TUGAS AKHIR – MN 141581

ANALISIS KEKUATAN POROS PROPELLER BERBAHAN *CARBON FIBER* PADA KAPAL KECIL

Nuku Geraldi Abdillah Bira
NRP 04111440000038

Dosen Pembimbing
Prof. Ir. Achmad Zubaydi, M.Eng., Ph.D.
Septia Hardy Sujiatanti, S.T., M.T.

DEPARTEMEN TEKNIK PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2018

TUGAS AKHIR – MN 141581

ANALISIS KEKUATAN POROS PROPELLER BERBAHAN *CARBON FIBER* PADA KAPAL KECIL

Nuku Geraldi Abdillah Bira

NRP 04111440000038

Dosen Pembimbing

Prof. Ir. Achmad Zubaydi, M.Eng., Ph.D.

Septia Hardy Sujiatanti, S.T., M.T.

DEPARTEMEN TEKNIK PERKAPALAN

FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

SURABAYA

2018

FINAL PROJECT – MN 141581

ANALYSIS OF PROPELLER SHAFT STRENGTH MADE FROM CARBON FIBER ON SMALL VESSELS

Nuku Geraldi Abdillah Bira
NRP 04111440000038

Supervisor
Prof. Ir. Achmad Zubaydi, M.Eng., Ph.D.
Septia Hardy Sujiatanti, S.T., M.T.

DEPARTMENT OF NAVAL ARCHITECTURE & SHIPBUILDING ENGINEERING
FACULTY OF MARINE TECHNOLOGY
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY
SURABAYA
2018

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISIS KEKUATAN POROS PROPELLER BERBAHAN *CARBON FIBER* PADA KAPAL KECIL

TUGAS AKHIR

Diajukan Guna Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Bidang Keahlian Rekayasa Perkapalan – Konstruksi dan Kekuatan Kapal
Program Sarjana Departemen Teknik Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

NUKU GERALDI ABDILLAH BIRA
NRP 04111440000038

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir:

Dosen Pembimbing II	Dosen Pembimbing I
Septia Hardy Sujiatanti, S.T., M.T.	Prof. Ir. Achmad Zubaydi, M.Eng., Ph.D.
NIP 19840921 201212 2 001	NIP 19590505 198403 1 012

Mengetahui,
Kepala Departemen Teknik Perkapalan

Ir. Wasis Dwi Aryawan, M.Sc., Ph.D.
NIP 19640210 198903 1 001

SURABAYA, 18 JULI 2018

LEMBAR REVISI

ANALISIS KEKUATAN POROS PROPELLER BERBAHAN *CARBON FIBER* PADA KAPAL KECIL

TUGAS AKHIR
Telah direvisi sesuai dengan hasil Ujian Tugas Akhir
Tanggal 4 Juli 2018

Bidang Keahlian Rekayasa Perkapalan – Konstruksi dan Kekuatan
Program Sarjana Departemen Teknik Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

NUKU GERALDI ABDILLAH BIRA
NRP 04111440000038

Disetujui oleh Tim Penguji Ujian Tugas Akhir:

1. Hasanudin, S.T., M.T. .....
2. Muhammad Nurul Misbach, S.T., M.T. .....
3. Totok Yulianto, S.T., M.T. .....

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir:

1. Prof. Ir. Achmad Zubaydi, M.Eng., Ph.D. .....
2. Septia Hardy Sujiatanti, S.T., M.T. .....

SURABAYA, 18 JULI 2018

Dipersembahkan kepada kedua orang tua atas segala dukungan dan doanya

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa karena atas karunianya Tugas Akhir ini dapat diselesaikan dengan baik.

Pada kesempatan ini Penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang membantu penyelesaian Tugas Akhir ini, yaitu:

1. Orang tua dan keluarga penulis yang telah memberikan dukungan moral maupun materiil dalam pengerjaan Tugas Akhir ini;
2. Bapak Prof. Ir. Achmad Zubaydi, M.Eng., Ph.D. dan Ibu Septia Hardy Sujiatanti, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing yang telah memberikan kritik dan sarannya untuk perbaikan Laporan Tugas Akhir ini;
3. *Stakeholder* Departemen Teknik Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember;
4. Teman-teman penulis yang telah membantu dan memberikan dukungan kepada penulis selama proses pengerjaan Tugas Akhir ini;
5. *Stakeholder* Balai Besar Bahan dan Barang Teknik yang telah membantu dalam proses pengujian pada Tugas Akhir ini

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih jauh dari kesempurnaan, sehingga kritik dan saran yang bersifat membangun sangat diharapkan. Akhir kata semoga laporan ini dapat bermanfaat bagi banyak pihak.

Surabaya,

Nuku Geraldi Abdillah Bira

ANALISIS KEKUATAN POROS PROPELLER BERBAHAN *CARBON FIBER* PADA KAPAL KECIL

Nama Mahasiswa	:	Nuku Geraldi Abdillah Bira
NRP	:	04111440000038
Departemen / Fakultas	:	Teknik Perkapalan / Teknologi Kelautan
Dosen Pembimbing	:	1. Prof. Ir. Achmad Zubaydi, M.Eng., Ph.D.
		2. Septia Hardy Sujiatanti, S.T., M.T.

ABSTRAK

Pada umumnya poros propeller memiliki material berjenis baja dan bertipe pejal. Hal ini mengakibatkan poros propeller memiliki beban yang berat. Jenis material yang digunakan dapat diganti dengan material *carbon fiber.* Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui kekuatan material *carbon fiber* dengan variasi jumlah layer, lalu dibandingkan dengan material poros propeller pada umunya yaitu *stainless steel 316.* Variasi yang digunakan untuk jumlah layer dari *carbon fiber* adalah 3 layer, 5 layer, dan 7 layer. Untuk mengetahui kekuatannya maka dilakukan pengujian tarik dan pengujian puntir untuk spesimen *carbon fiber dan stainless steel 316.* Setelah dilakukan pengujian tarik, didapatkan nilai kuat tarik untuk spesimen *stainless steel 316* sebesar 579.996 MPa, *carbon fiber 3 layer* sebesar 433.333 MPa, *carbon fiber 5 layer* sebesar 508.176 MPa, *carbon fiber 7 layer* sebesar 588.601 MPa. Hasil dari pengujian puntir dapat diketahui beban puntir maksimum tiap spesimen. Untuk Spesimen *stainless steel* sebesar 29559 Nmm, *carbon fiber 3 layer* sebesar 11911 Nmm, *carbon fiber 5 layer* sebesar 14824 Nmm, *carbon fiber 7 layer* sebesar 21339 Nmm. Dari hasil tersebut diketahui bahwa penambahan layer dari spesimen *carbon fiber* dapat menambah kekuatan tarik maupun puntir dari specimen *carbon fiber*. Adapun untuk kapal dengan torsi mesin sebesar 308 Nm, poros berbahan *carbon fiber* dikategorikan aman jika memiliki jumlah layer setidaknya 5 layer.

Kata kunci: ASTM D 3039, ASTM E 143, *carbon fiber, stainless steel 316,* kuat tarik, beban puntir maksimum, variasi layer.

ANALYSIS OF PROPELLER SHAFT STRENGTH MADE FROM CARBON FIBER ON SMALL VESSELS

Nama Mahasiswa	:	Nuku Geraldi Abdillah Bira
NRP	:	04111440000038
Departemen / Fakultas	:	Teknik Perkapalan / Teknologi Kelautan
Dosen Pembimbing	:	1. Prof. Ir. Achmad Zubaydi, M.Eng., Ph.D.
		2. Septia Hardy Sujiatanti, S.T., M.T.

ABSTRACT

In general, the propeller shaft has a type of steel material and solid type. This causes the propeller shaft to have a heavy load. The type of material used can be replaced with carbon fiber material. The purpose of this research is to know the strength of carbon fiber material with variation of layer number, then compared with propeller shaft material in general that is stainless steel 316. In this research the variation used for the number of layer of carbon fiber is 3 layer, 5 layer, and 7 layer. To determine the strength of the tensile testing and testing of torsion for carbon fiber and stainless steel specimens 316. After tensile testing, tensile strength values for 316 stainless steel specimens were 579,996 MPa, 3 layer carbon fiber of 433,333 MPa, 5 layer carbon fiber 508.176 MPa, 7 layer carbon fiber of 588,601 MPa. For torsional test results can be known the maximum torque of each specimen. For stainless steel specimens has 29559 Nmm, for carbon fiber 3 layer has 11911 Nmm, carbon fiber 5 layers has 14824 Nmm, carbon fiber 7 layers has 21339 Nmm. From these results it is known that the addition of layers of carbon fiber specimens can increase the tensile strength and torsion strength of carbon fiber specimens. For the vessels with engine torque of 308 Nm, the shaft made of carbon fiber is categorized safe if it has at least 5 layers.

Keywords: ASTM D 3039, ASTM E 143, *carbon fiber, stainless steel 316,* tensile strength, torsion, variation of layer.

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN iii
LEMBAR REVISI iv
HALAMAN PERUNTUKAN v
KATA PENGANTAR vi
ABSTRAK vii
ABSTRACT viii
DAFTAR ISI ix
DAFTAR GAMBAR xi
DAFTAR TABEL xiii
DAFTAR SIMBOL xiv
Bab I PENDAHULUAN 1
I.1. Latar Belakang Masalah 1
I.2. Perumusan Masalah 2
I.3. Tujuan 2
I.4. Batasan Masalah 2
I.5. Manfaat 2
I.6. Hipotesis 2
Bab II STUDI LITERATUR 3
II.1. Dasar Teori 3
II.2. Tinjauan Pustaka 3
II.2.1. Komposit 4
II.2.2. Carbon Fiber Reinforced Polymer 5
II.2.3. Torsi 5
II.2.4. Poisson Ratio 5
II.2.5. Modulus Elastisitas 6
II.2.6. Tensile Strength 6
II.2.7. Young's Modulus 7
II.2.8. Distortion Energy Theory (Von Mises) 7
II.2.9. *Factor Of Safety* 8
II.2.10. Kurva Tegangan-Regangan (*Strain-Stress Curve*) 9
II.2.11. *Shear Stress* 9
II.2.12. Spesifikasi Mesin Penggerak 10
II.2.13. Perhitungan Diameter Poros 11
II.2.14. Dimensi Kapal Yang Digunakan 11
Bab III METODOLOGI 13
III.1. Bagan Alir 13
III.2. Bahan dan Peralatan 14
III.2.1. Bahan 14
III.2.2. Peralatan 14
III.3. Proses Pengerjaan 14
III.3.1. Proses Pembuatan Spesimen Uji 15
III.3.2. Proses Simulasi 17

III.3. Proses Pengujian 29
III.4. Lokasi Pengerjaan 30
III.4.1. Balai Besar Bahan Dan Barang Teknik (B4T) 30
III.4.2. Laboratorium Konstruksi Dan Kekuatan Kapal 30
III.4.3. Jericho *Advanced Composite* 30
Bab IV hasil DAN PEMBAHASAN 31
IV.1. Analisis Hasil Pengujian Puntir 31
IV.1.1. Hasil Pengujian Puntir 31
IV.1.2. Analisis Pengaruh Penambahan Layer Terhadap Kekuatan Puntir 34
IV.2. Analisis Hasil Pengujian Tarik 35
IV.2.1. Hasil Pengujian Tarik 35
IV.2.2. Perhitungan *Tensile Strength* 38
IV.2.3. Analisis Pengaruh Penambahan Layer Terhadap Kuat Tarik 39
IV.3. Analisis Hasil Numerik Pengujian Puntir 40
IV.3.1. Analisis Kegagalan Spesimen Menggunakan Parameter Equivalent Stress Dengan Beban Puntir Hasil Pengujian Spesimen 41
IV.3.2. Analisis Parameter *Shear Stress* Hasil Perhitungan Numerik Dengan Beban Puntir Hasil Pengujian Spesimen 45
IV.4. Analisis Hasil Numerik Pengujian Tarik 47
IV.4.1. Analisis Kegagalan Spesimen Menggunakan Parameter Equivalent Stress Dengan Beban Tarik Hasil Pengujian 47
IV.5. Perbandingan Hasil Eksperimen Dengan Hasil Perhitungan Numerik 50
IV.5.1. Perbandingan Hasil Eksperimen Dan Hasil Perhitungan Numerik Pengujian Puntir 50
IV.5.2. Perbandingan Hasil Eksperimen Dan Hasil Numerik Pengujian Tarik 51
IV.6. Analisis Kegagalan Poros Kapal Kecil Menggunakan Parameter *Equivalent Stress* Hasil Perhitungan Numerik 52
Bab V KESIMPULAN DAN SARAN 57
V.1. Kesimpulan 57
V.2. Saran 57
DAFTAR PUSTAKA 59
LAMPIRAN

BIODATA PENULIS

DAFTAR GAMBAR

Gambar II.1 Daerah Kegagalan *Von Mises* 8
Gambar II.2 Kurva Shear – Strain 9
Gambar II.3 Ilustrasi Gaya Dan Tegangan Geser 10
Gambar II.5 Rencana Umum Kapal 11
Gambar III.1 Bagan Alir 14
Gambar III.2 Spesimen Uji Puntir 16
Gambar III.3 *Geometry* Spesimen Uji Tarik ASTM A 370 16
Gambar III.4 Penentuan Geometri 17
Gambar III.5 Engineering Data 18
Gambar III.6 *Fixed Support* 18
Gambar III.7 Proses Meshing 18
Gambar III.8 Pemberian Gaya 19
Gambar III.9 Geometri Spesimen Uji Puntir *Stainless Steel 316* 19
Gambar III.10 *Engineering Data* 20
Gambar III.11 Proses *Meshing* 20
Gambar III.12 Pemberian Beban Pada Simulasi Uji Puntir 21
Gambar III.13 Hasil *Running* Simulasi 21
Gambar III.14 *Engineering Data* 22
Gambar III.15 Geometri Spesimen Uji Tarik 22
Gambar III.16 Sub Menu *Modelling Ply Properties* 23
Gambar III.17 *Solid Models* 23
Gambar III.18 *Meshing Carbon Fiber* Simulasi Uji Tarik 24
Gambar III.19 Pemberian Gaya (*Force*) 24
Gambar III.20 Hasil Simulasi Uji Tarik *Carbon Fiber* 25
Gambar III.21 Sub Menu *Engineering Data* 25
Gambar III.22 Geometri Spesimen *Carbon Fiber* Uji Puntir 26
Gambar III.23 *Modelling Ply Properties* 26
Gambar III.24 *Solid Models* Spesimen Uji Puntir *Carbon Fiber* 27
Gambar III.25 *Meshing Carbon Fiber* Spesimen Uji Puntir 27
Gambar III.26 Pemberian Beban Puntir Spesimen *Carbon Fiber* 28
Gambar III.27 Hasil Simulasi Pengujian Puntir *Carbon Fiber* 29
Gambar IV.1 Spesimen *Stainless Steel 316* Hasil Uji Puntir 32
Gambar IV.2 Spesimen *Carbon Fiber 3 Layer* Hasil Uji Puntir 32
Gambar IV.3 Spesimen *Carbon Fiber 5 Layer* Hasil Uji Puntir 33
Gambar IV.4 Spesimen *Carbon Fiber 7 Layer* Hasil Uji Puntir 33
Gambar IV.5 Pengaruh Jumlah Layer Terhadap Beban Puntir Maksimum 34
Gambar IV.6 *Failure Code* ASTM D 3039 36
Gambar IV.7 Spesimen *Carbon Fiber 3 Layer* Hasil Uji Tarik 37
Gambar IV.8 Spesimen *Carbon Fiber 5 Layer* Hasil Uji Tarik 37
Gambar IV.9 Spesimen *Carbon Fiber 7 Layer* Hasil Uji Tarik 38
Gambar IV.10 Pengaruh Jumlah Layer Terhadap Kekuatan Tarik 40

Gambar IV.11 *Equivalent Stress* Spesimen *Stainless Steel* 42
Gambar IV.12 *Equivalent Stress* Spesimen *Carbon Fiber 3 Layer* 43
Gambar IV.13 *Equivalent Stress* Spesimen *Carbon Fiber 5 Layer* 43
Gambar IV.14 *Equivalent Stress* Spesimen *Carbon Fiber 7 Layer* 44
Gambar IV.15 *Shear Stress* Spesimen *Stainless Steel 316* 45
Gambar IV.16 *Shear Stress* Spesimen *Carbon Fiber 3 Layer* 45
Gambar IV.17 *Shear Stress* Spesimen *Carbon Fiber 5 Layer* 46
Gambar IV.18 *Shear Stress* Spesimen *Carbon Fiber 7 Layer* 46
Gambar IV.19 *Equivalent Stress* Simulasi Uji Tarik Spesimen *Stainless Steel 316* 47
Gambar IV.20 *Equivalent Stress* Simulasi Uji Tarik Spesimen *Carbon Fiber 3 Layer* 48
Gambar IV.21 *Equivalent Stress* Simulasi Uji Tarik Spesimen *Carbon Fiber 5 Layer* 48
Gambar IV.22 *Equivalent Stress* Simulasi Uji Tarik Spesimen *Carbon Fiber 7 Layer* 49
Gambar IV.23 *Equivalent Stress* Poros *Stainless Steel 316* 52
Gambar IV.24 *Equivalent Stress* Poros *Carbon Fiber 3 Layer* 53
Gambar IV.25 *Equivalent Stress* Poros *Carbon Fiber 5 Layer* 53
Gambar IV.26 *Equivalent Stress* Poros *Carbon Fiber 7 Layer* 54

DAFTAR TABEL

Tabel II.1 *Factor Of Safety* 8
Tabel II.2 Spesifikasi Mesin Penggerak 10
Tabel II.3 Dimensi Kapal 11
Tabel III.1 Geometry Spesimen Uji Puntir 16
Tabel III.2 Geometry Spesimen Uji Tarik ASTM A 370 17
Tabel IV.1 Beban Puntir Maksimum Tiap Spesimen 31
Tabel IV.2 Dimensi Spesimen Uji Tarik 35
Tabel IV.3 *Ultimate Force* Masing-Masing Spesimen 35
Tabel IV.4 Hasil Perhitungan *Tensile Strength* 39
Tabel IV.5 Geometri Spesimen Uji Puntir Untuk Perhitungan Numerik 40
Tabel IV.6 *Equivalent Stress* Dengan Beban Puntir Hasil Pengujian Spesimen 44
Tabel IV.7 *Shear Stress* Dengan Beban Puntir Hasil Pengujian Material 47
Tabel IV.8 *Equivalen Stress* Spesimen Dengan Beban Tarik Hasil Pengujian 49
Tabel IV.9 Hasil Eksperimen Dan Hasil Perhitungan Numerik Pengujian Puntir 50
Tabel IV.10 Hasil Eksperimen Dan Hasil Perhitungan Numerik Pengujian Tarik 51
Tabel IV.11 Analisis Kegagalan Poros 54

DAFTAR SIMBOL

ν = Angka Perbandingan Poison

σ_h = Tegangan hooke (Pa)

ε_y = Regangan (m)

Ao = *Cross Sectional Minimum* (m2)

Cw = Faktor Material

D = Diameter (m)

di = *Initial Diameter* Poros (mm)

da = *Actual Diameter* Poros (mm)

dp = Diameter Poros (mm)

E = Modulus Young (Pa)

EPT = *Elongation At Point On Tangent* (m)

F = Force (N)

Fp = Faktor Instalasi Poros

Fs = *Load at break (Pa)*

G = Modulus Geser (Pa)

G = Shear Modulus (Pa)

IGL = *Initial Gage Length (m)*

J = Momen Inesia (mm4)

k = Faktor Tipe Poros

L_0 = Panjang Awal (m)

L_1 = Panjang Akhir (m)

LPT = *Load At Point On Tangent (N)*

n = RPM

OT = *Original Thickness (m)*

OW = *Orignal Width (m)*

Pw = Power Mesin (kW)

SF = *Safety Factor*

Syp = *Tensile Strength (Pa)*

T = Torsi (Nmm)

γ = Regangan geser (m)

ε' = *Lateral strain* (m)

ε = *Axial Strain* (m)

ε = Regangan (m)

σ = Tegangan (Pa)

σ_s = Tegangan Tarik (Pa)

σvm = Tegangan Von-Mises (Pa)

σ_{yi} = Tegangan Yield (Pa)

τ = Tegangan Geser (Pa)

σ_x = Tegangan Normal Pada Sumbu x (Pa)

σ_y = Tegangan Normal Pada Sumbu y (Pa)

σ_z = Tegangan Normal Pada Sumbu z (Pa)

τ_{xz} = Tegangan Geser Pada Bidang x Yang Bekerja Searah Sumbu z (Pa)

τ_{xz} = Tegangan Geser Pada Bidang x Yang Bekerja Searah Sumbu z (Pa)

τ_{xz} = Tegangan Geser Pada Bidang x Yang Bekerja Searah Sumbu z (Pa)

BAB I
PENDAHULUAN

I.1. Latar Belakang Masalah

Teknologi merupakan sebuah elemen tambahan yang dapat mempermudah kehidupan manusia dan di masa kini peran teknologi menjadi sangat penting. Teknologi dibagi menjadi berbagai bidang, salah satunya adalah bidang perkapalan. Produk dari teknologi bidang perkapalan diantaranya adalah kapal niaga, kapal selam, kapal tunda, dan kapal kecil.

Seiring berkembangnya teknologi berbagai cara dilakukan untuk meningkatkan performa dari kapal, salah satunya adalah efisiensi. Banyak cara telah dilakukan untuk meningkatkan efisiensi dari sebuah kapal, diantaranya adalah mendesain ulang propeller kapal tersebut atau mengganti material pada kapal. Namun hal itu dirasa tidak cukup dan pada kapal tidak semua bagian konstruksinya dapat diganti jenis materialnya.

Untuk meningkatkan efisiensi pada sebuah kapal dapat dilakukan penggantian material pada bagian tertentu. Penggantian material dapat dilakukan pada bagian poros propellernya. Hal ini diharapkan penggantian material ini dapat mengurangi massa dari poros tersebut.

Poros merupakan bagian dari kapal yang berfungsi untuk menghubungkan daya putaran mesin kapal dengan propeller sebagai penggerak utama kapal. Pada umumnya poros propeller memiliki material berjenis baja dan bertipe pejal. Hal ini tentu saja mengakibatkan poros propeller memiliki beban yang berat dan memiliki momen inersia yang besar.

Carbon fiber merupakan suatu material komposit baru yang dikembangkan dengan menggabungkan *carbon fiber* dengan resin untuk menjadi sebuah material yang memiliki propertis mekanik lebih baik dan memiliki *density* yang jauh lebih ringan daripada material baja. *Carbon fiber* yang tersedia di pasaran adalah *carbon fiber* yang berupa lembaran-lembaran tipis. Sehingga untuk dapat mencapai kekuatan yang diinginkan maka dapat dilakukan dengan menumpuk *carbon fiber* tersebut menjadi beberapa lapis.

Hal tersebut terdapat peluang untuk meningkatkan kekuatan pada poros kapal dengan mengganti materialnya dengan material *carbon fiber.* Maka dari itu dilakukan percobaan penggantian material *stainless steel 316* pada poros propeller kapal dengan material *carbon fiber.*

I.2. Perumusan Masalah

a. Bagaimana kekuatan tarik dan kekuatan puntir material *carbon fiber* jika dibandingkan dengan material *stainless steel 316*?

b. Bagaimana kekuatan *carbon fiber* jika dilakukan penambahan jumlah *layer* dari *carbon fiber*?

I.3. Tujuan

a. Untuk mengetahui kekuatan tarik dan puntir material *carbon fiber* jika dibandingkan dengan material *stainless steel 316*

b. Untuk mengetahui dampak dari penambahan layer *carbon fiber* terhadap kekuatan tarik dan puntirnya.

I.4. Batasan Masalah

a. Tugas akhir ini hanya untuk mengetahui kekuatan tarik dan puntir dari material *carbon fiber* dan *stainless steel 316* saja.

b. Metode yang digunakan adalah pengujian spesimen dan numerik menggunakan *software finite element.*

c. Pengujian yang dilakukan adalah pengujian tarik dan pengujian puntir saja.

d. Variasi yang digunakan adalah variasi jumlah layer dari material *carbon fiber* saja

I.5. Manfaat

Manfaat dari Tugas Akhir ini adalah dapat diketahuinya kekuatan tarik dan kekuatan puntir dari material *stainless steel 316* dan *carbon fiber* serta dampak penambahan layer material *carbon fiber* terhadap kuat tarik dan kuat puntirnya.

