

# **TUGAS AKHIR**

## **PERANCANGAN PROTOTIPE STRUKTUR TULANG SENDI LUTUT MANUSIA PADA MESIN PRINTER 3D**

*Diajukan Untuk Memenuhi Syarat Memperoleh  
Gelara Sarjana Teknik Mesin Pada Fakultas Teknik  
Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara*

**Disusun Oleh:**

**WANDA TIRTA**  
**1307230112**



**UMSU**

Unggul | Cerdas | Terpercaya

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA  
MEDAN  
2019**

## HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan oleh:

Nama : Wanda Tirta  
NPM : 1307230112  
Program Studi : Teknik Mesin  
Judul Skripsi : Perancangan Prototipe Struktur Tulang Sendi Lutut  
Manusia Pada mesin Printer 3D  
Bidang ilmu : Kontruksi Manufaktur

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Tim Penguji dan diterima sebagai salah satu syarat yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 07 September 2019

Mengetahui dan menyetujui:

Dosen Penguji I  
  
M. Yani, S.T., M.T

Dosen Penguji II  
  
Khairul Umurani, S.T., M.T

Dosen Penguji III  
  
Dr. Eng. Rakhmad Arief Siregar

Dosen Penguji IV  
  
Sudirman Lubis, S.T., M.T

Program Studi Teknik Mesin  
Ketua,  


Affandi, S.T., M.T

## SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Lengkap : Wanda Tirta  
Tempat /Tanggal Lahir : Medan/20 Mei 1993  
NPM : 1307230112  
Fakultas : Teknik  
Program Studi : Teknik Mesin

Menyatakan dengan sesungguhnya dan sejujurnya, bahwa laporan Tugas Akhir saya yang berjudul:

**“Perancangan Prototipe Struktur Tulang Sendi Lutut Manusia Pada Mesin Printer 3D”.**

Bukan merupakan plagiarisme, pencurian hasil karya milik orang lain, hasil kerja orang lain untuk kepentingan saya karena hubungan material dan non-material, ataupun segala kemungkinan lain, yang pada hakekatnya bukan merupakan karya tulis Tugas Akhir saya secara orisinal dan otentik.

Bila kemudian hari diduga kuat ada ketidak sesuaian antara fakta dengan kenyataan ini, saya bersedia diproses oleh Tim Fakultas yang dibentuk untuk melakukan verifikasi, dengan sanksi terberat berupa pembatalan kelulusan/kesarjanaan saya.

Demikian Surat Pernyataan ini saya buat dengan kesadaran sendiri dan tidak atas tekanan ataupun paksaan dari pihak manapun demi menegakkan integritas akademik di Program Studi Teknik Sipil/Mesin/Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 07 September 2019



Saya yang menyatakan,

Wanda Tirta

## ABSTRAK

Seiring perkembangan zaman hingga saat ini, kemajuan teknologi berkembang sangat pesat, dengan berjalannya waktu dan berkembangnya pola pikir manusia. Hal ini berdampak juga dengan dunia kesehatan yang membutuhkan peralatan dan alat-alat medis terbaru dan canggih serta akan kemudahan dan efisien dalam penggunaannya beberapa instansi-instansi dan sekolah kedokteran/kesehatan yang membutuhkan serta memanfaatkan alat prototipe struktur tulang sendi lutut manusia ini diantaranya untuk bertujuan membuat alat peraga dalam dunia kedokteran untuk menjelaskan uji fungsi serta komponen-komponen yang ada di struktur tulang sendi lutut manusia. Bentuk prototipe ini memungkinkan material memiliki bobot minimal dengan kekuatan yang sangat sangat besar dan daya yang tinggi, namun memiliki daya produksi yang rendah. Adapun dalam bentuk perancangan ini memiliki desain 3 prototipe struktur tulang sendi lutut manusia beserta simulasinya, model yang akan dibuat yaitu 1 struktur tulang sendi lutut normal, model yang ke 2 struktur tulang sendi lutut retak vertikal, model 3 struktur tulang sendi lutut retak horizontal. Ketiga model tersebut memiliki bentuk yang berbeda-beda. Hasil desain struktur tulang sendi lutut normal manusia ini lebih baik 85% setelah selesai diuji, dengan membandingkan struktur tulang sendi lutut retak vertical dan struktur tulang sendi lutut retak horizontal. Hasil yang bagus dan yang terbaik adalah desain struktur tulang sendi lutut normal.

**Kata kunci: Perancangan, Tulang Sendi lutut Retak, Struktur Tulang sendi lutut pada Manusia dan *solidword***

## **ABSTRACT**

Along with the development of the era until now, technological progress is developing very rapidly, with the passage of time and the development of the human mindset. This has an impact also on the world of health that requires the latest and sophisticated medical equipment and tools as well as the ease and efficiency in its use of several institutions and medical / health schools that need and utilize the prototype tool for the structure of the human knee joint, among others, for the purpose of making teaching aids in the world of medicine to explain the test functions and components that exist in the structure of the human knee joint. This prototype shape allows the material to have a minimum weight with very very large strength and high power, but has low production power. The design of this design has 3 prototypes of the structure of the human knee joint along with its simulations, the model to be made is 1 normal knee joint structure, the second model is a vertically fractured knee joint, model 3 is a horizontal fractured knee joint. All three models have different shapes. The result of this normal human knee joint structure design is 85% better after completion of the test, by comparing the structure of the fractured vertical knee joint and the horizontal fractured knee joint. Great results and the best is the normal knee joint bone structure design.

**Keywords: Design, Crack Joints, Human Joint Structure and solidword**

## KATA PENGANTAR

Dengan nama Allah Yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang. Segala puji dan syukur penulis ucapkan kehadiran Allah SWT yang telah memberikan karunia dan nikmat yang tiada terkira. Salah satu dari nikmat tersebut adalah keberhasilan penulis dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini yang berjudul “Perancangan Prototipe Struktur Tulang Sendi Lutut Manusia Pada Mesin Printer 3D” sebagai syarat untuk meraih gelar akademik Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara (UMSU), Medan.

Banyak pihak telah membantu dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini, untuk itu penulis menghaturkan rasa terimakasih yang tulus dan dalam kepada:

1. Bapak Dr. Eng. Rakhmad Arief Siregar, selaku Dosen Pembimbing I dan Penguji yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
2. Bapak Sudirman Lubis, S.T.,M.T, selaku Dosen Pimbimbing II dan Penguji yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
3. Bapak M. Yani, S.T., M.T, selaku Dosen Pembanding I dan Penguji yang telah banyak memberikan koreksi dan masukan kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
4. Bapak Khairul Umurani. S.T., M.T, selaku Dosen Pembanding II dan Penguji yang telah banyak memberikan koreksi dan masukan kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
5. Bapak Affandi,S.T.,M.T. sebagai Ketua Program Studi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
6. Bapak Munawar Alfansury Siregar, S.T.,M.T. Selaku Dekan Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
7. Seluruh Bapak/Ibu Dosen di Program Studi Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah banyak memberikan ilmu dan motivasi kepada penulis.
8. Orang tua penulis: Bapak Sugianto dan Ibu Sukarwaty, yang telah bersusah payah membesarkan dan membiayai studi penulis.

9. Bapak/Ibu Staf Administrasi di Biro Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
10. Sahabat-sahabat penulis: Seluruh teman-teman seperjuangan stambuk 2013, terutama rekan-rekan Team Penggerak Kekeh Bayon, Bogel, Adek Kecil, Riki panjang, Eko kodok, Pandi Mabar, Zia knock, Diki Keleng, David Botak Hasibuan Ibnu somplak. Yang telah banyak memberikan bantuan dan kerja samanya kepada penulis.

Laporan Tugas Akhir ini tentunya masih jauh dari kesempurnaan, untuk itu penulis berharap kritik dan masukan yang konstruktif untuk menjadi bahan pembelajaran berkesinambungan penulis di masa depan. Semoga laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi dunia konstruksi Teknik Mesin.

Medan, 07 September 2019

Wanda Tirta

## DAFTAR ISI

|  |             |
|--|-------------|
| <b>LEMBAR PENGESAHAN</b>                                   | <b>ii</b>   |
| <b>SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI</b>                   | <b>iii</b>  |
| <b>ABSTRAK</b>   | <b>iv</b>   |
| <b>ABSTRACT</b>  | <b>v</b>    |
| <b>KATA PENGANTAR</b>                                      | <b>vi</b>   |
| <b>DAFTAR ISI</b>  | <b>viii</b> |
| <b>DAFTAR TABEL</b>  | <b>xi</b>   |
| <b>DAFTAR GAMBAR</b>                                       | <b>xii</b>  |
| <br>   |             |
| <b>BAB 1. PENDAHULUAN</b>                                  |             |
| 1.1 Latar Belakang   | 1           |
| 1.2 Rumusan Masalah  | 2           |
| 1.3 Ruang Lingkup  | 2           |
| 1.4 Tujuan Penulisan                                       | 2           |
| 1.5 Manfaat Penulisan                                      | 2           |
| 1.6 Sistematika Penulisan                                  | 3           |
| <br>   |             |
| <b>BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA</b>                             |             |
| 2.1 Teori Mesin Printer 3D                                 | 4           |
| 2.2 Cara Kerja Mesin PRINTER 3D                            | 5           |
| 2.3 Filament PLA (Polylactic Acid)                         | 6           |
| 2.4 Filament ABS ( Acrylonitrile Butadiene Styrene)        | 7           |
| 2.5 Pengertian Tulang Sendi Lutut Manusia                  | 8           |
| 2.6 Struktur Tulang Sendi Lutut Manusia                    | 9           |
| 2.7 Pembagian Bentuk Tulang Sendi Lutut Manusia            | 9           |
| 2.8 Pengapuran Sendi (Osteoarthritis)                      | 16          |
| <br>   |             |
| <b>BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN</b>                        |             |
| 3.1 Tempat dan Waktu Penelitian                            | 17          |
| 3.1.1 Tempat Penelitian                                    | 17          |
| 3.1.2 Waktu Penelitian                                     | 17          |
| 3.2 Proses Perancangan Struktur Tulang Sendi Lutut Manusia | 18          |
| 3.2.1 Alat Yang Digunakan                                  | 18          |
| 3.2.2 Bahan Yang Digunakan                                 | 19          |
| 3.3 Diagram Alir   | 22          |
| 3.4 Langkah Menggambar Tulang Sendi Lutut Manusia          | 23          |
| 3.5 Proses Pembuatan Prototipe                             | 26          |
| 3.6 Proses Pengoperasian Pada Mesin Printer 3D Prusa i3 A8 | 27          |
| <br>   |             |
| <b>BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN</b>                         |             |
| 4.1 Hasil Rancangan Tulang Sendi Lutut Normal              | 29          |
| 4.2 Hasil Rancangan Tulang Retak Vertical Dan Horizontal   | 30          |
| 4.3 Hasil Desain Pembuatan Tulang Sendi Lutut Manusia      | 31          |
| 4.4 Hasil Pembagian Desain Tulang Sendi Lutut Pada Manusia | 32          |
| 4.5 Prosedur <i>Meshing</i>                                | 34          |

|  |    |
|--|----|
| 4.6 Hasil Uji Simulasi   | 37 |
| 4.6.1 Hasil Uji Simulasi Tulang Sendi Lutut Normal<br>50 Kg  | 37 |
| 4.6.2 Hasil Uji Simulasi Tulang Sendi Lutut Normal<br>80 Kg  | 38 |
| 4.6.3 Hasil Uji Simulasi Tulang Sendi Lutut Normal<br>110 Kg   | 39 |
| 4.7 Hasil Uji Simulasi Tulang Sendi Lutut Retak<br>Vertical 50 Kg  | 41 |
| 4.7.1 Hasil Uji Simulasi Tulang Sendi Lutut Retak<br>Vertical 80 Kg  | 42 |
| 4.7.2 Hasil Uji Simulasi Tulang Sendi Lutut Retak<br>Vertical 110 Kg   | 43 |
| 4.8 Hasil Uji Simulasi Tulang Sendi Lutut Retak<br>Horizontal 50 Kg  | 45 |
| 4.8.1 Hasil Uji Simulasi Tulang Sendi Lutut Retak<br>Horizontal 80 Kg  | 46 |
| 4.8.2 Hasil Uji Simulasi Tulang Sendi Lutut Retak<br>Horizontal 110 Kg   | 47 |
| 4.9 Perbandingan Hasil Tulang Sendi Lutut Normal,<br>Retak Vertical, Retak Horizontal Pada Tulang Femur/Paha.<br>Dan Tulang Sendi Lutut Normal, Retak Vertical, Dan<br>Retak Horizontal Pada Tulang Tibia/Kering | 48 |
| 4.9.1 Hasil Deformasi Perbandingan Tulang Sendi Lutut<br>Femur/Paha  | 48 |
| 4.9.2 Hasil Deformasi Perbandingan Tulang Sendi Lutut<br>Tibia/Kering  | 49 |
| <b>BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN</b>   |    |
| 5.1 Kesimpulan   | 51 |
| 5.2 Saran  | 51 |

**DAFTAR PUSTAKA**

**DAFTAR RIWAYAT HIDUP**

**LAMPIRAN**

## DAFTAR TABEL

|   |    |
|---|----|
| Tabel 3.1 Waktu Penelitian  | 17 |
| Tabel 4.1 Ukuran Rancangan Tulang Sendi Lutut Femur (Paha)  | 30 |
| Tabel 4.2 Ukuran Rancangan Tulang Sendi Lutut Tibia (Kering)  | 30 |
| Tabel 4.3 Hasil Simulasi Tulang Sendi Lutut Normal<br>Dengan Tegangan 50Kg, 80Kg, Dan 110Kg                   | 39 |
| Tabel 4.4 Hasil Simulasi Tulang Sendi Lutut Retak Vertical<br>Dengan Tegangan 50Kg, 80Kg, Dan 110Kg           | 43 |
| Tabel 4.5 Hasil Simulasi Tulang Sendi Lutut Retak Horizontal<br>Dengan Tegangan 50Kg, 80Kg, Dan 110Kg         | 47 |
| Tabel 4.6 Tulang Sendi Lutut Normal, Retak Vertical, Retak Horizontal<br>Pada Tulang Sendi Lutut Femur/Paha   | 48 |
| Tabel 4.7 Tulang Sendi Lutut Normal, Retak Vertical, Retak Horizontal<br>Pada Tulang Sendi Lutut Tibia/Kering | 59 |

