3]

Tabel 2.4 Hasil analisa cantilever beam [3]

	Ux	Uy	Uz	Evmtot	σ_{vm}
Nodes	1	3570	1	2341	4681
Minimum	-	-	-	0,21.10-	$1,52.10^4$
	0,19.10	0,84.10-	0,25.10-	2	
	2	2	3		
Nodes	60	60	3601	1	1
Maximum	0,16.10	-	0,25.10-	0,11.10-	$0,46.10^{7}$
	2	0,48.10-	4	2	
		2			



Gambar 2.16 MBB beam menggunakan MATLAB [3]



Gambar 2.17 MBB beam menggunakan ANSYS [3]

BAB 3 METODOLOGI

3.1 Diagram 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. Flowchart Penelitian

Diawali dengan studi literatur kemudian langkah selanjutnya yaitu melakukan *modelling frame* yang telah dipasang sambungan *headtube* menggunakan Solidworks 2017, melakukan simulasi dan optimasi menggunakan *software* elemen hingga yaitu Ansys 18, menganalisis hasil simulasi dan optimasi, menentukan desain akhir. Langkah terakhir yaitu menarik kesimpulan serta saran dari hasil penelitian ini seperti pada flowchart pada Gambar 3.1.

3.1.1 Studi Literatur

Tahapan pertama pada penelitian ini yaitu studi literatur. Studi literatur bertujuan untuk mengetahui dan mendalami landasan teori yang digunakan pada penelitian ini. Tahapan studi literatur dilakukan sesaat sebelum mengumpulkan data penelitian dari penelitian sebelumnya dan juga media internet berupa soft file. Topik-topik yang dibutuhkan dalam tugas akhir ini meliputi tipe sepeda, geometri frame sepeda, standard pengujian, dan jenis material yang digunakan. Selain itu dibutuhkan juga topik-topik yang berkaitan dengan elemen hingga dan metode-metode *topology optimization*.

3.1.2 Pengumpulan Data

Data material sepeda Miami XC 02 adalah *Steel AISI 4130*. Untuk melakukan optimasi pada part sambungan antar frame, dibutuhkan data spesifikasi dari sepeda United Miami XC 02 yang diawali dengan mencari geometri frame sepeda dengan 3d scan. Spesifikasi geometri diawali dengan menyecan frame dengan aplikasi Shining 3d seperti gambar 3.2 (a), dilanjutkan dengan aplikasi Geomagic seperti gambar 3.2 (b), dan dilanjutkan dengan eksport file kedalam Solidwork 2017 seperti gambar 3.2 (c) sehingga mendapatkan geometri seperti gambar 3.2 (d).



(a) Shining 3d Scan



(b) Geomagic



(c) Solidwork 2017



(d) Geometri *Frame* United XC 02 (Sattuan mm) Gambar 3.2 Spesifikasi geometri *frame* United Miami XC 02

3.1.3 Pemodelan dengan Solidworks 2017

Pada Gambar 3.3 merupakan pemodelan dari *frame mountain bike* Miami XC 02 yang sudah dipasang sambungan *headtube* dengan menggunakan *software* Solidworks 2017. Dimana pemodelan ini nantinya akan dipakai dalam simulasi dengan material awal *frame* sepeda United Miami XC 02 yaitu AISI 4130, akan tetapi terdapat variasi pada *part head tube* menggunakan bahan filamen ePa-*Carbon Fiber*. Untuk data material AISI 4130 dapat dilihat pada Table 3.1 dan data material filamen ePa-*Carbon Fiber* dapat dilihat pada Lampiran 1.



Gambar 3.3 *Frame* Sepeda United Miami Material AISI 6061 Dengan Variasi Material Al Alloy 6061 Serta Filamen ePA-CF pada *Head Tube*

Properties	Alloy Steel AISI 4130
Density	7.85 g/cc
Tensile strength, ultimate	560 MPa
Tensile strength, Yield	460 MPa
Modulus of elasticity	210 GPa
Shear modulus (Typical for steel)	80 GPa
Poissons Ratio	0.27-030
Elongation at break (in 50 mm)	21.5 %

Tabel 3.1 Data Material

3.1.4 Simulasi Tahap Awal

Pengujian yang akan dilakukan dalam simulasi tahap awal adalah simulasi pengujian *statical structure* pada software ANSYS 18. Simulasi ini menggunakan pemodelan seperti gambar 3.3 dengan material *frame* sepeda United Miami XC 02 yaitu AISI 4130 yang terdapat variasi material pada *part head tube* menggunakan material filamen ePA *Carbon Fiber*.

Simulasi tahap awal pada *meshing* dan *statical structural* menggunakan *horizontal force test* yang sesuai dengan standart CEN 14766. Hasil dari simulasi pengujian *statical structure* akan dijadikan data acuan. Simulasi tahap awal ini akan menghasilkan suatu model untuk topologi optimasi yang akan disimulasi kembali pada simulasi tahap akhir. Tahapan-tahapan simulasi tahap awal

ditunjukkan dalam bentuk diagram alir (*flowchart*) seperti pada gambar 3.4.



Gambar 3.4 Flowchart Simulasi Tahap Awal

1. Tahap Pertama : Pemodelan

Pembuatan model ini dilakukan untuk *frame* sepeda United Miami XC 02 yang telah dipasang sambungan *headtube* seperti Gambar 3.3, dimana pemodelan dilakukan pada *software Solidworks 2017*. Pada *frame* dilakukan variasi material pada *top tube* seperti pada table 3.2 dan pada material *head tube* seperti lampiran 1.

- Tahap kedua: Boundary Condition dan Force Standart CEN 14766
 - a. Boundary conditions dan loads pada horizontal force test

Dalam pengujian ini *frame* diberikan beban statis pada bagian *fork* dengan besar gaya +1200 N dan -600 sesuai pada Gambar 3.5 lalu di bagian *rear end* sebagai *fix condition* dan *Fork Rigid*.





(b) Gaya -600 N Gambar 3.5 Boundary conditions dan loads pada horizontal force test

b. Boundary conditions dan loads pada vertical force test Pada pengujian ini dilakukan dengan memberikan beban secara statis pada bagian seat tube sebesar -1200 N sesuai pada Gambar 3.6 lalu di bagian rear end sebagai fix condition, headtube roller support dan Saddle Rigid.



Gambar 3.6 Boundary conditions dan loads pada vertical force test

c. Boundary conditions dan loads pada pedalling force

Pada pengujian simulasi ini dilakukan dengan memberikan beban secara statis pada bagian kedua sisi pedal sebesar -1200 N sesuai pada Gambar 3.7. Pada bagian *rear*

end sebagai roller support, headtube sebagai fixed support dan Pedalling Rigid.



(a) Gaya -1200 N pada Pedal Kiri



 (a) Gaya -1200 N pada Pedal Kanan
 Gambar 3.7 Boundary conditions dan loads pada pedalling force test

3. Tahap ketiga : *Meshing*

Tahap ketiga ini dimulai dengan menempatkan gaya – gaya yang terjadi pada *frame* yang telah dipasang sambungan *head tube* dengan berdasarkan pada *standart* CEN 14766 yaitu pada *horizontal force test* dengan melakukan *probe* pada satu titik. Untuk melakukan simulasi *statical structure* pada software ANSYS 18 dibutuhkan parameter besarnya *meshing*. Penentuan besarnya *meshing* dilakukan dengan cara melakukan *statical structure* berdasarkan gaya yang telah ditetapkan sebelumnya pada salah satu node pada *down tube* seperti gambar 3.8, lalu dibandingkan nilai tegangan yang terjadi untuk masing – masing ukuran *meshing* hingga didapatkan hampir tidak terjadi perubahan antara hasil tegangan maksimum dengan ukuran *meshing* yang ditentukan. Jumlah elemen juga dapat divariasi dengan mengubah parameter seperti *size function, element size, relevance center,* atau *span angle center.* Pada simulasi ini, penulis memilih untuk memvariasikan *element size* seperti yang ditunjuukan pada tabel 3.2.



Gambar 3.8 Gambar hasil probe node tegangan pada down tube

Bentuk meshing	Relevance center	Span angle center	Element size	Jumlah titik	Jumlah elemen	Tegangan maksimum (MPa)
Meshing 1	Fine	Fine	5 mm	148884	51458	149,1
Meshing 2	Fine	Fine	4,5 mm	335266	120484	143,9
Meshing 3	Fine	Fine	4 mm	385479	137116	141,06
Meshing 4	Fine	Fine	3,5 mm	413458	147632	140,01
Meshing 5	Fine	Fine	3 mm	478432	171664	139,75

Tabel 3.2 Tabel variasi bentuk meshing



Gambar 3.9 Gambar hasil uji konvergensi pada beberapa variasi bentuk mesh

Semakin kecil ukuran elemen atau semakin banyak elemen memang hasil yang akan dihasilkan akan lebih valid, akan tetapi hal ini akan berpengaruh pada proses simulasi yang memakan waktu lebih lama. Oleh karena itu, diperlukan uji konvergensi pada beberapa bentuk *mesh* tersebut untuk mengoptimasi validitas hasil dan lama proses simulasi. Uji konvergensi dilakukan dengan cara membuat grafik hubungan antara hasil simulasi besar tegangan maksimal pada suatu elemen dengan variasi beberapa *meshing* (gambar 3.9).