I.6. Hipotesis

Penambahan layer dari material *carbon fiber* dapat menambah kekuatan tarik dan kekuatan puntirnya.

BAB II
STUDI LITERATUR

II.1. Dasar Teori

Menurut Callister & William (2004) pada bukunya, material komposit adalah material yang terdiri dari dua atau lebih fasa yang berbeda baik secara fisika maupun kimia dan memiliki karakteristik yang lebih unggul dari masing-masing komponen penyusunnya.

Komposit tersusun dari dua fasa, satu disebut sebagai matriks, dimana matriks bersifat kontinyu dan mengelilingi fasa yang lain, yang disebut penguat. Sifat dari kompoit merupakan fungsi dari fasa penyusunnya, komposisinya serta geometri dari fasa penguat. Geometri fasa penguat disini adalah bentuk dan ukuran partikel, distribusi, dan orientasinya. Berdasarkan jenis penguatnya, komposit dibagi menjadi 3 macam, yaitu komposit dengan penguat partikel, fiber, dan structural.

Salah satu jenis dari komposit adalah *carbon fiber,* jenis komposit ini merupakan komposit penguat (*reinforcement)* yang memiliki jenis kelebihan yaitu merupakan komposit yang kuat dan memiliki *density* yang ringan. Jika dititinjau dari keuatan, *carbon fiber* memiliki kuat tarik dan kuat torsional melebihi jenis material baja pada umumnya. Selain itu *carbon fiber* juga memiliki keunggulan tahan terhadap panas hingga suhu tertentu, *carbon fiber* juga merupakan material yang tahan terhadap karat.

Dilihat dari beberapa kelebihan diatas, *carbon fiber* pada umumya diterapkan pada konstruksi kendaraan terutama pada poros gardannya, dengan segala kelebihan tadi, *carbon fiber* dapat diterapkan pada poros gardan mobil saja namun juga dapat dicoba untuk diterapkan pada poros propeller kapal, karena secara garis besar konstruksi dari poros propeller kapal tidak jauh berbeda dengan konstruksi poros gardan pada mobil.

II.2. Tinjauan Pustaka

Kumar & Rabambu (2012) melakukan penelitian terhadap *driveshaft* dengan bahan komposit dan steel untuk membandingkan berat dari kedua material tersebut untuk mendapatkan beban yang sama melalui uji puntir. Komposit yang digunakan adalah *Kevlar-epoxy* dengan densitas 1042 kg/m3. Dalam penelitian tersebut, disimpulkan bahwa *driveshaft* dengan bahan komposit memiliki berat 28% lebih rendah dari *driveshaft* dengan bahan *steel.*

Dari pertimbangan penurunan berat, *shear stress induced* dan *resonant frequencies* dapat disimpulkan bahwa material komposit dapat menggantikan material *steel.*

Uriya (2014) melakukn penelitian pada material komposit. Pada umumnya penggunaan material komposit yang sering dijumpai adalah komposit dengan *reinforced* berbahan *Kevlar* dan *fiberglass.* Adapun sebagai bahan *reinforced* pada komposit, dapat digunakan *carbon fiber* yang memiliki kekuatan mekanik lebih tinggi daripada *kevlar* dan *fiberglass.* Hal tersebut juga disimpulkan pada penelitian Yu Uriya. Penelitian tersebut menyimpulkan bahwa densitas pada *carbon fiber* 5 kali lebih kecil dan memiliki *tensile strength* 10 kali lebih tinggi daripada *highstrength steels* konvesional.

Menurut Badie (2010) berdasarkan banyaknya penelitian mengenai material komposit yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa komposit *fibercarbon* dan komposit *fiberglass* memiliki potensi yang sangat besar. Perbandingan 1 layer komposit berbahan *carbonfiber*, *E-glass fiber*, dan paduan *carbonfiber* dan *E-glass fiber* untuk diberikan pembebanan *torsi*. Hasil *torsi* yang didapatkan untuk komposit berbahan *carbon fiber* adalah 23 Nm, *E-glass fiber* 9 Nm, dan paduan *carbon fiber* dan *Eglass fiber* 9,5 Nm. Hal ini menunjukkan bahwa material komposit yang terbaik adalah komposit yang berbahan *carbon fiber.*

II.2.1. Komposit

Menurut Callister & William (2004) komposit merupakan suatu material yang terdiri dari dua atau lebih bahan yang berasal dari berbagai macam jenis bahan seperti logam, keramik dan polimer. Komposit dirancang dengan tujuan untuk mencapai kombinasi sifat material yang tidak dimiliki oleh material tunggal, selain itu komposit dibuat juga ditujukan untuk menggabungkan karakteritik atau sifat-sifat terbaik dari material penyusunnya. Komposit pada umumnya sudah terwakili oleh keramik, logam, dan polimer. Terdapat juga komposit alami seperti tulang dan kayu, namun pada umumnya komposit yang dibahas adalah komposit sintetis (buatan manusia).

Sebagian besar komposit dibuat dengan menggabungkan berbagai sifat material dengan tujuan meningkatkan sifat mekanik material seperti kegetasan, ketangguhan, dan tahan suhu tinggi. Sifat dari komposit sangat bergantung pada sifat material penyusunnya, dan dipengaruhi oleh jumlah relatifnya, fase geometri terdispersi.

II.2.2. Carbon Fiber Reinforced Polymer

Menurut Callister & William (2004) *carbon fiber* adalah material serat berkinerja tinggi yang merupakan komposit penguat yang paling umum digunakan dalam komposit matriks polimer. Alasan *carbon fiber* dijadikan sebagai komposit penguat adalah sebgai berikut :

1. Serat *carbon fiber* memiliki modulus spesifik tertinggi dan memiliki kekuatan spesifik untuk memperkuat semua bahan serat
2. *Carbon fiber* memiliki *tensile strength* yang tinggi dan tahan terhadap suhu tinggi, walaupun tetap terjadi beberapa efek samping yang ditimbulkan
3. Pada suhu kamar, *carbon fiber* tidak terpengaruh oleh factor kelembaban dan tidak bereaksi oleh pelarut asam maupun basa
4. *Carbon fiber* menunjukkan keragaman karakteristik fisik dan mekanik, hal ini memungkinkan komposit yang menggabungkan *carbon fiber* akan memiliki rekayasa khusus.

Carbon fiber diklasifikasikan berdasarkan kuat tariknya, klasifikasinya yaitu *caron fiber* kelas standard, menengah, tinggi, dan *ultrahigh tensile.* Diameter seratnya berkisar antara 4-10 mikrometer, dan pada umumnya *carbon fiber* dilapisi dengan pelindung *epoxy* yang ditujukan untuk memperbaiki adhesi dengan matriks *polymer.*

II.2.3. Torsi

Torsi merupakan suatu gaya puntir yang bekerja pada suatu benda terhadap *longitudinal axis*-nya. Gaya ini paling sering terjadi pada *axles* atau poros kemudi pada kendaraan atau permesinan. Dalam gerak rotasi, penyebab berputarnya benda merupakan gaya atau torsi. Momen gaya atau torsi sama dengan gaya pada gerak translasi. Momen ini merupakan sebuah gaya yang bekerja pada sebuah benda yang mengakibatkan benda tersebut berotasi. Besarnya momen torsi bergantung pada besarnya gaya yang diterapkan serta jarak Antara sumbu putaran den letak gaya (Hibbeler, 2011).

II.2.4. Poisson Ratio

Rasio regangan lateral ε' terhadap regangan aksial ε dikenal dengan rasio Poisson dan diberi notasi huruf Yunani v (nu), dapat diformulasikan ke dalam Persamaan II.1.

$$v = \frac{\varepsilon\prime}{\varepsilon} \qquad \text{(II.1)}$$

Untuk suatu batang yang mengalami tarik, regangan aksial adalah positif dan regangan lateral negatif (karena lebar batang berkurang. Untuk tekan, kita mempunyai situasi sebaliknya,

dengan batang menjadi lebih pendek (regangan aksial negatif) dan lebih lebar (regangan lateral positif). Dengan demikian, untuk bahan biasa, rasio Poisson selalu mempunyai harga positif. Persamaan tersebut berlaku hanya pada batang yang mengalami tegangan uniaksial; yaitu batang yang hanya mengalami tegangan normal dalam arah aksial (Hibbeler, 2011).

II.2.5. Modulus Elastisitas

Modulus of Elasticity merupakan salah satu properti dari suatu material yang menggambarkan tingkat kekakuan dari sebuah material. Modulus elastisitas merupakan salah satu bagian terpenting dari suatu material. Deformasi mekanik menempatkan energi ke dalam material yang kemudian energi tersebut disimpan secara elastis atau dihilangkan secara plastis. Penyimpanan energi ini dapat dirangkum ke dalam sebuah kurva *stress*. *Stress* didefinisikan sebagai gaya per satuan luas, dan regangan didefinisikan sebagai perpanjangan atau kontraksi per satuan panjang ketika suatu bahan mengalami deformasi secara besar-besaran. Jumlah deformasi juga bergantung pada ukuran material. Stress yang diberikan selalu berkaitan dengan *Hooke Law*. Untuk *Hooke Law* dapat dituliskan seperti pada Persamaan II.2 (Hibbeler, 2011).

$$\sigma = E \,.\, \varepsilon e \qquad \text{(II.2)}$$

Dari *Hooke Law* formula dari modulus elastisitas dapat didefinisikan ke dalam Persamaan II.3

$$E = \frac{\sigma h}{\varepsilon h} \text{ [MPa]} \qquad \text{(II.3)}$$

Strain dapat diperoleh dari perubahan panjang awal terhadap panjang akhir seperti pada Persamaan II.4.

$$\varepsilon = \frac{\Delta I}{I_0} = \frac{I_1 - I_0}{I_0} \text{ [}untitles\ or\ \%\text{]} \qquad \text{(II.4)}$$

II.2.6. Tensile Strength

Tensile Strength merupakan kekuatan material yang didapatkan dari perhitungan pembagian *load at break (P)* dengan luas *cross sectional minimum* (*Ao*). Hasil perhitungannya dinyatakan ke dalam satuan *megapascals. Tensile Strength* dapat dihitung menggunakan persamaan II.5 (Gere & Timoshenko, 2000).

$$\sigma s = \frac{Ps}{A_0} \qquad \text{(II.5)}$$

II.2.7. Young's Modulus

Menurut Hibbeler (2011) pada bukunya modulus young dapat dihitung dengan menambahkan garis tangensial yang menyinggung ke bagian linier awal dari grafik tegangan, lalu dipilih titik pada garis tangensial tersebut, setelah itu membagi dengan tegangan tarik yang sesuai. Untuk tujuan ini tegangan tarik harus diketahui terlebih dahulu. Modulus young dapat diformulasikan pada Persamaan II.6.

$$Young\ Modulus = \frac{\frac{(LPT)}{(OW)(OT)}}{\frac{(EPT)}{IGL}} \tag{II.6}$$

II.2.8. Distortion Energy Theory (Von Mises)

Menurut Anderson (2006) suatu material *ductile* akan mengalami kondisi *yielding* apabila mulai melewati batas kritis material tersebut. Suatu material apabila diberikan pembebanan secara *multi-axial,* maka material tersebut akan mengalami energi distorsi. Pada kondisi tersebut, material akan mengalami *yielding* apabila energi distorsi lebih besar atau sama dengan nilai kritis dari material tersebut seperti yang tertulis pada Persamaan II.7 dan Persamaan II.8.

$$\frac{1+\nu}{3E}\sigma_{VM}^2 \geq \frac{1+\nu}{3E}\sigma_Y^2 \tag{II.7}$$

$$\sigma_{VM} \geq \sigma_{Yi} \tag{II.8}$$

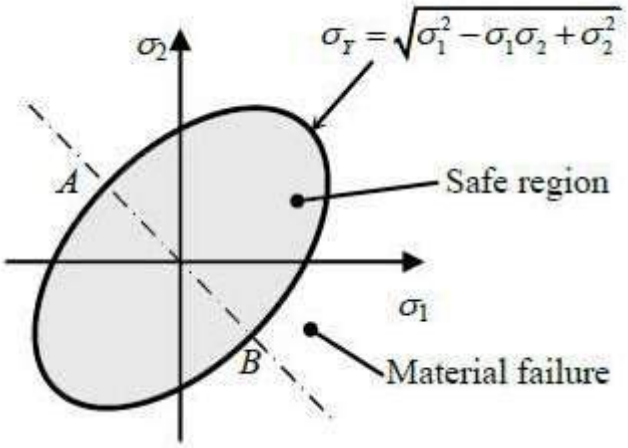
Dengan demikian teori energi distorsi dapat dinyatakan ketika *Von mises Stress* melebihi nilai *yield stress* yang didapat ketika uji tarik. Teori energi distorsi dapat dituliskan ke dalam Persamaan II.9 sampai II.11.

$$\sigma_{VM} = \sqrt{\frac{(\sigma_{xx}-\sigma_{yy})^2+(\sigma_{yy}-\sigma_{zz})^2+(\sigma_{zz}-\sigma_{xx})^2+6(\tau_{xy}^2+\tau_{yz}^2+\tau_{xz}^2}{2}} \tag{II.9}$$

$$\sigma_{VM} = \sqrt{\sigma_1^2 - \sigma_1\sigma_2 + \sigma_2^2} \tag{II.10}$$

$$\sigma_{VM} = \sqrt{\sigma_{xx}^2 + \sigma_{yy}^2 + \sigma_{xx}\sigma_{yy} + 3\sigma_{xy}^2} \tag{II.11}$$

Dari persamaan II.9 sampai II.11, dapat dinyatakan apabila tegangan yang diterima oleh suatu benda melebihi dari persamaan *Von Mises,* maka benda tersebut dapat dinyatakan gagal.



Gambar II.1 Daerah Kegagalan *Von Mises*

Pada Gambar II.1 dijelaskan apabila suatu benda mendapatkan beban kurang dari tegangan *yield* maka benda tersebut dikategorikan kedalam zona aman, apabila beban yang didapat melebihi dari tegangan *yield* maka benda tersebut dikategorikan gagal.

II.2.9. *Factor Of Safety*

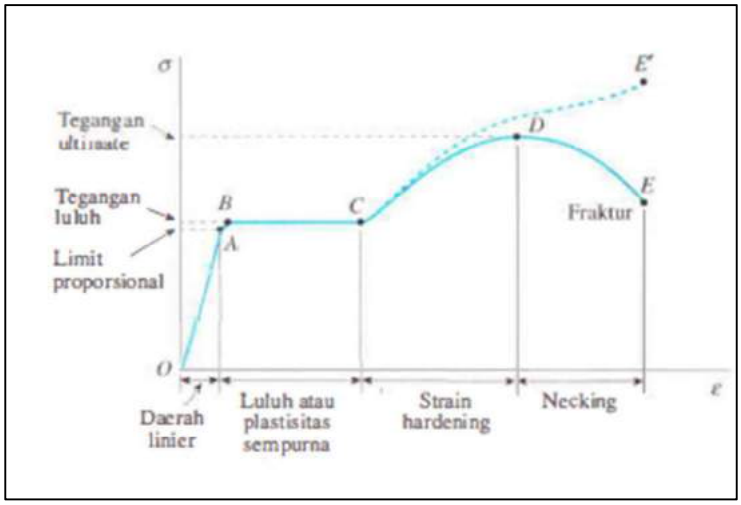
Factor Of Safety merupakan koefisien yang digunakan untuk memperkirakan besarnya tegangan yang diijinkan pada suatu simulasi. Dalam prakteknya faktor keamanan digunakan dalam salah satu dari tiga cara. Yang pertama dapat digunakan untuk mengurangi kekuatan yang diijinkan, seperti hasil atau kekuatan akhir material, ke tingkat yang lebih rendah untuk perbandingan dengan tegangan yang diterapkan. Yang kedua dapat digunakan untuk meningkatkan tegangan yang diterapkan untuk perbandingan dengan kekuatan yang diijinkan. Dan yang ketiga dapat digunakan sebagai perbandingan untuk rasio kekuatan yang diijinkan untuk tegangan yang diterapkan (Ullman,1986).

Tabel II.1 *Factor Of Safety*

Qualified by testing			
Metallic		Composite	
$FS_{ultimate}$	1.4	1.5	2.00
FS_{yield}	1.25	--	1.60

II.2.10. Kurva Tegangan-Regangan (*Strain-Stress Curve*)

Kurva tegangan-regangan merupakan cara sederhana untuk menyatakan hasil pengujian tarik material dengan memplot tegangan versus regangan material. Pada kurva tegangan-regangan, karakteristik bahan yang diuji dan memberikan informasi besaran mekanis dan perilaku material. Komponen kurva tegangan-regangan dapat dilihat pada Gambar II.2.



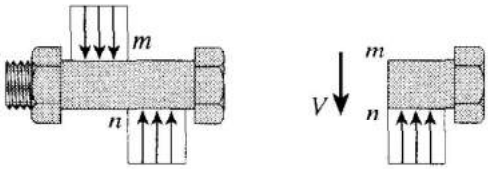
Sumber: Gere & Timoshenko, 2000

Gambar II.2 Kurva Shear – Strain

Pada Gambar II.2 terdapat dua jenis kekuatan material yaitu kekuatan luluh (*Yield Point*) serta kekuatan *ultimate* (*Ultimate Tensile Strength*). Kekuatan luluh merupakan tegangan yang dibutuhkan dalam membuat material menjadi plastis sempurna. Pada gambar II.2, kekuatan luluh ditunjukkan pada poin B. Kekuatan *ultimate* merupakan tegangan maksimum pada material, penarikan bahan lebih lanjut akan menyebabkan patah/putus pada material di titik tertentu. Pada gambar II.2, kekuatan *ultimate* ditunjukkan pada poin D (Gere & Timoshenko, 2000).

II.2.11. *Shear Stress*

Tegangan geser merupakan tegangan (gaya per satuan luas) yang bekerja dengan arah tangensial terhadap penampang. Contoh tegangan geser yang bekerja pada keseharian adalah sambungan-sambungan yang menggunakan baut. Tegangan geser pada sambungan-sambungan yang menggunakan baut disebut dengan tegangan geser langsung atau tegangan geser sederhana karena tegangan geser dihasilkan oleh aksi langsung dari gaya-gaya dalam upaya memotong bahan. Tegangan geser timbul secara tidak langsung apabila elemen struktur mengalami tarik, torsi, dan lentur. Ilustrasi gaya dan tegangan geser dapat dilihat pada Gambar II.3.



Sumber: Gere & Timoshenko, 2000

Gambar II.3 Ilustrasi Gaya Dan Tegangan Geser

Pada Gambar II.3, baut mengalami gaya yang bekerja dengan arah tangensial terhadap penampang baut. Gaya yang bekerja dengan arah tangensial terhadap penampang disebut dengan gaya geser. Gaya geser tersebut seakan-akan menghasilkan aksi dalam upaya memotong baut tersebut.

II.2.12. Spesifikasi Mesin Penggerak

Mesin penggerak yang dipilih merupakan mesin penggerak hasil pabrikan Perkins Marine Power. Spesifikasi dari mesin tersebut dapat dilihat pada Tabel II.2

Tabel II.2 Spesifikasi Mesin Penggerak

Number Of Cylinders	4 Vertical in-line
Bore and Stroke	105 x 127 mm
Displacement	4.4 litres
Aspiration	Natural
Cycle	4 stroke
Combustion System	Direct Injection
Compression Ratio	18.23:1
Rotation	Clockwise
Total Lubricating Capacity	7 litres
Cooling System	Water Cooled
Total Coolant Capacity	19 Litres
Speed RPM	1200
Power	64 kW
Torque	308 Nm

Dari Tabel II.2 dapat dilihat bahwa mesin penggerak yang dipilih menghasilkan daya sebesar 64 kW dan kuat torsi sebesar 308 Nm pada RPM 1200. Besarnya daya, torsi, dan RPM dapar digunakan untuk menghitung geometri dari poros *propeller* sebuah kapal.

II.2.13. Perhitungan Diameter Poros

Penentuan diameter minimal untuk poros *propeller* pada kapal diatur pada BKI *rules,* ditentukan bahwa besarnya diameter poros tidak boleh kurang dari hasil perhitungan pada Persamaan II.12 (BKI, 2016).

$$dp \geq F\,k\,\sqrt[3]{\frac{Pw}{n[1-\left(\frac{di}{da}\right)^4]}\,Cw} \quad \text{[mm]} \qquad \text{(II.12)}$$

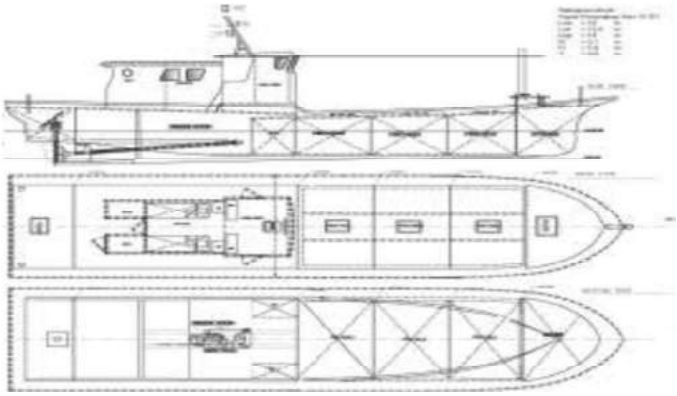
Pada Persamaan II.12 diameter poros yang didapatkan merupakan diameter minimal yang diijinkan. Sedangkan diameter aktual yang dipilih dapat lebih besar dari diameter minimal yang diijinkan.

II.2.14. Dimensi Kapal Yang Digunakan

Pada penelitian ini spesifikasi kapal yang dipilih sebagai variabel perhitungan seperti yang terlihat pada Tabel II.3 dan Gambar II.5.

Tabel II.3 Dimensi Kapal

Loa	14 m
Lpp	13 m
Lwl	13.50 m
B	3.10 m
H	1.80 m
T	0.9 m
Speed RPM	1200
Power	64 kW
Torque	308 Nm



Gambar II.4 Rencana Umum Kapal

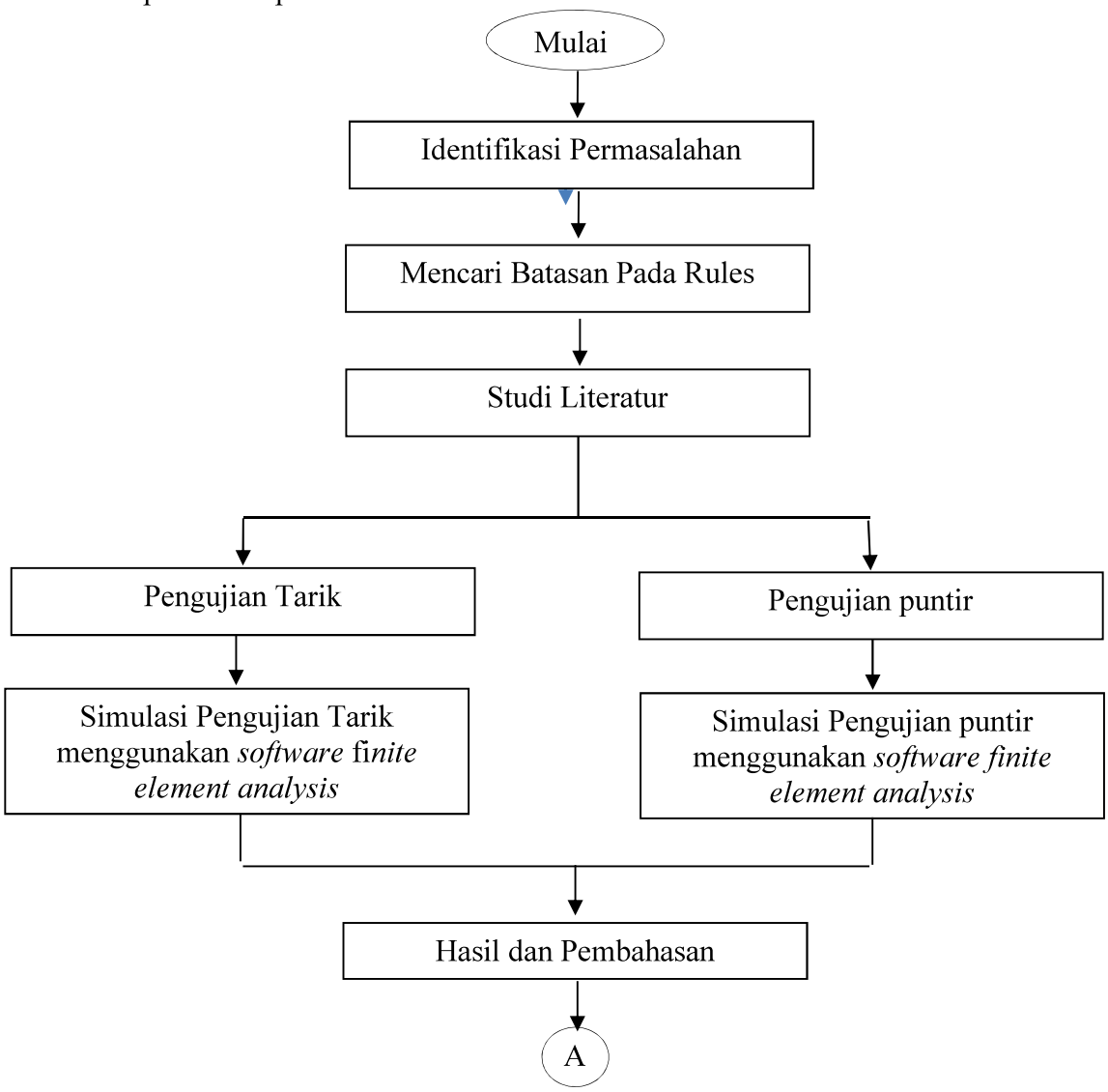
Alasan dipilihnya kapal tersebut karena dari hasil perhitungan yang telah dilakukan, material *carbon fiber* sudah terbukti aman dengan beban torsi mesin kapal ikan 10 GT sebesar 308 Nm. Namun belum dilakukan perhitungan untuk kapal dengan dimensi dan beban torsi mesin yang lebih besar.