## DAFTAR GAMBAR

|             |   |    |
|-------------|---|----|
| Gambar 2.1  | Mesin Printer 3D  | 5  |
| Gambar 2.2  | Filament PLA (Polylactic Acid)  | 7  |
| Gambar 2.3  | Filament ABS (Acrylonitrile Butadiene Stryrene)                         | 8  |
| Gambar 2.4  | Tulang Pembentuk Sendi Lutut  | 8  |
| Gambar 2.5  | Tulang  | 9  |
| Gambar 2.6  | Tulang Tibia  | 10 |
| Gambar 2.7  | Tulang Ligamen  | 11 |
| Gambar 2.8  | Tulang Tendon   | 11 |
| Gambar 2.9  | Tempurung Lutut (Patella)   | 12 |
| Gambar 2.10 | Radang Sendi Lutut (Osteoarthritis)                                     | 14 |
| Gambar 3.1  | Mesin Printer 3D Prusa i3 A8  | 18 |
| Gambar 3.2  | Laptop  | 18 |
| Gambar 3.3  | Filament PLA (Polylactic Acid)  | 19 |
| Gambar 3.4  | Filament ABS (Acrylonitrile Butadiene Stryrene)                         | 20 |
| Gambar 3.5  | Diagram Alir Rancangan Struktur Tulang Sendi Lutut Manusia              | 21 |
| Gambar 0.6  | Tampilan Awal Solidworks  | 22 |
| Gambar 3.7  | Tampilan Menu   | 22 |
| Gambar 3.8  | Menu Bar  | 23 |
| Gambar 3.9  | Tab Sketch  | 23 |
| Gambar 3.10 | Plane Bidang Gambar   | 23 |
| Gambar 3.11 | Pemilihan Plane   | 24 |
| Gambar 3.12 | Pemilihan <i>Window Property</i>  | 24 |
| Gambar 3.13 | Pemilihan <i>Tool ButtomSmart Dimension</i>                             | 25 |
| Gambar 3.14 | Rancangan Struktur Tulang Sendi Lutut Pada Manusia                      | 25 |
| Gambar 3.15 | Proses Pembuatan Tulang Sendi Lutut                                     | 27 |
| Gambar 4.1  | Hasil Rancangan Tulang Sendi Lutut Normal Manusia                       | 28 |
| Gambar 4.2  | Hasil Rancangan Tulang Sendi Lutut Retak Vertical                       | 29 |
| Gambar 4.3  | Hasil Desain Rancangan Tulang Sendi Lutut Retak Horizontal              | 29 |
| Gambar 4.4  | Hasil Desain Pembuatan Tulang Sendi Lutut Manusia                       | 30 |
| Gambar 4.5  | Tulang Femur  | 31 |
| Gambar 4.6  | Tulang Tibia  | 32 |
| Gambar 4.7  | Tulang Fibula   | 32 |
| Gambar 4.8  | Prosedur <i>Meshing</i> Tulang Sendi Lutut Normal Femur/ Paha           | 33 |
| Gambar 4.9  | Prosedur <i>Meshing</i> Tulang Sendi Lutut Normal Tibia/ Kering         | 33 |
| Gambar 4.10 | Prosedur <i>Meshing</i> Tulang Sendi Lutut Retak Vertical Femur/ Paha   | 34 |
| Gambar 4.11 | Prosedur <i>Meshing</i> Tulang Sendi Lutut Retak Vertical Tibia/ Kering | 34 |
| Gambar 4.12 | Prosedur <i>Meshing</i> Tulang Sendi Lutut Retak Horizontal Femur/ Paha | 35 |
| Gambar 4.13 | Prosedur <i>Meshing</i> Tulang Sendi Lutut Retak Horizontal             | 35 |

|             |   |    |
|-------------|---|----|
|             | Tibia/ Kering   |    |
| Gambar4.14  | Simulasi Tulang Sendi Lutut Normal<br>Femur/Paha Dengan Beban 50Kg              | 36 |
| Gambar 4.15 | Simulasi Tulang Sendi Lutut Normal<br>Tibia/ Kering Dengan Beban 50Kg           | 36 |
| Gambar 4.16 | Simulasi Tulang Sendi Lutut Normal<br>Femur/ Paha Dengan Beban 80Kg             | 37 |
| Gambar 4.17 | Simulasi Tulang Sendi Lutut Normal<br>Tibia/Kering Dengan Beban 80Kg            | 37 |
| Gambar 4.18 | Simulasi Tulang Sendi Lutut Normal<br>Femur/Paha 110Kg                          | 38 |
| Gambar 4.19 | Simulasi Tulang Sendi Lutut Normal<br>Tibia/ Kering 110Kg                       | 38 |
| Gambar 4.20 | Hasil Grafik Tulang Sendi Lutut Normal  | 39 |
| Gambar 4.21 | Simulasi Tulang Sendi Lutut Retak Vertical<br>Femur/Paha Dengan Beban 50Kg      | 40 |
| Gambar 4.22 | Simulasi Tulang Sendi Lutut Retak Vertical<br>Tibia/Kering Dengan Beban 50Kg    | 40 |
| Gambar 4.23 | Simulasi Tulang Sendi Lutut Retak Vertical<br>Femur/Paha Dengan Beban 80Kg      | 41 |
| Gambar 4.24 | Simulasi Tulang Sendi Lutut Retak Vertical<br>Femur/Paha Dengan Beban 80Kg      | 41 |
| Gambar 4.25 | Simulasi Tulang Sendi Lutut Retak Vertical<br>Femur/Paha Dengan Beban 110Kg     | 42 |
| Gambar 4.26 | Simulasi Tulang Sendi Lutut Retak Vertical<br>Tibia/Kering Dengan Beban 110Kg   | 42 |
| Gambar 4.27 | Hasil Grafik Tulang Sendi Lutut Retak Vertical                                  | 43 |
| Gambar 4.28 | Simulasi Tulang Sendi Lutut Retak Horizontal<br>Femur/Paha Dengan Beban 50Kg    | 44 |
| Gamabr 4.29 | Simulasi Tulang Sendi Lutut Retak Horizontal<br>Tibia/Kering Dengan Beban 50Kg  | 44 |
| Gambar 4.30 | Simulasi Tulang Sendi Lutut Retak Horizontal<br>Femur/Paha Dengan Beban 80Kg    | 45 |
| Gambar 4.31 | Simulasi Tulang Sendi Lutut Retak Horizontal<br>Tibia/Kering Dengan Beban 80Kg  | 45 |
| Gambar 4.32 | Simulasi Tulang Sendi Lutut Retak Horizontal<br>Femur/Paha Dengan Beban 110Kg   | 46 |
| Gambar 4.33 | Simulasi Tulang Sendi Lutut Retak Horizontal<br>Tibia/Kering Dengan Beban 110Kg | 46 |
| Gambra 4.34 | Grafik Tulang Sendi Lutut Retak Horizontal                                      | 47 |
| Gambar 4.35 | Hasil Deformasi Tulang Femur/Paha   | 48 |
| Gambar 4.36 | Hasil Gambar Grafik Tulang Tibia/Kering   | 49 |

# BAB 1 PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang

Printer 3D di Indonesia mulai digemari di dalam dunia industri Indonesia, karena dengan menggunakan printer 3D pembuatan *prototype* yang biasanya memakan waktu yang lama dapat dibuat dalam waktu yang lebih singkat. Namun di Indonesia sendiri masih minim sekali informasi tentang hasil dari proses 3D printing seperti berapakah kekuatan benda yang dihasilkan dari proses tersebut, keakurasiannya, dan lain-lain. Informasi seperti itu sangatlah penting untuk diketahui, agar *prototype* yang akan dibuat sesuai dengan apa yang diharapkan.

Pembuatan sebuah *prototype* dengan menggunakan sebuah mesin printer 3D diawali dengan membuat sebuah desainnya terlebih dahulu dengan menggunakan software desain seperti *solidwork*, *autocad*, *3dmax*, dan lain-lain. Kemudian hasil desain dari *software* yang digunakan tersebut di *convert* ke dalam *software* printer 3D, dimana bentuk file yang dapat digunakan di dalam *software* printer 3D adalah *stl* (*StereoLithography*). Hasil dari proses pembuatan sebuah benda dengan menggunakan printer 3D yang menggunakan bahan ABS dan PLA terlihat cukup kuat namun masih belum diketahui secara pasti berapakah kekuatan bahannya.

Sendi lutut adalah sendi yang paling besar di tubuh kita, dan salah satu yang paling mudah mengalami cedera. Ia terbuat dari bagian bawah tulang paha (femur), yang memutar pada bagian atas dari tulang kering (tibia), dan tempurung lutut (patella), yang menggeser pada sebuah alur di ujung tulang paha. Lutut juga mengandung ligamen-ligamen besar, yang membantu mengontrol gerakan dengan menghubungkan tulang-tulang dan dengan menjaga sendi dari gerakan-gerakan yang abnormal.

Dengan latar belakang ini maka saya tertarik untuk mengadakan penelitian tentang tugas sarjana yang berjudul: PERANCANGAN PROTOTIPE STRUKTUR TULANG SENDI LUTUT MANUSIA PADA MESIN PRINTER 3D

## 1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dipaparkan diatas maka dapat dirumuskan masalah penelitian adalah bagaimana merancang struktur tulang sendi lutut manusia dengan mesin printer 3D.

## 1.3. Ruang Lingkup

Ruang lingkup diperlukan untuk menghindari meluasnya masalah yang akan dirancang, dari pada itu penulis akan membahas masalah yang berkaitan dengan perancangan antara lain:

- Membuat perancangan tulang sendi lutut manusia yang bisa memberikan solusi kebutuhan dan permasalahan yang terjadi dalam sebuah institusi pendidikan tinggi yang bergerak di bidang kedokteran.

## 1.4. Tujuan Penulisan

Adapun tujuan penulisan ini untuk mengetahui dan mempelajari perancangan prototipe struktur tulang sendi lutut manusia pada mesin printer 3D

### 1. Tujuan Umum:

Dapat melakukan penelitian yang bertujuan untuk mengetahui hasil perancangan prototipe struktur tulang sendi manusia dan proses pengambilan data simulasi menggunakan software solidwork.

### 2. Tujuan Khusus:

- Untuk membuat hasil jadi prototipe struktur tulang sendi lutut manusia menggunakan printer 3D.
- Untuk menganalisa kekuatan struktur tulang sendi lutut pada manusia menggunakan simulasi pada software solidwork.
- Untuk mengevaluasi hasil simulasi struktur tulang sendi manusia.

## 1.5. Manfaat Penulisan

Manfaat dari tugas ini adalah untuk mengetahui cara desain sederhana pada software desain, terutama pada software solidworks, dimana menjadi salah satu syarat sarjana Program Studi Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara. Manfaat desain ini bertujuan agar dapat digunakan sebagai

referensi dan bahan pertimbangan dalam penelitian pengembangan analisa pada spesialis tulang sendi lutut manusia. Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan wawasan baru terhadap material yang memiliki sifat mekanis yang baik dan di aplikasikan dalam dunia industri.

#### 1.6. Sistematika Penulisan

Dalam tugas akhir penulisan laporan dibagi menjadi 5 bab, pada bab 1 berisikan latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, dan sistematika penulisan. Kemudian dilanjutkan dengan tinjauan pustaka pada bab 2, tinjauan pustaka meliputi tentang landasan teori, bagian metodologi penelitian disajikan pada bab 4 analisa data selanjutnya bab 5 penutup berisikan kesimpulan dan saran.

Bab 1 : Menjelaskan mengenai latar belakang, rumusan masalah, ruang lingkup, tujuan khusus, manfaat penelitian dan sistematika penulisan.

Bab 2 : Menjelaskan mengenai tinjauan pustaka yang berisi mengenai teori singkat dari penelitian.

Bab 3 : Menjelaskan tentang metodologi penelitian.

Bab 4 : Menjelaskan data dan analisa pada penelitian.

Bab 5 : Menjelaskan mengenai kesimpulan dari penelitian dan saran.

LAMPIRAN

LEMBAR ASISTENSI

DAFTAR RIWAYAT HIDUP

## BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Teori Mesin Printer 3D

Printer 3D adalah sebuah alat pembuatan printing dengan menggunakan data, proses ini menggunakan benda padat tiga dimensi dari sebuah desain secara digital menjadi bentuk 3D yang tidak hanya dapat dilihat tapi juga dipegang dan memiliki volume. Printer 3D memberikan kemudahan bagi designer dan tim pengembangan konsep untuk memproduksi komponen dan model konsep menggunakan printer 3D sebagai prototype, dibandingkan menggunakan mesin Injection Moulding untuk produksi massal. Serta juga berguna untuk meminimalisir kesalahan dalam desain produk sebelum di produksi secara banyak. Printer 3D pertama kali dipublikasikan oleh Hideo Kodama dari Nagoya Municipal Industrial Research Institute pada 1982. Pertama kali printer 3D dapat bekerja atas hasil karya Charles W. Hull dari 3D Systems Corp. Pada tahun 1984. Hull mematenkan beberapa konsep dari printer 3D, dimana beberapa diantaranya masih digunakan hingga saat ini, seperti *addictive manufacturing processes*. Printer 3D pada awalnya sangat mahal dan kurang layak untuk dipasarkan. Namun seiring berjalannya waktu, pengembangan teknologi ini sangat pesat karena memiliki prospek yang sangat baik dan dapat menjangkau banyak kalangan. Saat dipasarkan pertama kali printer 3D dijual pada kisaran \$ 20.000, namun karena biaya produksi semakin turun dengan drastic, maka harga jualnya semakin terjangkau. Bahkan saat ini kita bisa membeli printer 3D dengan harga dibawah \$ 1.000. Namun memiliki kemampuan yang semakin canggih dan semakin perkembangan teknologi *digitizers 3D*, membuat printer 3D yang semakin canggih.