Sehingga dari grafik tersebut akan dapat kita lihat suatu titik dimana nilai besar tegangan sudah semakin presisi atau biasa dikenal dengan istilah konvergen pada nilai element size 3,5 mm – 3 mm. penulis disini memilih untuk *meshing* dengan nilai *element size* 3,5 mm.

4. Tahap Keempat : Analisa *Statical Structure*

Tahap ini dilakukan dengan simulasi analisa statical structure pada frame yang sudah dipasang part sambungan head tube dengan pengujian standart CEN 14766 yaitu horizontal force, vertical force, pedaling force test dan meshing yang telah ditentukan. Hasil dari simulasi ini akan memperoleh tegangan Von-Mises.

5. Tahap Kelima : Analisa Hasil Statical Structure

Hasil analisa *statical structure* untuk mengetahui apakah sambungan *part head tube* dapat dilakukan topologi optimasi atau tidak berdasarkan tegangan hasil simulasi dibandingkan dengan tegangan izinnya pada setiap pengujain berdasarkan standard CEN 14766.

3.1.5 Simulasi Tahap Akhir

Pengujian yang akan dilakukan dalam simulasi tahap akhir ini adalah simulasi topologi optimasi dengan menggunakan *software* ANSYS 18. Topologi optimasi yang dilakukan disimulasi tahap akhir ini hanya pada *part* sambungan *head tube*. Hasil dari simulasi tahap awal akan menjadi model dan data acuan pada simulasi tahap akhir. Pada simulasi tahap akhir akan menghasilkan suatu model topologi optimasi yang paling optimum pada *part* sambungan *head tube*. Simulasi tahap akhir sesuai dengan *flowcart* pada gambar 3.10.



Gambar 3.10 Flowcart Simulasi Tahap Akhir

3.1.6 Pembuatan Part Headtube dengan 3D Printer



Gambar 3.11 3D Printer Sunhokey Prusa I3 [8]

Pada tahap ini model yang paling optimum *part head tube* pada setiap variasi material hasil dari analisa simulasi ANSYS 18 berdasarkan nilai *stress*, akan dibuat dengan menggunakan *3D Printer*. Model *3D Printer* yang digunakan untuk pembuatan *part head tube* adalah Sunhokey Prusa I3 dari Sunhokey, ilustrasi dari *3D Printer* dapat dilihat pada gambar 3.11.

Dalam proses pembuatan *part head tube* dengan *3D Printer* dilakukan beberapa tahapan yang akan dijelaskan sebagai berikut :

a) Pemodelan

Dalam pemodelan *part head tube*, penulis disini menggunakan *software* Solidworks 2017 yang dilanjutkan dengan analisa topologi optimasi dengan menggunakan *software* Ansys 18 sehingga mendapatkan geometri part head tube yang optimum.

b) Setting Layout

Setelah melakukan tahap pemodelan, selanjutkan dilakukan proses *setting layout*. Proses *setting layout* disini penulis menggunakan software CURA dengan format gambar STL. Proses *setting lauout* ini diperlukan karena untuk menyesuaikan *layout* yang akan di print dengan kondisi dan spesifikasi *printer* yang dipakai. Proses *setting layout* pada CURA dapat dilihat pada gambar 3.12.

c) Proses Print 3D

Tahap selanjutnya yaitu dengan menjalankan proses *print* dengan menyalakan mesin 3D *printer* dan mengatur temperature yang sesuai dengan karakteristik material. Contoh dari hasil 3D printer dapat dilihat pada gambar 3.13.

Printer Extrude	r 1				
Printer Settings	1	Printhead	Settings		
(Width)	220 m	m X min		20	mm
(Depth)	220 m	m Y min		10	mm
(Height)	220 m	m X max	Distance from the left of the		mm
Dull alter dans l		Y max	nozzle. Used	to prevent	mm
Origin at center	Rectangular	Gantry heig	prints and th printing "One	e printhead when " at a Time".	mm
		Number of	Extruders	1	•
Scode flavor	Marlin	•			
Start Gcode		End Gcode	e		
G28 X0 Y0 ;move G0 X40 Y53 F6000 G28 Z0 ;move Z t G29 ;Autobed lev G92 Z4 ;lower = G1 Z15,0 F6000 ; G92 E0	X/Y to min endstops to min endstops rel Z Pos, lift = Z Neg Move the platform down	 M104 50 M140 50 ;Retract G92 E1 G1 E-1 F G28 X0 Y M84 	the filame 7300 70	nt	

48



Gambar 3.12 Setting Layout Cura



Gambar 3.13 Contoh Hasil 3D Printer

3.1.7 Realisasi dan Uji Coba Desain

Setelah didapatkan satu desain yang paling optimal maka langkah selanjutnya adalah merealisasikan desain tersebut dengan menggunakan *3D printer* Sunhokey Prusa I3 yang terdapat pada laboratorium mekanika benda padat Teknik Mesin Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Hasil print *part headtube* tersebut selanjutnya diuji coba secara langsung di lapangan, yaitu dengan memasangkan semua part pada *frame* dan dijalankan sebagaimana sepeda pada umumnya.

3.1.8 Kesimpulam

Pada tahap ini akan membahas mengenai hasil dari tujuan penelitian ini berikut evaluasi-evaluasi serta penelitian yang dapat dilanjutkan kedepannya.

BAB IV

HASIL DAN ANALISA

Pada bab ini akan dilakukan simulasi awal tahap keempat dan tahap kelima vaitu static structure dengan pengujian horizoltal force, vertical force, dan pedaling force berdasarkan standard CEN 14766 untuk mengetahui apakah sambungan part head tube dapat di optimasi topologi atau tidak. Setelah mengetahui hasil simulasi tahap awal bahwa sambungan part head tube dapat dilakukan optimasi topologi, dilanjutkan dengan simulasi tahap akhir. Simulasi tahap akhir yang menjelaskan tentang simulasi optimasi topologi pada part head tube dari pengujian horizoltal force, vertical force, dan pedaling force berdasarkan standard CEN 14766 dengan pengurangan massa 15%, 30%, dan 40%. Hasil topologi akan dilakukan smooting pada part head tube dari massa yang terkecil. Setelah dilakukan smooting, part head tube akan kembali dilakukan simulasi static structure untuk mengetahui tegangan yang terjadi apakah dibawah tegangan izin dari masingmasing material. Kemudian data dari masing-masing hasil simulasi analisa *fatigue* static structure digunakan untuk untuk mendapatkan nilai *life (cycle)* yang akan disesuaikan dengan nilai life (cycle) yang terdapat pada standard CEN 14766. Setelah mendapatkan model *head tube* yang sesuai, selanjutnya dilakukan proses pembuatan part head tube dengan 3D printer. Tahap terakhir yaitu uji coba part head tube yang dipasang pada sepeda UNITED Miami XC 02.

4.1. Simulasi Tahap Awal

Simulasi awal pada tahap keempat dan kelima yaitu *static structure* dengan pengujian *horizoltal force, vertical force,* dan *pedaling force* berdasarkan *standard* CEN 14766 untuk mengetahui apakah sambungan *part head tube* masih dapat dilakukan Optimasi Topologi atau tidak.

4.1.1 Tahap Keempat : Analisa Statical Structure

Simulasi ini adalah anaslisa *statical structure* pada frame sepeda yang telah dipasang sambungan *part head tube* untuk mengetahui apakah *part head tube* masih dapat dilakukan optimasi topologi berdasarkan tegangan hasil simulasi dan tegangan izinnya. Setelah mengetahui tegangan hasil simulasi dari setiap pengujiannya, dilanjutkan dengan tahap kelima yaitu menentukan *part head tube* masih dapat di optimasi atau tidak yang akan dibahas pada sub bab 4.1.2.

1. Horizontal Force

Tahap ini dilakukan dengan simulasi analisa statis pada *frame* yang sudah dipasang part sambungan *head tube* dengan salah satu pengujian *standart* CEN 14766 yaitu



Gambar 4.1 Analisa *Statical Structure Horizontal Force horizontal force test* dan *meshing* yang telah ditentukan. Hasil dari simulasi statis ini akan memperoleh data tegangan *Von-Misses* maksimal pada software ANSYS 18.

Hasil simulasi *horizontal force* ini telah dikomparasi dengan penelitian sebelumnya oleh Irfan dengan hasil tegangan *Von-Misses* untuk *mountain bike* ketebalan 1,8 mm material AISI 4130 sebesar 218 MPa pada table 2.1. Penulis menggunakan sepeda yang sama dengan ketebalan 2,5 mm menghasilkan tegangan *Von-*

Misses 186 MPa, dimana semakin tebal *frame* sepeda tegangan yang dihasilkan semakin menurun.