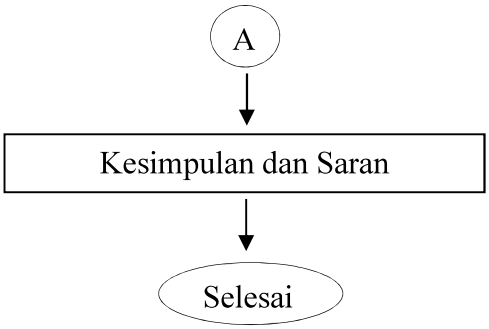
Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB III
METODOLOGI

III.1. Bagan Alir

Pada sub bab ini akan dijelaskan mengenai tahap-tahap yang dilakukan selama proses penelitian. Tahap pertama yang dilakukan adalah melakukan identifikasi permasalahan, setelah selesai langkah selanjutnya adalah melakukan studi literatur. Pada penelitian ini dilakukan dua jenis pengujian material, yaitu pengujian tarik dan pengujian puntir. Hasil dari pengujian tersebut kemudia akan dibandingkan dengan hasil dari perhitungan numerik. Setelah dibandingkan maka akan disimpulkan sesuai dengan hasil yang dianalisis. Tahap-tahap pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar III.1.





Gambar III.1 Bagan Alir

III.2. Bahan dan Peralatan

Pada bab III.2 ini akan dijelaskan mengenai bahan dan peralatan selama proses pengerjaan mulai dari tahap persiapan hingga tahap pengujian.

III.2.1. Bahan

Berikut jenis-jenis bahan yang digunakan dalam proses pembuatan spesimen:

1. Carbon Fiber Twill 3K
2. Resin *Epoxy*
3. Stainless Steel 316
4. *Emery Cloth* (Amplas)

III.2.2. Peralatan

Berikut macam-macam peralatan yang digunakan selama proses pengerjaan:

1. Mesin Bubut
2. Mesin Uji Torsi
3. Mesin Uji Tarik
4. Mesin *Vacuum*
5. Gerinda Potong
6. Jangka Sorong

III.3. Proses Pengerjaan

Dalam Bab III.3 ini dijelaskan mengenai proses pengerjaan mulai dari tahap pembuatan spesimen uji hingga tahap pengujian spesimen.

III.3.1. Proses Pembuatan Spesimen Uji

A. Proses Pembuatan Spesimen Carbon Fiber Untuk Uji Tarik

Spesimen uji yang digunakan pada percobaan ini menggunakan bahan resin *epoxy* dan carbon fiber 3K. Adapun proses pembuatannya sebagai berikut:

1. Lembaran carbon fiber dipotong untuk desusaikan dengan ukuran yang diinginkan, pada percobaan ini ukuran yang diinginkan yaitu panjang 25 cm dan lebar 25 cm sesuai dengan standard ASTM D 3039 Tahun 2002
2. Mengoleskan resin *epoxy* pada lembaran yang sudah dipotong
3. Menyusun lembaran carbon fiber menjadi beberapa *layer,* adapun jumlah layer disesuaikan dengan jumlah variasi yang diinginkan yaitu 3 *layer,* 5 *layer,* dan 7 *layer.*
4. Resin dioleskan pada tiap *layer* carbon fiber yang telah disusun hingga berbentuk sebuah pelat
5. Menempatkan pelat carbon fiber ke dalam *vacuum bag*
6. Mem-*vacuum* pelat carbon fiber yang sudah diletakkan pada *vacuum bag*
7. Setelah proses *vacuum* selesai, pelat ditunggu hingga mengering
8. Memotong pelat sesuai ukuran yang ditentukan untuk proses pengujian.

B. Proses Pembuatan Spesimen Carbon Fiber Untuk Uji Puntir

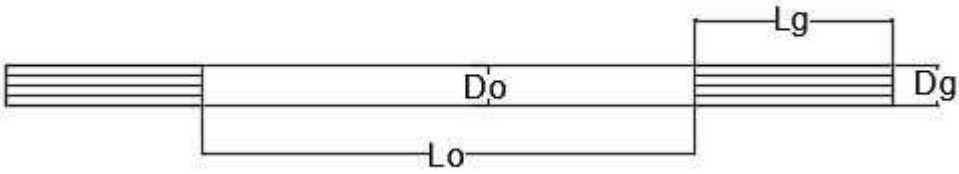
Spesimen uji yang digunakan pada percobaan ini menggunakan bahan resin *epoxy* dan carbon fiber 3K. Adapun proses pembuatannya sebagai berikut:

1. Lembaran *carbon fiber* 3K dipotong sesuai dengan ukuran yang ditentukan sesuai dengan standard ASTM E 143 Tahun 2002
2. Mengaplikasikan *epoxy resin* ke dalam lembaran *carbon fiber* dengan cara dioleskan secara merata menggunakan kuas.
3. Menggulung dengan cetakan berupa baja yang sudah ditentukan diamternya
4. Melapisi spesimen uji dengan plastik, kemudian dilakukan proses *vacuum* selama 24 jam untuk mendapatkan hasil yang optimal
5. Setelah 24 jam spseimen sudah dapat diujikan

C. Proses Pembuatan Spesimen Stainless Steel 316 Untuk Uji Puntir

1. *Stainless steel* yang masih utuh dipotong menjadi beberapa bagian, masing-masing bagian memiliki panjang 20 cm dan diameter 8 mm sesuai dengan standard ASTM E 143 Tahun 2002

2. Bagian yang sudah dipotong diproses dengan mesin bubut untuk mendapatkan *geometry* yang diinginkan, adapun *geometry* yang dipliih sesuai yang tertera pada Gambar III.2 dan Tabel III.1.



Sumber : ASTM D 3039, 2002

Gambar III.2 Spesimen Uji Puntir

Pada Gambar III.2 terdiri dari beberapa bagian diantaranya diameter daerah uji (Do), diameter daerah jepitan (Dg), panjang daerah uji (Lo) dan panjang daerah jepitan (Lg).

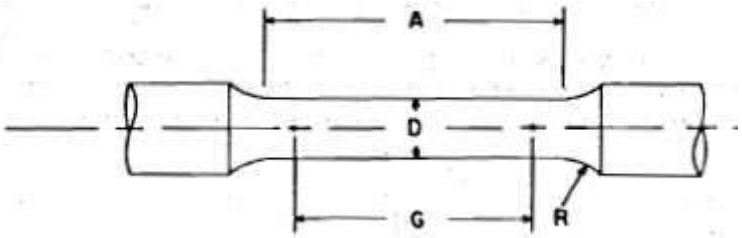
Tabel III.1 Geometry Spesimen Uji Puntir

Spesimen Uji	Dimensi Spesimen (mm)			
	Do	Lo	Dg	Lg
ASTM E143	8	100	8	40
	Jumlah Spesimen = 3			

Dapat dilihat pada Tabel III.1, geometri specimen uji puntir yaitu 8 mm untuk diameter daerah uji (Do), diameter daerah jepitan (Dg) sebesar 8 mm, panjang daerah uji (Lo) sebesar 100 mm dan panjang daerah jepitan (Lg) sebesar 40 mm.

D. Proses Pembuatan Spesimen Stainless Steel 316 Untuk Uji Tarik

Stainless steel yang masih utuh dipotong menggunakan mesin *cutting* dan diproses menggunakan mesin bubut untuk mendapatkan *geometry* yang diinginkan. Adapun *geometry* yang dipilih sesuai dengan standard ASTM A 370 yang dijelaskan pada Gambar III.3 dan Tabel III.2.



Gambar III.3 *Geometry* Spesimen Uji Tarik ASTM A 370

Pada Gambar III.3 dapat dilihat geometri specimen uji tarik berdasar standard uji ASTM A 370, pada spesimen uji terdapat beberapa bagian yaitu, diameter daerah uji (D), panjang daerah uji (G), panjang daerah reduki (A) dan jari-jari reduksi (R).

Tabel III.2 Geometry Spesimen Uji Tarik ASTM A 370

Spesimen Uji	Dimensi Spesimen (mm)			
	D	A	G	R
ASTM A370	12.5	60	50	15
	Jumlah Spesimen = 3			

Pada Tabel III.2 dapat dilihat diameter daerah uji (D) adalah sebesar 12.5 mm, panjang daerah reduksi sebesar 60 mm, panjang daerah uji sebesar 50 mm dan jari-jari reduksi sebesar 15 mm

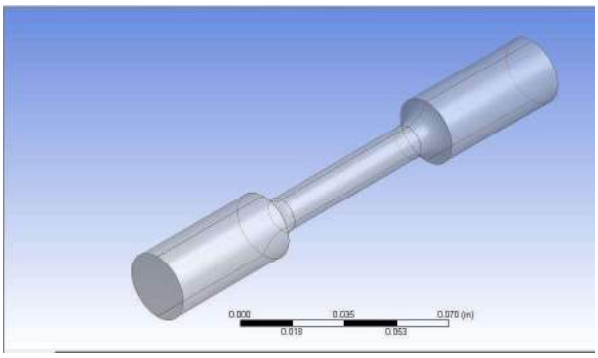
III.3.2. Proses Simulasi

A. Proses Simulasi Pengujian Tarik Spesimen *Stainless Steel* 316

Berikut merupakan langkah-langkah yang dikerjakan untuk simulasi spesimenl *stainless steel* 316 menggunakan metode perhitungan numerik dibantu komputer:

1. Penentuan Geometri

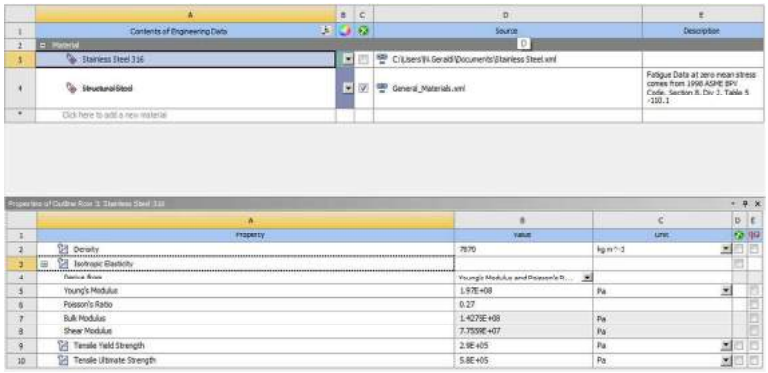
Geometri spesimen disesuaikan dengan standard yang ada dan disetujui untuk digunakan. Adapaun standard yang digunakan adalah ASTM A 370. Geometri spesimen yang disesuaikan dengan standard dapat dilihat pada Gambar III.4.



Gambar III.4 Penentuan Geometri

2. *Input* Data Material

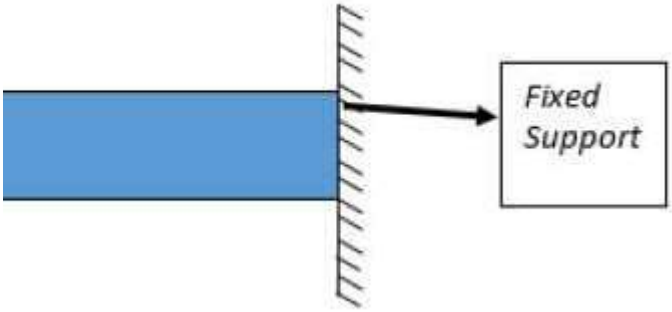
Data material berupa *mechanical properties* dari specimen uji yang digunakan. Data material dimasukkan kedalam bagian *engineering data* seperti yang terlihat pada Gambar III.5.



Gambar III.5 Engineering Data

3. Pemberian *Fixed Support*

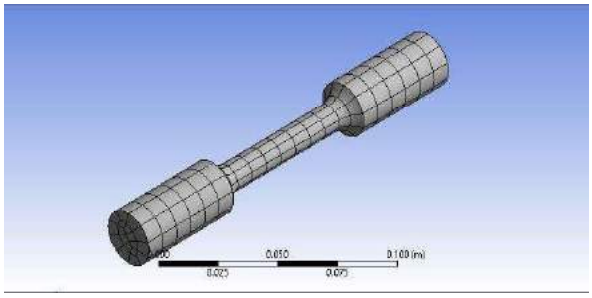
Pada simulasi pengujian harus ada bagian yang dijepit (*fixed support*) agar simulasi pengujian dapat dilakukan. Bagian yang dijepit ini cukup satu bagian saja seperti yang terlihat pada Gambar III.6.



Gambar III.6 *Fixed Support*

4. Proses *Meshing*

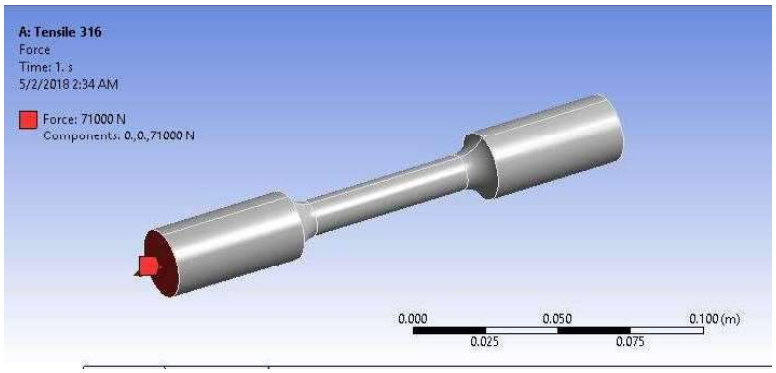
Pada tahap *meshing* dapat diatur arah, tingkat kerapatan, jumlah elemen dan bentuk *mesh* dari specimen ujinya seperti yang terlihat pada Gambar III.7.



Gambar III.7 Proses Meshing

5. Pemberian Gaya (*Force*)

Setelah ada bagian yang dinyatakan sebagai *fixed support*, maka pada bagian yang lain diberikan gaya (*force*). Untuk jenis simulasi pengujian tarik (*tensile test*) maka digunakan sub menu *force* seperti yang terlihat pada Gambar III.8.



Gambar III.8 Pemberian Gaya

6. *Running* Simulasi

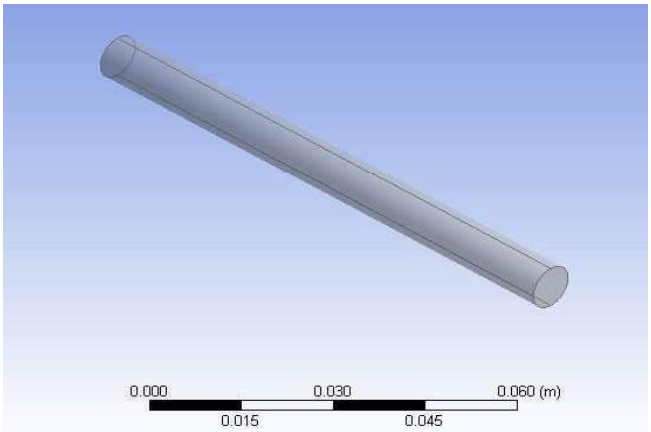
Pada tahap ini akan memberikan hasil simulasi yang telah *running.* Hasil simulasi dapat dipilih mana hasil yang akan ditampilkan seperti *total deformation, maximum stress, equivalent stress* dan lain-lain.

B. Proses Simulasi Pengujian Puntir Spesimen *Stainless Steel 316*

Berikut merupakan langkah-langkah yang dikerjakan untuk simulasi spesimen *stainless steel* 316 menggunakan metode perhitungan numerik dibantu komputer:

1. Penentuan Geometri

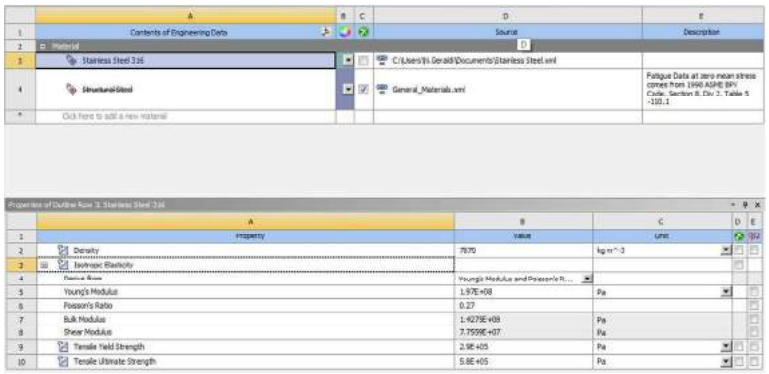
Geometri spesimen disesuaikan dengan standard yang ada dan disetujui untuk digunakan. Adapaun standard yang digunakan adalah ASTM E 143 seperti yang terlihat pada Gambar III.9.



Gambar III.9 Geometri Spesimen Uji Puntir *Stainless Steel 316*

2. *Input* Data Material

Data material berupa *mechanical properties* dari specimen uji yang digunakan. Data material dimasukkan kedalam sub menu *engineering data* seperti yang terlihat pada Gambar III.10.



Gambar III.10 *Engineering Data*

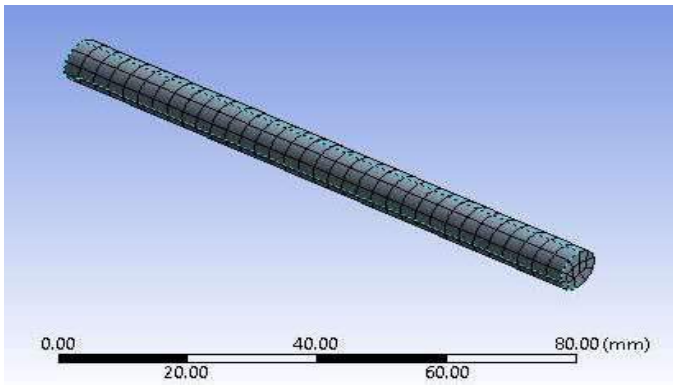
Setelah semua data *mechanical properties* sudah selesai di*input* ke dalam sub menu *engineering data,* langkah selanjutnya adalah keluar dari sub menu *engineering data* untuk melanjutkan proses berikutnya.

3. Pemberian *Fixed Support*

Pada simulasi pengujian harus ada bagian yang dijepit (*fixed support*) agar simulasi pengujian dapat dilakukan. Bagian yang dijepit ini cukup satu bagian dari specimen yang ditentukan. Pada simulasi ini dipilih daerah *fixed support* berada pada salah satu ujung spesimen. Pemberian *fixed support* dapat dilihat pada Gambar III.6.

4. Proses *Meshing*

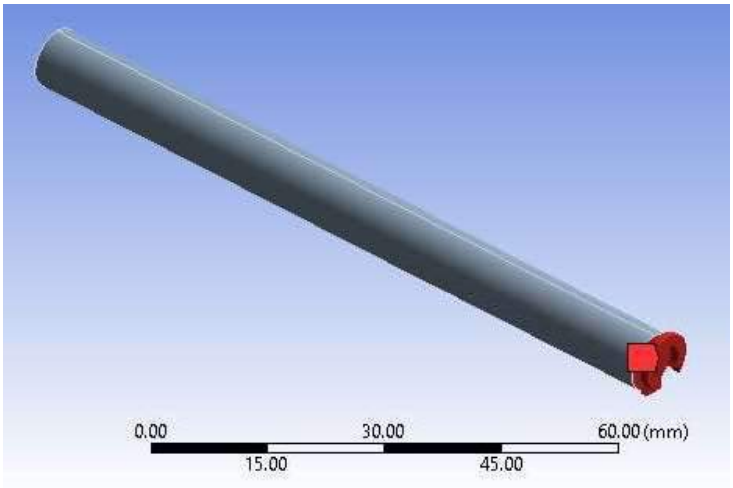
Proses *meshing* merupakan proses pada simulasi yang bertujuan untuk mengatur kerapatan atau ukuran elemen dari model specimen yang dipilih. Proses *meshing* dapat dijadikan salah satu indicator apakah model dari specimen tersebut sudah valid seperti yang terlihat pada Gambar III.11.



Gambar III.11 Proses *Meshing*

5. Pemberian Gaya (*Force*)

Pada simulasi menggunakan metode perhitungan numeric dibantu komputer, langkah yang dilakukan setelah memilih daerah *fixed support* adalah memilih daerah yang akan dikenanakan beban. Pada simulasi pengujian puntir, maka jenis beban yang dipilih adalah *moment* seperti yang terlihat pada Gambar III.12.

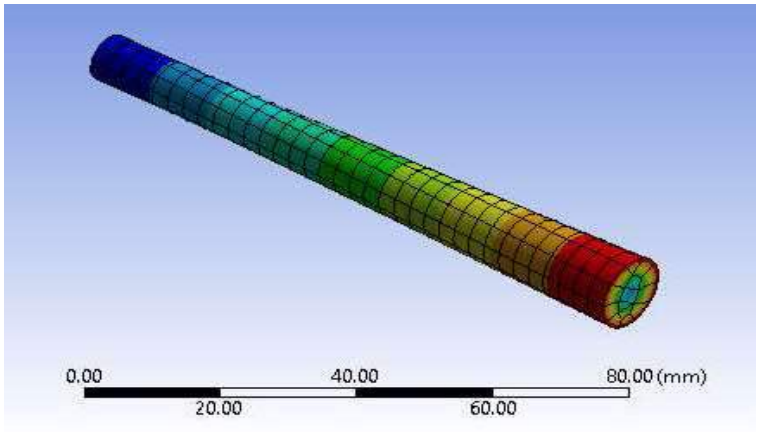


Gambar III.12 Pemberian Beban Pada Simulasi Uji Puntir

Sama seperti proses pemberian daerah *fixed support.* Pada pemberian beban atau gaya juga diberikan hanya pada satu daerah spesimen. Pada simulasi ini daerah yang dipilih untuk diberikan gaya adalah daerah ujung dari specimen uji puntir. Pemberian gaya pada simulasi ini dapat dilihat pada Gambar III.12.

6. *Running* Simulasi

Pada proses ini akan dianalisis mengenai model yang diujikan. Setelah diberi beban maka dapat diketahui berbagai macam jenis analisis yang diinginkan misalnya, analisis *equivalent stress, shear stress, total deformation,* dan lain-lain seperti yang terlihat pada Gambar III.13.