Aplikasi teknologi *printing* ini banyak digunakan terutama untuk membuat purwa rupa (*prototype*) pada industri telepon genggam, *jewellery*, penerbangan, otomotif, sepatu, desain industri, arsitektur, konstruksi, dental, industri medis, pendidikan, teknik sipil dan lainnya. Dengan memanfaatkan teknologi ini perancang akan dengan cepat mewujudkan kreasinya menjadi obyek 3D, sehingga segera dapat dianalisa kelayakan suatu produk seperti ergonomi dan lainnya. Meskipun hasilnya belum berfungsi dengan sempurna seperti aslinya, para ahli

terus mencoba membuat organ tubuh tiruan dengan teknologi ini. Jika suatu saat nanti teknologi ini sukses, (H. Yazdani Sarvestani, 2018).



Gambar 2.1 MESIN PRINTER 3D

## 2.2 Cara Kerja Mesin PRINTER 3D

Cara kerja Printer 3D dimulai dengan membuat desain virtual dari objek yang ingin anda buat. Desain virtual ini misalnya sebuah file CAD (Computer Aided Design). File CAD ini dibuat menggunakan aplikasi 3D modeling atau dengan scanner 3D (untuk men-*scan* objek yang ada). Sebuah scanner 3D dapat membuat file digital 3D dari suatu objek. ([www.Partner3d.com](http://www.Partner3d.com))

### 1. Model Objek 3D

Model objek 3D dapat dibuat dengan bantuan software dan di dukung juga oleh *solidwork* serta *catia*.

### 2. Proses Printing

Sebuah proses printer 3D yang menggunakan prinsip dasar additive layer dengan rangkaian proses mesin dengan rancangan 3D dan dapat di print di 3D printer, proses ini dibantu dengan SD card bisa juga menggunakan flaskdisk untuk pengoperasiannya, disitu banyak berbagai model-model yang di inginkan. 3D printer digabungkan secara otomatis, untuk membentuk susunan lengkap. Dan proses printing tersebut tergantung dari besar dan ukuran model yang diinginkan.

### 3. Finishing

Proses finishing ialah proses bagian akhir yang dimana proses yang kita inginkan akan terlihat, dimana proses tersebut bisa terlihat over sized dikarenakan

ukuran yang berbeda-beda dari yang diinginkan atau dikarenakan bed tersebut terlalu panas.

### 2.3 Filament PLA (polylactic Acid)

Filament PLA (Polylactic Acid) adalah termoplastik biodegradable, terbuat dari pati jagung atau tebu. Selain penggunaan untuk filament 3D, PLA juga digunakan sebagai implant medis, kemasan makanan dan peralatan makan sekali pakai. Keunggulan lebih dari PLA adalah mudah di cetak. ([www.dataprint3d.com](http://www.dataprint3d.com))

Filament PLA dapat dipanaskan hingga meleleh dan dapat di print pada suhu  $120^{\circ} - 200^{\circ}$  celcius tanpa harus memanaskan alas printer/ printer bed terlebih dahulu. Tetapi sangat disarankan alas printer/ printer bed memiliki panas  $60^{\circ}$ . PLA tidak terlalu sensitif terhadap perubahan suhu. Jika beberapa model printer 3D memiliki design yang tidak tertutup pada bagian pencetaknya kemungkinan besar pengguna PLA akan lebih baik. Pada pengguna PLA, biasanya mengalami penyumbatan pada ujung nozzle printer 3D. Ini disebabkan sifat lengket dan mengembang saat dipanaskan. Untuk mengatasi masalah tersebut tambahan sedikit minyak pada ujung nozzle, baca kembali pengaturan pada setiap petunjuk printer mengenai setting panas dan lainnya, kelebihan PLA adalah tidak perlu cemas mengenai hasil cetak pada printer bed saat dilepaskan pecah, melengkung atau mengalami penyusutan. PLA agak sedikit lebih rapuh dibandingkan dengan plastic lainnya. Jika terjatuh atau terpukul, beberapa bagian mungkin saja pecah. Dan jika memiliki design yang tipis akan mudah pecah saat dilakukannya stress test atau sengaja di bengkokkan pada benda hasil print 3D menggunakan filament PLA .

Asap dari proses pencetakkan 3D menggunakan PLA. Jika kebetulan mencium aroma asap dari PLN ini mungkin anda akan terkejut karena baunya enak, mungkin ini berkaitan dengan bahan yang terkandung dari PLA yaitu dari pati jagung. PLA ini merupakan bioplastik yang dapat didaur ulang. Dan pengguna PLA ini sangat cocok dibentuk sebagai kotak, sebagai hadiah, model figure, bagian bagian prototipe.

Penggunaan PLA ini tidak terlalu sensitif dengan suhu ruangan dan tidak larut juga dengan air. Untuk model-model dengan kerumitan atau detail yang

lebih tinggi PLA bisa menghandelnya dengan baik walaupun ABS bisa melakukannya akan tetapi butuh settingan yang sesuai dan temperature printer yang sesuai. Jika membuat suatu object dengan penggunaan pada suhu lebih dari  $60^{\circ}$  ,dibenturkan, atau dijatuhkan. Maka jangan menggunakan filament PLA, karena PLA tidak tahan dengan suhu yang melebihi  $60^{\circ}$  . (Mine Uslu Uysal,2015)



Gambar 2.2 Filament PLA (Polylactic Acid)

#### 2.4 Filament ABS (Acrylonitrile Butadiene Styrene)

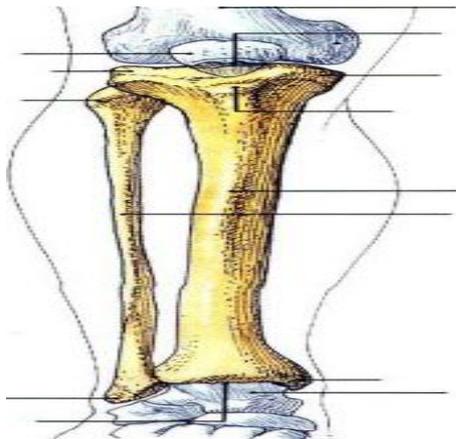
Filament ABS (Acrylonitrile Butadiene Styrene) adalah termoplastik berbasis minyak, biasa ditemukan pada system pipa (DWV), trim otomotif, helm, dan mainan seperti lego. Benda yang dicetak dengan ABS memiliki kekuatan, fleksibilitas dan daya tahan yang lebih tinggi dari pada yang dibuat dari PLA, dengan proses cetak agak sedikit rumit lengkap dengan bau asapnya. Ada berbagai merek dan tingkatan filament ABS, yang membuatnya tidak sama dalam hal penggunaan dan desain. ABS populer karena beberapa alasan. Untuk mulai dengan, pengguna yang berpengalaman seperti ABS karena kuat, terjangkau, dan mudah untuk memodifikasi bagian setelah dicetak. Kelemahannya adalah bahwa itu adalah filament rumit untuk pemula untuk bekerja dengan alasan utamanya adalah karena ia mengalir perlahan dari kepala cetak dan menyusut saat ia mendingin. Kecuali semua pengaturan printer tepat, terlalu banyak mengecil dapat membuat pencetakan presisi tinggi sulit. ABS filament lebih sulit untuk digunakan dari pada rekan ramah lingkungan, PLA. Juga sebaiknya menggunakan ABS dengan printer 3D yang memiliki tempat tidur cetak yang dipanaskan. Hal ini penting karena mengurangi warping dan potensi retak selama proses pendinginan.



Gambar 2.3 Filament ABS (Acrylonitrile Butadiene Styrene)

## 2.5 Pengertian Tulang Sendi Lutut Manusia

Sendi lutut kompleks terdiri atas sendi tibiofemoral, sendi patelofemoral dan sendi proksimal tibiofibular. Sendi-sendi tersebut dibentuk oleh beberapa tulang seperti tulang femur, tibia, patela dan fibula. Untuk tulang femur, pada ujung distal terdiri atas dua kondilus besar, yakni kondilus medialis dan kondilus lateralis. Lekukan interkondilaris memisahkan bagian posterior dari kondilus medialis dan lateralis, serta pada bagian anterior, terdapat alur patela sebagai tempat patela meluncur. Kedua kondilus tersebut panjangnya tidak sama. Pada tampak depan, kondilus medial jauh lebih panjang dari pada kondilus lateral, sehingga ketika berdiri dengan permukaan kondilus femur dan tibia, akan terbentuk sudut valgus sekitar  $10^\circ$ . Perbedaan panjang kedua kondilus tersebut berperan dalam rotasi dan mekanisme penguncian lutut (Darlene & Randolph, 2006). Tulang-tulang pembentuk sendi lutut dijelaskan pada gambar berikut.



Gambar 2.4 Tulang Pembentuk Sendi Lutut (Putz & Pabtz, 2000)

## 2.6 Struktur Tulang Sendi Lutut Manusia

Sendi lutut adalah sendi kompleks dengan banyak komponen, membuatnya rentan terhadap berbagai cedera. Banyak cedera lutut dapat diterapi dengan sukses tanpa operasi, dan beberapa lainnya membutuhkan operasi untuk sembuh. (Prof.Dr.med.R.Pabst). Inilah beberapa fakta tentang lutut dari American Academy Of Orthopaedic Surgeons. Sendi lutut adalah sendi yang paling besar di tubuh kita, dan salah satu yang paling mudah mengalami cedera. Ia terbuat dari bagian bawah tulang paha (femur), yang memutar pada bagian atas dari tulang kering (tibia), dan tempurung lutut (patella), yang menggeser pada sebuah alur di ujung tulang paha. Lutut juga mengandung ligamen-ligamen besar, yang membantu mengontrol gerakan dengan menghubungkan tulang-tulang dan dengan menjaga sendi dari gerakan-gerakan yang abnormal. (ww.ilmudasar.com)

## 2.7 Pembagian Bentuk Tulang Sendi Lutut Manusia

Persendian lutut dibentuk oleh 6 macam komponen jaringan yaitu tulang, tulang rawan, tulang meniskus, tulang ligament, tulang tendon, tempurung lutut patella. Adapun pembagiannya sebagai berikut:

### 1. Tulang

Terdapat 3 tulang yang berhubungan langsung pada sendi lutut, yaitu tulang paha dibagian atas, tulang tibia yang merupakan tulang pembentuk kaki bagian bawah (yang berukuran lebih besar dan terletak lebih didepan), dan tulang lutut atau yang sering disebut patella(knee cap). Sementara 1 buah tulang yang terletak ditungkai bawah bagian belakang dengan ukuran yang lebih kecil dan disebut sebagai tulang fibula, tidak berhubungan secara langsung dengan sendi lutut.

Komponen Tulang Pembentuk Sendi Lutut



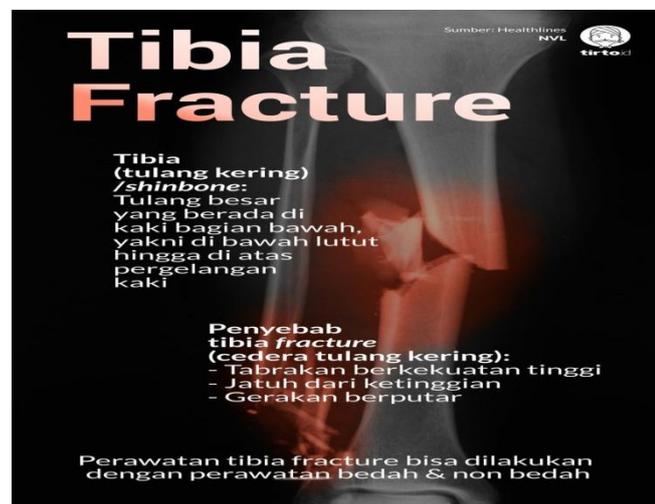
Gambar 2.5 Tulang

## 2. Tulang Paha atau Femur

Bagian tubuh terbesar dan tulang terkuat pada tubuh manusia. Ia menghubungkan tubuh bagian pinggul dan lutut. Kata “femur” merupakan bahasa latin untuk paha. Femur atau tulang paha merupakan tulang terpanjang, terkuat, dan terberat dari semua tulang pada rangka tubuh. Merupakan tulang pipa terpanjang dan terbesar didalam tulang rangka pada bagian pangkal yang berhubungan dengan acetabulum membentuk kepala sendi yang disebut caput femoris. Terdapat taju yang disebut trochantor mayor dan trochantor minor, dibagian ujung membentuk persendian lutut, terdapat dua buah tonjolan yang disebut condylus medialis dan condylus lateralis, diantara kedua condylus ini terdapat lekukan tempat letaknya tulang tempurung lutut (patella) yang disebut dengan fosa condylus.

## 3. Tulang Kering atau Tulang Tibia

Satu dari dua tulang yang lebih besar dan lebih kuat yang berada dibawah lutut pada vertebrata (tulang yang satunya lagi adalah fibula atau pun tulang betis), yang menghubungkan lutut dengan tulang pergelangan kaki. Tulang besar yang berada di kaki bagian bawah, yakni dibawah lutut hingga di atas pergelangan kaki.

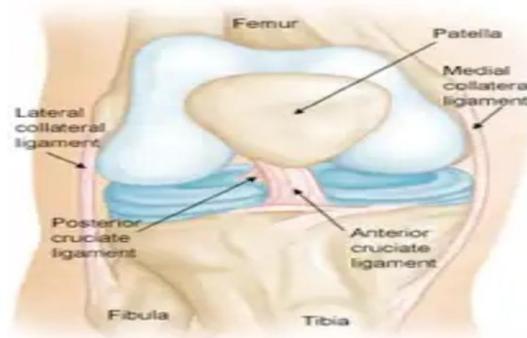


Gambar 2.6 Tulang Tibia

#### 4. Tulang Ligamen

Ligamen merupakan jaringan bentuk pita yang keras, dan berfungsi mengikat atau menghubungkan tulang yang satu dengan tulang lainnya pada setiap persendian agar stabil.