2. Vertical Force

Tahap ini dilakukan dengan simulasi analisa statis pada frame yang sudah dipasang part sambungan head tube dengan salah satu pengujian standart CEN 14766 yaitu vertical force test dan meshing yang telah ditentukan. Hasil dari simulasi statis ini akan memperoleh data Von-Mises maksimal pada software ANSYS 18.

Hasil simulasi vertical force ini telah dikomparasi dengan penelitian sebelumnya oleh Irfan dengan hasil tegangan Von-Misses untuk mountain bike ketebalan 1,8 mm material AISI 4130 sebesar 101 MPa pada table 2.2. Penulis menggunakan sepeda yang sama dengan ketebalan 2,5 mm menghasilkan tegangan Von-Misses 96 MPa, dimana semakin tebal frame sepeda tegangan yang dihasilkan semakin menurun.



Gambar 4.2 Analisa Statical Structure Vertical Force

3. Pedalling Force



Gambar 4.3 Analisa Statical Structure Pedalling Force

Tahap ini dilakukan dengan simulasi analisa statis pada *frame* yang sudah dipasang part sambungan *head tube* dengan salah satu pengujian *standart* CEN 14766 yaitu *pedalling force test* dan *meshing* yang telah ditentukan. Hasil dari simulasi statis ini akan memperoleh data *Von-Mises* maksimal pada software ANSYS 18.

Simulasi ini dilakukan dengan material AISI 4130 pada *frame* dan material ePa *Carbon Fiber* pada *headtube* mendapat tegangan maksimal seperti gambar 4.3.

4.1.2 Tahap Kelima : Analisa Hasil Statical Structure

Hasil Analisa *statical structure* pada tahap keempat untuk sepeda dengan material AISI 4130 pada *frame* dengan filamen ePA *carbon fiber* pada *head tube* yang terdapat pada table 4.1 dimana setiap *part* menghasilkan tegangan maksimal hasil simulasi dibawah tegangan izin pada setiap material yang menandakan telah aman. Pada *part head tube* juga memiliki tegangan maksimal hasil simulasi dibawah tegangan izinnya, yang menandakan bahwa *part head tube* dapat dilakukan Optimasi Topologi.
Pengujian	Part Sepeda	Material	Hasil Tegangan	Tegangan	
CEN 14766	-		Maks.Statik	Izin Material	
			(MPa)	(MPa)	
Horizontal	Headtube	Filamen ePA	31,508	118	
Force		Carbon Fiber			
	Seluruh Rangka	AISI 4130	159,39	460	
Vertical Force	Headtube	Filamen ePA	6,5125	118	
		Carbon Fiber			
	Seluruh Rangka	AISI 4130	96,129	460	
Pedalling	Headtube	Filamen ePA	13,167	118	
Force		Carbon Fiber			
	Seluruh Rangka	AISI 4130	278,14	460	

Table 4.1 Hasil Analisa Statical Structure Simulasi tahap Awal

4.2 Simulasi Tahap Akhir

Setelah mengetahui hasil simulasi tahap awal bahwa sambungan *part head tube* dapat dilakukan Optimasi Topologi, dilanjutkan dengan simulasi tahap akhir. Simulasi tahap akhir yang menjelaskan tentang simulasi Optimasi Topologi pada part *head tube* dari pengujian *horizoltal force, vertical force,* dan *pedaling force* berdasarkan *standard* CEN 14766 dengan pengurangan massa 15%, 30%, dan 40%. Hasil topologi akan dilakukan smooting pada part *head tube* dari massa yang terkecil. Setelah dilakukan *smooting, part head tube* akan kembali dilakukan simulasi *static structure* untuk mengetahui tegangan yang terjadi apakah dibawah tegangan izin dari masing-masing material. Kemudian data dari masing-masing hasil simulasi *static structure* digunakan untuk analisa *fatigue* untuk mendapatkan nilai *life (cycle)* yang akan disesuaikan dengan nilai *life (cycle)* yang terdapat pada *standard* CEN 14766.

4.2.1 Optimasi Topologi

Optimasi topologi yang dilakukan adalah pengurangan massa sebesar 15%, 30%, dan 40% pada part *head tube* dari pengujian *horizoltal force, vertical force*, dan *pedaling force* berdasarkan *standard* CEN 14766. Simulasi optimasi topologi

dilakukan pada sepeda dengan material AISI 4130 pada *frame* dengan filamen ePA *carbon fiber* pada *headtube*. Simulasi topologi dapat dilihat pada skema berikut :



Gambar 4.4 Skema Simulasi Optimasi Topologi

Optimasi topologi yang dilakukan adalah pengurangan massa sebesar 15%, 30%, dan 40% pada part *head tube* dari pengujian *horizoltal force, vertical force*, dan *pedaling force* berdasarkan *standard* CEN 14766. Simulasi optimasi topologi dilakukan pada sepeda dengan material AISI 4130 pada *frame* dengan filamen ePA *carbon fiber* pada *headtube*.

A. Horizontal Force

Pengujian *horizontal force* yang pertama dilakukan dengan pengurangan massa sebesar 15% dan dilakukan *geometri selection* untuk bagian-bagian yang dipertahankan, maka didapat geometri sambungan *part head tube* seperti pada gambar 4.5 berikut. Hasil dari proses optimasi topologi dengan pengurangan

massa 15% ini dapat mengurangi massa sambungan *part head tube* menjadi 0,5871 kg dari massa awal 0,66023 kg.



Gambar 4.5 Hasil Topologi 15% Horizontal Force

Pengujian *horizontal force* yang kedua dilakukan dengan pengurangan massa sebesar 30% dan dilakukan *geometri selection* untuk bagian-bagian yang dipertahankan, maka didapat geometri sambungan *part head tube* seperti pada gambar 4.6 berikut. Hasil dari proses optimasi topologi dengan pengurangan massa 30% ini dapat mengurangi massa sambungan *part head tube* menjadi 0,4767 kg dari massa awal 0,66023 kg.



Gambar 4.6 Hasil Topologi 30% Horizontal Force



Gambar 4.7 Hasil Topologi 40% Horizontal Force

Pengujian *horizontal force* yang ketiga dilakukan dengan pengurangan massa sebesar 40% dan dilakukan *geometri selection* untuk bagian-bagian yang dipertahankan, maka didapat geometri sambungan *part head tube* seperti pada gambar 4.7 berikut. Hasil dari proses optimasi topologi dengan pengurangan massa 40% ini dapat mengurangi massa sambungan *part head tube* menjadi 0,42667 kg dari massa awal 0,66023 kg.

B. Vertical Force



Gambar 4.8 Hasil Topologi 15% Vertical Force

Pengujian *vertical force* yang pertama dilakukan dengan pengurangan massa sebesar 15% dan dilakukan *geometri selection* untuk bagian-bagian yang dipertahankan, maka didapat geometri

sambungan *part head* seperti pada gambar 4.8 berikut. Hasil dari proses optimasi topologi dengan pengurangan massa 15% ini dapat mengurangi massa sambungan *part head tube* menjadi 0,57274 kg dari massa awal 0,66023 kg.

Pengujian *vertical force* yang kedua dilakukan dengan pengurangan massa sebesar 30% dan dilakukan *geometri selection* untuk bagian-bagian yang dipertahankan, maka didapat geometri sambungan *part head* seperti pada gambar 4.9 berikut. Hasil dari proses optimasi topologi dengan pengurangan massa 30% ini dapat mengurangi massa sambungan *part head tube* menjadi 0,4744 kg dari massa awal 0,66023 kg.

Pengujian *vertical force* yang ketiga dilakukan dengan pengurangan massa sebesar 40% dan dilakukan *geometri selection* untuk bagian-bagian yang dipertahankan, maka didapat geometri sambungan *part head tube* seperti pada gambar 4.10 berikut. Hasil dari proses optimasi topologi dengan pengurangan massa 40% ini dapat mengurangi massa sambungan *part head tube* menjadi 0,42552 kg dari massa awal 0,66023 kg.



Gambar 4.9 Hasil Topologi 30% Vertical Force



Gambar 4.10 Hasil Topologi 40% Vertical Force

C. Pedalling Force

Pengujian *pedaling force* yang pertama dilakukan dengan pengurangan massa sebesar 15% dan dilakukan *geometri selection* untuk bagian-bagian yang dipertahankan, maka didapat geometri sambungan *part head tube* seperti pada gambar 4.11 berikut. Hasil dari proses optimasi topologi dengan pengurangan massa 15% ini dapat mengurangi massa sambungan *part head tube* menjadi 0,58045 kg dari massa awal 0,66023 kg.



Gambar 4.11 Hasil Topologi 15% Pedalling Force



Gambar 4.12 Hasil Topologi 30% Pedalling Force

Pengujian *pedaling force* yang kedua dilakukan dengan pengurangan massa sebesar 30% dan dilakukan *geometri selection* untuk bagian-bagian yang dipertahankan, maka didapat geometri sambungan *part head tube* seperti pada gambar 4.12 berikut. Hasil dari proses optimasi topologi dengan pengurangan massa 30% ini dapat mengurangi massa sambungan *part head tube* menjadi 0,47511 kg dari massa awal 0,66023 kg.