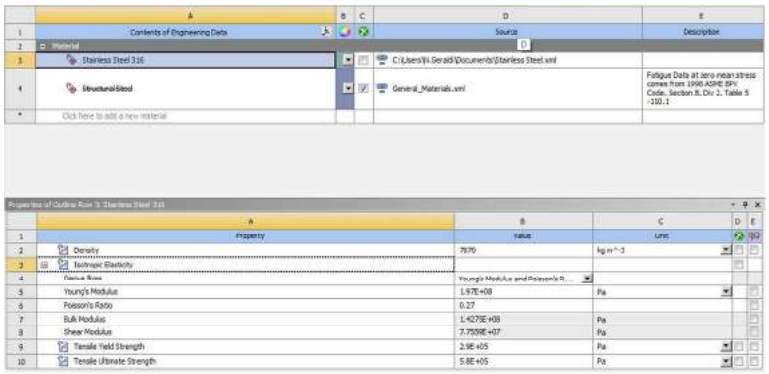
Gambar III.13 Hasil *Running* Simulasi

C. Proses Simulasi Pengujian Tarik Spesimen *Carbon Fiber*

Berikut merupakan langkah-langkah yang dikerjakan untuk simulasi spesimen pengujian tarik spesimen *carbon fiber* menggunakan metode perhitungan numerik dibantu komputer:

1. *Input* Data Material

Data material berupa *mechanical properties* dari specimen uji yang digunakan. Data material dimasukkan kedalam sub menu *engineering data* seperti yang terlihat pada Gambar III.14.

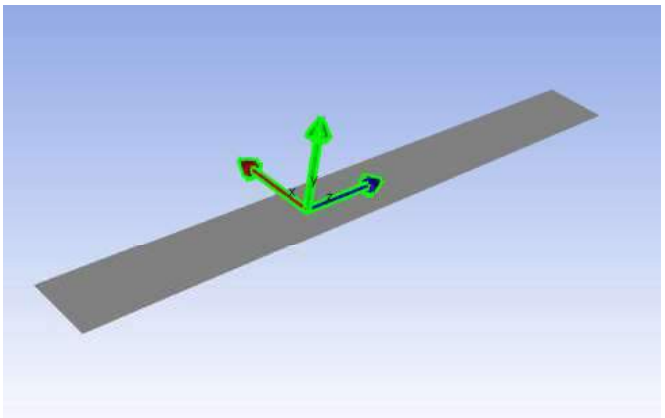


Gambar III.14 *Engineering Data*

Setelah semua data *mechanical properties* sudah selesai di*input* ke dalam sub menu *engineering data,* langkah selanjutnya adalah keluar dari sub menu *engineering data* untuk melanjutkan proses berikutnya.

2. Penentuan Geometri

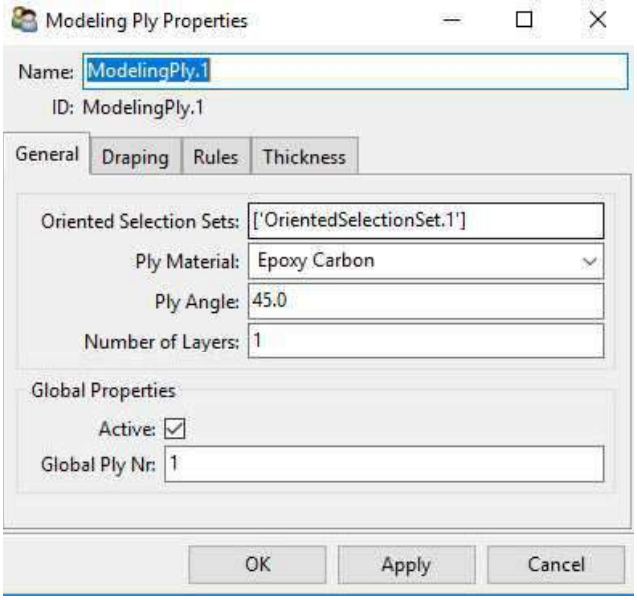
Geometri spesimen disesuaikan dengan standard yang ada dan disetujui untuk digunakan. Adapaun standard yang digunakan untuk pengujian tarik *carbon fiber* adalah ASTM D 3039 seperti yang terlihat pada Gambar III.15.



Gambar III.15 Geometri Spesimen Uji Tarik

3. *Modelling Ply Properties*

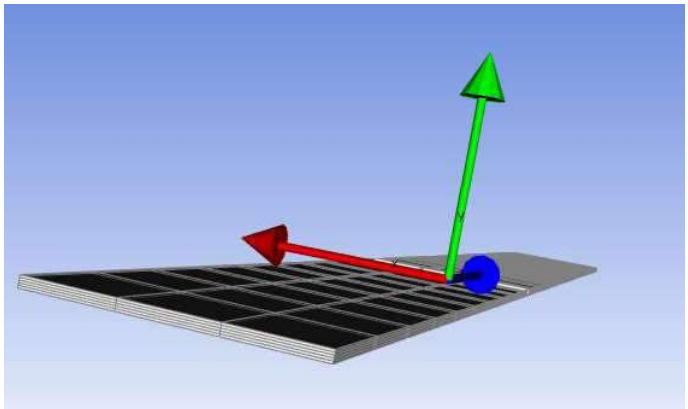
Modelling Ply Properties merupakan sub menu yang berfungsi untuk mengatur jumlah layer yang diinginkan apabila specimen yang digunakan merupakan material komposit. Jumlah layer pada simulasi ini ditentukan 3 variasi yaitu, 3 layer, 5 layer, dan 7 layer seperti yang terlihat pada Gambar III.16.



Gambar III.16 Sub Menu *Modelling Ply Properties*

4. *Solid Models*

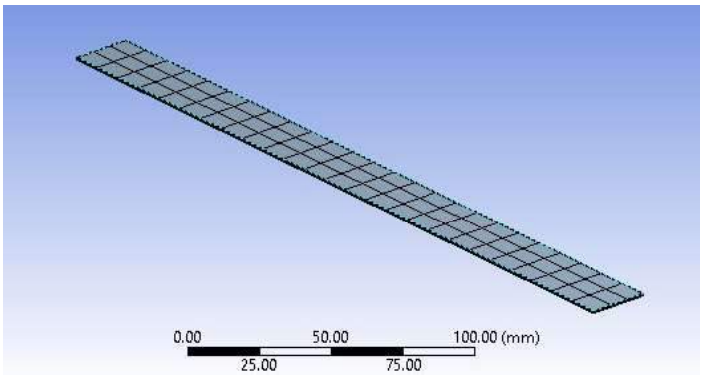
Setelah jumlah layer dari specimen sudah ditentukan pada sub menu *Modelling Ply Properties* maka langkah selanjutnya adalah mengubah model yang masih berupa tumpukan layer menjadi model utuh (*solid*). Hal ini ditujukan agar ketika model disimulasikan, model tersebut dianggap sebagai sebuah model utuh seperti yang terlihat pada Gambar III.17.



Gambar III.17 *Solid Models*

5. Proses *Meshing*

Proses *meshing* merupakan proses pada simulasi yang bertujuan untuk mengatur kerapatan atau ukuran elemen dari model specimen yang dipilih. Proses *meshing* dapat dijadikan salah satu indicator apakah model dari specimen tersebut sudah valid seperti yang terlihat pada Gambar III.18.



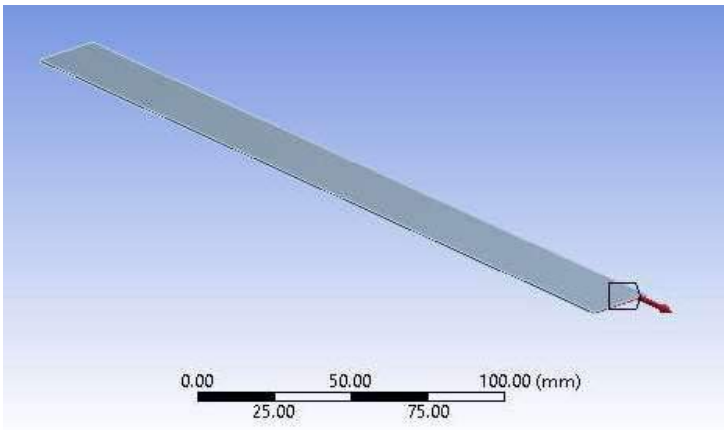
Gambar III.18 *Meshing Carbon Fiber* Simulasi Uji Tarik

6. Pemberian *Fixed Support*

Pada simulasi pengujian harus ada bagian yang dijepit (*fixed support*) agar simulasi pengujian dapat dilakukan. Bagian yang dijepit ini cukup satu bagian dari specimen yang ditentukan. Pada simulasi ini dipilih daerah *fixed support* berada pada salah satu ujung spesimen. Pemberian *fixed support* dapat dilihat pada Gambar III.6.

7. Pemberian Beban

Pada simulasi menggunakan metode perhitungan numerik dibantu komputer, langkah yang dilakukan setelah memilih daerah *fixed support* adalah memilih daerah yang akan dikenanakan beban. Pada simulasi pengujian tarik, maka jenis beban yang dipilih adalah *force* seperti yang terlihat pada Gambar III.19.



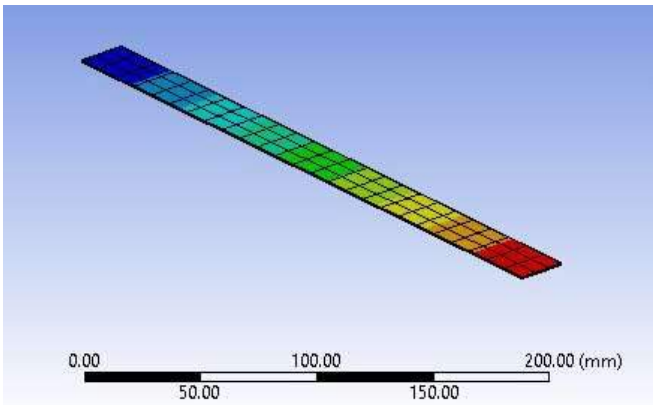
Gambar III.19 Pemberian Gaya (*Force*)

Sama seperti proses pemberian daerah *fixed support.* Pada pemberian beban atau gaya juga diberikan hanya pada satu daerah spesimen. Pada simulasi ini daerah yang dipilih untuk diberikan gaya adalah daerah ujung dari specimen uji tarik. Pemberian gaya pada simulasi ini dapat dilihat pada Gambar III.19.

.

8. *Runing Simulasi*

Pada proses ini akan dianalisis mengenai model yang diujikan. Setelah diberi beban maka dapat diketahui berbagai macam jenis analisis yang diinginkan misalnya, analisis *equivalent stress, shear stress, total deformation,* dan lain-lain seperti yang terlihat pada Gambar III.20



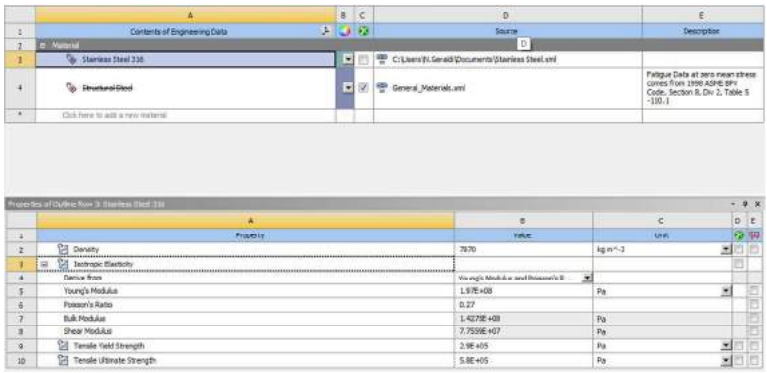
Gambar III.20 Hasil Simulasi Uji Tarik *Carbon Fiber*

D. Proses Simulasi Pengujian Puntir Spesimen *Carbon Fiber*

Berikut merupakan langkah-langkah yang dikerjakan untuk simulasi spesimen pengujian tarik spesimen *carbon fiber* menggunakan metode perhitungan numerik dibantu komputer:

1. *Input* Data Material

Data material berupa *mechanical properties* dari specimen uji yang digunakan. Data material dimasukkan kedalam sub menu *engineering data* seperti yang terlihat pada Gambar III.21.

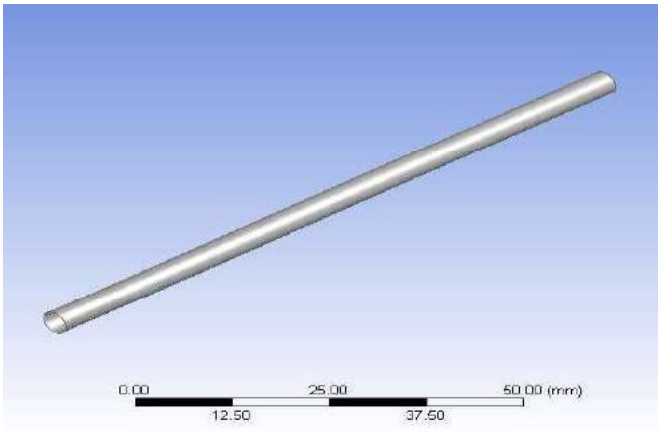


Gambar III.21 Sub Menu *Engineering Data*

Setelah semua data *mechanical properties* sudah selesai di*input* ke dalam sub menu *engineering data,* langkah selanjutnya adalah keluar dari sub menu *engineering data* untuk melanjutkan proses berikutnya.

2. Penentuan Geometri

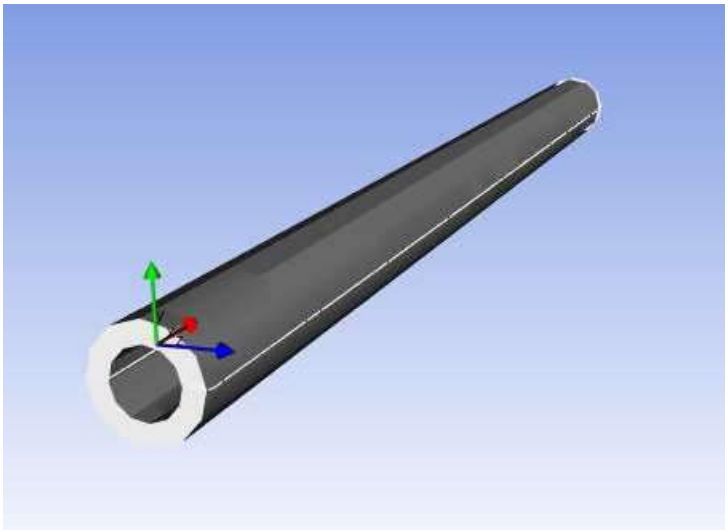
Geometri spesimen disesuaikan dengan standard yang ada dan disetujui untuk digunakan. Adapaun standard yang digunakan untuk pengujian tarik *carbon fiber* adalah ASTM D 3039 seperti yang terlihat pada Gambar III.22.



Gambar III.22 Geometri Spesimen *Carbon Fiber* Uji Puntir

3. Modelling Ply Properties

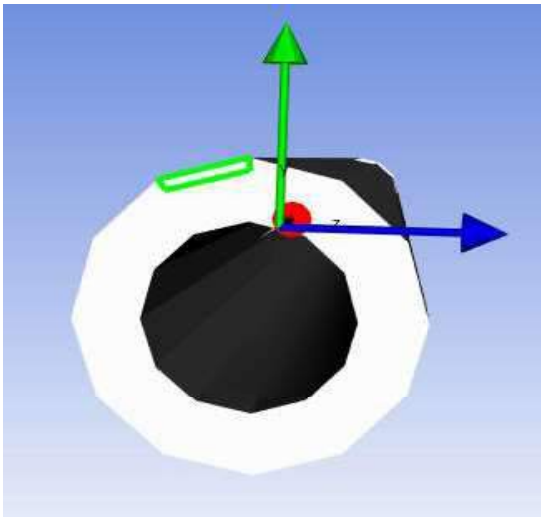
Modelling Ply Properties merupakan sub menu yang berfungsi untuk mengatur jumlah layer yang diinginkan apabila specimen yang digunakan merupakan material komposit. Jumlah layer pada simulasi ini ditentukan 3 variasi yaitu, 3 layer, 5 layer, dan 7 layer seperti yang terlihat pada Gambar III.23.



Gambar III.23 *Modelling Ply Properties*

4. *Solid Models*

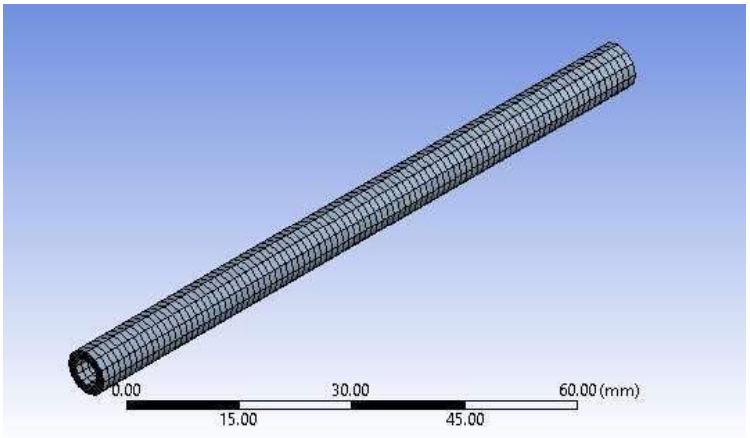
Setelah jumlah layer dari specimen sudah ditentukan pada sub menu *Modelling Ply Properties* maka langkah selanjutnya adalah mengubah model yang masih berupa tumpukan layer menjadi model utuh (*solid*). Hal ini ditujukan agar ketika model disimulasikan, model tersebut dianggap sebagai sebuah model utuh seperti yang terlihat pada Gambar III.24.



Gambar III.24 *Solid Models* Spesimen Uji Puntir *Carbon Fiber*

5. Proses *Meshing*

Proses *meshing* merupakan proses pada simulasi yang bertujuan untuk mengatur kerapatan atau ukuran elemen dari model specimen yang dipilih. Proses *meshing* dapat dijadikan salah satu indicator apakah model dari specimen tersebut sudah valid seperti yang terlihat pada Gambar III.25.



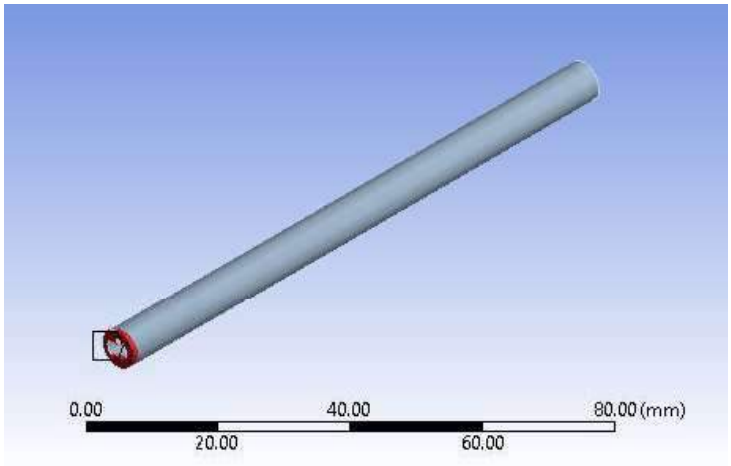
Gambar III.25 *Meshing Carbon Fiber* Spesimen Uji Puntir

6. Pemberian *Fixed Support*

Pada simulasi pengujian harus ada bagian yang dijepit (*fixed support*) agar simulasi pengujian dapat dilakukan. Bagian yang dijepit ini cukup satu bagian dari specimen yang ditentukan. Pada simulasi ini dipilih daerah *fixed support* berada pada salah satu ujung spesimen. Pemberian *fixed support* dapat dilihat pada Gambar III.6.

7. Pemberian Beban

Pada simulasi menggunakan metode perhitungan numerik dibantu komputer, langkah yang dilakukan setelah memilih daerah *fixed support* adalah memilih daerah yang akan dikenanakan beban. Pada simulasi pengujian puntir, maka jenis beban yang dipilih adalah *moment* seperti yang terlihat pada Gambar III.26.

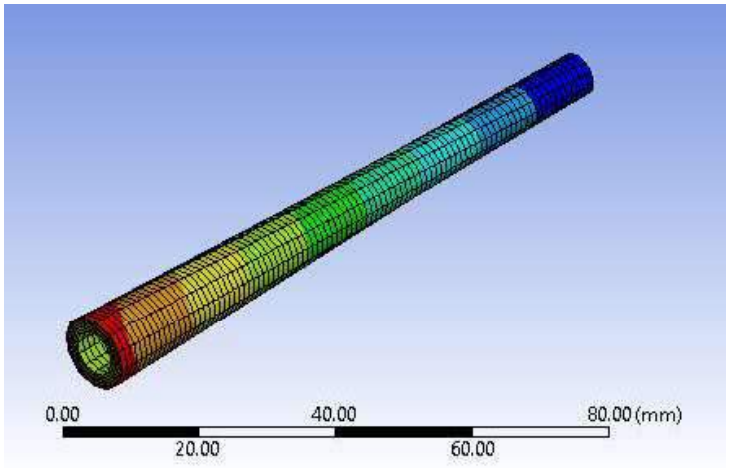


Gambar III.26 Pemberian Beban Puntir Spesimen *Carbon Fiber*

Sama seperti proses pemberian daerah *fixed support.* Pada pemberian beban atau gaya juga diberikan hanya pada satu daerah spesimen. Pada simulasi ini daerah yang dipilih untuk diberikan gaya adalah daerah ujung dari specimen uji puntir. Pemberian gaya pada simulasi ini dapat dilihat pada Gambar III.26.

8. *Runing Simulasi*

Pada proses ini akan dianalisis mengenai model yang diujikan. Setelah diberi beban maka dapat diketahui berbagai macam jenis analisis yang diinginkan misalnya, analisis *equivalent stress, shear stress, total deformation,* dan lain-lain seperti yang terlihat pada Gambar III.27



Gambar III.27 Hasil Simulasi Pengujian Puntir *Carbon Fiber*

III.3. Proses Pengujian

Dalam sub bab ini akan dijelaskan mengenai tahap-tahap dalam melakukan pengujian terhadap variasi spesimen.

A. Proses Pengujian Tarik

Berikut merupakan langkah-langkah yang dikerjakan dalam melakukan pengujian tarik terhadap spesimen uji :

1. Menyiapkan geometri spesimen yang akan diujikan sesuai dengan *standard* yang dipilih sebagai acuan
2. Setelah geometri spesimen yang digunakan sudah sesuai, langkah berikutnya adalah menyiapkan mesin uji, mesin uji harus terkalibrasi secara rutin
3. Mengatur kemampuan daya tarik mesin
4. Memilih jenis jepitan yang sesuai dengan spesimen uji
5. Melakukan pengujian
6. Mencatat hasil pengujian

B. Proses Pengujian Puntir

Berikut merupakan langkah-langkah yang dikerjakan dalam melakukan pengujian puntir terhadap spesimen uji:

1. Menyiapkan geometri spesimen yang akan diujikan sesuai dengan *standard* yang dipilih sebagai acuan
2. Setelah geometri spesimen yang digunakan sudah sesuai, langkah berikutnya adalah menyiapkan mesin uji, mesin uji harus terkalibrasi secara rutin
3. Meletakkan spesimen uji pada mesin uji

4. Mengatur RPM mesin uji
5. Melakukan pengujian
6. Mencatat hasil pengujian

III.4. Lokasi Pengerjaan

Pada sub bab ini akan dijelaskan mengenai lokasi pengerjaan pada tahap persiapan maupun tahap pengujian

III.4.1. Balai Besar Bahan Dan Barang Teknik (B4T)

Balai Besar Bahan Dan Barang Teknik (B4T) merupakan lembaga dibawah kementrian perindustrian yang menyediakan jasa pengujian, penjaminan mutu, kalibrasi dan sertifikasi. Balai Besar Bahan Dan Barang Teknik (B4T) memiliki beberapa laboratorium seperti laboratorium logam, laboratorium barang teknik, laboratorium metalografi dan lain-lain. B4T berlokasi di Jalan Sangkuriang Nomor 14 Kota Bandung.

III.4.2. Laboratorium Konstruksi Dan Kekuatan Kapal

Laboratorium Konstruksi Dan Kekuatan Kapal merupakan laboratorium milik departemen teknik perkapalan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Laboratorium ini memiliki beberapa alat pengujian diantaranya mesin uji tarik, mesin *hardness test,* alat uji komposisi, alat uji *impact.* Laboratorium ini memegang peranan penting dalam penelitian konstruksi dan kekuatan kapal, terutama pengujian material yang akan digunakan dalam pembangunan kapal**.** Secara detil penelitian dan pengujian tersebut meliputi persoalan teknik pengelasan dan pemeriksaan hasil pengelasan (DT dan NDT), getaran kapal, kelelahan material dan material maju/khusus.