**Anatomi Sendi Lutut dengan Ligamen Collateral dan Cruciate**

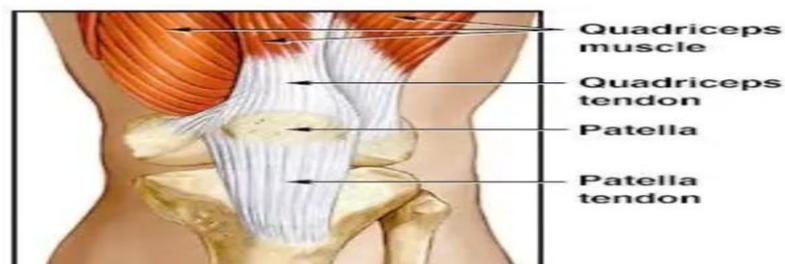


**Gambar 2.7 Tulang Ligamen**

Ligamen yang rentan mengalami cedera. Cedera ligament lutut bisa menyebabkan orang yang mengalaminya bisa merasakan nyeri secara tiba-tiba, bengkak, terdengar bunyi berderak dari lutut yang cedera, sendi terasa longgar, dan akan nyeri setiap kali anda mengangkat beban. Untuk diagnosis cedera, dokter akan melakukan pemeriksaan fisik dan pemeriksaan penunjang. Pemeriksaan bisa dilakukan dengan pindai sinar-x atau MRI.

#### 5. Tulang Tendon

Tendon adalah ujung otot yang menempel pada tulang . Tendon otot quadriceps, menghubungkan otot quadriceps yang berjalan dibagian depan otot paha dengan tulang tempurung lutut (patella). Perpanjangan tendon ini dari patella ke tulang tibia disebut sebagai tendon patella (patellar tendon).



**Gambar 2.8 Tulang Tendon**

## 6.Tempurung Lutut (Patella)

Tempurung Lutut (Patella) terletak di celah yang terdapat di dasar tulang paha (femur). Tempurung lutut meluncur ke atas dan bawah di celah yang disebut dengan celah patellofemoral di depan tulang paha atau femur ketika lutut di tekuk. Patella terikat dengan otot quadriceps melalui tendon quadriceps dan bekerja mengangkat pengungkit dari kelompok otot ini ketika meluruskan lutut.

Patella secara normal berada di celah patellofemoral dan hanya dirancang untuk bergelincir secara vertical. Dislokasi Patella mengacu pada keadaan dimana tempurung lutut keluar dari tempat normalnya. Arah dislokasi lutut yang paling



Gambar 2.9 Tempurung lutut (Patella)

sering adalah ke lateral. Ketika hal ini terjadi, otot dan ligament di lutut menjadi terlalu meregang dan mengalami kerusakan. (Prof.Dr.med.R.Putz,1995).

Dislokasi Patella tidak sama dengan dislokasi sendi lutut yang merupakan cedera traumatic yang lebih berat. Sublukasi Patella mengacu pada keadaan dimana tempurung lutut keluar sebagian dari posisi normalnya (dislokasi sebagian).

### A. Penyebab Dislokasi Patella

Dislokasi patella terutama disebabkan oleh kejadian traumatic (seringkali akibat terputar atau pukulan langsung) ke lutut. Akan tetapi terdapat beberapa factor yang dapat menjadi predisposisi terjadinya dislokasi patella. Antara lain:

1. Riwayat dislokasi atau sublukasi patella.
- 2.Sendi patellofemoral yang lemah atau tidak pada jalurnya (maltraking).
3. Celah femoral yang dangkal.
4. Mengencangnya otot retinaculum lateral, ITB, fleksor panggul, vastuslateralis dan biceps femoris mengencang.

Dislokasi patella paling sering terjadi pada atlet remaja. Memutar femur (tulang paha) ke arah dalam dengan kaki yang terfiksasi ketika menekuk lutut adalah gerakan penyebab dislokasi yang paling sering. (Greiwe et al 2010).

#### B. Gejala Dislokasi Patella

Nyeri akan segera dirasakan saat cedera. Kemungkinan terdapat pembengkakan di sendi lutut. Selain itu dapat ditemukan gejala sebagai berikut:

1. Pasien yang mengalami dislokasi patella melaporkan bahwa tempurung lututnya “tergelincir keluar dari tempatnya”.
2. Tempurung lutut yang bergeser yang jelas terlihat (seringkali ke sisi luar lutut).
3. Nyeri, terutama ketika melakukan aktivitas berdiri dan meluruskan lutut secara aktif.
4. Tempurung lutut yang bengkak dan goyang.
5. Terdapat perlunakan di sekitar tempurung lutut.
6. Adanya rasa tidak stabil atau tidak mampu menahan ketika berdiri.
7. Kelemahan otot quadriceps.

#### C. Diagnosis Dislokasi Patella

Pada pemeriksaan, dokter akan mencari tanda dislokasi patella dan kerusakan otot dan ligament berkaitan. Rontgen, ultrasonografi atau MRI dapat digunakan untuk memastikan diagnosis dan mengidentifikasi kerusakan struktur di sekeliling tempurung lutut atau pada permukaan sendi patella, yang sering terjadi.

#### D. Radang Sendi Lutut (Osteoarthritis)

Radang sendi lutut (Osteoarthritis) merupakan jenis arthritis yang paling umum terjadi. Radang sendi lutut merupakan penyakit yang berhubungan dengan usia. Semakin tua usia seseorang berarti semakin sering pula sendi lutut digunakan, sehingga memiliki resiko lebih tinggi terkena radang sendi lutut. Meski demikian, radang sendi lutut juga dapat terjadi pada usia muda karena factor genetik, infeksi, kelebihan berat badan, atau cedera pada lutut. Osteoarthritis (OA) adalah sebuah kondisi dimana bantalan alami antara sendi dan tulang rawan menghilang sehingga menyebabkan peradangan pada bagian persendian. Kondisi ini dapat terjadi selama bertahun-tahun, atau bias juga di percepat karena cedera lutut, cidera ligament, patah tulang lutut, meniscus robek ataupun infeksi.

Osteoarthritis lutut dapat terjadi bahkan pada orang muda, namun cenderung lebih berisiko setelah usia 45 tahun.(Dr.med.Johannes Sobotta)



Gambar 2.10 Radang Sendi Lutut (Osteoarthritis)

#### Mengenali Gejala Radang Sendi Lutut

Berikut adalah gejala yang timbul apabila terjadi radang sendi lutut.

##### 1. Terjadi pembengkakan pada lutut

Gejala awal radang sendi lutut adalah peradangan pada bagian lutut yang ditandai dengan adanya penimbunan cairan dilutut, sehingga lutut membesar, nyeri saat ditekan, kulit daerah lutut berwarna merah dan terasa hangat bila disentuh. Pembengkakan ini terjadi terutama ketika lutut tidak melakukan aktivitas dalam waktu lama, biasanya akan sulit diobati dengan obat antiradang atau obat-obatan yang dijual bebas.

##### 2. Otot lutut melemah

Gejala lain dari radang sendi lutut adalah otot lutut menjadi lemah. Struktur sendi juga sudah mulai tidak stabil. Kemudian bagian sendi lutut ini dapat sewaktu-waktu sulit digerakkan, baik diluruskan maupun ditekuk. Gejala ini tidak dapat dipastikan kapan dirasakannya.

##### 3. Bentuk lutut berubah

Radang sendi lutut kerap menyebabkan perubahan bentuk pada area lutut, yaitu tampak adanya cekungan karena melemahnya otot dibagian tersebut. Banyak orang yang tidak menyadari perubahan bentuk lutut ini sampai radang sendi sudah memasuki derajat yang lebih parah.

#### 4. Lutut mengeluarkan suara saat digerakkan

Lutut mengeluarkan suara pada radang sendiri lutut, karena sendi sudah kehilangan tulang rawan. Padahal fungsi tulang rawan adalah membantu menghaluskan gerak. Suara yang muncul adalah tanda bahwa sendi anda bergerak pada permukaan kasar dan itu hanya terjadi pada orang yang mengalami radang sendi lutut.

#### 5. Lutut sulit digerakkan

Ketika mengalami osteoarthritis atau radang sendi, anda menjadi sulit bergerak. Demikian juga saat terjadi radang sendi lutut. Gerakan menekuk lutut atau berjalan, menjadi sulit dilakukan. Hal ini berkaitan dengan tulang rawan yang sudah tidak berfungsi secara normal lagi. Lama kelamaan keadaan bisa memburuk, hingga akhirnya anda menjadi lebih sulit atau bahkan tidak bisa menggerakkan lutut lagi, dan harus menggunakan alat bantu seperti tongkat atau kursi roda.

Radang sendi lutut ringan dapat diobati dengan obat-obatan pereda nyeri, seperti paracetamol. Penanganan dirumah seperti member beristirahat, member kompres dingin diselingi dengan kompres hangat pada lutut yang nyeri, dan menjaga berat badan ideal juga dapat meringankan gejala.

Untuk menangani radang sendi lutut yang berat, Anda perlu segera konsultasi ke dokter untuk mendapatkan pengobatan yang tepat. Setelah dokter melakukan pemeriksaan, penanganan lebih lanjut seperti fisioterapi, obat-obatan resep dokter, hingga tindakan operasi mungkin akan diperlukan untuk mengobati radang sendi lutut.

#### 6. Biomekanik Sendi Lutut

Biomekanik adalah ilmu yang mempelajari gerakan tubuh manusia. Pada sendi lutut, terjadi gerakan secara osteokinematik dan artrokinematik. Osteokinematik merupakan analisa gerak dimana gerak dipandang dari tulang pembentuk sendi. Gerakan tersebut terdiri atas flexi-extensi, eksorotasi-endorotasi lutut dalam posisi flexi dan dapat diukur dengan goniometer. Sedangkan artrokinematik merupakan analisa gerak dimana gerak dipandang dari permukaan sendinya. Disebut juga gerak intra artikular yang terdiri dari gerak traksi, kompresi, *slide* atau translasi, *roll-slide* dan *spin* (Anwar, 2012).

## 2.8 Pengapuran Sendi (Osteoarthritis)

Pengapuran sendi merupakan suatu kondisi yang menyebabkan sendi-sendi terasa sakit, kaku, dan bengkak. Osteoarthritis merupakan salah satu jenis arthritis yang paling umum terjadi. Sendi yang paling sering mengalami kondisi ini meliputi tangan, lutut, pinggul, dan tulang punggung. Tetapi tidak menutup kemungkinan bahwa sendi-sendi yang lain juga bisa terserang. Penyakit pada persendian tulang, sehingga menyebabkan tulang mengalami penipisan. Umumnya disebabkan oleh penggunaan tulang yang berlebihan, penuaan, maupun akibat adanya kerusakan pada kartilago. Osteoarthritis akan menimbulkan kekakuan, rasa nyeri dan keterbatasan pada pergerakan, sedangkan osteoporosis pengeroposan tulang. Dalam kasus osteoarthritis, tulang rawan mengalami kerusakan secara perlahan . Tulang rawan sendiri merupakan jaringan ikat padat yang kenyal, licin, dan elastis. Jaringan ini menyelubungi ujung tulang pada persendian untuk melindunginya dari gesekan saat ada pergerakan. Saat tulang rawan mengalami kerusakan, teksturnya yang licin akan menjadi kasar. Seiring waktu, tulang akan bertabrakan dan sendi pun akan terpengaruhi.

## BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

#### 3.1.1 Tempat Penelitian

Adapun Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, Jl. Kapten Muchtar Basri, No.3 Medan.

#### 3.1.2 Waktu Penelitian

waktu pelaksanaan penelitian Pengerjaan pengujian dan penyusunan tugas sarjana ini di laksanakan mulai 22 Februari 2018 dapat dilihat pada tabel 3.1 dan langkah-langkah penelitian yang dilakukan dibawah ini.

Tabel 3.1 : Timeline Kegiatan

| No. | Kegiatan                      | Aprl | Mei | Jun | Juli | Agust | Sep |
|-----|-------------------------------|------|-----|-----|------|-------|-----|
| 01  | Pengajuan Judul               |      |     |     |      |       |     |
| 02  | Studi Literatur               |      |     |     |      |       |     |
| 03  | Penyediaan Bahan Dan Spesimen |      |     |     |      |       |     |
| 04  | Pembuatan Spesimen            |      |     |     |      |       |     |
| 05  | Pelaksanaan Pengujian         |      |     |     |      |       |     |
| 06  | Penyelesaian Skripsi          |      |     |     |      |       |     |

### 3.2 Proses Perancangan Struktur Tulang Sendi Lutut Manusia

Proses perancangan struktur tulang sendi lutut pada manusia ini, dicetak dengan bahan filament PLA (polylactic acid) menggunakan mesin printer 3D di desain menggunakan software solidworks.

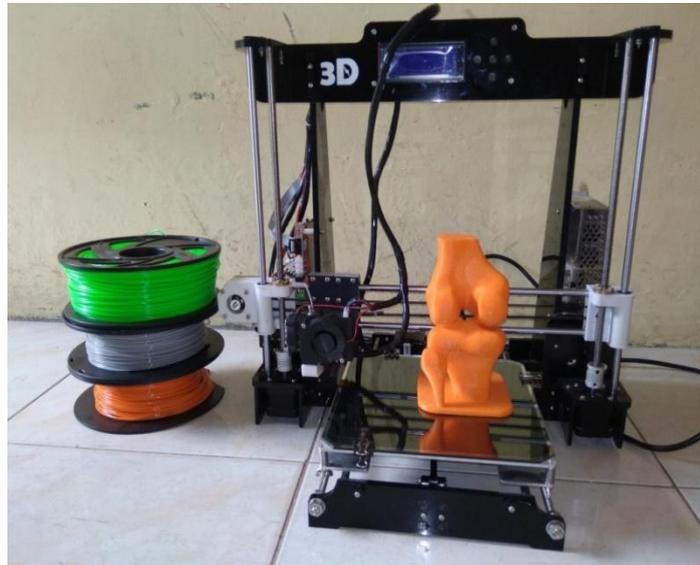
#### 3.2.1 Alat yang digunakan.

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian, pengujian ini, adalah sebagai berikut:

- Mesin Printer 3D

Mesin 3D printer merupakan sebuah printing yang menampilkan data dalam bentuk sebuah cetakkan, namun berbeda dengan printing pada umumnya, yang hanya mencetak data dalam bentuk sebuah kertas ataupun lembaran lain. Dengan

hadirnya teknologi dari mesin printer 3D ini sebuah perusahaan dapat membuat sebuah prototype tanpa harus menghabiskan bahan baku lain maupun material.