Pengujian *pedaling force* yang ketiga dilakukan dengan pengurangan massa sebesar 40% dan dilakukan *geometri selection* untuk bagian-bagian yang dipertahankan, maka didapat geometri sambungan *part head tube* seperti pada gambar 4.13 berikut. Hasil dari proses optimasi topologi dengan pengurangan massa 40% ini dapat mengurangi massa sambungan *part head tube* menjadi 0,42678 kg dari massa awal 0,66023 kg.



Gambar 4.13 Hasil Topologi 40% Pedalling Force

D. Analisa Hasil Optimasi Topologi Part Headtube

Dari hasil simulasi optimasi topologi sambungan *part headtube* sepeda dengan material AISI 4130 pada *frame* dan filamen ePA *carbon fiber* pada *head tube* didapat massa dari masing-masing pengujian *horizontal force, vertical force, dan pedaling force* dengan menentukan pengurangan massa sebesar 15% 30% 40% serta menentukan geometri selection untuk menentukan bagian-bagian yang akan dipertahankan. Hasil optimasi topologi pada setiap pengujiannya. yang dapat dilihat pada table 4.2.

Pada pengujian vertical force memiliki nilai massa hasil optimasi topologi yang lebih rendah dibandingkan dengan pengujian horizontal force dan pedaling force pada setiap pengurangan massa 15% 30% dan 40%. Hal tersebut dikarenakan pengujian vertical force static structure simulasi tahap awal memiliki nilai yang lebih rendah pada head tube dibandingkan dengan pengujian horizontal force dan pedaling force yang dapat dilihat pada table 4.1. Optimasi topologi dalam hal pengurangan massa bertujuan untuk melubangi atau mengurangi massa pada setiap bagian sambungan part head tube di setiap titik yang memiliki nilai tegangan yang sangat kecil, sehingga menghasilkan bentuk lubang-lubang pada sambungan part head tube. Massa terkecil terdapat pada pengujian *vertical force* dengan pengurangan massa 40% yaitu 0,42552 kg, oleh karena itu bentuk atau desain inilah yang akan dilakukan *smooting* pertama kali dan dilakukan simulasi *static structure* kembali serta analisa *fatigue* untuk mengetahui jumlah *life* (*cycle*) yang terjadi apakah sesuai dengan *standard* CEN 14766.

Pengujian CEN 14766	Pengurangan Massa	Massa Headtube Sebelum Topologi	Massa Headtube Hasil Topologi
	15%	0,66023 kg	0,5871 kg
Horizontal	30%	0,66023 kg	0,4767 kg
Force	40%	0,66023 kg	0,42667 kg
	15%	0,66023 kg	0,57274 kg
Vertical	30%	0,66023 kg	0,4744 kg
Force	40%	0,66023 kg	0,42552 kg
	15%	0,66023 kg	0,58045 kg
Pedalling	30%	0,66023 kg	0,47511 kg
Force	40%	0,66023 kg	0,42678 kg

 Table 4.2 Tabel Massa Sambungan Part Headtube Hasil

 Optimasi Topologi

4.2.2 Smooting Hasil Optimasi Topologi

Setelah dilakukannya simulasi optimasi topologi pada setiap penguian berdasarkan standard CEN 14766 dengan pengurangan massa yang telah ditentukan, maka terdapat massa terkecil *part headtube* sepeda pada pengujian *vertical force* dengan massa sebesar 0,42552 kg yang mana massa awal part head tube sebesar 0,66023 kg. Bentuk atau desain inilah yang akan dilakukan *smooting* pertama kali dan dilakukan simulasi *static structure* kembali serta analisa *fatigue* untuk mengetahui jumlah *life (cycle)* yang terjadi apakah sesuai dengan *standard* CEN 14766. Hasil dari optimasi tersebut masih terdapat bagian geometri yang masih kasar atau bahkan terputus, sehingga perlu dilakukan *smoothing* atau memperhalus dan mendesain ulang geometri model agar desain tersebut dapat realistis untuk dilakukan manufaktur. Hasil dari proses smooting ini ditunjukan pada gambar 4.14.



Gambar 4.14 Smooting Hasil Topologi

4.2.3 Simulasi Static Structure Hasil Optimasi Topologi

Simulasi *static structure* hasil optimasi topologi dilakukan untuk mengetahui apakah tegangan yang terjadi pada setiap material masih dibawah tegangan izin dari masing-masing material. Simulasi ini dilakukan dengan tiga pengujian berdasarkan standard CEN 14766 yaitu *horizontal force, vertical force, dan pedaling force.*

A. Horizontal Force

Simulasi *static structure* hasil optimasi topologi dengan pengujian *horizontal force* akan menghasilkan tegangan akibat gaya tarik +1200 N dan menghasilkan tegangan akibat gaya tekan -600 N. Simulasi *static structure* hasil optimasi topologi dapat dilihat pada gambar 4.15 untuk frame dan gambar 4.16 untuk sambungan *head tube*.

Setelah dilakukan *solving* pada simulasi tersebut, didapatkan data sebagai berikut:

- 1. Tegangan maksimum yang terjadi pada *frame* di*time* 1 akibat gaya tekan -600 N sebesar 123,17 MPa dan tegangan maksimum pada *frame* di*time* 2 akibat gaya tarik +1200 N sebesar 223,82 MPa. Distribusi nilai tegangan pada *frame* dapat dilihat pada gambar 4.15.
- 2. Tegangan maksimum yang terjadi pada *part head tube* di*time* 1 akibat gaya tekan -600 N sebesar 23,647 MPa dan tegangan maksimum pada *head tube* di*time* 2 akibat gaya tarik +1200 N sebesar 42,995 MPa. Distribusi nilai tegangan pada *part head tube* dapat dilihat pada gambar 4.16.



Gambar 4.15 Static Structure Horizontal Force Hasil Topologi Pada Frame



Gambar 4.16 Static Structure Horizontal Force Hasil Topologi Pada Headtube

B. Vertical Force

Simulasi *static structure* hasil Optimasi Topologi dengan pengujian *vertical force* akan menghasilkan tegangan akibat gaya tekan -1200 N. Simulasi *static structure* hasil optimasi topologi dapat dilihat pada gambar 4.17 untuk frame dan gambar 4.18 untuk sambungan *head tube*.

Setelah dilakukan *solving* pada simulasi tersebut, didapatkan data sebagai berikut:

- 1. Tegangan maksimum yang terjadi pada *frame* di*time* 1 akibat gaya tekan -1200 N sebesar 97,281 MPa. Distribusi nilai tegangan pada *frame* dapat dilihat pada gambar 4.17.
- 2. Tegangan maksimum yang terjadi pada *part head tube* di*time* 1 akibat gaya tekan -1200 N sebesar 7,0429 MPa. Distribusi nilai tegangan pada *part head tube* dapat dilihat pada gambar 4.15.



Gambar 4.17 Static Structure Vertical Force Hasil Topologi Pada Frame



Gambar 4.18 Static Structure Vertical Force Hasil Topologi Pada Headtube

C. Pedalling Force

Simulasi *static structure* hasil Optimasi Topologi dengan pengujian *pedaling force* akan menghasilkan tegangan akibat gaya pedal kiri -1000 N dan tegangan akibat pedal kanan -1000 N. Simulasi *static structure* hasil optimasi topologi dapat dilihat pada gambar 4.15 untuk frame dan gambar 4.16 untuk sambungan *head tube*.

Setelah dilakukan *solving* pada simulasi tersebut, didapatkan data sebagai berikut:

- 1. Tegangan maksimum yang terjadi pada *frame* di*time* 1 akibat gaya pedal kiri -1000 N sebesar 370,09 MPa dan tegangan maksimum pada *frame* di*time* 2 akibat gaya pedal kanan -1200 N sebesar 336,47 MPa. Distribusi nilai tegangan pada *frame* dapat dilihat pada gambar 4.19.
- 2. Tegangan maksimum yang terjadi pada *part head tube* di*time* 1 akibat gaya pedal kiri -1000 N sebesar 35,611 MPa dan tegangan maksimum pada *head tube* di*time* 2 akibat gaya pedal kanan -1200 N sebesar 20,814 MPa. Distribusi nilai tegangan pada *part head tube* dapat dilihat pada gambar 4.20.



Gambar 4.19 Static Structure Pedalling Force Hasil Topologi Pada Frame



Gambar 4.20 Static Structure Pedalling Force Hasil Topologi Pada Headtube

D. Analisa Simulasi Static Structure Hasil Optimasi Topologi

Hasil simulasi static structure dari Optimasi Topologi berupa tegangan setelah dilakukannya pengujian *horizontal force, vertical force,* dan *pedaling force* sesuai standart CEN 14766. Tegangan hasil simulasi setiap pengujian akan dibandingkan dengan tegangan izinnya yang terdapat pada Table 4.3.