Untuk mendukung kegiatan tersebut, laboratorium ini dilengkapi antara lain dengan peralatan uji tarik-tekan, dan *software* untuk analisis struktur (NASTRAN). Laboratorium Konstruksi Dan Kekuatan Kapal berlokasi di Gedung W Lantai 1 ITS sukolilo.

III.4.3. Jericho *Advanced Composite*

Jericho *Advanced Composite* merupakan penyedia jasa pembuatan *part* berbahan *carbon fiber*, perusahaan ini melayani berbagai macam permintaan baik dalam jumlah kecil maupun jumlah besar. Jericho *Advanced Composite* juga melayani permintaan manual dari *customer.* Jericho *Advanced Composite* Jl. Kutisari Sel. I No.12, Kutisari, Tenggilis Mejoyo, Kota Surabaya

BAB IV
HASIL DAN PEMBAHASAN

IV.1. Analisis Hasil Pengujian Puntir

Pada sub bab ini akan dijelaskan mengenai hasil pengujian puntir dari spesimen *stainless steel 316* dan spesimen *carbon fiber.*

IV.1.1. Hasil Pengujian Puntir

Dari hasil pengujian didapatkan nilai beban puntir maksimum pada spesimen *carbon fiber* dan *stainless steel 316*, nilai beban puntir yang dimaksud adalah nilai beban puntir ketika spesimen patah atau mengalami kegagalan. Pada Tabel IV.1 disebutkan nilai beban puntir maksimum dari masing-masing spesimen *carbon fiber* dan *stainless steel 316.* Standard yang digunakan pada pengujian puntir ini adalah ASTM E 143 tahun 2002.

Tabel IV.1 Beban Puntir Maksimum Tiap Spesimen

Jenis Spesimen	Nomor Spesimen	Torsi Maksimum (Nmm)	Torsi Rata-Rata (Nmm)	Jumlah Puntiran
Stainless Steel 316	1	29145	29559	5
	2	30132		5
	3	29400		5
Carbon Fiber 3 Layer	1	12317	11911	1
	2	12464		1
	3	10954		1
Carbon Fiber 5 Layer	1	14818	14824	1
	2	15112		1
	3	14543		1
Carbon Fiber 7 Layer	1	22320	21339	1
	2	20378		1
	3	21319		1

Dari Tabel IV.1 dapat diketahui besarnya nilai torsi maksimum dari masing-masing spesimen. Beban puntir terbesar unuk spesimen *stainless steel 316* terjadi pada spesimen nomor 2, yaitu sebesar 30132 Nmm dengan jumlah puntiran yang didapat sebanyak 5 puntiran. Dan nilai rata-rata beban torsi maksimum dari spesimen uji *stainless steel 316* yaitu sebesar 29559 Nmm.

Gambar IV.1 Spesimen *Stainless Steel 316* Hasil Uji Puntir

Dapat dilihat dari Gambar IV.1 dan jumlah puntiran yang terjadi menandakan bahwa spesimen *stainless steel 316* merupakan spesimen yang ulet (*ductile*).

Gambar IV.2 Spesimen *Carbon Fiber 3 Layer* Hasil Uji Puntir

Jika dilihat dari Tabel IV.1 dapat diketahui untuk spesimen *carbon fiber 3 layer* beban puntir terbesar terjadi pada spesimen nomor 2 yaitu sebesar 12464 Nmm dengan jumlah puntiran sebanyak 1 puntiran. Dan nilai rata-rata beban torsi maksimum dari spesimen uji *carbon fiber 3 layer* yaitu sebesar 11911 Nmm, dilihat dari bentuk patahan dari Gambar IV.2 dan jumlah puntiran yang terjadi menandakan bahwa spesimen *carbon fiber 3 layer* merupakan spesimen getas (*brittle*).

Gambar IV.3 Spesimen *Carbon Fiber 5 Layer* Hasil Uji Puntir

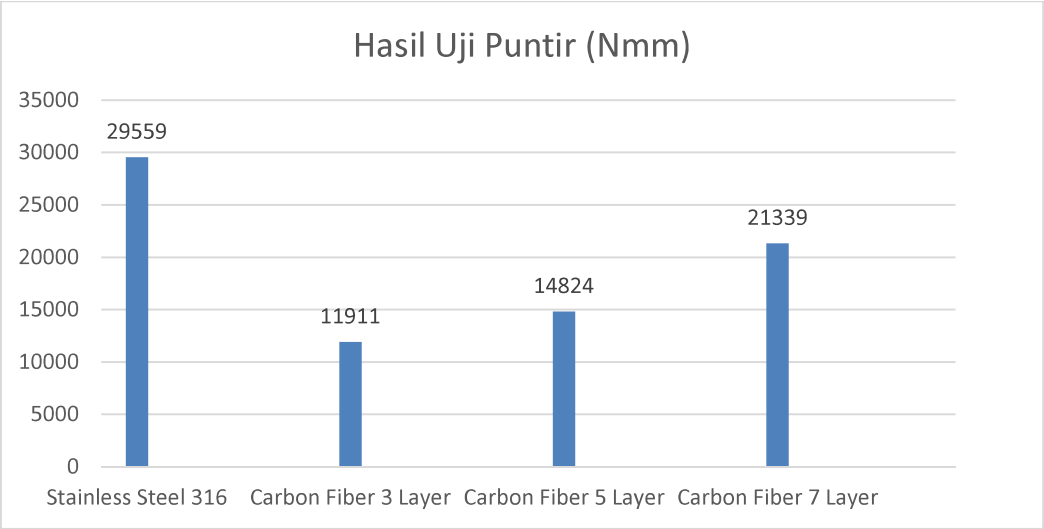
Dari Tabel IV.1 dapat diketahui bahwa untuk spesimen *carbon fiber 5 layer* beban puntir terbesar terjadi pada spesimen nomor 2 yaitu sebesar 15112 Nmm dengan jumlah puntiran yang terjadi sebanyak 1 puntiran. Dan nilai rata-rata beban torsi maksimum dari spesimen uji *carbon fiber 3 layer* yaitu sebesar 14824 Nmm, jika dilihat dari bentuk patahan pada Gambar IV.3 dan jumlah puntiran yang terjadi menandakan bahwa spesimen *carbon fiber 5 layer* merupakan spesimen getas (*brittle*).

Gambar IV.4 Spesimen *Carbon Fiber 7 Layer* Hasil Uji Puntir

Dari Tabel IV.1 untuk spesimen *carbon fiber 7 layer* beban puntir terbesar terjadi pada spesimen nomor 1 yaitu sebesar 22320 Nmm dengan jumlah puntiran sebanyak 1 puntiran. Dan nilai rata-rata beban torsi maksimum dari spesimen uji *carbon fiber 3 layer* yaitu sebesar 21339 Nmm, jika dilihat dari betnuk patahan pada Gambar IV.4 dan jumlah puntiran yang terjadi menandakan bahwa spesimen *carbon fiber 7 layer* merupakan spesimen getas (*brittle*).

IV.1.2. Analisis Pengaruh Penambahan Layer Terhadap Kekuatan Puntir

Dari hasil pengujian puntir spesimen uji *stainless steel 316* dan *carbon fiber* dapat diketahui nilai beban puntir maksimum dari spesimen tersebut. Untuk spesimen uji *carbon fiber* diterapkan variasi terhadap spesimen yaitu dengan membedakan jumlah *layer* dari tiap spesimen uji tersebut. Pengaruh jumlah spesimen terhadap kekuatan puntir dapat dilihat pada Gambar IV.5.



Gambar IV.5 Pengaruh Jumlah Layer Terhadap Beban Puntir Maksimum

Dari Gambar IV.5 dapat diketahui beban puntir pada tiap-tiap spesimen uji. Untuk spesimen *stainless steel* mengalami kegagalan ketika beban puntir maksimum mencapai nilai 29559 Nmm. Dan untuk spesimen *carbon fiber 3 layer* sudah mengalami kegagalan ketika beban puntir maksimum mencapai nilai 11911 Nmm. Sedangkan untuk spesimen *carbon fiber 5 layer* mengalami kegagalan ketika beban puntir maksimum mencapai nilai 14824 Nmm. Dan untuk spesimen *carbon fiber 7 layer* baru mengalami kegagalan ketika beban puntir maksimum telah mencapai nilai 21339 Nmm.

Dari Gambar IV.5 dapat diketahui bahwa penambahan jumlah *layer* pada spesimen *carbon fiber* dapat menambah kuat puntir dari spesimen tersebut. Terbukti pada spesimen *carbon fiber 3 layer* yang patah ketika beban puntir mencapai nilai 11911. Sedangkan spesimen *carbon fiber 7 layer* baru mengalami kegagalan ketika beban puntir maksimum sudah mencapai nilai 21339 Nmm.

IV.2. Analisis Hasil Pengujian Tarik

Pada sub bab ini akan dijelaskan mengenai hasil pengujian tarik dari spesimen *stainless steel 316* dan spesimen *carbon fiber.*

IV.2.1. Hasil Pengujian Tarik

Dari hasil pengujian tarik terhadap spesimen uji didapatkan nilai beban tarik maksimum (*Ultimate Force)* pada spesimen *carbon fiber* dan *stainless steel 316*, nilai beban tarik yang dimaksud adalah nilai beban tarik ketika spesimen patah atau mengalami kegagalan. Geometri spesimen uji dapat dilihat pada Tabel IV.2, sedangkan untuk hasil pengujian tarik dapat dilihat pada Tabel IV.3.

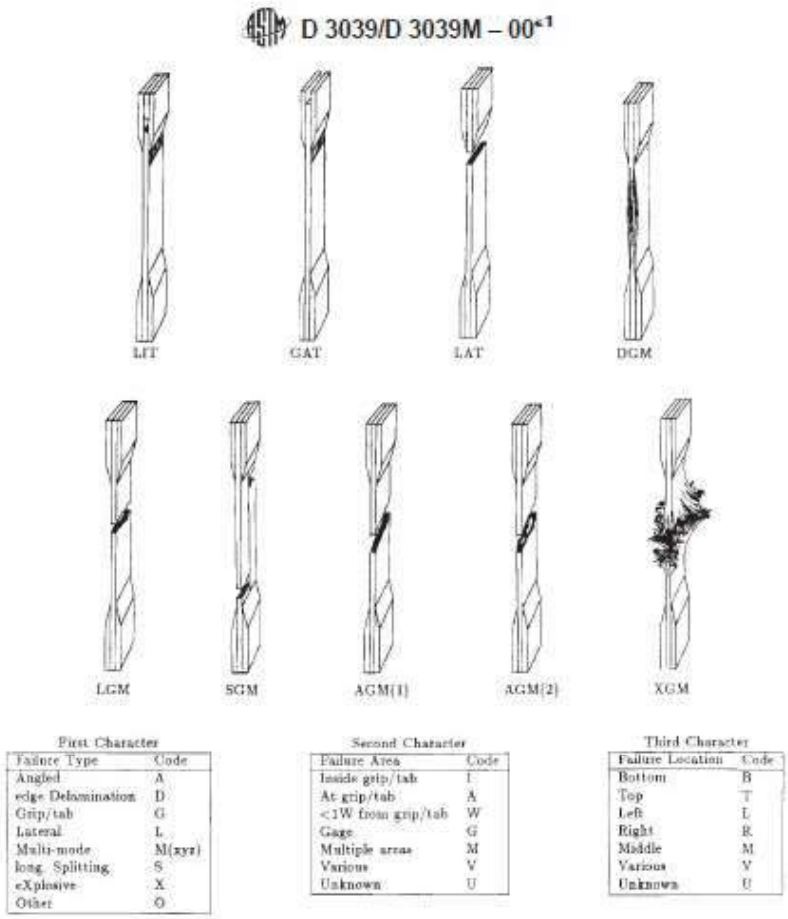
Tabel IV.2 Dimensi Spesimen Uji Tarik

Stainless Steel 316	Diameter	12.5
Carbon Fiber 3 Layer	Lebar	25 mm
	Tebal	0.96 mm
Carbon Fiber 5 Layer	Lebar	25 mm
	Tebal	1.59 mm
Carbon Fiber 7 Layer	Lebar	25 mm
	Tebal	1.93 mm

Tabel IV.3 *Ultimate Force* Masing-Masing Spesimen

Jenis Spesimen	Nomor Spesimen	Beban Tarik Maksimum (*Newton*)	*Failure Code*
Stainless Steel 316	1	71140	-
Carbon Fiber 3 Layer	1	9900	*Lateral Gage Middle (LGM)*
	2	10500	*Lateral Gage Middle (LGM)*
	3	10800	*Lateral Gage Middle (LGM)*
Carbon Fiber 5 Layer	1	14800	*Lateral At Grip Top (LAT)*
	2	19800	*Lateral At Grip Top (LAT)*
	3	20200	*Lateral Gage Middle (LGM)*
Carbon Fiber 7 Layer	1	28400	*Lateral Gage Middle (LGM)*
	2	27600	*Lateral At Grip Top (LAT)*
	3	25800	*Lateral At Grip Bottom (LAB)*

Pada Tabel IV.3 disebutkan nilai beban tarik maksimum dari masing-masing spesimen *carbon fiber* dan *stainless steel 316.* Standard yang digunakan pada pengujian tarik ini adalah ASTM A 370 untuk spesimen *stainless steel 316,* sedangkan untuk spesimen *carbon fiber* menggunakan standard ASTM D 3039 tahun 2002.



Gambar IV.6 *Failure Code* ASTM D 3039

Pada *standard* pengujian ASTM D 3039 yang digunakan sebagai acuan untuk pengujian tarik specimen *carbon fiber,* didalamnya menjelaskan bahwa dalam pengujian tarik specimen *composite* terdapat berbagai jenis *failure code*. Adapun *failure code* merupakan kemungkinan-kemungkinan patahan yang terjadi pada specimen uji setelah dilakukan pengujian tarik jika dilihat dari letak patahan, sudut patahan, dan bentuk patahan. Jenis patahan tersebut diantaranya *Lateral Gage Middle,* untuk jenis patahan ini menandakan bahwa specimen tersebut patah dengan bentuk tegak lurus terhadap panjang specimen, dan terletak pada tengah daerah uji (*gage*). Jenis patahan berikutnya yaitu *Lateral At grip Top (LAT),* untuk jenis patahan ini menandakan bahwa specimen tersebut patah dengan bentuk tegak lurus panjang specimen, namun patahannya terletak pada *grip,* untuk jenis patahan ini biasanya kurang memberikan hasil yang maksimal karena specimen patah pada daerah *grip.* Dari berbagai jenis patahan, hasil yang dinilai akurat didapat apabila patahan terjadi pada daerah uji (*gage*). Maka hasil yang dipilih adalah specimen yang patah pada daerah uji (*gage*)

Gambar IV.7 Spesimen *Carbon Fiber 3 Layer* Hasil Uji Tarik

Dari hasil pengujian yang dapat dilihat pada Tabel IV.3 dan Gambar IV.7 diketahui nilai beban tarik maksimum dari specimen *carbon fiber 3 layer* dengan nomor spesimen 1 adalah sebesar 9900 *Newton* dengan *failure code* atau kode keretakan yaitu *Lateral Gage Middle (LGM).* Sedangkan untuk nomor spesimen 2 memiliki beban tarik maksimum sebesar 10500 *Newton* dengan *failure code* atau kode keretakan yaitu *Lateral Gage Middle (LGM).* Sedangkan untuk nomor spesimen 3 memiliki beban tarik maksimum sebesar 10800 *Newton* dengan *failure code* atau kode keretakan yaitu *Lateral Gage Middle (LGM).* Jika *failure code* yang terjadi pada semua specimen merupakan jenis patahan pada daerah uji (*gage*) maka beba maksimum yang digunakan untuk perhitungan kekuatan tarik adalah hasil rata-rata beban maksimum semua specimen uji, nilai beban maksimum yang didapat dari hasil rata-rata adalah sebesar 10400 *Newton.*

Gambar IV.8 Spesimen *Carbon Fiber 5 Layer* Hasil Uji Tarik

Dari hasil pengujian yang dapat dilihat pada Tabel IV.3 dan Gambar IV.8 diketahui nilai beban tarik maksimum dari specimen *carbon fiber 5 layer* dengan nomor spesimen 1 adalah sebesar 14800 *Newton* dengan *failure code* atau kode keretakan *Lateral At Grip Top*

(LAT). Sedangkan untuk nomor specimen 2 memiliki beban tarik maksimum sebesar 19800 *Newton* dengan *failure code* atau kode keretakan yaitu *Lateral At Grip Top (LAT).* Dan untuk nomor specimen 3 memiliki beban tarik maksimum sebesar 20200 *Newton* dengan *failure code* atau kode keretakan yaitu *Lateral Gage Middle (LGM).* Dari hasil pengujian kali ini, specimen uji yang memiliki retakan pada daerah uji (*gage*) hanyalah specimen nomor 3, maka beban maksimum yang digunakan untuk perhitungan kekuatan tarik adalah 20200 *Newton.*

Gambar IV.9 Spesimen *Carbon Fiber 7 Layer* Hasil Uji Tarik

Dari hasil pengujian yang dapat dilihat pada Tabel IV.3 dan Gambar IV.9 diketahui nilai beban tarik maksimum dari specimen *carbon fiber 7 layer* dengan nomor spesimen 1 adalah sebesar 28400 *Newton* dengan *failure code* atau kode keretakan yaitu *Lateral Gage Middle (LGM).* Sedangkan nomor specimen 2 memiliki beban tarik maksimum sebesar 27600 *Newton* dengan *failure code* atau kode keretakan yaitu *Lateral At Grip Top (LAT).* Dan untuk nomor specimen 3 memiliki beban tarik maksimum sebesar 25800 *Newton* dengan *failure code* atau kode keretakan yaitu *Lateral At Grip Bottom (LAB).* Dari hasil pengujian kali ini, specimen uji yang memiliki retakan pada daerah uji (*gage*) hanyalah specimen nomor 1, maka beban maksimum yang digunakan untuk perhitungan kekuatan tarik adalah 28400 *Newton.*

IV.2.2. Perhitungan *Tensile Strength*

Dari hasil pengujian tarik yang tertera pada Tabel IV.3 dengan dimensi spesimen yang tertera pada Tabel IV.2 maka dapat dihitung kekuatan tarik (*tensile strength*) dari spesimen tersebut dengan menggunakan Persamaan IV.1.

$$\sigma_u = \frac{F_u}{A} \qquad \text{(IV.1)}$$

Hasil perhitungan kekuatan tarik maksimum (*tensile strength, ultimate*) dari persmaan IV.1 Dapat dirangkum ke dalam sebuah tabel, seperti yang tertera pada Tabel IV.4. Beban tarik maksimum yang dipilih adalah hasil rata-rata beban tarik maksimum dari pengujian tiap spesimen atau beban tarik maksimum dari spesimen yang kategori *failure code* atau kode keretakan yaitu *Lateral Gage Middle (LGM)*, selain *failure code* tersebut maka beban tarik maksimum tersebut tidak digunakan karena patah pada daerah jepitan dianggap kurang akurat.

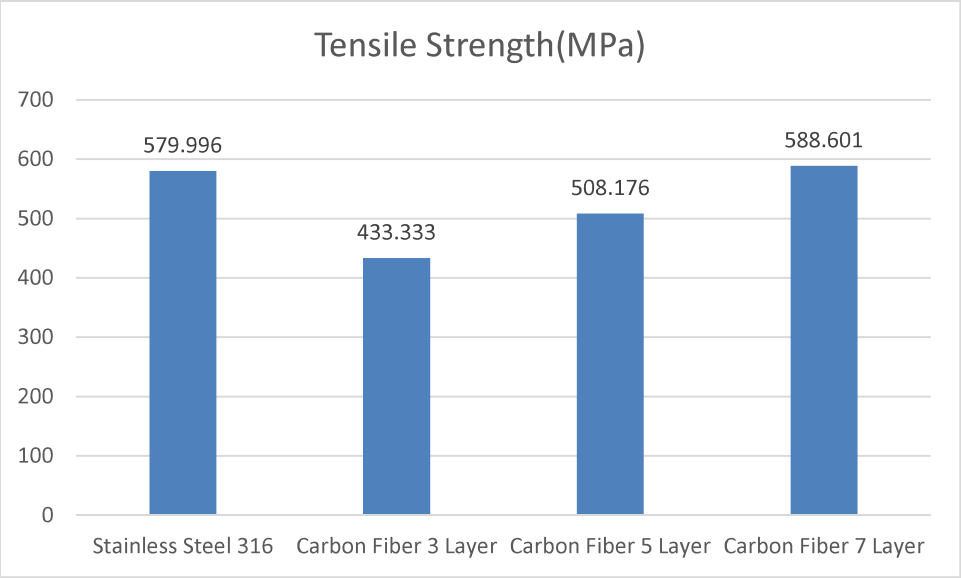
Tabel IV.4 Hasil Perhitungan *Tensile Strength*

Jenis Spesimen	Lebar (mm)	Tebal (mm)	Diameter (mm)	Luas (A) (mm^2)	Beban Tarik Maksimum (*Newton*)	*Tensile Strength (Mpa)*
Stainless Steel 316	-	-	12.55	122.656	71140	579.996
Carbon Fiber 3 Layer	25	0.96	-	24	10400	433.333
Carbon Fiber 5 Layer	25	1.59	-	39.75	20200	508.176
Carbon Fiber 7 Layer	25	1.93	-	55.5	28400	588.601

Dari Tabel IV.4 dapat diketahui bahwa spesimen *stainless steel 316* dengan beban tarik maksimum 71140 *Newton* dapat diketahui kekuatan tariknya (*tensile strength ultimate*) sebesar 579.996 Mpa. Untuk spesimen *carbon fiber 3 layer* dengan beban tarik maksimum 10400 *Newton* diketahui kekuatan tariknya (*tensile strength ultimate*) sebesar 433.333 Mpa. Untuk spesimen *carbon fiber 5 layer* dengan beban tarik maksimum 20200 *Newton* diketahui kekuatan tariknya (*tensile strength ultimate*) sebesar 508.176 Mpa. Sedangkan untuk spesimen *carbon fiber 7 layer* dengan beban tarik maksimum 28400 *Newton* diketahui kekuatan tariknya (*tensile strength ultimate*) sebesar 588.601 Mpa.

IV.2.3. Analisis Pengaruh Penambahan Layer Terhadap Kuat Tarik

Dari hasil pengujian tarik spesimen uji *stainless steel 316* dan *carbon fiber* dapat diketahui nilai beban tarik maksimum dari spesimen tersebut sehingga dapat dihitung kekuatan tarik dari spesimen uji tersebut. Untuk spesimen uji *carbon fiber* diterapkan variasi spesimen yaitu dengan membedakan jumlah *layer* dari spesimen uji tersebut. Pengaruh jumlah spesimen terhadap kekuatan tarik dapt dilihat pada Gambar IV.10.



Gambar IV.10 Pengaruh Jumlah Layer Terhadap Kekuatan Tarik

Dari Gambar IV.10 dapat diketahui kekuatan tarik pada tiap-tiap spesimen uji. Untuk spesimen *stainless steel* memiliki kuat tarik sebesar 579.996 Mpa, untuk spesimen *carbon fiber 3 layer* memiliki kuat tarik sebesar 433.333 Mpa, untuk spesimen *carbon fiber 5 layer* memiliki kuat tarik sebesar 508.176 Mpa, sedangan untuk spesimen *carbon fiber 7 layer* memiliki kuat tarik sebesar 588.601.

Dari Gambar IV.10 dapat diketahui bahwa terjadi peningkatan kekuatan tarik pada spesimen *carbon fiber* akibat penambahan jumlah *layer,* dan untuk spesimen *carbon fiber* dengan jumlah *layer 7,* kuat tariknya sudah melebihi dari kuat tarik spesimen *stainless steel 316.*

IV.3. Analisis Hasil Numerik Pengujian Puntir

Pada sub bab ini akan dijelaskan mengenai hasil simulasi pengujian puntir specimen *stainless steel 316* dan specimen *carbon fiber* dengan menggunakan *software finite element.* Geometri yang dimasukkan ke dalam perhitungan numeric tertera pada Tabel IV.5.