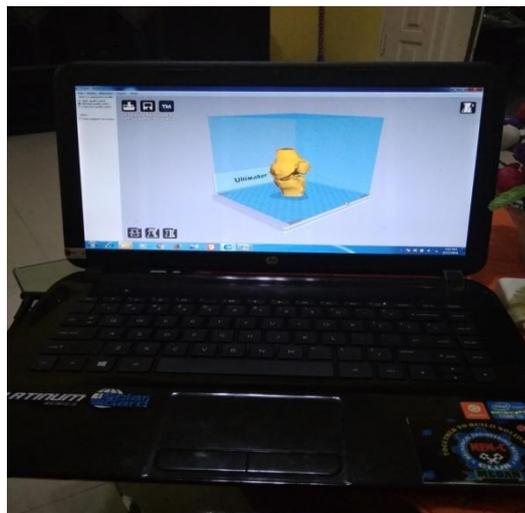


Gambar 3.1 Mesin Printer 3D Prusa i3 A8

- Laptop

Spesifikasi laptop yang digunakan dalam studi numeric ini adalah sebagai berikut :

1. Processor : Intel(R) Core(TM) i3-4005 CPU 1.70 GHz
2. RAM : 2.00 GB
3. Operation system : windows 7 pro 64 bit operation system.



Gambar 3.2 Laptop

### 3.2.2 Bahan yang digunakan

Adapun bahan yang digunakan dalam proses perancangan struktur tulang sendi lutut manusia pada mesin *printer3D* ini:

- Filament PLA (Polylactic Acid)

PLA (Polylactic Acid) adalah bahan plastik cetak 3D yang merupakan bahan biodegradable thermoplastic aliphatic polyester yang terbuat dari tepung jagung tapioka, atau tebu, salah satu hal yang paling menarik tentang plastic PLA secara alami ketika terpapar lingkungan. Misalnya, item yang terbuat dari plastic PLA bahwa plastic itu tergedasi dilautan memiliki waktu degradasi dalam urutan 6 bulan hingga dua tahun. Bandingkan dengan plastic konvensional, yang membutuhkan waktu dari 500 tahun hingga 1.000 tahun untuk tergedasi. Penting untuk menunjukkan bahwa meskipun PLA akan menurun dalam lingkungan alami yang terbuka. Filament PLA ini bisa digunakan untuk kemasan makanan yang siap pakai,. Filament PLA mudah menyerap kelembaban, dan filament ini memiliki ukuran diameter 1,75 mm dan batasan untuk ekstruder memiliki ukuran 3,00 mm. Filament PLA dapat dipanaskan hingga meleleh dan dapat di print pada suhu 120 derajat celcius sampai 200 derajat celcius tanpa memanaskan atau merusak bagian alas/bed printer terlebih dahulu. PLA tidak terlalu sensitif terhadap perubahan suhu. Dengan menggunakan Printer 3D ini , dapat dipanaskan sekaligus membentuk benda yang kita inginkan.



Gambar 3.3 Filament PLA (Polylactic Acid)

- Filament ABS (Acrylonitrile Butadiene Styrene)

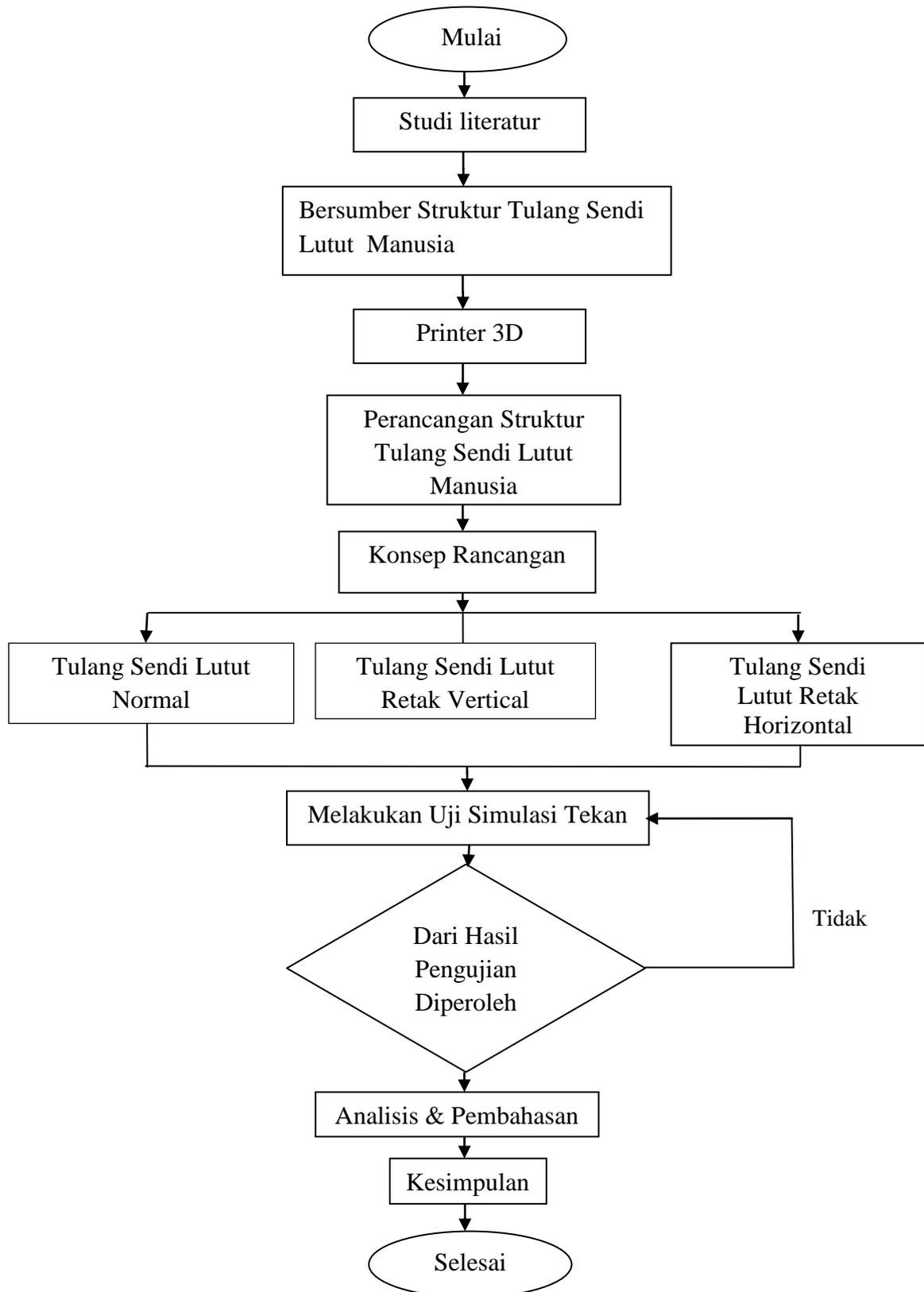
ABS (Acrylonitrile Butadiene Styrene) adalah bahan plastik cetak 3D, thermoplastic minyak, dapat ditemukan pada system pipa (DWV), trim otomotif, dan lego. ABS memiliki kekuatan, fleksibilitas dan daya tahan yang lebih tinggi dari pada yang dibuat dari PLA. Dan proses cetak ini agak sedikit rumit . Filament ABS pun dapat di panaskan hingga meleleh dan bisa di print pada suhu 210 derajat celcius hingga 240 derajat celcius. Filament ABS dapat dipanaskan hingga meleleh dan dapat di print pada suhu 210°C-240°C dengan harus memanaskan alas/bed printer dengan suhu 80°.

Penggunaan filament ABS ini memiliki glass transition atau suhu yang melunak pada plastik dengan suhu 50°C ini sangat penting dikarenakan jika penggunaan hasil cetakan diaplikasikan pada kendaraan atau tatakan minuman panas sangat tidak diinginkan bila saat digunakana berubah bentuk, ABS bersifat plastic yang cenderung sangat mudah di cetak dengan panas yang sesuai dengan suhunya dan tanpa takut macat atau penyumbatan pada *nozzle* printer 3D, yang sangat perlu diperhatikan yaitu filament ABS setelah mengalami pendinginan akan mengalami penyusutan atau pengecilan. ABS punya daya tahan benturan lebih besar ketimbang PLA. ABS ini dibuat dari bahan dasar petroleum sehingga tidak biodegradable. Acetone yang digunakan untuk mengkilapkan ABS itu beracun dan uapnya cukup berbahaya. Namun tidak berarti ABS harus dihindari atau dianggap berbahaya. Karakteristik secara umum dari filament ABS ini yaitu plastik yang cukup kuat jika dicetak pada suhu yang sesuai dan akan mendapat ikatan lapisan yang bagus. Filament ABS dilakukan strest test seperti benturan atau tekanan akan cukup kuat menahannya.



Gambar 3.4 Filament ABS (Acrylonitrile Butadiene Styrene)

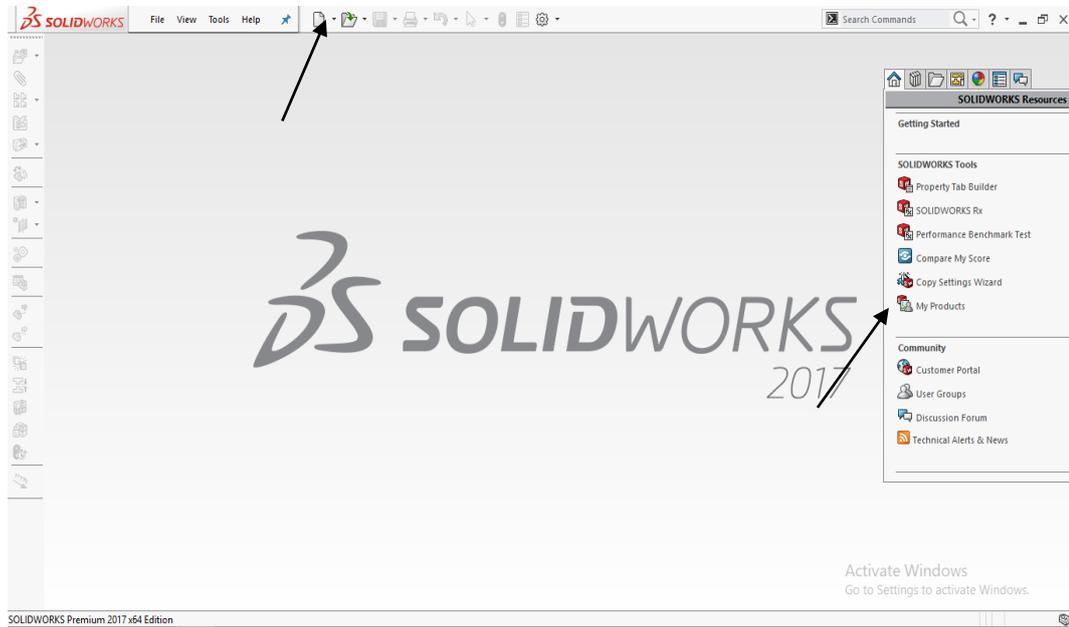
### 3.3 Diagram Alir



Gambar 3.5 Diagram Alir Rancangan Struktur Tulang Sendi Lutut Manusia

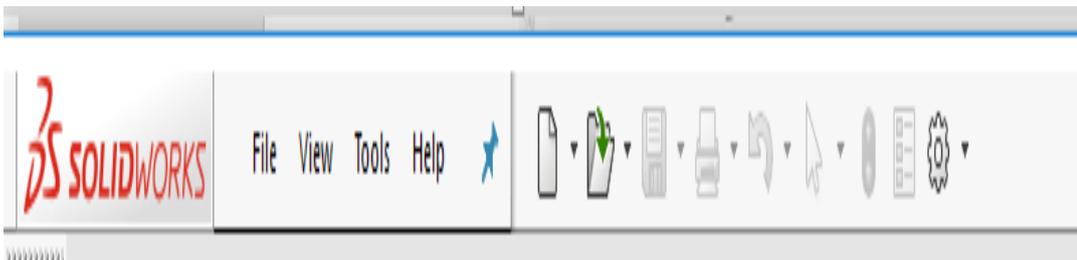
### 3.4 Langkah Menggambar Tulang Sendi Lutut Manusia

Pertama kali menjalankan *SolidWorks* 2017 anda akan mendapatkan tampilan seperti gambar 3.6.



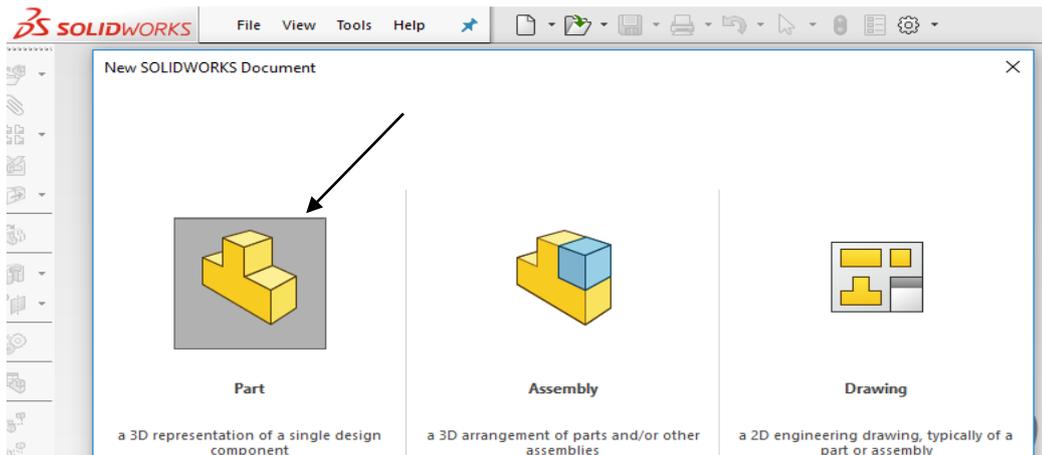
Gambar 3.6 Tampilan Awal *SolidWorks*.

Semua *Tool Button* belum aktif kecuali *Tool Button New* dan *Open File* beserta *Tool Button* pada *TaskPane*. Menu bar juga tidak terlihat, untuk menampilkannya klik pada logo area *SolidWorks* maka menu akan tampil terlihat pada gambar 3.7.