Pada pengujian *horizontal force* terdapat nilai tegangan maksimum di*time* 1 akibat gaya tarik +1200 N serta nilai tegangan maksimum di*time* 2 akibat gaya tekan -600 N yang dapat dilihat pada gambar 4.15 untuk *frame* dan gambar 4.16 untuk *head tube*. Pada pengujian *vertical force* terdapat nilai tegangan maksimum di*time* 1 akibat gaya tekan -1200 N yang dapat dilihat pada gambar 4.17 untuk *frame* dan gambar 4.18 untuk *head tube*. Pada pengujian *pedalling force* terdapat nilai tegangan maksimum di*time* 1 akibat gaya pedal kiri -1200 N serta nilai tegangan maksimum di*time* 1 akibat gaya pedal kiri -1200 N serta nilai tegangan maksimum di*time* 2 akibat gaya pedal kanan -1200 N yang dapat dilihat pada gambar 4.19 untuk *frame* dan gambar 4.20 untuk *head tube*.

Pengujian CEN 14766	Part Sepeda	Material	Tegangan Maks.Tarik +1200 N (MPa)	Tegangan Maks.Tekan -600 N (MPa)	Tegangan Izin Material (MPa)
Horizontal Force	Headtube	Filamen ePA CF	42,995	23,647	118
	Seluruh Rangka	AISI 4130	223,82	123,17	460
Pengujian CEN 14766	Part Sepeda	Material	Tegangan Maks.Tekan -1200 N (MPa)	Tegangan Maks.Tarik 0 N (MPa)	Tegangan Izin Material (MPa)
Vertical Force	Headtube	Filamen ePA CF	97,231	0	118
	Seluruh Rangka	AISI 4130	7,043	0	460
Pengujian CEN 14766	Part Sepeda	Material	Tegangan Maks.Pedal Kiri -1000 N (MPa)	Tegangan Maks.Pedal kanan -1000 N (MPa)	Tegangan Izin Material (MPa)
Pedalling Force	Headtube	Filamen ePA CF	35,611	20,814	118
	Seluruh Rangka	AISI 4130	370,09	336,47	460

Table 4.3 Analisa Simulasi Static Structure Hasil OptimasiTopologi

Dari table 4.3 dapat dilihat hasil tegangan maksimal pada masing-masing material belum melewati batas tegangan izinnya, ini menandakan bahwa part headtube hasil Optimasi Topologi pengurangan massa 40% pada pengujian *horizontal force* dapat dipakai. Selanjutnya data tegangan maksimum hasil simulasi *static structure* pada Table 4.3 dipakai sebagai acuan dalam perhitungan *fatigue*.

4.2.4 Analisa Fatigue Hasil Optimasi Topologi

Analisa *fatigue* dilakukan untuk mengetahui apakah *life(cyle)* yang terjadi pada material AISI 4130 dan filamen ePA *Carbon Fiber* masih dalam batas standard berdasarkan Standart CEN 14766. Analisa ini dilakukan dengan tiga pengujian berdasarkan standard CEN 14766 yaitu *horizontal force, vertical force, dan pedaling force.* Data tegangan maksimal yang dipakai berpacuan pada Table 4.3.

A. Horizontal Force

Analisa *fatigue* yang digunakan pada pengujian *horizontal force* berupa tegangan maksimal akibat gaya tarik (Starik) dan gaya tekan (Stekan) yang terdapat pada Table 4.3. Analisa *fatigue* dilakukan pada frame dengan material AISI 4130 dan pada headtube material filamen ePA *carbon fiber*.

1. Material AISI 4130 Pada Frame

Dengan menggunkan persamaan 2.1 2.2 dan 2.3 serta data pendukung sebagai berikut :

Starik	= 223,83 N/m	ım2
Stekan	= 123,17 <i>N/m</i>	1m2
Su	$= 460 N/mm^{2}$	2
<i>ka</i> = 0,8	kb = 0,5	kc = 0,6

Maka didapat nilai *life* (cyle) sebagai berikut :

• Tegangan Amplitudo (*Sa*) : Sa = $|\frac{\text{Starik} - \text{Stekan}}{2}| = |\frac{223,83 - 123,17}{2}| = 50,33$

N/mm2

- Tegangan rata-rata (Sm) $Sm = |\frac{Starik + Stekan}{2}| = |\frac{223,83 + 123,17}{2}| = 173,5$ *N/mm2*
- Tegangan Umur Fatigue (SNf) $SNf = \frac{S_a}{(1 - \frac{Sm}{Su})} = \frac{50,33}{(1 - \frac{173,5}{460})} = 80,81 \text{ N/mm2}$
- Tegangan Batas fatigue (Sf) Sf = Ka x Kb x Kc x $\frac{Su}{2}$ = 0,8 x 0,5 x 0,6 x $\frac{460}{2}$ = 55,2 *N/mm*2

• Kemiringan kurva (B)
B =
$$(\frac{1}{6}) \times \log \frac{Sf}{Su} = (\frac{1}{6}) \times \log \frac{55,2}{460} = -0,15347$$

• Umur Fatigue (Nf)
Nf =
$$\sqrt[B]{\frac{Snf}{Su}} = \sqrt[-0.15347]{\frac{80,81}{460}} = 83451,78$$
 Cycle

Dari analisa fatigue ini didapat angka 83.451,78 Cycle, dimana berdasarkan Standart CEN 14766 pada pengujian horizontal force batas minimal fatigue sebesar 50.000 cycle. Ini menandakan bahwa kontruksi sepeda ini aman dalam pengujian fatigue horizontal force.

2. Filamen ePA Carbon Fiber Pada Headtube

Dengan menggunkan persamaan 2.1 2.2 dan 2.3 serta data pendukung sebagai berikut :

Starik	= 42,995 <i>N/mn</i>	n2
Stekan	= 23,647 <i>N/mm</i>	12
Su	= 118 <i>N/mm</i> 2	
<i>ka</i> = 1,2	kb = 0,5	kc = 0,6

Maka didapat nilai life (cyle) sebagai berikut :

•	Tegan	gan Amplitud	o (Sa) :	
	Sa – I	Starik – Stekan	42,995-23,647	- 9 674
	5a – I	2	2	-),074

N/mm2

- Tegangan rata-rata (Sm) $Sm = |\frac{Starik + Stekan}{2}| = |\frac{42,995 + 23,647}{2}| = 33,321$ *N/mm2*
- Tegangan Umur Fatigue (SNf) $Snf = \frac{S_a}{(1 - \frac{Sm}{Su})} = \frac{9,674}{(1 - \frac{33,321}{118})} = 13,48 \text{ N/mm2}$
- Tegangan Batas fatigue (Sf)
 Sf = Ka x Kb x Kc x ^{Su}/₂ = 1,2 x 0,5 x 0,6 x ¹¹⁸/₂ = 21,24 N/mm2

• Kemiringan kurva (B)

$$B = (\frac{1}{6}) \times \log \frac{Sf}{Su} = (\frac{1}{6}) \times \log \frac{21,24}{118} = -0,12412$$
• Umur Fatigue (Nf)

$$Nf = \sqrt[B]{\frac{Snf}{Su}} = \sqrt[-0,12412]{\frac{13,48}{118}} = 38992169,68 \ Cycle$$

Dari analisa fatigue ini didapat angka 38.992.169,78 *Cycle*, dimana berdasarkan Standart CEN 14766 pada pengujian *horizontal force* batas minimal *fatigue* sebesar 50.000 *cycle*. Ini menandakan bahwa kontruksi *headtube* pada sepeda ini aman dalam pengujian *fatigue horizontal force*.

B. Vertical Force

Analisa *fatigue* yang digunakan pada pengujian *vertical force* berupa tegangan maksimal akibat gaya tarik (Starik) dan gaya tekan (Stekan) yang terdapat pada Table 4.3. Analisa *fatigue* dilakukan pada frame dengan material AISI 4130 dan pada headtube material filamen ePA *carbon fiber*.