Tabel IV.5 Geometri Spesimen Uji Puntir Untuk Perhitungan Numerik

Spesimen	Diameter Luar *(mm)*	Diameter Dalam *(mm)*
Stainless Steel 316	8	-
Carbon Fiber 3 Layer	8	6.4488
Carbon Fiber 5 Layer	8	5.4143
Carbon Fiber 7 Layer	8	4.3783

Dari Tabel IV.5 dapat diketahui geometri dari specimen uji puntir yang digunakan untuk perhitungan numerik menggunakan *software finite element.* Untuk specimen *stainless steel 316* memiliki diameter luar sebesar 8 mm namun tidak memiliki diameter dalam, dikarenakan specimen *stainless steel 316* merupakan benda pejal. Untuk specimen *carbon fiber 3 layer* memiliki diameter luar sebesar 8 mm dan diameter dalam sebesar 6.4488 mm. Untuk specimen *carbon fiber 5 layer* memiliki diameter luar sebesar 8 mm dan diameter dalam sebesar 5.4143 mm. Sedangakn specimen *carbon fiber 7 layer* memiliki diameter luar sebesar 8 mm dan diameter dalam sebesar 4.3783 mm.

IV.3.1. Analisis Kegagalan Spesimen Menggunakan Parameter Equivalent Stress Dengan Beban Puntir Hasil Pengujian Spesimen

Untuk parameter *equivalent stress* ini digunakan teori kegagalan *Maximum Distortion Energy Theory (MDET)* atau *Von-mises Theory.* Pemilihan teori kegagalan ini dikarenakan oleh kondisi jenis tegangan yang timbul pada saat pembebanan *torsi.* Jenis tegangan yang timbul adalah jenis tegangan geser dan tegangan normal.

Pada kasus pembebanan kali ini nilai tegangan normal yang muncul dapat mengakibatkan nilai tegangan (*stress)* meningkat. Oleh karena itu diperlukan analisis kegagalan yang memperhitungkan juga nilai *normal stressnya.* Teori kegagalan yang dimaksud adalah teori kegagalan *MDET (Von-Mises Theory).* Untuk *properties strength yield point (Syp)* digunakan didapat dari hasil pengujian tarik yang dapat dilihat pada Tabel IV.4.

Berikut merupakan persamaan untuk menghitung tegangan maksimal yang boleh terjadi pada material *carbon fiber* menurut teori MDET (*Von mises Theory)* :

$$\frac{St}{SF} \geq \sqrt{\sigma_x^2 + 3(\tau_{xy}^2)}$$

$$\frac{433.333\ Mpa}{2.5} \geq Equivalent\ Stress \qquad \text{(IV.2)}$$

$$173.333\ Mpa \geq Equivalent\ Stress \qquad \textit{(For Carbon Fiber 3 Layer)}$$

$$\frac{St}{SF} \geq \sqrt{\sigma_x^2 + 3(\tau_{xy}^2)}$$

$$\frac{508.176\ Mpa}{2.5} \geq Equivalent\ Stress \qquad \text{(IV.3)}$$

$$203.270\ Mpa \geq Equivalent\ Stress \qquad \textit{(For Carbon Fiber 5 Layer)}$$

$$\frac{St}{SF} \geq \sqrt{\sigma_x^2 + 3(\tau_{xy}^2)}$$

$$\frac{588.601\ Mpa}{2.5} \geq Equivalent\ Stress \qquad \text{(IV.4)}$$

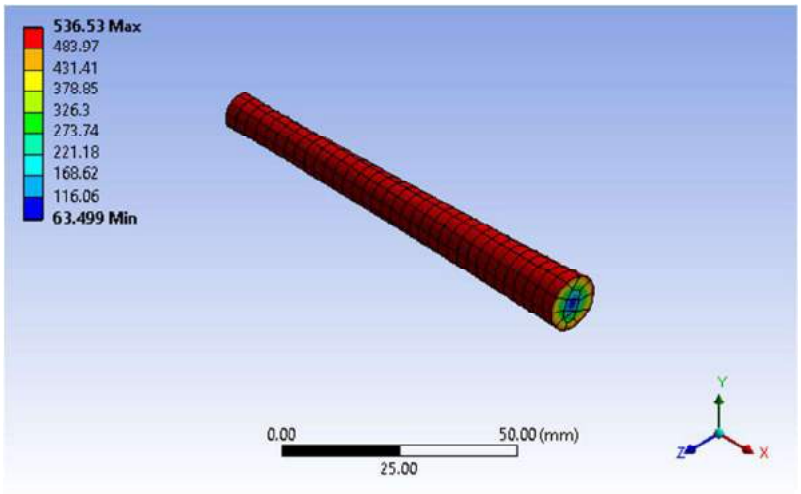
$$235.44\ Mpa \geq Equivalent\ Stress \qquad \textit{(For Carbon Fiber 7 Layer)}$$

$$\frac{Syp}{SF} \geq \sqrt{\sigma_x^2 + 3(\tau_{xy}^2)}$$

$$\frac{579\ Mpa}{2.5} \geq Equivalent\ Stress \qquad \text{(IV.5)}$$

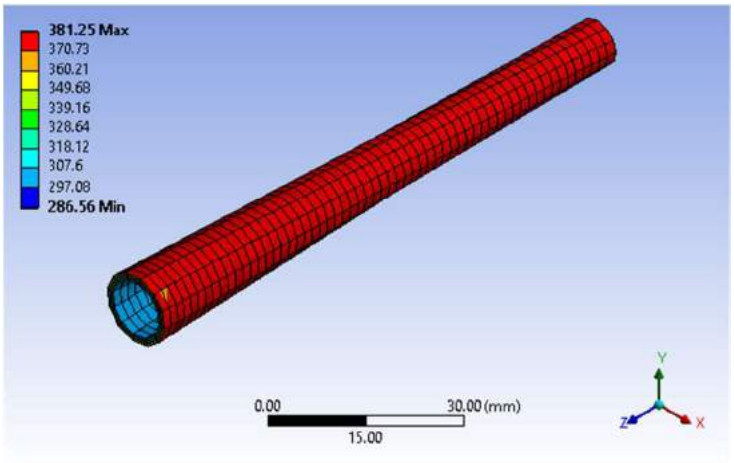
$$231.6\ Mpa \geq Equivalent\ Stress \qquad \textit{(For Stainless Steel 316)}$$

Dari Persamaan IV.2 sampai IV.5 dapat diketahui bahwa tegangan yang diijinkan untuk spesimen *carbon fiber 3 layer* adalah kurang dari 288.888 MPa, untuk *carbon fiber 5 layer* tegangan yang diijinkan adalah kurang dari 338.784 MPa, untuk *carbon fber 7 layer* tegangan yang diijinkan adalah kurang dari 392.4 MPa. Sedangkan untuk spesimen *stainles steel stainles steel* tegangan yang diijinkan adalah kurang dari 213.57 MPa.



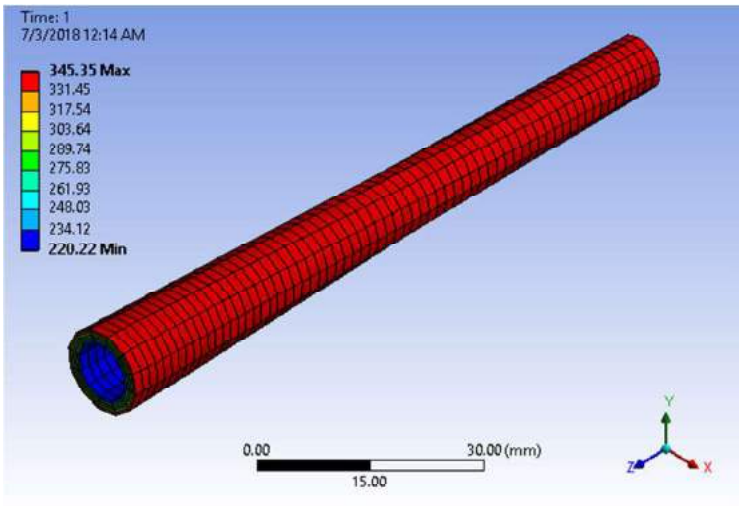
Gambar IV.11 *Equivalent Stress* Spesimen *Stainless Steel*

Gambar IV.11 merupakan *equivalent stress* hasil simulasi uji puntir dari specimen *stainless steel.* Dapat dilihat nilai *equivalent stress* terbesar terdapat pada daerah yang berwarna merah, yaitu sebesar 536.53 Mpa. Sedangkan nilai *equivalent stress* terkecil terdapat pada daerah biru tua sebesar 63.499 Mpa.



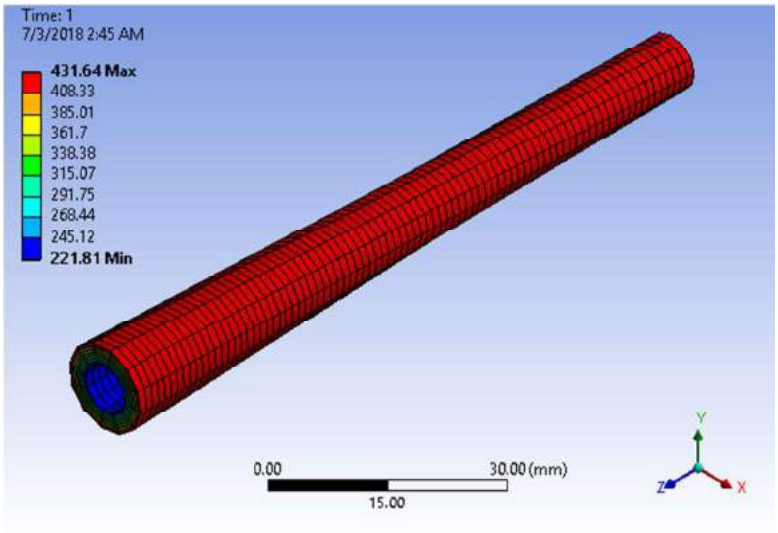
Gambar IV.12 ***Equivalent Stress*** **Spesimen** ***Carbon Fiber 3 Layer***

Gambar IV.12 merupakan *equivalent stress* hasil simulasi uji puntir dari specimen *carbon fiber 3 layer.* Dapat dilihat nilai *equivalent stress* terbesar terdapat pada daerah yang berwarna merah, yaitu sebesar 381.25 MPa. Sedangkan nilai *equivalent stress* terkecil terdapat pada daerah biru tua sebesar 286.56 Mpa.



Gambar IV.13 ***Equivalent Stress*** **Spesimen** ***Carbon Fiber 5 Layer***

Gambar IV.13 merupakan *equivalent stress* hasil simulasi uji puntir dari specimen *carbon fiber 5 layer.* Dapat dilihat nilai *equivalent stress* terbesar terdapat pada daerah yang berwarna merah, yaitu sebesar 345.35 MPa. Sedangkan nilai *equivalent stress* terkecil terdapat pada daerah biru tua sebesar 220.22 Mpa.



Gambar IV.14 *Equivalent Stress* Spesimen *Carbon Fiber 7 Layer*

Gambar IV.14 merupakan *equivalent stress* hasil simulasi uji puntir dari specimen *carbon fiber 7 layer.* Dapat dilihat nilai *equivalent stress* terbesar terdapat pada daerah yang berwarna merah, yaitu sebesar 431.64 Mpa. Sedangkan nilai equivalent stress terkecil terdapat pada daerah biru tua sebesar 221.81 Mpa.

Pada Tabel IV.6 merupakan data yang didapat dari hasil simulasi untuk mendapatkan nilai *equivalent stress* pada spesimen *carbon fiber* dan *stainless steel 316* dengan beban puntir sesuai dengan hasil pengujian puntir untuk setiap spesimen.

Tabel IV.6 *Equivalent Stress* Dengan Beban Puntir Hasil Pengujian Spesimen

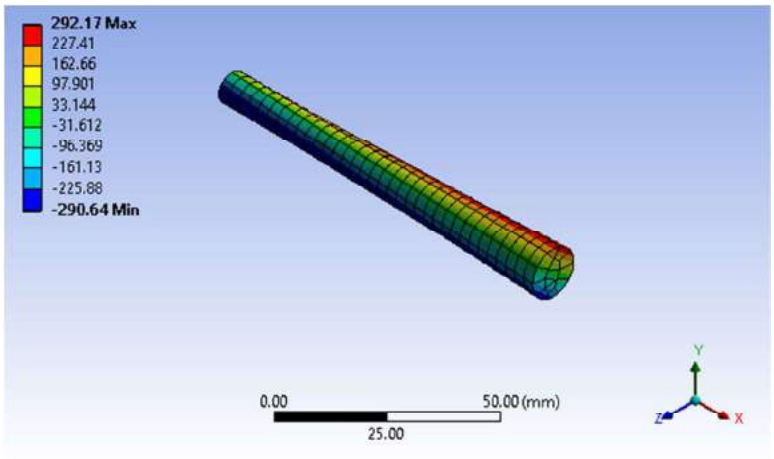
Jenis Spesimen	Torsi (Nmm)	*Equivalent Stress (MPa)*	Keterangan
Stainless Steel 316	29559	536.53	Spesimen Gagal
Carbon Fiber 3 Layer	11911	381.25	Spesimen Gagal
Carbon Fiber 5 Layer	14824	345.35	Spesimen Gagal
Carbon Fiber 7 Layer	21339	431.64	Spesimen Gagal

Dari Tabel IV.6 dapat dilihat dari hasil simulasi dengan beban puntir didapat nilai *equivalent stress* sebesar 536.53 MPa untuk spesimen *stainless steel 316* dengan beban puntir sebesar 29559 Nmm, 381.25 MPa untuk spesimen *carbon fiber 3 layer* dengan beban puntir sebesar 11911 Nmm, 345.35 MPa untuk spesimen *carbon fiber 5 layer* dengan beban puntir sebesar 14824 Nmm, dan 431.64 MPa untuk spesimen *carbon fiber 7 layer* dengan beban puntir sebesar 21339 Nmm.

Dari Tabel IV.6 dapat diketahui juga bahwa semua spesimen yang diujikan mengalami kegagalan, karena tegangan yang terjadi pada spesimen tersebut sudah melebihi dari tegangan yang diijinkan sesuai dengan Persamaan IV.2 sampai IV.5.

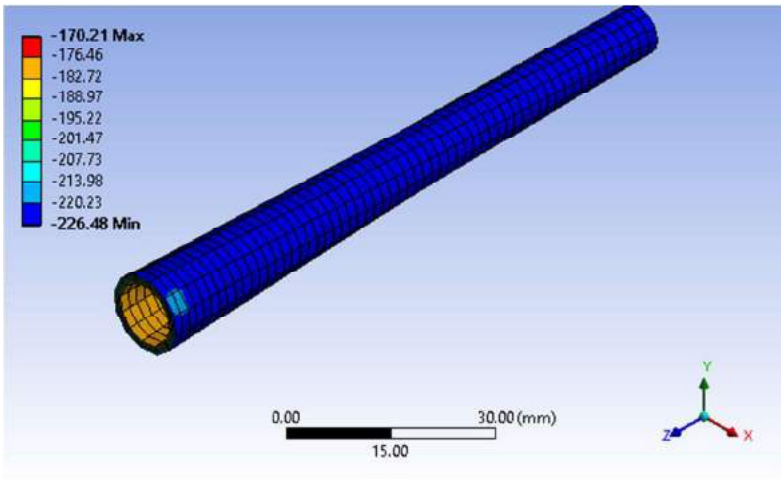
IV.3.2. Analisis Parameter *Shear Stress* Hasil Perhitungan Numerik Dengan Beban Puntir Hasil Pengujian Spesimen

Dari hasil simulasi yang dilakukan dengan metode perhitungan numerik dibantu komputer didapatkan nilai dari *shear stress* yang terjadi. Simulasi dilakukan pada spesimen *stainless steel 316* dan *carbon fiber 3 layer, 5 layer,* dan *7 layer.* Adapun beban yang diberikan ad dari hasil pengujian puntir masing-masing spesimen.



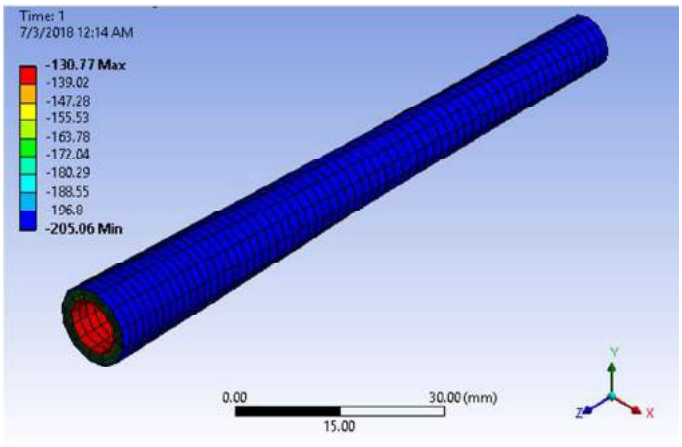
Gambar IV.15 ***Shear Stress*** **Spesimen** ***Stainless Steel 316***

Gambar IV.15 merupakan *shear stress* hasil simulasi uji puntir dari specimen *carbon fiber.* Dapat dilihat nilai *shear stress* terbesar terdapat pada daerah yang berwarna merah, yaitu sebesar 292.17 Mpa. Sedangkan nilai *shear stress* terkecil terdapat pada daerah hijau muda sebesar 33.144 Mpa.



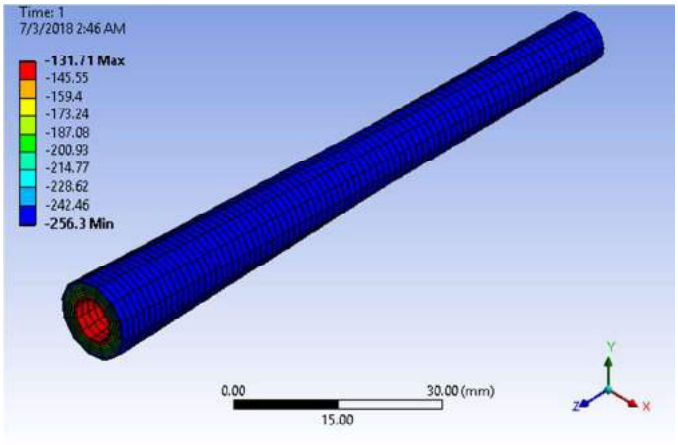
Gambar IV.16 ***Shear Stress*** **Spesimen** ***Carbon Fiber 3 Layer***

Gambar IV.16 merupakan *shear stress* hasil simulasi uji puntir dari specimen *carbon fiber 3 layer.* Dapat dilihat nilai *shear stress* terbesar terdapat pada daerah yang berwarna biru tua, yaitu sebesar 226.48 MPa. Sedangkan nilai *shear stress* terkecil terdapat pada daerah merah sebesar 170.21 Mpa.



Gambar IV.17 *Shear Stress* Spesimen *Carbon Fiber 5 Layer*

Gambar IV.17 merupakan *shear stress* hasil simulasi uji puntir dari specimen *carbon fiber 5 layer.* Dapat dilihat nilai *shear stress* terbesar terdapat pada daerah yang berwarna biru tua, yaitu sebesar 205.06 MPa. Sedangkan nilai *shear stress* terkecil terdapat pada daerah merah sebesar 130.77 MPa.



Gambar IV.18 *Shear Stress* Spesimen *Carbon Fiber 7 Layer*

Gambar IV.18 merupakan *shear stress* hasil simulasi uji puntir dari specimen *carbon fiber 7 layer.* Dapat dilihat nilai *shear stress* terbesar terdapat pada daerah yang berwarna biru tua, yaitu sebesar 256.3 Mpa. Sedangkan nilai *shear stress* terkecil terdapat pada daerah merah sebesar 131.71 Mpa.

Tabel IV.7 *Shear Stress* Dengan Beban Puntir Hasil Pengujian Material

Jenis Spesimen	Torsi (Nmm)	*Shear Stress (Mpa)*
Stainless Steel 316	29559	292.17
Carbon Fiber 3 Layer	11911	226.48
Carbon Fiber 5 Layer	14824	205.6
Carbon Fiber 7 Layer	21339	256.3

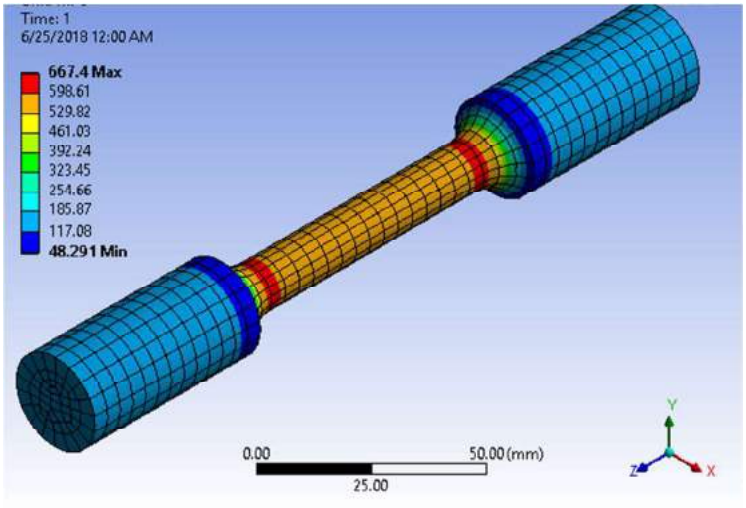
Dari Tabel IV.7 dapat dilihat dari hasil simulasi dengan beban puntir didapat nilai *shear stress* sebesar 292.17 MPa untuk spesimen *stainless steel 316* dengan beban puntir sebesar 29559 Nmm, 537.23 MPa untuk spesimen *carbon fiber 3 layer* dengan beban puntir sebesar 11911 Nmm, 337.34 MPa untuk spesimen *carbon fiber 5 layer* dengan beban puntir sebesar 14824 Nmm, dan 292.26 MPa untuk spesimen *carbon fiber 7 layer* dengan beban puntir sebesar 21339 Nmm.

IV.4. Analisis Hasil Numerik Pengujian Tarik

Pada sub bab ini akan dijelaskan mengenai hasil simulasi pengujian tarik specimen *stainless steel 316* dan specimen *carbon fiber* dengan menggunakan *software finite element*

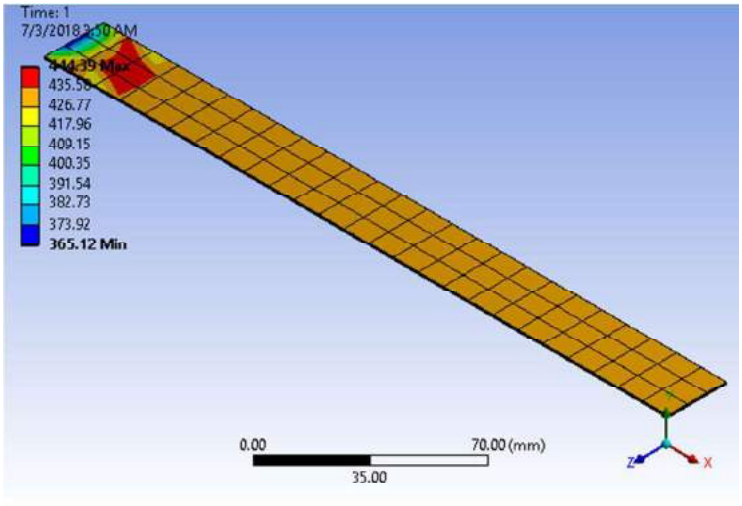
IV.4.1. Analisis Kegagalan Spesimen Menggunakan Parameter Equivalent Stress Dengan Beban Tarik Hasil Pengujian

Dari hasil simulasi yang dilakukan menggunakan metode perhitungan numerik dibantu komputer didapatkan nilai dari *equivalent stress* yang terjadi. Simulasi dilakukan pada spesimen *stainless steel 316* dan *carbon fiber 3 layer, 5 layer,* dan *7 layer.* Adapun beban yang diberikan adalah berupa beban tarik. Beban tarik yang digunakan pada parameter ini adalah besarnya nilai beban tarik maksimum dari hasil pengujian tarik masing-masing spesimen.