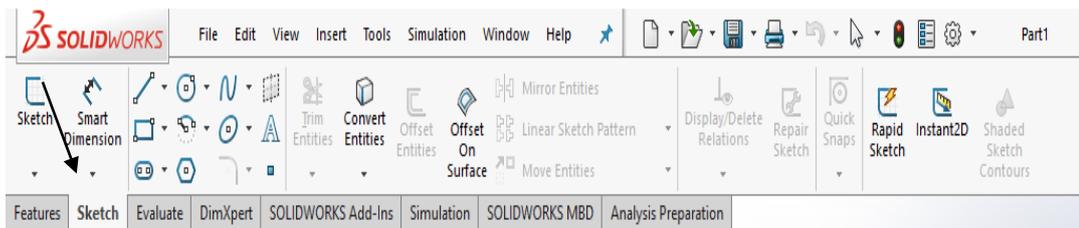
Gambar 3.7 Tampilan Menu

Untuk menampilkan menu secara permanen, tiap buka *SolidWorks* maka menunya akan terbuka klik pada pin menu bar. Untuk Mulai membuat gambar di *SolidWorks* klik pada tombol new atau klik pada *file new* maka akan tampil seperti pada gambar 3.8



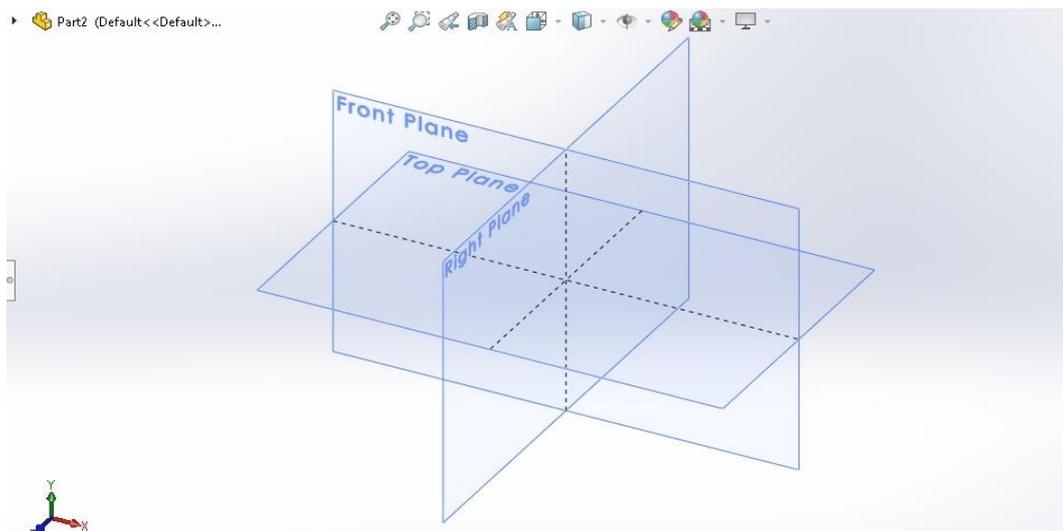
Gambar 3.8 Menu Bar

Kita mulai jalankan program *SolidWorks*, pada menu bar klik pada *new part* > Ok. *Interface SolidWoks* keluar. Klik kiri mouse pada *tab sketch* > *Sketch* Seperti pada gambar 3.9.



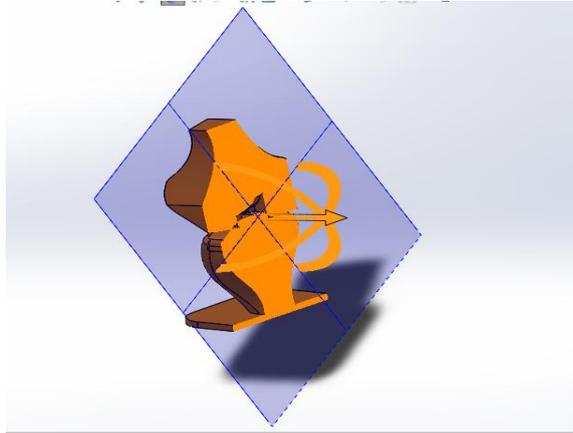
Gambar 3.9 Tab Sketch

Akan keluar tiga plane, tentukan satu plane untuk bidang gambar seperti gambar 3.10.



Gambar 3.10 Plane Bidang Gambar

Kita pilih front plane (Dekatkan kursor ke front plane maka ujung front plane akan berubah jadi merah sebagai tanda terselec, klik pada front plane) setelah diklik maka front plane akan memenuhi area grafik (pandangan normal) lalu klik Toolbutton Line dapat dilihat pada gambar 3.11.

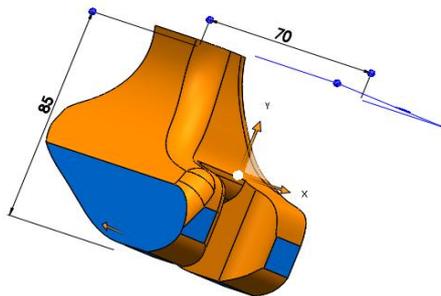


Gambar 3.11 Pemilihan Plane

Bentuk kursor berubah jadi pincil dan muncul *window property* dari pembuatan *line* yang berisi *Orientation line*. Option untuk type garis yaitu:

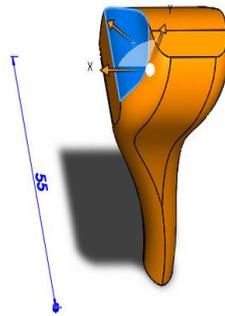
- *For construction* (garis yang dibikin hanya untuk konstruksi/pembentuk
- Infinite length garis dengan panjang yang tak terbatas
- Untuk kedua pilihan ini kita kosongkan saja
- Kita siap membuat garis arahkan kursor ke arah gambar (bentuk kursor akan berubah jadi bentuk pincil) dekatkan ke titik origin.

Seperti terlihat gambar 3.12.



Gambar 3.12 Pemilihan *Window Property*

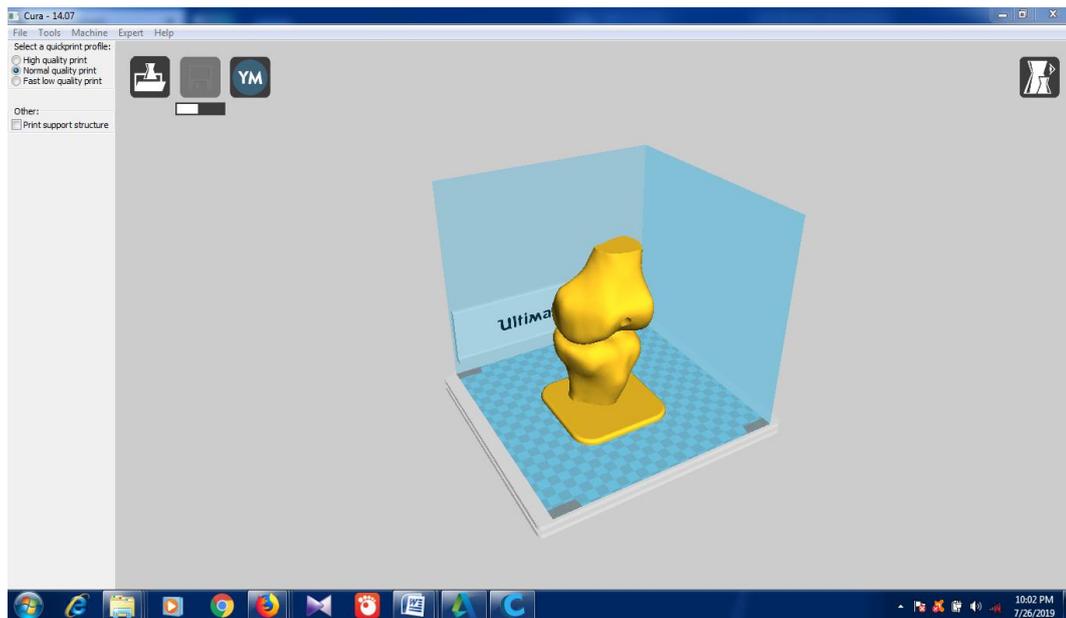
Klik pada *tool button Smart Dimension* klik pada garis vertikal lalu seret mouse untuk meletakkan ukuran ke sebelah kiri pada tempat yang tidak terlalu jauh dari garis, klik untuk meletakkan ukuran, seperti terlihat pada gambar 3.13



Gambar 3.13 Pemilihan *Tool BottomSmart Dimension*

Klik pada garis horizontal (atas) lalu seret mouse untuk meletakkan ukuran kesebelah atas pada tempat yang tidak terlalu jauh dari garis.

Dalam proses perancangan, desain gambar struktur tulang sendi lutut pada manusia ini dimasukkan ke aplikasi Cura untuk mengetahui berapa lama waktu, berapa gram filament yang digunakan untuk membuat kemudian di save di rubah format kebentuk *G-code* sehingga bisa dimasukkan dan kemudian dicetak melalui mesin printer 3D, seperti terlihat pada gambar 3.14.



Gambar 3.14 Rancangan Struktur Tulang Sendi Lutut Pada Manusia

### 3.5 Proses Pembuatan Prototipe

Proses pembuatan prototipe struktur tulang sendi lutut pada manusia ini menggunakan mesin printer 3Dprusa i3 A8, menghabiskan waktu sekitar Proses pembuatan struktur tulang sendi lutut manusia ini , banyak menghabiskan waktu yang cukup lama , yaitu sekitar waktu 23 jam 56 menit itu pun menggunakan

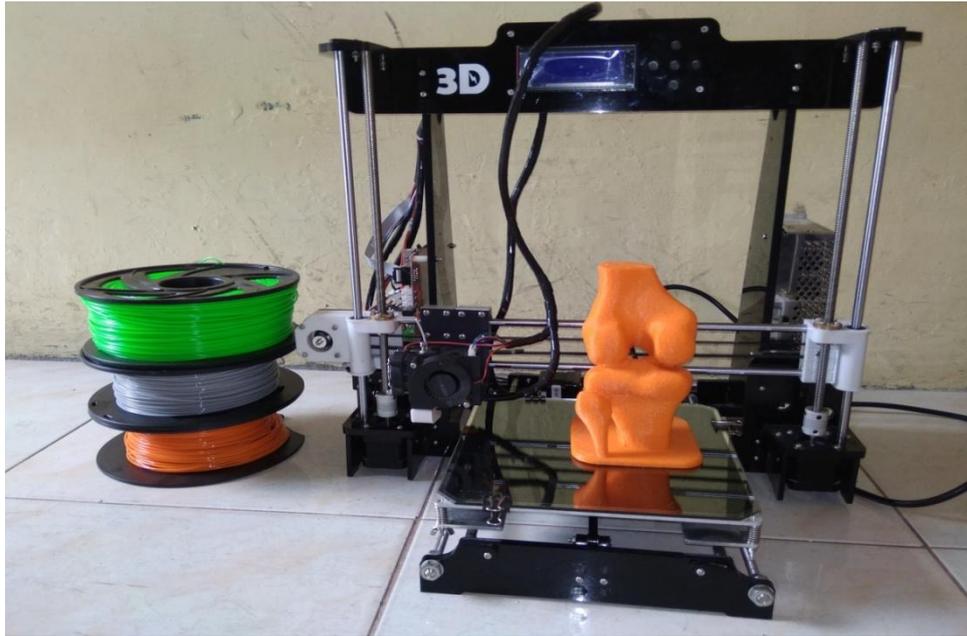
speed mul 60% -80% dan flow mul 100° C. Adapun suhu yang saya gunakan untuk mengeprint tulang sendi lutut ini sekitar 190°C ini bisa dibilang standart bahan filament PLA. Jika dibawah suhu tersebut, filament tidak akan meleleh dengan sempurna. filament yang akan saya cetak berjenis filament PLA.

Dan jika di atas suhu 210°C, permukaan atau bed lapisan bawah ini terlalu panas , maka filament yang akan dicetak tidak sempurna , dan bisa jadi hasil print yang kita inginkan tidak sesuai apa yang kita harapkan , karena permukaannya tidak rata dan bisa dibilang hasil print nya tidak begitu bagus.

### 3.6 Proses Pengoperasian Pada Mesin *Printer 3D* Prusa i3 A8

Dalam proses pengoperasian pada mesin *printer 3D* ini sedikit sulit , namun disini saya akan menjelaskan apa saja langkah – langkah sederhana yang dapat dilakukan :

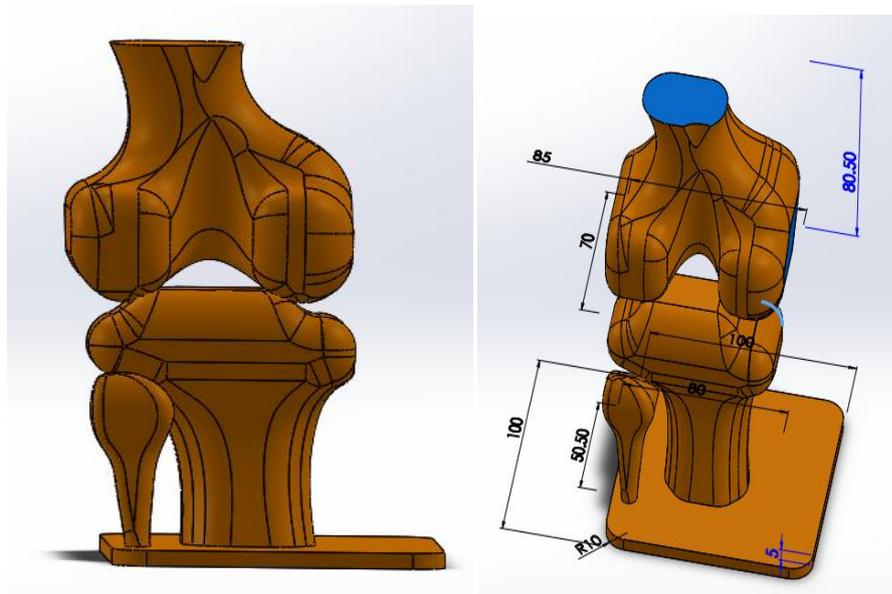
- Menghidupkan mesin *printer 3D*  
Bila mana mesin sudah dinyalakan , hal pertama yang dapat dilakukan selanjutnya memasukkan data yang sudah di save melalui SD card saja , sebab data seperti flashdisk, cardreader tidak dapat dioperasikan di mesin *printer 3D* ini.
- Masukan data SD card  
Masukan data SD card ke slot yang berada disamping kiri pada mesin *printer 3D* . Setelah memori sudah dimasukkan adapun langkah selanjutnya..
- Mereset mesin *printer 3D*  
Setelah mesin selesai di reset, kemudian kita dapat melihat pada monitor yang tertera di mesin yang memerintahkan untuk “*PRINTER READY*”
- Lalu klik pilih tombol menu yang tertera pada mesin, kemudian muncul perintah “*QUICK SETTING* “ “*HOME ALL*” setelah itu pilih “*Preheat PLA*”. Apabila ingin menggunakan berbahan filament ABS, maka kita tinggal pilih “*Preheat ABS*”. setelah selesai, klik tombol “*BACK*” dan muncul perintah “*Print File*” lalu kita bebas memilih salah satu file yang diinginkan.