1. Material AISI 4130 Pada Frame

Dengan menggunkan persamaan 2.1 2.2 dan 2.3 serta data pendukung sebagai berikut :

Stekan = 97,231 N/mm2Starik = 0 N/mm2Su = 460 N/mm2ka = 0,8 kb = 0,5 kc = 0,6

Maka didapat nilai life (cyle) sebagai berikut :

- Tegangan Amplitudo (*Sa*) : Sa = $|\frac{\text{Smak} - \text{Smin}}{2}| = |\frac{97,231 - 0}{2}| = 48,61 \text{ N/mm2}$
- Tegangan rata-rata (Sm) Sm = $\left|\frac{\text{Smak} + \text{Smin}}{2}\right| = \left|\frac{97,231 + 0}{2}\right| = 48,61 \text{ N/mm2}$
- Tegangan Umur Fatigue (SNf) $SNf = \frac{S_a}{(1 - \frac{S_m}{Su})} = \frac{48,61}{(1 - \frac{48,61}{460})} = 54,35 \text{ N/mm2}$

- Tegangan Batas fatigue (Sf) Sf = Ka x Kb x Kc x $\frac{Su}{2}$ = 0,8 x 0,5 x 0,6 x $\frac{460}{2}$ = 55,2 N/mm2
- Kemiringan kurva (B) B = $(\frac{1}{6}) x \log \frac{sf}{su} = (\frac{1}{6}) x \log \frac{55,2}{460} = -0,15347$

• Umur Fatigue (Nf)
Nf =
$$\sqrt[B]{\frac{Snf}{Su}} = -0.15347 \sqrt{\frac{54,35}{460}} = 1106384,78$$
 Cycle

Dari analisa *fatigue* ini didapat angka 110.6384,78 *cycle*, dimana berdasarkan Standart CEN 14766 pada pengujian *vertical force* batas minimal *fatigue* sebesar 50.000 *cycle*. Ini menandakan bahwa kontruksi sepeda ini aman dalam pengujian *fatigue vertical force*.

2. Filamen ePA Carbon Fiber Pada Headtube

Dengan menggunkan persamaan 2.1 2.2 dan 2.3 serta data pendukung sebagai berikut :

Stekan	= 7,0429 <i>N/mn</i>	n2
Starik	= 0 <i>N/mm</i> 2	
Su	= 118 <i>N/mm</i> 2	
<i>ka</i> = 1,2	<i>kb</i> = 0,5	<i>kc</i> = 0,6

Maka didapat nilai life (cyle) sebagai berikut :

- Tegangan Amplitudo (*Sa*) : $Sa = \left|\frac{\text{Stekan - Starik}}{2}\right| = \left|\frac{7,0429 - 0}{2}\right| = 3,521 \text{ N/mm2}$ • Tegangan rata-rata (Sm) $Sm = \left|\frac{\text{Stekan + Starik}}{2}\right| = \left|\frac{7,0429 + 0}{2}\right| = 3,521 \text{ N/mm2}$ • Taran ran Linux Extirus (SNF)
- Tegangan Umur Fatigue (SNf) Snf = $\frac{S_a}{(1-\frac{Sm}{Su})} = \frac{3,521}{(1-\frac{3,521}{118})} = 3,63 \text{ N/mm2}$

74

- Tegangan Batas fatigue (Sf) Sf = Ka x Kb x Kc x $\frac{Su}{2}$ = 1,2 x 0,5 x 0,6 x $\frac{118}{2}$ = 21,24 *N/mm*2
- Kemiringan kurva (B) B = $(\frac{1}{6}) \propto \log \frac{Sf}{Sy} = (\frac{1}{6}) \propto \log \frac{21,24}{118} = -0,12412$

• Umur Fatigue (Nf)
Nf =
$$\sqrt[B]{\frac{Snf}{Su}} = \sqrt[-0.12412]{\frac{3,63}{118}} = 1,5 \times 10^{12} Cycle$$

Dari analisa *fatigue* ini didapat angka 1,5 x 10^{12} Cycle, dimana berdasarkan Standart CEN 14766 pada pengujian vertical *force* batas minimal *fatigue* sebesar 50.000 cycle. Ini menandakan bahwa kontruksi *headtube* pada sepeda ini aman dalam pengujian *fatigue vertical force*.

C. Pedalling Force

Analisa *fatigue* yang digunakan pada pengujian *pedalling force* berupa tegangan maksimal akibat gaya pedal kiri (Skiri) dan gaya pedal kanan (Skanan) yang terdapat pada Table 4.3. Analisa *fatigue* dilakukan pada frame dengan material AISI 4130 dan pada headtube material filamen ePA *carbon fiber*.

1. Material AISI 4130 Pada Frame

Dengan menggunkan persamaan 2.1 2.2 dan 2.3 serta data pendukung sebagai berikut :

 $S_{kiri} = 370,09 N/mm2$ $S_{kanan} = 336,47 N/mm2$ Su = 460 N/mm2ka = 0,8 kb = 0,5 kc = 0,6

Maka didapat nilai life (cyle) sebagai berikut :

• Tegangan Amplitudo (*Sa*) : Sa = $|\frac{\text{Skiri} - \text{Skanan}}{2}| = |\frac{370,09 - 336,47}{2}| = 16,81 \text{ N/mm2}$ • Tegangan rata-rata (Sm) Sm = $\left|\frac{\text{Skiri + Skanan}}{2}\right| = \left|\frac{370,09 + 336,47}{2}\right| = 353,28 \text{ N/mm2}$

• Tegangan Umur Fatigue (SNf)

$$SNf = \frac{S_a}{(1 - \frac{S_m}{Su})} = \frac{16,81}{(1 - \frac{353,28}{460})} = 72,46 \text{ N/mm2}$$

• Tegangan Batas fatigue (Sf)
Sf = Ka x Kb x Kc x
$$\frac{Su}{2}$$
 = 0,8 x 0,5 x 0,6 x $\frac{460}{2}$ = 55,2
N/mm2

• Kemiringan kurva (B)
B =
$$(\frac{1}{6}) x \log \frac{Sf}{Su} = (\frac{1}{6}) x \log \frac{55,2}{460} = -0,15347$$

• Umur Fatigue (Nf)
Nf =
$$\sqrt[B]{\frac{Snf}{Su}} = \sqrt[-0,15347]{\frac{72,46}{460}} = 169.853,42$$
 Cycle

Dari analisa fatigue ini didapat angka 169.853,42 *Cycle*, dimana berdasarkan Standart CEN 14766 pada pengujian *vertical force* batas minimal *fatigue* sebesar 100.000 *cycle*. Ini menandakan bahwa kontruksi sepeda ini aman dalam pengujian *fatigue pedalling force*.

2. Filamen ePA Carbon Fiber Pada Headtube

Dengan menggunkan persamaan 2.1 2.2 dan 2.3 serta data pendukung sebagai berikut :

Skiri	= 35,611 <i>N/mm</i> 2	
Skanan	= 20,814 <i>N/mm</i> 2	
Su	= 118 <i>N/mm</i> 2	
<i>ka</i> = 1,2	kb = 0.5 $kc = 0.6$	
Maka didap	at nilai <i>life (cyle)</i> sebagai berikut :	
• Tegang	an Amplitudo (<i>Sa</i>) :	
$Sa = \frac{S}{2} $	$\frac{\text{kiri} - \text{Skanan}}{2} = \frac{35,611 - 20,814}{2} = 7,4 \text{ N/mm2}$	
m		

- Tegangan rata-rata (Sm) Sm = $\left|\frac{\text{Skiri} + \text{Skanan}}{2}\right| = \left|\frac{35,611 + 20,814}{2}\right| = 28,21 \text{ N/mm2}$
- Tegangan Umur Fatigue (SNf)

76

$$\operatorname{Snf} = \frac{\operatorname{S}_{a}}{(1 - \frac{\operatorname{S}_{m}}{\operatorname{Su}})} = \frac{7.4}{(1 - \frac{28.21}{118})} = 9,74 \text{ N/mm2}$$

- Tegangan Batas fatigue (Sf) Sf = Ka x Kb x Kc x $\frac{Su}{2}$ = 1,2 x 0,5 x 0,6 x $\frac{118}{2}$ = 21,24 N/mm2
- Kemiringan kurva (B) B = $(\frac{1}{6}) \times \log \frac{Sf}{Su} = (\frac{1}{6}) \times \log \frac{21,24}{118} = -0,12412$
- Umur Fatigue (Nf) Nf = $\sqrt[B]{\frac{Snf}{Su}} = -0.12412 \sqrt{\frac{9,74}{118}} = 5,34 \text{ x } 10^8 \text{ Cycle}$

Dari analisa *fatigue* ini didapat angka 5,34 x 10^8 Cycle, dimana berdasarkan Standart CEN 14766 pada pengujian *pedallingl force* batas minimal *fatigue* sebesar 100.000 cycle. Ini menandakan bahwa kontruksi *headtube* pada sepeda ini aman dalam pengujian *fatigue pedallingl force*.

4.2.5 Analisa Hasil

Analisa hasil disini akan membahas tentang tegangan maksimum hasil simulasi *static structure* sepeda sebelum dan sesudah optimasi topologi dengan pengujian *horizontal force*, *vertical force*, dan *pedalling force* yang akan dibandingkan secara grafik untuk *frame* dengan material AISI 4130 dan untuk *head tube* dengan material filamen ePA CF.

A. Grafik Hubungan Tegangan Maksimum Dengan Pengujian CEN 14766 Sebelum dan Sesudah Optimasi Topologi

1. Frame Material AISI 4130



Gambar 4.21 Grafik Hubungan Tegangan Maksimum Dengan Pengujian CEN 14766 Pada *Frame*

Dari grafik pada gambar 4.26 dapat dilihat bahwa tegangan maksimal pada *frame* sepeda setelah dilakukan optimasi topologi meningkat dibandingkan sebelum dilakukan optimasi topologi, akan tetapi sebelum dan sesudah optimasi topologi seluruh tegangan maksimal yang terjadi masih dibawah tegangan izinnya. Peningkatan tegangan terjadi karena pada proses optimasi topologi terdapat pengurangan massa pada *part headtube*.