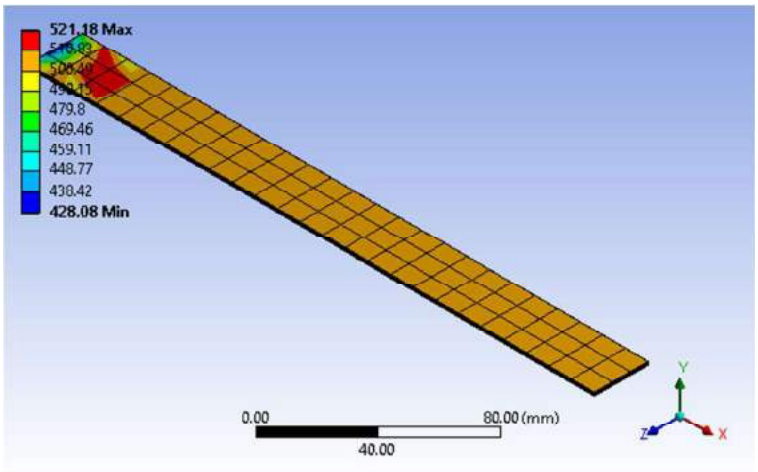
Gambar IV.19 *Equivalent Stress* Simulasi Uji Tarik Spesimen *Stainless Steel 316*

Gambar IV.19 merupakan *equivalent stress* hasil simulasi uji tarik dari specimen *stainless steel 316.* Dapat dilihat nilai *equivalent stress* terbesar terdapat pada daerah yang berwarna merah, yaitu sebesar 667.4 MPa. Sedangkan nilai *equivalent stress* terkecil terdapat pada daerah biru tua sebesar 48.291 MPa.



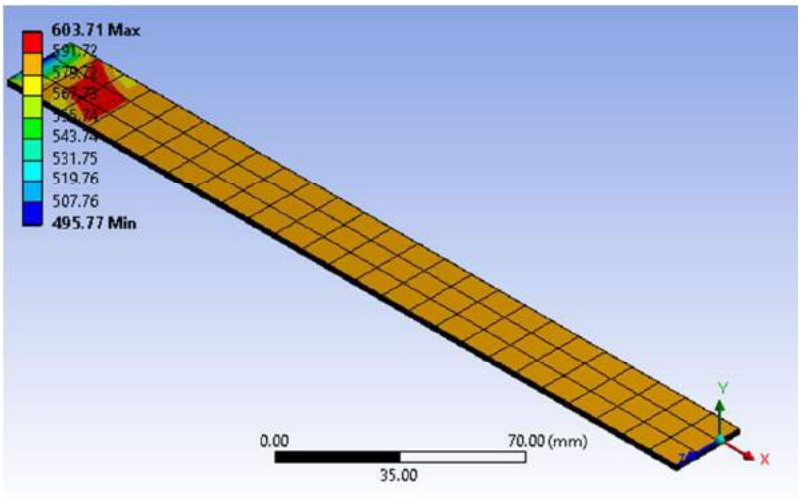
Gambar IV.20 *Equivalent Stress* Simulasi Uji Tarik Spesimen *Carbon Fiber 3 Layer*

Gambar IV.20 merupakan *equivalent stress* hasil simulasi uji tarik dari specimen *carbon fiber 3 layer.* Dapat dilihat nilai *equivalent stress* terbesar terdapat pada daerah yang berwarna merah, yaitu sebesar 444.39 MPa. Sedangkan nilai *equivalent stress* terkecil terdapat pada daerah biru tua sebesar 365.12 MPa.



Gambar IV.21 *Equivalent Stress* Simulasi Uji Tarik Spesimen *Carbon Fiber 5 Layer*

Gambar IV.21 merupakan *equivalent stress* hasil simulasi uji tari k dari specimen *carbon fiber 5 layer.* Dapat dilihat nilai *equivalent stress* terbesar terdapat pada daerah yang berwarna merah, yaitu sebesar 521.18 MPa. Sedangkan nilai *equivalent stress* terkecil terdapat pada daerah biru tua sebesar 428.08 Mpa.



Gambar IV.22 *Equivalent Stress* Simulasi Uji Tarik Spesimen *Carbon Fiber 7 Layer*

Gambar IV.22 merupakan *equivalent stress* hasil simulasi uji tarik dari specimen *carbon fiber 7 layer.* Dapat dilihat nilai *equivalent stress* terbesar terdapat pada daerah yang berwarna merah, yaitu sebesar 603.71 MPa. Sedangkan nilai *equivalent stress* terkecil terdapat pada daerah biru tua sebesar 683.58 Mpa.

Tabel IV.8 *Equivalen Stress* Spesimen Dengan Beban Tarik Hasil Pengujian

Jenis Spesimen	*Force (N)*	*Equivalent Stress*	Keterangan
Stainless Steel 316	71140	667.4	Spesimen Gagal
Carbon Fiber 3 Layer	10400	444.39	Spesimen Gagal
Carbon Fiber 5 Layer	20200	521.18	Spesimen Gagal
Carbon Fiber 7 Layer	28400	603.71	Spesimen Gagal

Dari Tabel IV.8 dapat dilihat dari hasil simulasi dengan beban tarik didapat nilai *equivalent stress* sebesar 667.4 MPa untuk spesimen *stainless steel 316* dengan beban tarik sebesar 71140 N, 444.39 MPa untuk spesimen *carbon fiber 3 layer* dengan beban tarik sebesar 10400 N, 521.18 MPa untuk spesimen *carbon fiber 5 layer* dengan beban tarik sebesar 20200 N, dan 603.71 MPa untuk spesimen *carbon fiber 7 layer* dengan beban tarik sebesar 28400 N.

IV.5. Perbandingan Hasil Eksperimen Dengan Hasil Perhitungan Numerik

Pada sub bab ini akan dijelaskan mengenai perbandingan hasil pengujian spesimen dengan hasil numerik *software finite element*

IV.5.1. Perbandingan Hasil Eksperimen Dan Hasil Perhitungan Numerik Pengujian Puntir

Setelah dilakukan eksperimen dan perhitungan numerik pada spesimen *stainless steel 316* dan *carbon fiber* didapatkan hasil seperti yang tedapat pada Tabel IV.9. Hasil tersebut akan dibandingkan untuk proses validasi antara hasil eksperimen dengan hasil perhitungan numerik.

Tabel IV.9 Hasil Eksperimen Dan Hasil Perhitungan Numerik Pengujian Puntir

	Hasil Eksperimen		Hasil Numerik		
Spesimen	Beban Puntir (Nmm)	Keterangan	Beban Puntir (Nmm)	*Equivalent Stress (MPa)*	Keterangan
SS 316	29559	Spesimen Gagal	29559	536.53	Spesimen Gagal
CF 3 Layer	11911	Spesimen Gagal	11911	381.25	Spesimen Gagal
CF 5 Layer	14824	Spesimen Gagal	14824	345.35	Spesimen Gagal
CF 7 Layer	21339	Spesimen Gagal	21339	431.64	Spesimen Gagal

Dapat dilihat pada Tabel IV.9 dari hasil eksperimen spesimen *stainless steel 316* gagal pada beban puntir 29559 Nmm, untuk perhitungan numerik dengan beban puntir yang sama spesimen *stainless steel 316* mengalami kegagalan karena tegangan yang terjadi sudah melebihi dari tegangan ijin pada Persamaan IV.5. Untuk hasil eksperimen spesimen *carbon fiber 3 layer* gagal pada beban puntir 11911 Nmm, untuk perhitungan numerik dengan beban puntir yang sama spesimen *carbon fiber 3 layer* mengalami kegagalan karena tegangan yang terjadi sudah melebihi dari tegangan ijin pada Persamaan IV.2. Untuk hasil eksperimen spesimen *carbon fiber 5 layer* gagal pada beban puntir 14824 Nmm, untuk perhitungan numerik dengan beban puntir yang sama spesimen *carbon fiber 5 layer* mengalami kegagalan karena tegangan yang terjadi sudah melebihi dari tegangan ijin pada Persamaan IV.3. Untuk hasil eksperimen spesimen *carbon fiber 7 layer* gagal pada beban puntir 21339 Nmm, untuk perhitungan numerik dengan beban puntir yang sama spesimen *carbon fiber 7 layer* mengalami kegagalan karena tegangan yang terjadi sudah melebihi dari tegangan ijin pada Persamaan IV.4

IV.5.2. Perbandingan Hasil Eksperimen Dan Hasil Numerik Pengujian Tarik

Setelah dilakukan eksperimen dan perhitungan numerik pada spesimen *stainless steel 316* dan *carbon fiber* didapatkan hasil seperti yang tedapat pada Tabel IV.10. Hasil tersebut akan dibandingkan untuk proses validasi antara hasil eksperimen dengan hasil perhitungan numerik.

Tabel IV.10 Hasil Eksperimen Dan Hasil Perhitungan Numerik Pengujian Tarik

	Hasil Eksperimen		Hasil Numerik		
Spesimen	Beban Tarik (*Newton*)	Keterangan	Beban Tarik (*Newton*)	*Equivalent Stress (MPa)*	Keterangan
SS 316	71140	Spesimen Gagal	29559	667.4	Spesimen Gagal
CF 3 Layer	10400	Spesimen Gagal	11911	444.39	Spesimen Gagal
CF 5 Layer	20200	Spesimen Gagal	14824	521.18	Spesimen Gagal
CF 7 Layer	28400	Spesimen Gagal	21339	603.71	Spesimen Gagal

Dapat dilihat pada Tabel IV.10 dari hasil eksperimen spesimen *stainless steel 316* gagal pada beban tarik 71140 N, untuk perhitungan numerik dengan beban tarik yang sama spesimen *stainless steel 316* mengalami kegagalan karena tegangan yang terjadi sudah melebihi dari tegangan ijin pada Persamaan IV.5. Untuk hasil eksperimen spesimen *carbon fiber 3 layer* gagal pada beban tarik 10400 N, untuk perhitungan numerik dengan beban tarik yang sama spesimen *carbon fiber 3 layer* mengalami kegagalan karena tegangan yang terjadi sudah melebihi dari tegangan ijin pada Persamaan IV.2. Untuk hasil eksperimen spesimen *carbon fiber 5 layer* gagal pada beban tarik 20200 N, untuk perhitungan numerik dengan beban tarik yang sama spesimen *carbon fiber 5 layer* mengalami kegagalan karena tegangan yang terjadi sudah melebihi dari tegangan ijin pada Persamaan IV.3. Untuk hasil eksperimen spesimen *carbon fiber 7 layer* gagal pada beban tarik 28400 N, untuk perhitungan numerik dengan beban tarik yang sama spesimen *carbon fiber 7 layer* mengalami kegagalan karena tegangan yang terjadi sudah melebihi dari tegangan ijin pada Persamaan IV.4.

IV.6. Analisis Kegagalan Poros Kapal Kecil Menggunakan Parameter *Equivalent Stress* Hasil Perhitungan Numerik

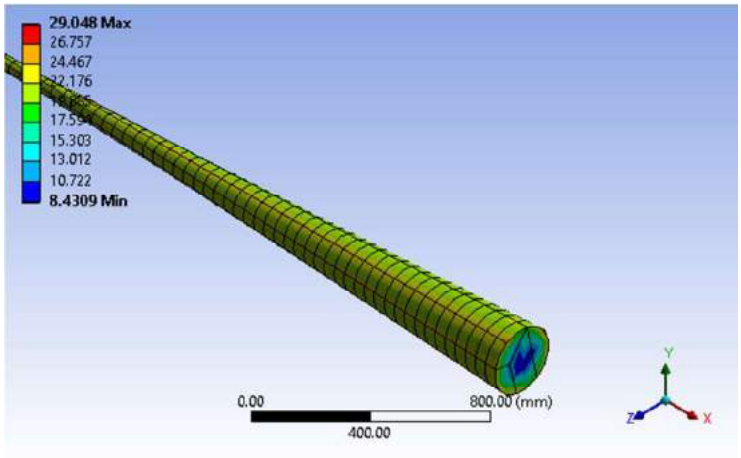
Pada sub bab ini akan dijelaskan mengenai kegagalan poros kapal kecil, parameter yang digunakan adalah *equivalent stress* yang didapatkan dari hasil perhitungan numerik menggunakan *software finite element analysis.* Geometri yang digunakan menggunakan acuan yang diatur oleh BKI *rules* mengenai diameter minimum poros kapal sesuai dengan kemampuan mesin penggerak utama. Mesin penggerak utama yang dipakai memiliki power sebesar 64 kW, RPM 1200 dan torsi 308 Nm. Panjang poros dapat diasumsikan, pada Tugas Akhir ini panjang poros yang dipilih adalah 2500 mm. Besarnya diameter dapat dihitung menggunakan Persamaan IV.6.

$$dp \geq F\ k\ \sqrt[3]{\frac{Pw}{n[1-\left(\frac{di}{da}\right)^4]}\ Cw} \tag{IV.6}$$

$$dp \geq 1000\ 1\ \sqrt[3]{\frac{64}{1200[1-\left(\frac{di}{da}\right)^4]}\ 0.757} \tag{IV.7}$$

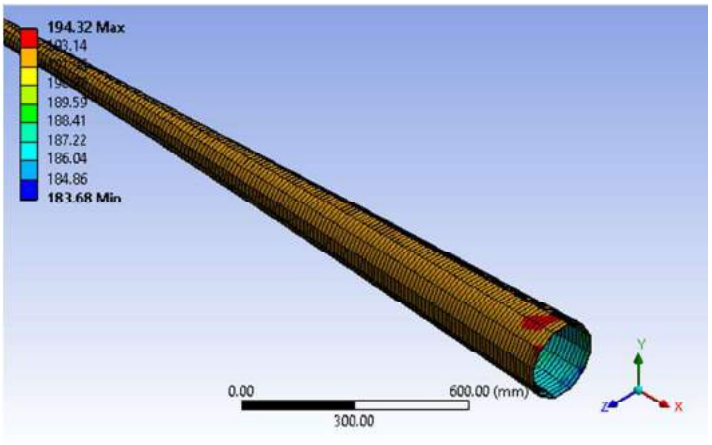
$$dp \geq 34.3\ mm \tag{IV.8}$$

Dari Persamaan IV.8 dapat diketahui bahwa diameter minimal yang diijinkan adalah sebesar 34.3 mm. Maka diameter yang digunakan dapat sama dengan 34.3 mm atau lebih besar. Pada Tugas Akhir ini diameter yang digunakan adalah sebesar 50 mm. Apabila sudah diketahui diameternya maka dapat dilakukan analisis kegagalan poros dengan memberikan beban torsi sesuai kapasitas mesin, lalu dilakukan analisis menggunakan *software finite element analysis*.



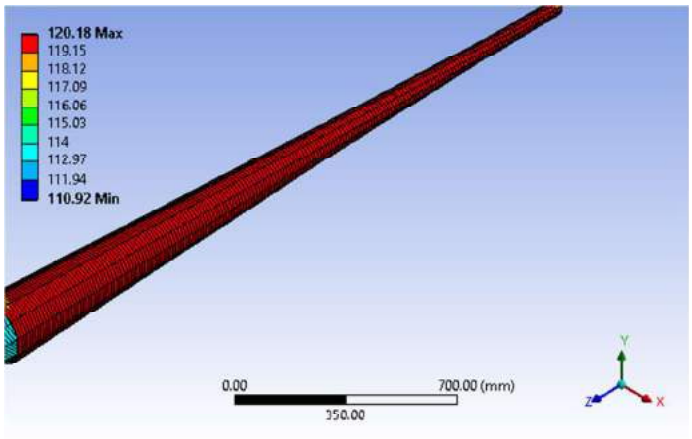
Gambar IV.23 *Equivalent Stress* Poros *Stainless Steel 316*

Gambar IV.23 merupakan *equivalent stress* hasil simulasi poros kapal berbahan *stainless steel 316.* Dapat dilihat *equivalent stress* terbesar adalah pada nilai 29.048 MPa. Sedangkan untuk *equivalent stress* terkecil terdapat pada nilai 8.4309 MPa.



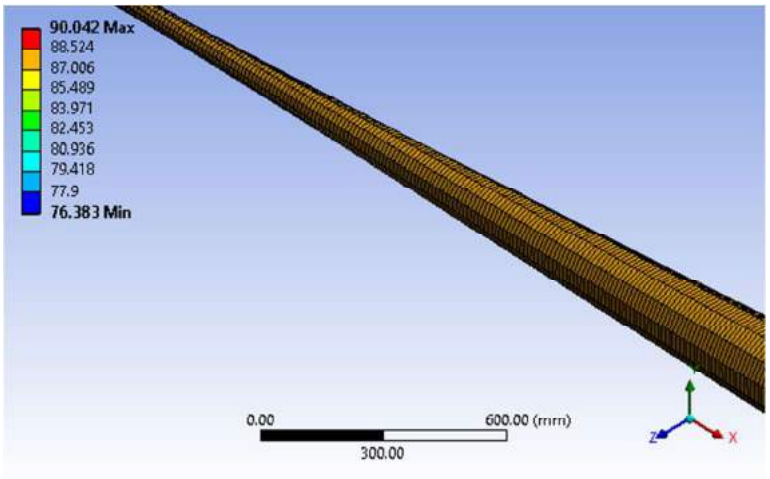
Gambar IV.24 *Equivalent Stress* Poros *Carbon Fiber 3 Layer*

Gambar IV.24 merupakan *equivalent stress* hasil simulasi poros kapal berbahan *carbon fiber 3 layer.* Dapat dilihat *equivalent stress* terbesar adalah pada nilai 194.32 MPa. Sedangkan untuk *equivalent stress* terkecil terdapat pada nilai 183.68 MPa.



Gambar IV.25 *Equivalent Stress* Poros *Carbon Fiber 5 Layer*

Gambar IV.25 merupakan *equivalent stress* hasil simulasi poros kapal berbahan *carbon fiber 5 layer.* Dapat dilihat *equivalent stress* terbesar adalah pada nilai 120.18 MPa. Sedangkan untuk *equivalent stress* terkecil terdapat pada nilai 110.92 MPa.



Gambar IV.26 *Equivalent Stress* Poros *Carbon Fiber 7 Layer*

Gambar IV.26 merupakan *equivalent stress* hasil simulasi poros kapal berbahan *carbon fiber 7 layer.* Dapat dilihat *equivalent stress* terbesar adalah pada nilai 90.042 MPa. Sedangkan untuk *equivalent stress* terkecil terdapat pada nilai 110.92 MPa.

Dari hasil perhitungan numerik dapat dianalisis mengenai kegagalannya dengan membandingkan antara nilai *equivalent stress* dengan tegangan ijin dari masing-masing material sesuai Persamaan IV.2 sampai IV.5. Analisis mengenai kegagalan dapat dilihat pada Tabel IV.11.

Tabel IV.11 Analisis Kegagalan Poros

Material	Beban Puntir (Nm)	Tegangan Ijin (MPa)	*Equivalent Stress (MPa)*	Keterangan
Stainless Steel 316	308	231.6	29.048	Poros Aman
Carbon Fiber 3 Layer		173.333	194.32	Poros Gagal
Carbon Fiber 5 Layer		203.270	120.18	Poros Aman
Carbon Fiber 7 Layer		235.44	90.042	Poros Aman

Dari Tabel IV.11 dapat diketahui bahwa dengan beban puntir yang dihasilkan dari mesin penggerak dengan nilai 308 Nm, poros yang berbahan *stainless steel 316* memiliki *equivalent stress* sebesar 29.048 Mpa, dapat disimpulkan bahwa poros dengan bahan *stainless steel* dikategorikan aman karena tegangan yang terjadi masih jauh dari tegangan ijin material tersebut.

Sedangkan untuk poros berbahan *carbon fiber 3 layer* diaktegorikan gagal karena tegangan yang terjadi melebihi dari tegangan yang diijinkan. Adapun untuk poros berbahan *carbon fiber 3 layer* dan *5 layer* dikategorikan aman karena tegangan yang tterjadi masih berada di bawah tegangan yang diijinkan untuk material tersebut. Dari Tabel IV.11 dapat diketahui juga bahwa poros berbahan *carbon fiber* yang aman digunakan untuk kapal dengan torsi 308 Nm setidaknya memiliki jumlah layer sebanyak 5 layer.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB V
KESIMPULAN DAN SARAN

V.1. Kesimpulan

Setelah dilakukan percobaan dan penelitian maka kesimpulan dari Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Nilai kuat tarik untuk specimen *stainless steel 316* sebesar 579.996 Mpa, *carbon fiber 3 layer* sebesar 433.333 Mpa, *carbon fiber 5 layer* sebesar 508.176 Mpa, *carbon fiber 7 layer* sebesar 588.601 Mpa. Untuk hasil pengujian puntir dapat diketahui beban puntir maksimum tiap specimen. Untuk specimen *stainless steel* sebesar 29559 Nmm, *carbon fiber 3 layer* sebesar 11911 Nmm, *carbon fiber 5 layer* sebesar 14824 Nmm, *carbon fiber 7 layer* sebesar 21339 Nmm.
2. Penambahan jumlah layer dapat menambah kuat tarik dan kuat puntir dari material *carbon fiber.* Untuk kapal dengan torsi 308 Nm, jumlah layer yang dikategorikan aman pada poros berbahan *carbon fiber* setidaknya memiliki 5 layer.

V.2. Saran

1. Pembuatan specimen seharusnya dilakukan oleh tenaga professional dan bantuan mesin khusus agar hasil pengujian akurat.
2. Pada penelitian selanjutnya dapat dilakukan opsi penambahan layer dari *carbon fiber* untuk mengetahui perbandingan kekuatan dengan *stainless steel 316.*
3. Penambahan *tab* atau penjepit khusus pada specimen uji tarik *carbon fiber* agar hasilnya lebih akurat.
4. Untuk kapal dengan torsi yang berbeda, perlu dilakukan penelitian ulang untuk menentukan geometri poros dan jumlah layer *carbon fiber* yang diperlukan.

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR PUSTAKA

Anderson. (2006). *Fracture Mechanics – Fundamentals and Applications*. Third Edition. CRC Press. Boca Raton

ASTM A 370. (2003). *Standard Test Method and Definition for Mechanical Testing of Steel Products*. New York: American Society for Testing and Materials (ASTM).

ASTM D303. (2002). *Standard Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials*. New York: American Society for Testing and Materials (ASTM).

Badie, M.A. 2010. *An Investigation into Hybird Carbon/Glass Reinforced Epoxy Composite Automotive Drive Shaft*. Qatar.

Biro Klasifikasi Indonesia. (2016).*Rules for Machinery Installations*. Biro Klasifikasi Indonesia.

Callister Jr, William D. (2009) *Materials Science And Engineering An Introduction 8th Edition*. New Jersey : John Wiley & Sons, Inc, Hoboken.

Gere, J.M., Timoshenko, S.P. (2000). Mekanika Bahan Jilid 1, Jakarta: Penerbit Erlangga

Hibbeler, R. C. (2011), *Mechanics Of Materials Eight Edition*. Pearson Education Inc, New Jeysey.

Kumar,Rambabu. (2012). *Design and optimization of Drive Shaft with Composite*. India.

Ullman, D. G. (1986) *Mechanical Design Failure Analysis.* Marcel Dekker. New York.

Uriya, Yu. (2014). *Cold and warm V-bending test for carbonfiber-reinforced plastic sheet*. Jepang.

Yulianto, T., Sujiatanti, S. Hardy, & Sanjaya, D. Dwi. (2017). Analisis Kekuatan Konstruksi *Wing Tank* Kapal Tanker Menggunakan Metode Elemen Hingga. Jurnal Teknik POMITS Vol 6, No. 2.

Sujiatanti, S. Hardy, Setyawan, & D., Ardianus. (2017). Analisis Kekuatan Konstruksi Sekat Melintang Kapal Tanker dengan Metode Elemen Hingga. Jurnal Teknik POMITS Vol 6, No. 2.

Yulianto, T., Suastika, I. Ketut, & Chabibi, E. (2013). Analisa Tegangan Pada *Cross Deck* Kapal Ikan Katamaran 10 GT Menggunakan Metode Elemen Hingga. Jurnal Teknik POMITS Vol 2, No. 1.

Yulianto, T., Soeweify, S., Raharjo, T. (2012). Analisa Perambatan Retak Pada Bagian Poros KM. Surya Tulus Akibat Torsi Dengan Metode Elemen Hingga. Jurnal Teknik POMITS Vol 1.

Yulianto, T., Firmansah, A. (2013). Analisis Kekuatan Tangki CNG Ditinjau Dengan Material Logam Lapis Komposit Pada Kapal Pengangkut *Compressed Natural Gas.* Jurnal Teknik POMITS Vol. 2, No. 1.

Zubaydi, A., Sujiatanti, S. Hardy. (2017). Analisa Kekuatan Sekat Bergelombang Kapal Tanker Menggunakan Metode Elemen Hingga. Jurnal Teknik POMITS Vol. 6, No. 2.