Gambar 3.15 Proses Pembuatan Tulang Sendi Lutu

## BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Rancangan Tulang Sendi Lutut Normal Manusia  
Digabungkan semua komponen seperti pada gambar dibawah ini.



Gambar 4.1 Hasil Rancangan Tulang Sendi Lutut Normal Manusia

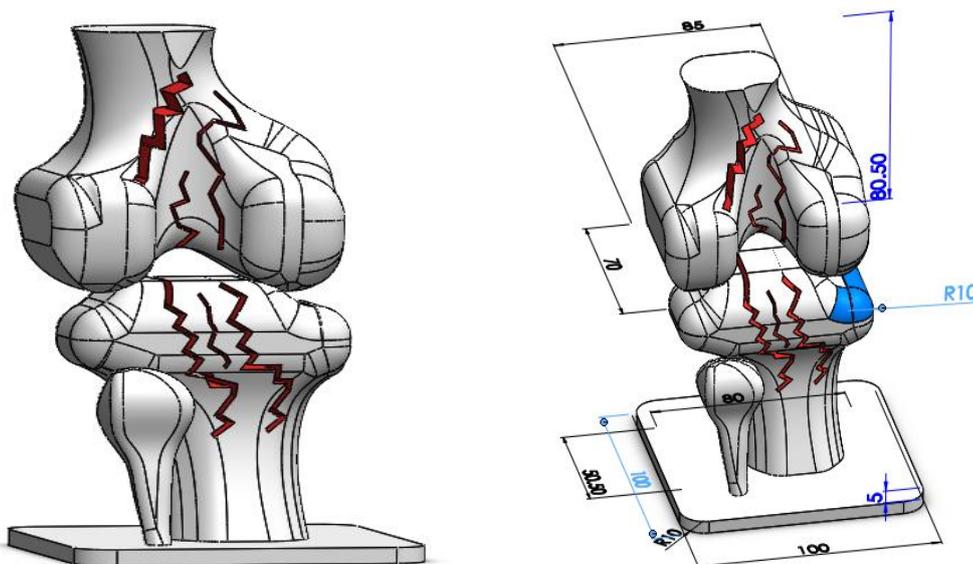
Hasil rancangan beberapa spesimen dari tulang sendi lutut normal pada manusia dengan menggunakan software solidword. Pada desain tulang sendi lutut

pada manusia, mempunyai kepanjangan 22.30 mm yang memiliki berat 176 gram. Adapun suhu yang dipakai dengan standart titik lelehnya sekitar 190°C, dibawah suhu tersebut desain ini tidak akan meleleh dengan sempurna, dan akan mengalami bentuk yang tidak kita inginkan. Seperti permukaan tidak rata atau keluar dari jalur tersebut. Dan membuat bentuk nya rusak. Waktu yang digunakan untuk membuat desain tersebut lumayan cukup lama, sekitar 25 jam 27 menit. Jika saat listrik padam, desain tersebut pun akan berhenti dengan sendirinya ,dan jika listrik kembali hidup, otomatis mesin *printer 3D* akan mengulang dari awal lagi. Untuk membuat spesimen ini, memiliki speed mul 60% - 80% dan flow 100%.

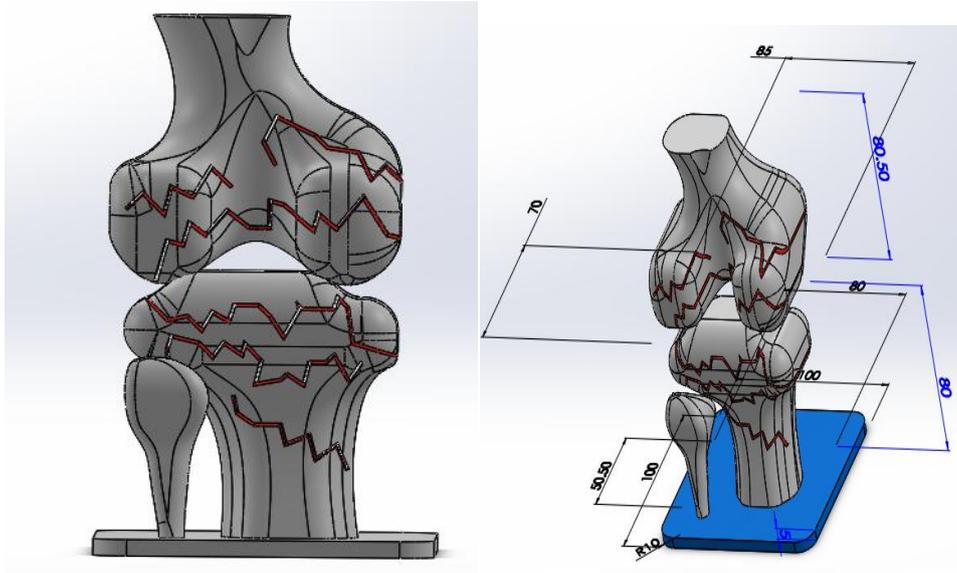
#### 4.2 Hasil Rancangan Tulang Sendi Lutut Retak Vertical Dan Horizontal

Dimana dapat dilihat tulang sendi lutut tersebut retak akibat kecelakaan kendaraan bermotor. Pada tulang kering (tibia) serta tulang paha (femur) yang mengakibatkan cedera pada tulang tersebut, penyebab bisa karena tabrakan berkekuatan tinggi , jatuh dari ke tinggian atau pun gerakan berputar yang berlebihan.

Material tersebut seperti yang sudah diperlihatkan pada gambar 4.2 dan gambar 4.3.



Gambar 4.2 Hasil Rancangan Tulang Sendi Lutut Retak Vertical



Gambar 4.3 Hasil Rancangan Tulang Sendi Lutut Retak Horizontal

#### 4.3 Hasil Desain Pembuatan Tulang Sendi Lutut Manusia

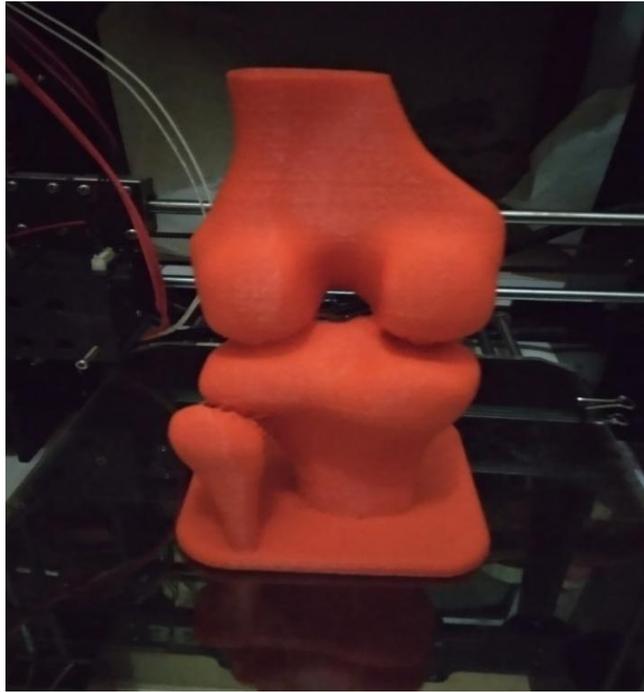
Pembuatan prototipe struktur tulang sendi lutut ini, dibuat mempunyai ukuran yang berbeda. Waktu yang digunakan untuk membuat desain tersebut lumayan cukup lama, sekitar 25 jam 27 menit. Jika saat listrik padam, desain tersebut pun akan berhenti dengan sendirinya ,dan jika listrik kembali hidup, otomatis mesin *printer 3D* akan mengulang dari awal lagi. Untuk membuat spesimen ini, memiliki speed mul 60% - 80% dan flow 100%. Hasil model pembuatan struktur tulang sendi lutut pada manusia ini mempunyai ukuran-ukuran yang berbeda, dapat dilihat pada table 4.1 dan 4.2.

Tabel 4.1 Ukuran Rancangan Tulang Sendi Lutut Femur (Paha)

| Panjang (p)<br>(mm) | Lebar (l)<br>(mm) |
|---------------------|-------------------|
| 80.50               | 85                |

Tabel 4.2 Ukuran Rancangan Tulang Sendi Lutut Tibia (Kering)

| Panjang (p)<br>(mm) | Lebar (l)<br>(mm) |
|---------------------|-------------------|
| 80                  | 80                |



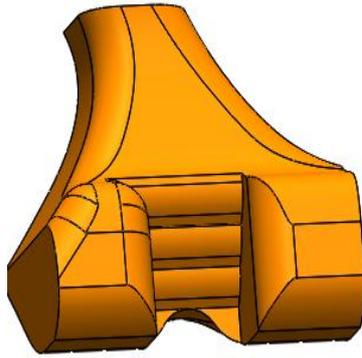
Gambar 4.4 Hasil Desain Pembuatan Tulang Sendi Lutut Manusia

Sendi lutut merupakan bagian dari extremitas interior yang menghubungkan tungkai atas (paha) dengan tungkai bawah. Fungsi dari sendi lutut ini adalah untuk mengatur pergerakan dari kaki. Sendi lutut ini termasuk dalam jenis sendi engsel, yaitu pergerakan dua condylus femoris diatas condylus tibiae. gerakan yang dapat dilakukan oleh sendi ini yaitu gerakan fireksi, ekstensi dan sedikit rotation. Jika terjadi gerakan yang melebihi kapasitas sendi maka akan dapat menimbulkan cerdas yang antara lain terjadi robekan pada capsul dan ligamentum disekitar sendi. Adapun pembangian spesimen pada tulang sendi lutut ini menggunakan software solidword adalah sebagai berikut:

#### 4.4 Hasil Pembagian Desain Tulang Sendi Lutut Pada Manusia

- Tulang Femur

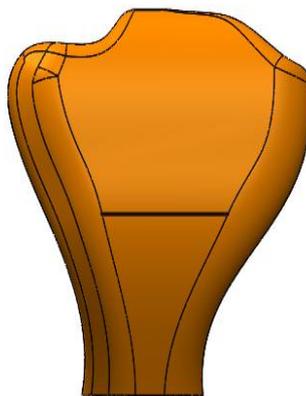
Tulang Femur adalah tulang paha, tulang terpanjang dalam tubuh. Ujung bawah bergabung tibia(tulang kering) untuk membentuk sendi lutut. Ujung atas dibulatkan menjadi bola (atau kepala femur) yang cocok ke soket dipanggul untuk membentuk sendi panggul. Tepat dibawah kepala adalah penyempitan, atau leher, dan dua proses besar. Seperti pada gambar 4.5.



Gambar 4.5 Tulang Femur

- Tulang Tibia

Tulang Tibia adalah satu dari dua tulang yang lebih besar dan lebih kuat yang berada dibawah lutut pada vertebrata (tulang yang satunya lagi adalah fibula), yang menghubungkan lutut dengan tulang pergelangan kaki. Secara umum dikenal sebagai tulang yang paling kuat dalam memikul beban berat, tibia dapat ditemukan disebelah fibula. Merupakan tulang terbesar kedua dalam tubuh manusia, yang terbesar adalah femur. Dinamai tbia berdasarkan seorang pemain flute yunani, bernama aulos yang juga dikenal sebagai tibia. Tulang kering juga berfungsi sebagai penyambung lengan, tulang kering berisi sumsum merah yang kaya akan darah merah, dan tulang nya berbentuk pipa. Seperti terlihat pada gambar 4.6.

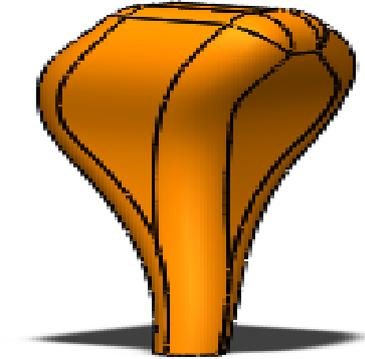


Gambar 4.6 Tulang Tibia

- Tulang Fibula

Tulang Fibula adalah sebuah tulang lutut yang terletak dibagian lateral dari tibia, dan tulang fibula terhubung dengan tibia dibagian atas dan bawah. Tulang

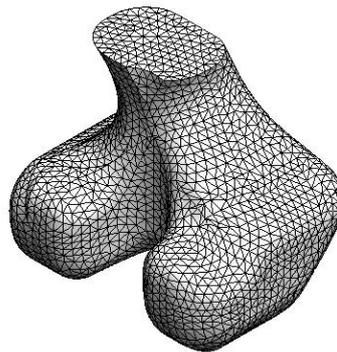
fibula lebih kecil dari pada tibia dan juga merupakan tulang yang paling ramping dari antara semua tulang panjang. Tulang fibula lebih kecil dari dua tulang kaki dan kadang-kadang disebut tulang betis. Seperti pada gambar 4.7.



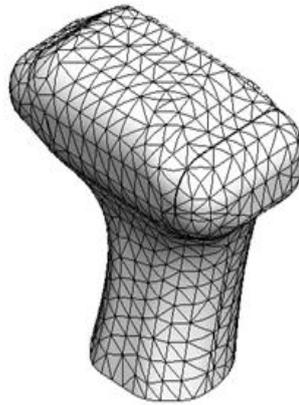
Gambar 4.7 Tulang Fibula

#### 4.5 Prosedur *Meshing*

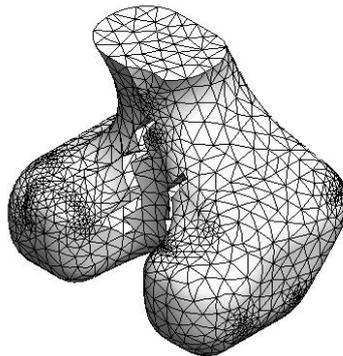
Prosedur meshing untuk mengecek antara satu komponen dengan komponen yang lain setelah dilakukan *assembly* seperti terlihat pada gambar 4.8, 4.9, 4.10, 4.11, 4.12 dan 4.13.