2. Headtube Material Filamen ePA CF

Dari grafik pada gambar 4.22 dapat dilihat bahwa tegangan maksimal pada sambungan *part headtube* sepeda setelah dilakukan optimasi topologi meningkat dibandingkan sebelum dilakukan optimasi topologi, akan tetapi sebelum dan sesudah optimasi topologi seluruh tegangan maksimum yang terjadi masih dibawah tegangan izinnya. Peningkatan tegangan terjadi karena pada proses optimasi topologi terdapat pengurangan massa pada *part head tube*.



Gambar 4.22 Grafik Hubungan Tegangan Maksimum Dengan Pengujian CEN 14766 Pada *Head Tube*

4.3 Hasil Realisasi dan Uji Coba Desain Akhir

Berdasarkan analisis pada sub-bab sebelumnya, dipilihlah desain sambungan *part head tube* yang ditunjukkan oleh gambar 4.14 sebagai desain yang akan dilakukan proses 3D print dan diuji coba performanya.

4.3.1 Hasil Realisasi Desain Akhir

Pembuatan *part headtube* dengan filamen ePA *carbon fiber* dilakukan pada desain seperti Gambar 4.14 karena memiliki massa hasil optimasi topologi paling kecil. Cara *setting* mesin 3D printer sudah dijelaskan pada bab sebelumnya yaitu pada sub bab 3.1.6 sehingga menghasilkan *part head tube* seperti Gambar 4.23. Pada Gambar 4.23 *part headtube* masih terdapat *support* hasil 3D printer yang harus dihilangkan. Setalah *support* dihilangkan, maka *part head tube* telah selesai seperti Gambar 4.24.



Gambar 4.23 Part Headtube Dengan Filamen ePA CF



Gambar 4.24 Finishing Part Headtube Dengan Filamen ePA CF

Bagian sambungan *part frame* dapat direalisasikan dengan baik mesin *3D printing* yang penulis gunakan, meskipun terdapat beberapa masalah, yaitu :

- 1. Filamen ePA *carbon fiber* lepas dari permukaan *bed block* saat proses print belum selesai, ini mungkin dikarenakan saat filamen ePA *carbon fiber* mulai mengering terjadi proses tarik menarik pada setiap sisinya.
- 2. Filamen ePA *carbon fiber* tidak keluar dari *nozzle*, dikarenakan motor penggerak untuk menarik filamen kurang di kencangkan.
- 3. Penggantian komponen *heat* pada *nozzle*, dikarenakan saat pergantian *nozzle* komponen *heat* tidak dipanaskan yang berakibat pemasangan *nozzle* tidak presisi akibat terdapat filamen yang mengering didalamnya.

4.3.2 Uji Coba Desain Akhir

Hasil print *part head tube* tersebut selanjutnya akan diuji coba secara langsung di lapangan, yaitu dengan memasangkan semua part pada *frame* seperti gambar 4.25 dan dijalankan sebagaimana sepeda pada umumnya seperti Gambar 4.26.



Gambar 4.25 Assembly Part Head Tube Pada Frame



Gambar 4.26 Uji Coba Desain Akhir

Hasil realisasi *part head tube* dan *frame* sepeda UNITED Miami XC 02 dapat dilakukan *assembly* dengan baik dan mampu dijalankan pada jalan yang datar meskipun ada beberapa evaluasi, yaitu:

- Terjadi kemiringan pada salah satu *region* seperti gambar 4.27. Hal tersebut terjadi karena kesalahan desain pada tempat *bearing*, tempat *bearing* terdapat pada luar sambungan *part head tube* hasil 3D printer dimana seharusnya berada didalam sambungan *part head tube*. Kemiringan itu terjadi akbiat gaya tekan dari setir sepeda ketika mau dikencangkangkan dengan *fork*. Hal ini dapat ditanggulangi dengan mendesain ulang *part head tube* dengan tempat *bearing* berada didalamnya.
- 2. Timbulnya *crack* pada *part head tube* seperti gambar 4.28. Uji coba desain akhir dilakukan sebanyak tiga kali. Percobaan pertama dan kedua dilakukan pada jalan yang datar dan masih aman. Pada percobaan ketiga dilakukan pada jalan yang sedikit menanjak dan menurun, pada percobaan ketiga inilah mulai timbul *crack* pada *part head tube*. Crack timbul akibat lubang untuk *top tube pada head tube* tidak pas, terjadi perbedaan sudut saat mendesain. Hal ini akan ditanggulangi dengan mendesain ulang *part head tube* untuk lubang *top tube* dibuat se presisi mungkin dan akan dilakukan proses print kembali.



Gambar 4.27 Kemiringan Salah Satu Region



Gambar 4.28 Timbulnya Crack

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil analisa yang dilakukan, didapat kesimpulan sebagai berikut :

- 1. Hasil simulasi tahap awal *static structure* dengan pengujian berdasarkan standard CEN 14766 memiliki nilai tegangan masih dibawah tegangan izin setiap material dan pada *part head tube* masih jauh dibawah tegangan izinnya yang menandakan bahwa *part head tube* dapat di optimasi topologi.
- Hasil simulasi optimasi topologi pada *part head tube* dengan massa terkecil terdapat pada model sepeda pertama dengan pengurangan massa 40% pengujian *vertical force*. Ini dikarenakan tegangan *von misses* terkecil pada part *head tube* terdapat pada pengujian *vertical force*. Desain inilah yang dipakai dalam proses print 3D.
- 3. Proses pembuatan *part head tube* hasil topologi optimasi dilakukan dengan mesin 3D printer dikarenakan terdapat bagian-bagian yang sulit dilakukan dengan proses pemesinan.

5.2 Saran

1. Untuk melakukan proses print 3D menggunakan filamen ePA *carbon fiber* sebaiknya pada *bed* dilapisi dengan lem aibon, dikarenakan ketika filamen ePA *carbon fiber* mulai mengering produk akan lepas dari bed ketika proses print belum selesai.

- 2. Nozzle yang dipakai dalam proses print 3D filamen ePA *carbon fiber* lebih baik menggunakan yang *stainless steel,* dikarenakan suhu yang dipakai lebih tinggi dibandingkan dengan suhu filamen lain dalam proses print 3D.
- 3. 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.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Diogo & Maurício. 2011. Carbon Fiber Bicycle Frame Analysis Using Finite Element Modeling. Brazil: ITA Technology Institute of Aeronautics.
- [2] Hedapratama, Irvan. 2016. Simulasi Fatigue Frame Mountain Bike Dengan Variasi Bahan dan Ketebalan Menggunakan Standar CEN 14766. Indonesia: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- [3] Atani, K. et. all. 2001. **Topology Optimization of 3D Structure Using ANSYS and MATLAB.** Morocco: Industrial Management LIMII.
- [4] Sepeda UNITED, <URL: https://sepeda.biz/2017/01/17/>
- [5] Standart CEN 14766, Mountain and trekking bicycles -Safety requirements and test methods – Part 4.8: Frame.
- [6] Huang, X. & Xie, Y. M. 2010. Evolutionary Topology Optimization of Continuum Structures. Melbourne: Jhon Willey & Sons, Inc..
- [7] Hibbeler. R. C. 2011. **Mechanics of Material 8th Edition**. Pearson Prentice Hall.
- [8] **Printer 3D**, <URL: http://www.partner3d.com/>

Lampiran 1 Material ePA Carbon fiber

0	C	1	8
0			

3D PRINTING FILAMENT

(Filament specification: 1.75mm / 2.85mm)

FILAMENT	Print Temp(°C)	Bed Temp(°C)	Density (g/cm³)	Distortion Temp (°C,0.45MPa)	Melt Flow Index (g/10min)	Tensile Strength (MPa)	Elongation at Break (%)	Bending Strength (MPa)	Flexural Modulus (MPa)	IZOD Impact Strength (kJ/ m)
PLA	190-210	No Heat/(60-80)	1.24	56	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	1	1	22	360	1	1	/
eSmooth	190-210	45-55	1	63.5	4-6(190°C/2.16kg)	46.16	273.14	71.41	2799.32	4.39
eClean	160-300	1	0.95	45	/	23	580	1	1	29
Wood	190-220	No Heat/80	0.70	45	15(190°C/2.16kg)	1	1	1	1	7
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	1	40	4	64	4954	4
eAl-fill	200-220	No Heat/40	1.48	52	1	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-GF	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	1	1	52	500	I	1	1
eLastic (TPE)	210-230	No Heat	1.14	1	1	32	420	1	1	/
eMate (PCL)	80-110	45	1.33	51	4(110°C/2.16kg)	17	228	25	849	23
CERTIFICATION	1			REA	ROHS					

Lampiran 2 Standart CEN 14766

4.8.4 Frame - fatigue test with pedalling forces

4.8.4.1 General

All types of frame shall be subjected to this test.