LAMPIRAN

Lampiran A Hasil Pengujian Tarik

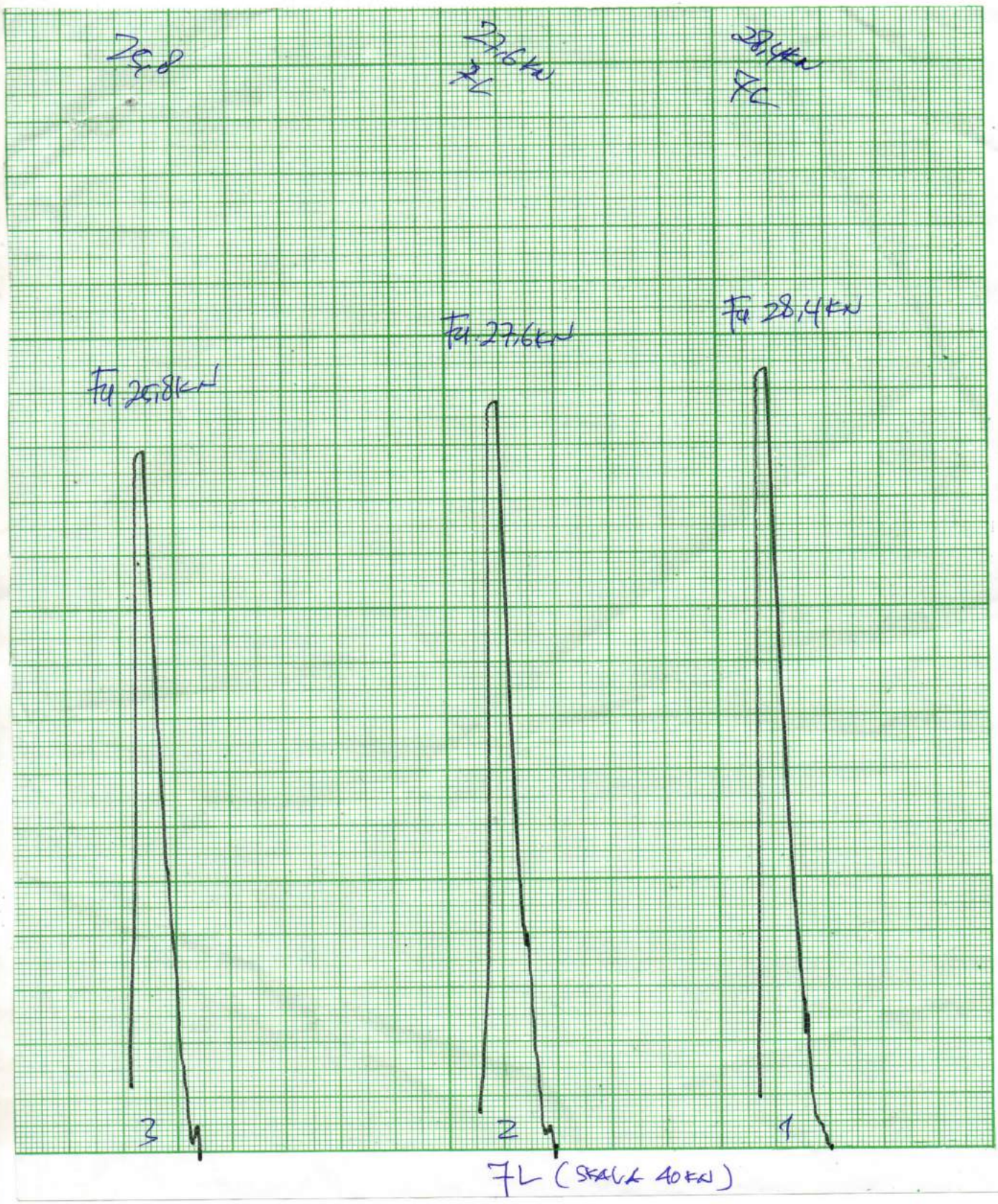
Lampiran B Hasil Pengujian Puntir

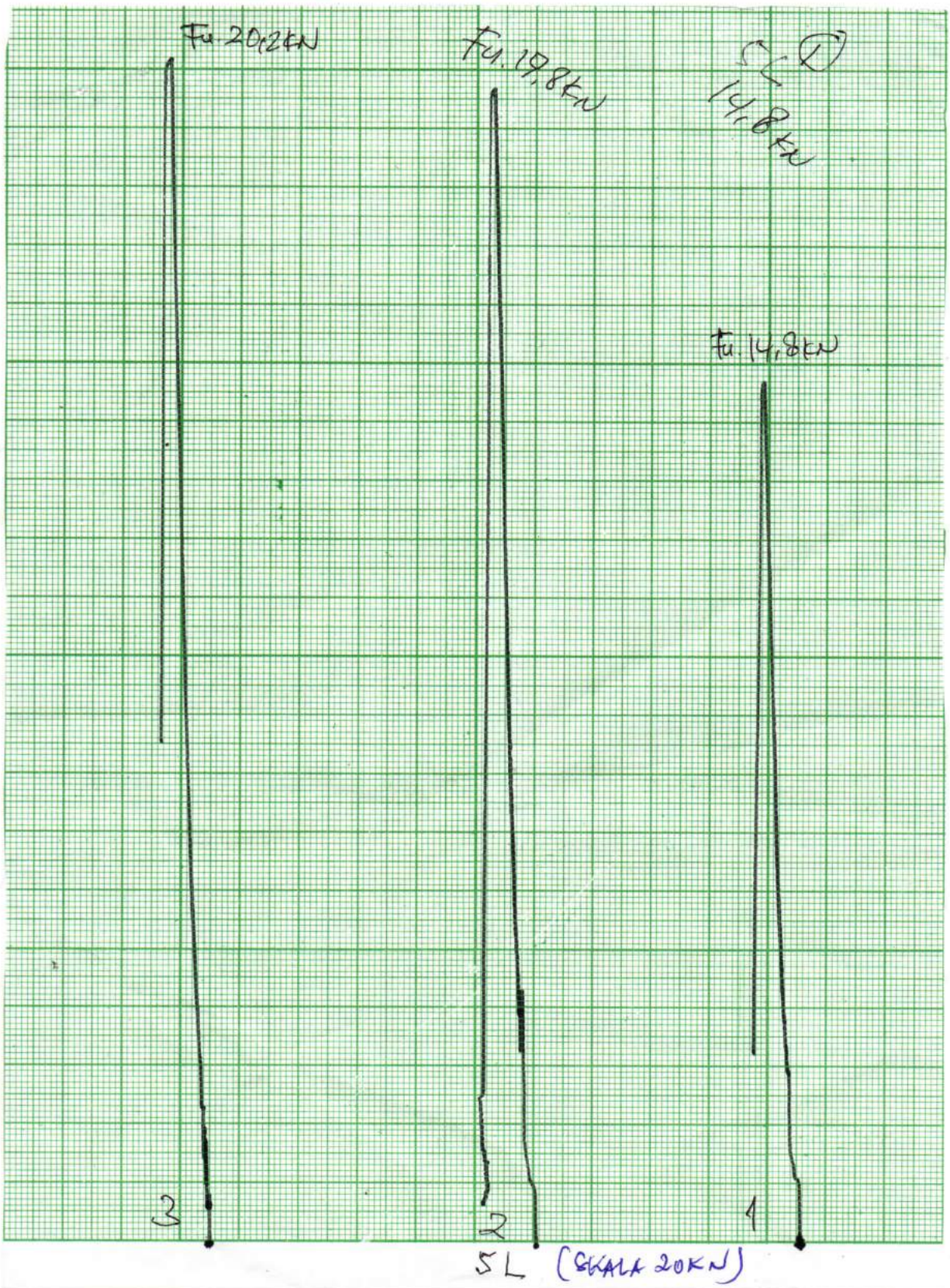
Lampiran C Geometri Spesimen Untuk Perhitungan Numerik

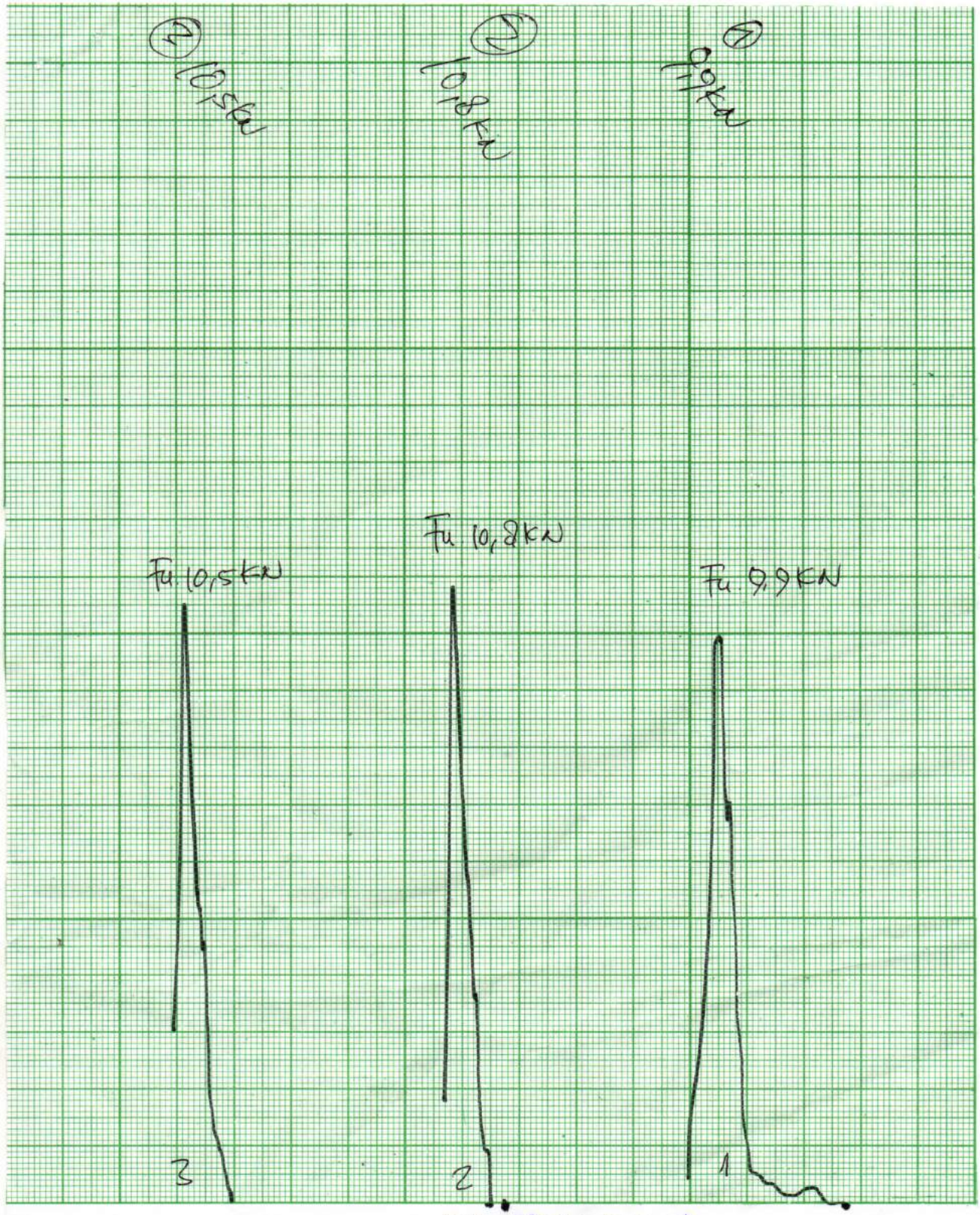
LAMPIRAN A
HASIL PENGUJIAN TARIK

LAMPIRAN B
HASIL PENGUJIAN PUNTIR

LAMPIRAN C
GEOMETRI SPESIMEN PERHITUNGAN NUMERIK


26,8
27,6kN
7L
28,4kN
7C
Fu 26,8kN
Fu 27,6kN
Fu 28,4kN
3
2
1
7L (SKALA 40kN)


Fu 20,2kN
Fu 19,8kN
Fu 14,8kN
3
2
1
5L (SKALA 20kN)



3L (SKALA 20KN).

LABORATORIUM KONSTRUKSI DAN KEKUATAN KAPAL
JURUSAN TEKNIK PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
Gedung W – Lantai 1, Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111
Telp./Fax. 031 599 4933

REPORT ON TEST RESULT NO. : /IT2.4.I.1/PM.05.02/20

DATE : 4 Juni 2018
ORDER FROM : Nuhu Geraldi A B
TEST STANDARD : ASTM A370
MATERIAL SPECS. : SS 316

PROJECT : Tugas Akhir

1. TENSION TEST

NO	CODE MATERIAL	SPECIFICATION SAMPLE				TENSILE TEST RESULTS				REMARK
		WIDTH	THICK	DIA.	C S A	YIELD STRESS	ULTIMATE STRESS	ELONGATION	REDUCT. of AREA	
		(mm)	(mm)	(mm)	(mm^2)	(MPa)	(MPa)	(%)	(%)	
1	SS 316			12,55	122,676					

NO	F. YIELD		F. ULTIMATE		Lo	L1	D1 / Wd.1	Th.1	A1
	KN	N	KN	N					
	38.53	38550	71,14	71 140					

Witnessed by :		The Laboratory Of Ships Strength And Construction FT. Kelautan ITS
1.		Tester
2.		
3.		
4.		
5.		

LABORATORIUM KONSTRUKSI DAN KEKUATAN KAPAL
JURUSAN TEKNIK PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
Gedung W – Lantai 1, Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111
Telp./Fax. 031 599 4933

REPORT ON TEST RESULT NO. : /IT2.4.I.1/PM.05.02/20

DATE : 4 Juni 2020
ORDER FROM : Nunu Geroldi A P
TEST STANDARD : ASTM D3039
MATERIAL SPECS. : Carbon Fiber

PROJECT : Tugas Akhir

1. TENSION TEST

NO	CODE MATERIAL	SPECIFICATION SAMPLE				TENSILE TEST RESULTS				REMARK
		WIDTH	THICK	DIA.	C S A	YIELD STRESS	ULTIMATE STRESS	ELONGATION	REDUCT. of AREA	
		(mm)	(mm)	(mm)	(mm^2)	(MPa)	(MPa)	(%)	(%)	
1	CF 3L 1	25	0,96							
2	CF 3L 2	25	0,96							
3	CF 3L 3	25	0,96							
4	CF 5L 1	25	1,15							
5	CF 5L 2	25	1,15							
6	CF 5L 3	25	1,15							
7	CF 7L 1	25	1,93							
8	CF 7L 2	25	1,93							
9	CF 7L 3	25	1,93							

NO	F. YIELD		F. ULTIMATE		Lo	L1	D1 / Wd.1	Th.1	A1
	KN	N	KN	N					
1	-		9,9	9900					
2	-		10,8	10800					
3	-		10,5	10500					
4	-		14,8	14 800					
5	-		19,8	19 800					
6	-		20,2	20 200					
7	-		28,4	28 400					
8	-		27,6	27 600					
9	-		25,8	25 800					

Witnessed by :

1.
2.
3.
4.
5.

The Laboratory Of Ships Strength And Construction
FT. Kelautan ITS

Tester

Kementerian Perindustrian
REPUBLIK INDONESIA
BADAN PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN INDUSTRI
BALAI BESAR BAHAN DAN BARANG TEKNIK
Jl. Sangkuriang No. 14 Bandung 40135 JAWA BARAT – INDONESIA
Telp. 022 – 2504088, 2510682, 2504828 Fax. 022 – 2502027
Website : www.b4t.go.id E-mail : b4t@b4t.go.id

LEMBAR KERJA UJI PUNTIR
Work Sheet for Torsion Test

Laporan No. / *Report No.* : 701-18-

Mesin uji / *Testing machine* : Torsion test

Komoditi / *Commodity* : Stainless steel 316

Suhu / *Temperature* : 26° (Ruang)

Standar uji / *Test standard* : ASTM E 143 - 2002

Dibuat untuk / *Executed for* : Nuku Geraldi ABDIllah SIRA
Jl. Semampir Kidalan SA Eg Anggrek No 7
Medokan Semampir / Sukolilo Surabaya

Kriteria keberterimaan / *Acceptance criteria* :

Diterima tgl. / *Received on* : 21 - mei 2018

Diuji tgl. / *Tested on* : mei 2018

Halaman / *Sheet no.* :

Contoh No. *Samples No.*	–		
Batang uji No. *Specimens No.*	2	1	3
Diameter, mm *Diameter*	8.0	8.0	8.0
Panjang, mm *Length*	100	100	100
Jumlah puntiran, mm *Number of torsion*	5	5	5
Hasil uji *Test result* kgf m	3.074	2.974	3.1

Disetujui Oleh :	**Diperiksa Oleh :**	**Disiapkan Oleh :**
Tanggal :	**Tanggal :**	**Tanggal :**

Kementerian Perindustrian
REPUBLIK INDONESIA
BADAN PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN INDUSTRI
BALAI BESAR BAHAN DAN BARANG TEKNIK
Jl. Sangkuriang No. 14 Bandung 40135 JAWA BARAT – INDONESIA
Telp. 022 – 2504088, 2510682, 2504828 Fax. 022 – 2502027
Website : www.b4t.go.id E-mail : b4t@b4t.go.id

LEMBAR KERJA UJI PUNTIR
Work Sheet for Torsion Test

Laporan No. / *Report No.* : 701-18-

Mesin uji / *Testing machine* : Torsion test

Komoditi / *Commodity* : Carbon fiber

Suhu / *Temperature* : 28° (ruang)

Standar uji / *Test standard* : ASTM E 143 - 2002

Dibuat untuk / *Executed for* : Nuku Gerald Abdillah Bira
Jl. Semampir selatan 5A Gg Anggrek No7
Medokan Semampir / Sukolilo Surabaya

Kriteria keberterimaan / *Acceptance criteria* :

Diterima tgl. / *Received on* : 21 - mei 2018

Diuji tgl. / *Tested on* : mei 2018

Halaman / *Sheet no.* :

Contoh No. *Samples No.*	3 Layer		
Batang uji No. *Specimens No.*	1	2	3
Diameter, mm *Diameter*	7,0	7,2	7,6
Panjang, mm *Length*	100	100	100
Jumlah puntiran, mm *Number of torsion*	1	1	1
Hasil uji *Test result* kgFm	1,256	1,228	1,117

Disetujui Oleh : **Tanggal :**	**Diperiksa Oleh :** **Tanggal :**	**Disiapkan Oleh :** **Tanggal :**

Kementerian Perindustrian
REPUBLIK INDONESIA
BADAN PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN INDUSTRI
BALAI BESAR BAHAN DAN BARANG TEKNIK
Jl. Sangkuriang No. 14 Bandung 40135 JAWA BARAT – INDONESIA
Telp. 022 – 2504088, 2510682, 2504828 Fax. 022 – 2502027
Website : www.b4t.go.id E-mail : b4t@b4t.go.id

LEMBAR KERJA UJI PUNTIR
Work Sheet for Torsion Test

Laporan No. / *Report No.* : 701-18-

Mesin uji / *Testing machine* : Torsion test

Komoditi / *Commodity* : Carbon fiber.

Suhu / *Temperature* : 26° (ruang)

Standar uji / *Test standard* : ASTM E 143 - 2002.

Dibuat untuk / *Executed for* : Nuku Gerilol ABDIllah SIRA.
Jl. Semampir selatan 5A Bg Anggrek No 7.
Medokan Semanipir / sukolilo. Surabaya.

Kriteria keberterimaan / *Acceptance criteria* :

Diterima tgl. / *Received on* : 21 - mei 2018

Diuji tgl. / *Tested on* : mei 2018.

Halaman / *Sheet no.* :

Contoh No. / *Samples No.*	5 layer.		
Batang uji No. / *Specimens No.*	1	2	3
Diameter, mm / *Diameter*	7,9	8,4	8,1
Panjang, mm / *Length*	100	100	100
Jumlah puntiran, mm / *Number of torsion*	1	1	1
Hasil uji / *Test result* kgfm	1,542	1,512	1,409

Disetujui Oleh : **Tanggal :**	**Diperiksa Oleh :** **Tanggal :**	**Disiapkan Oleh :** nanan **Tanggal :** 2

Kementerian Perindustrian
REPUBLIK INDONESIA
BADAN PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN INDUSTRI
BALAI BESAR BAHAN DAN BARANG TEKNIK
Jl. Sangkuriang No. 14 Bandung 40135 JAWA BARAT – INDONESIA
Telp. 022 – 2504088, 2510682, 2504828 Fax. 022 – 2502027
Website : www.b4t.go.id E-mail : b4t@b4t.go.id

LEMBAR KERJA UJI PUNTIR
Work Sheet for Torsion Test

Laporan No. / *Report No.* : 701-18-

Mesin uji / *Testing machine* : Torsion test

Komoditi / *Commodity* : Carbon fiber

Suhu / *Temperature* : 26° (Ruang)

Standar uji / *Test standard* : ASTM E 143 · 2002

Dibuat untuk / *Executed for* : Nuku Gerolol ABDIllah SIRA.
Jl. Semampir Kalitan 5A Kg Anggrek No7.
Medokan Semampir Sukolilo Surabaya.

Kriteria keberterimaan / *Acceptance criteria* :

Diterima tgl. / *Received on* : 21 - mei 2018

Diuji tgl. / *Tested on* : mei 2018

Halaman / *Sheet no.* :

Contoh No. / *Samples No.*	7layer.		
Batang uji No. / *Specimens No.*			
Diameter, mm / *Diameter*	8.2	8.6	8.4
Panjang, mm / *Length*	100	100	100
Jumlah puntiran, mm / *Number of torsion*	1	1	1
Hasil uji / *Test result* kgfm	2,277	2.11	2,175

Disetujui Oleh : **Tanggal :**	**Diperiksa Oleh :** **Tanggal :**	**Disiapkan Oleh :** [illegible] **Tanggal :** 2

GEOMETRI SPESIMEN UJI TARIK UNTUK PERHITUNGAN NUMERIK

TABLE 2
Model (B2) > Geometry

Object Name	*Geometry*
State	Fully Defined
Definition	
Source	Initial Geometry
Type	ACP
Length Unit	Meters
Element Control	Program Controlled
Display Style	Body Color
Bounding Box	
Length X	250. mm
Length Y	0.96 mm
Length Z	25. mm

Gambar 3 Geometri Spesimen Uji Tarik CF 3 Layer

TABLE 2
Model (B2) > Geometry

Object Name	*Geometry*
State	Fully Defined
Definition	
Source	Initial Geometry
Type	ACP
Length Unit	Meters
Element Control	Program Controlled
Display Style	Body Color
Bounding Box	
Length X	250. mm
Length Y	1.59 mm
Length Z	25. mm

Gambar 3 Geometri Spesimen Uji Tarik CF 5 Layer

TABLE 2
Model (B2) > Geometry

Object Name	*Geometry*
State	Fully Defined
Definition	
Source	Initial Geometry
Type	ACP
Length Unit	Meters
Element Control	Program Controlled
Display Style	Body Color
Bounding Box	
Length X	250. mm
Length Y	1.93 mm
Length Z	25. mm

Gambar 3 Geometri Spesimen Uji Tarik CF 7 Layer

BIODATA PENULIS

Nuku Geraldi Abdillah Bira, itulah nama lengkap penulis. Dilahirkan di Purworejo 4 Desember 1996 silam, Penulis merupakan anak pertama dalam keluarga. Penulis menempuh pendidikan formal tingkat dasar pada SDN 12 Sragen, lalu melanjutkan ke jenjang berikutnya melalui jalur akselerasi di SMPN 1 Sragen dan jalur reguler di SMAN 3 Surakarta. Setelah lulus SMA, Penulis diterima di Departemen Teknik Perkapalan FTK ITS pada tahun 2014 melalui jalur SNMPTN.

Di Departemen Teknik Perkapalan Penulis mengambil Bidang Studi Rekayasa Perkapalan – Konstruksi dan Kekuatan Kapal. Selama masa perkuliahan, penulis aktif di organisasi remaja masjid menjadi bendahara pada periode 2014-2015, menjadi ketua divisi ekstra remaja masjid pada periode 2015-2016, dan menjadi ketua divisi humas pada periode 2016-2017. Penulis juga pernah menjadi anggota tim futsal Dpeartemen Teknik Perkapalan ITS.

Email: nuku354@gmail.com