In tests on suspension frames with pivoted joints, adjust the spring, air-pressure, or damper to provide maximum resistance, or, for a pneumatic damper in which the air-pressure cannot be adjusted, replace the suspension unit with a rigid link, ensuring that its end fixings and lateral rigidly accurately simulate those of the original unit. For suspension-frames in which the chain-stays do not have pivots but rely on flexing, ensure that any dampers are set to provide the minimum resistance in order to ensure adequate testing of the frame.

Where a suspension frame has adjustable brackets or linkages to vary the resistance of the bicycle against the ground-contact forces or to vary the attitude of the bicycle, arrange the positions of these adjustable components to ensure maximum forces in the frame.

4.8.4.3 Test method

Use a new frame/lork assembly fitted with standard head-tube bearings for the test. The front fork may be replaced by a dummy fork of the same length and at least the same stiffness as the original fork.

NOTE If a genuine fork is used, failures of the fork are possible, therefore, it is recommended that for convenience, a dummy fork stiffer and stronger than the genuine fork is used.

Where a frame is convertible for male and female riders by the removal of a bar, test it with the bar removed.

Mount the frame assembly on a base as shown in Figure 29 with the fork or dummy fork secured by its axle to a rigid mount of height $R_{\rm w}$ (the radius of the wheel/lyre assembly \pm 30 mm) and with the hub free to swivel on the axle. Secure the rear drop-outs by means of an axle to a stiff, vertical link of the same height as that of the front, rigid mount, the upper connection of the link being free to swivel about the axis of the axle but providing rigidity in a lateral plane, and the lower end of the link being fitted with a ball-joint.

Fit a crank, chain-wheel or chain-wheel set and chain assembly or, preferably, a strong, stiff, adaptor assembly to the bottom-bracket as shown in Figure 29 and described in a) or b) below.

- a) If a crank/chain-wheel assembly is used, incline both cranks forwards and downwards at an angle of 45° (accurate to ± 0,5°) to the horizontal and secure the front end of the chain to the middle chain-wheel of three, the smaller chain-wheel of two, or the only chain-wheel. Attach the rear end of the chain to the rear axle and perpendicular to the axis of the axle.
- b) If an adaptor assembly is used (as shown in Figure 29), ensure that the assembly is free to swivel about the axis of the bottom-bracket and that both replacement arms are 175 mm long (*L*) and that they are both inclined forwards and downwards at an angle of 45° (accurate to ± 0.5°) to the horizontal. Secure the position of the crank replacement arms by a vertical arm (which replaces the chain wheel) and a tie-rod which has ball-joints at both ends and which is attached to the rear axie perpendicular to the axis of the rear axie. The length of the vertical arm (*R*_c) shall be 75 mm, and the axis of the tie-rod shall be parallel to and 50 mm from the vertical plane through the contrel-line of the frame.

Subject each pedal-spindle (or equivalent adaptor component) to a repeated downward force of 1 200 N at a position 150 mm from the centre-line of the frame in a vertical, transverse plane and inclined at 7,5" (accurate to within ±0,5") to the fore/aft plane of the frame as shown in Figure 29. During application of these test forces, ensure that the force on a "pedal-spindle" falls to 5 % or less of the peak force before commencing application of the test force to the other "pedal-spindle".

Apply the test forces for 100 000 test cycles where one test cycle consists of the application and removal of the two test forces.

Dimensions in millimetres



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)
- Rigid mount 4
- 2 Vertical link
- 3 Ball-joint
- 4 Adaptor assembly
- 5 Vertical arm
- 6 Tie-rod
- 7 Centre-line of tie-rod

Figure 29 — Frame – fatigue test with pedalling forces

4.8.5 Frame - fatigue test with horizontal forces

4.8.5.1 General

All types of frame shall be subjected to this test

Where a frame is convertible for male and female riders by the removal of a bar, remove the bar.

It is not necessary for a genuine fork to be fitted, provided that any substitute fork is of the same length as the intended fork and it is correctly installed in the steering-head bearings. For a suspension fork, lock it at a length equivalent to that with an 80-kg rider seated on the bicycle either by adjusting the spring/damper or by external means.

In tests on suspension frames with pivoted joints, lock the moving part of the frame into a position as would occur with an 80-kg rider seated on the bicycle. This may be achieved by locking the suspension unit in an appropriate position or, if the type of suspension system does not permit it to be locked, then the suspension system may be replaced by a solid link of the appropriate compressed size. Ensure that the axes of the front and rear axles are horizontally in line, as shown in Figure 30. For suspension-frames in which the chain-stays do not have pivots but 50
Where a suspension frame has adjustable brackets or linkages to vary the resistance of the bicycle against the ground-contact forces or to vary the attitude of the bicycle, arrange the positions of these adjustable components to ensure maximum forces in the frame.



Key

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

Figure 30 - Frame - fatigue test with horizontal forces

4.8.5.2 Requirement

When tested by the method described in 4.8.5.3, there shall be no visible cracks or fractures in the frame and there shall be no separation of any parts of any suspension system.

For carbon-fibre frames, the peak deflections during the test in either direction from the mean position shall not increase by more than 20 % of the initial values.

4.8.5.3 Test method

Mount the frame in its normal attitude and secured at the rear drop-outs so that it is not restrained in a rotary sense (i.e. preferably by the rear axle) as shown in Figure 30. Ensure that the axes of the front and rear axles are horizontally in line.

4.8.6 Frame - fatigue test with a vertical force

4.8.6.1 General

All types of frame shall be tested unless the particular frame has both a top-tube and seat-stays the upper parts of all of which join the seat-tube within a distance of twice the internal diameter of the seat-tube measured from the upper end of the seat-tube and parallel to the seat-tube axis as shown in Figure 31 a). Where the shape of the top face of the seat-tube is other than a plane section perpendicular to the axis of the seat tube, the measurements from the top-tube and the seat-stays (d_r and d_2 in Figure 31) shall be made to the lowest part of the top edge of the seat-tube (see examples b) and c) Figure 31 c)).

4.8.6.2 Requirement

When tested by the method described in 4.8.6.3, there shall be no visible cracks or fractures in the frame and there shall be no separation of any parts of the suspension system.

For carbon-fibre frames, the peak deflection during the test in either direction from the mean position shall not increase by more than 20 % of the initial values.

4.8.6.3 Test method

Mount the frame in its normal attitude and secured at the rear drop-outs so that is not restrained in a rotary sense (i.e. preferably by the rear axle) as shown in Figure 32. Fit a suitable roller to the front axle in order to permit the frame to filex in a fore/aft sense under the test forces.

Insert a tube equivalent to a seat-stem to a depth of 75 mm in the top of the seat-tube and secure this to the manufacturer's instructions by the normal clamp. Securely attach a horizontal, rearward extension (*E* in Figure 32) to the top of this bar such that its length (dimension *h* in Figure 32) places point *H* in a position equivalent to that of the centre of the saddle-clamp with the bicycle at its maximum saddle height recommended for the particular frame, or, if the maximum saddle height information is not available, dimension *h* shall be 250 mm. 52 Apply cycles of dynamic, vertically-downward forces of 0 to +1 200 N at a point 70 mm behind the intersection of the axes of the solid steel bar and the extension piece, *E*, as shown in Figure 32 for 50 000 test cycles with a test frequency not exceeding 25 Hz.

Dimension in millimetres



Key

- 1 Free-running roller
- 2 Steel bar
- 3 Locked suspension unit or solid link for pivoted chain-stays
- 4 Rigid, pivoted mounting for rear axle attachment point

Figure 32 — Frame – fatigue test with a vertical force





BIODATA PENULIS



Berikut data diri penulis Muhamad Faisol, lahir di Bangkalan, 21 Maret 1995, putra dari bapak H. M. Rofiq dan ibu Hj. Bairoh. Penulis merupakan anak pertama dari dua bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan di SDN 09 Jakarta Selatan, SMPN 178 Jakarta dan SMAN 87 Jakarta, kemudian pada tahun 2013 melanjutkan ke Institut Teknologi Sepuluh Nopember mengambil jurusan DIII Teknik Mesin

Produksi Kerjasama ITS-Disnakertansduk, setelah itu meneruskan lintas jalur pada tahun 2016 di jurusan S1 Teknik Mesin Institut Teknologi Sepeluh Nopember . Selama kuliah, penulis pernah mengikuti Pra-FMD di puslatpur Purbaya, Pra-TD, tergabung dalam Forum Komunikasi Mesin Disnaker, Staff pengembangan Sumber Daya Mahasiswa BEM ITS dan mendapatkan 2 mendali perunggu di PIMNAS 28 serta satu mendali emas di PIMNAS 29. Penulis pernah melaksanakan On The Job Training di PT. Pertamina (Persero).

Email : faisol.muhamad16@gmail.com