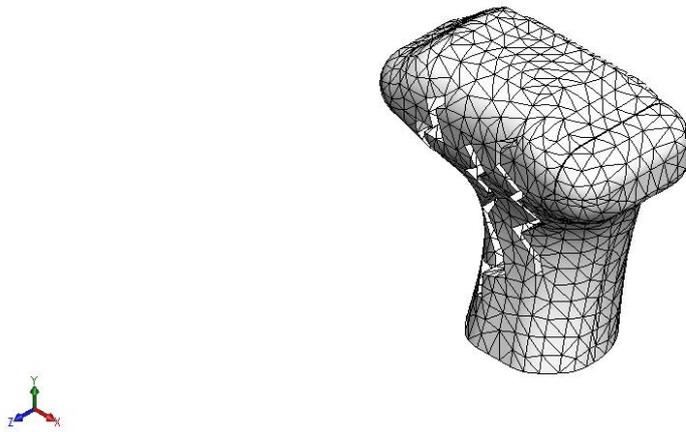
Gambar 4.8 Prosedur *Meshing* Tulang Sendi Lutut Normal Femur / Paha.



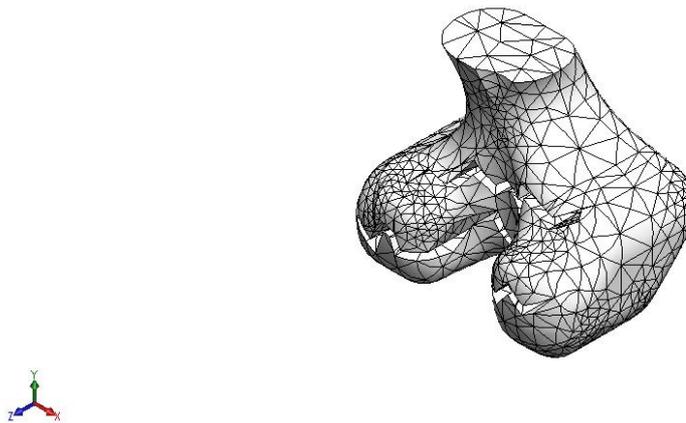
Gambar 4.9 Prosedur *Meshing* Tulang Sendi Lutut Normal Tibia / Kering.



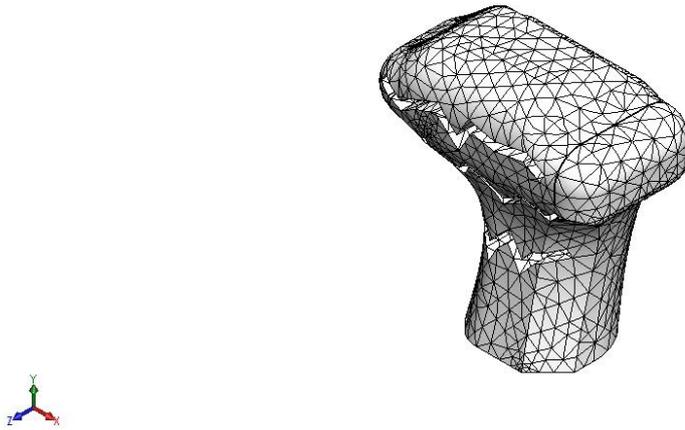
Gambar 4.10 Prosedur *Meshing* Tulang Sendi Lutut Retak Vertical  
Femur / Paha.



Gambar 4.11 Prosedur *Meshing* Tulang Sendi Lutut Retak Vertical  
Tibia/ Kering.



Gambar 4.12 Prosedur *Meshing* Tulang Sendi Lutut Retak Horizontal  
Femur/ Paha



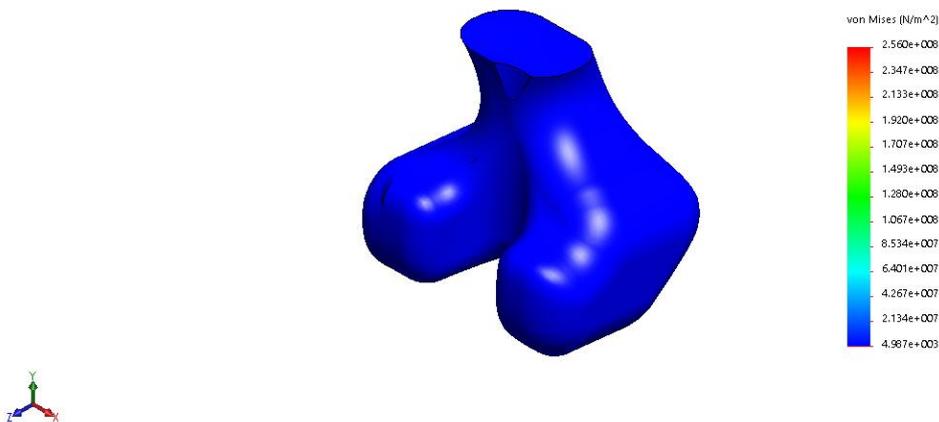
Gambar 4.13 Prosedur *Meshing* Tulang Sendi Lutut Retak Horizontal Tibia/ Kering

#### 4.6 Hasil Uji Simulasi

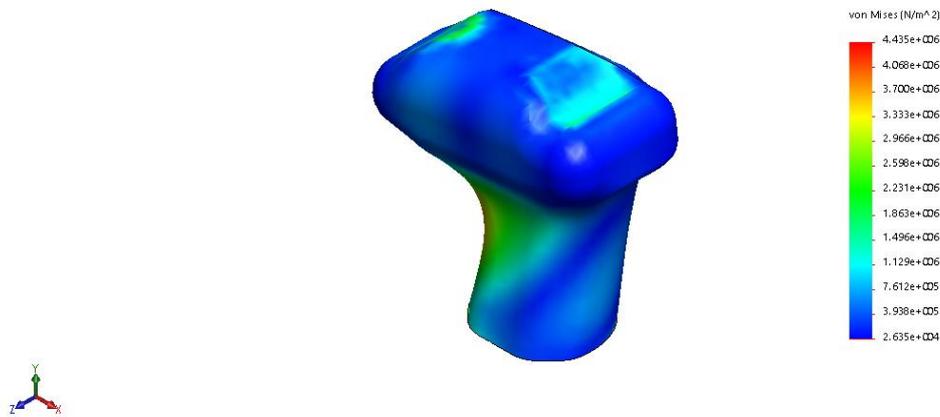
Pengujian simulasi tegangan dilakukan dengan metode simulasi software solidworks. Berikut adalah hasil uji simulasi dari tulang sendi lutut normal, tulang sendi lutut retak vertical dan tulang sendi lutut retak horizontal.

##### 4.6.1 Hasil Uji Simulasi Tulang Sendi Lutut Normal 50Kg.

Tulang sendi lutut normal adalah tulang sendi lutut yang sehat tidak mengalami terjadi benturan ataupun peristiwa kecelakaan. Proses ini kita dapat melihat hasil dari simulasi yang terjadi akibat tekanan yang ada didalam tulang sendi lutut normal dengan tekanan seperti yang di perlihatkan pada gambar 4.14 dan 4.15.



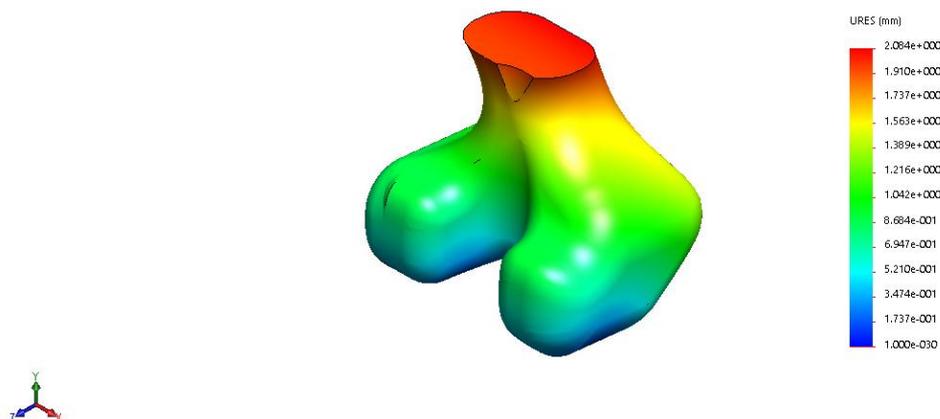
Gambar 4.14 Simulasi Tulang Sendi Lutut Normal Femur/ Paha Dengan Beban 50Kg.



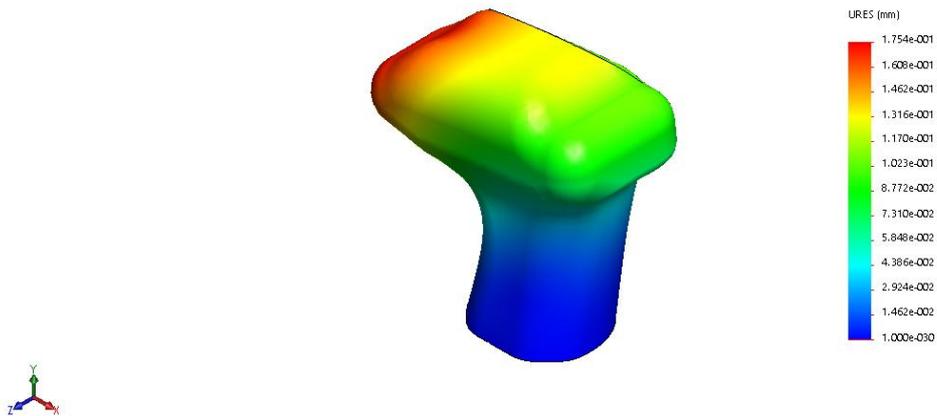
Gambar 4.15 Simulasi Tulang Sendi Lutut Normal Tibia/Kering Dengan Beban 50Kg.

#### 4.6.2 Hasil Uji Simulasi Tulang Sendi Lutut Normal 80Kg.

Tulang sendi lutut normal adalah tulang sendi lutut yang sehat tidak mengalami terjadi benturan ataupun peristiwa kecelakaan. Proses ini kita dapat melihat hasil dari simulasi yang terjadi akibat tekanan yang ada didalam tulang sendi lutut normal dengan tekanan seperti yang di perhatikan pada gambar 4.16 dan 4.17.



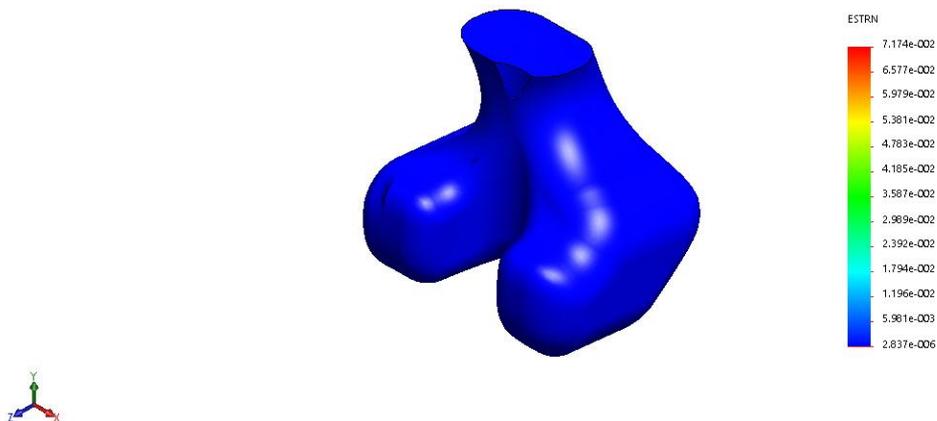
Gambar 4.16 Simulasi Tulang Sendi Lutut Normal Femur/ Paha Dengan Beban 80Kg.



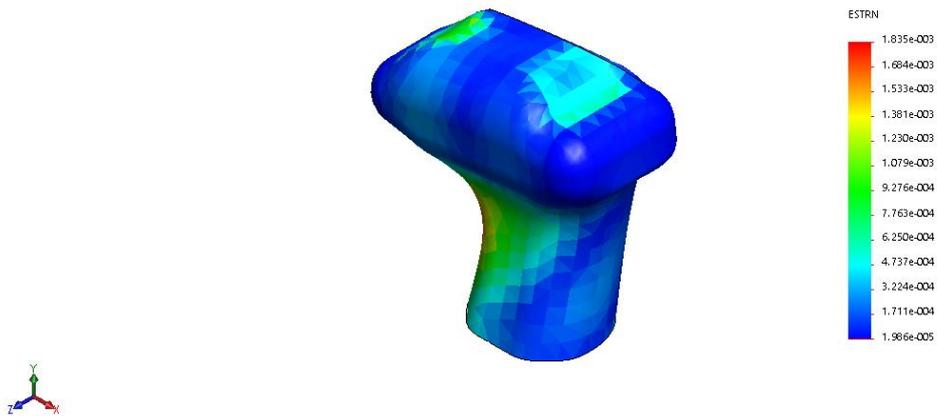
Gambar 4.17 Simulasi Tulang Sendi Lutut Normal Tibia/ Kering Dengan Beban 80Kg.

#### 4.6.3 Hasil Uji Simulasi Tulang Sendi Lutut Normal 110Kg.

Tulang sendi lutut normal adalah tulang sendi lutut yang sehat tidak mengalami terjadi benturan ataupun peristiwa kecelakaan. Proses ini kita dapat melihat hasil dari simulasi yang terjadi akibat tekanan yang ada didalam tulang sendi lutut normal dengan tekanan seperti yang di perlihatkan pada gambar 4.18 dan 4.19



Gambar 4.18 Simulasi Tulang Sendi Lutut Normal Femur/ Paha Dengan Beban 110Kg.



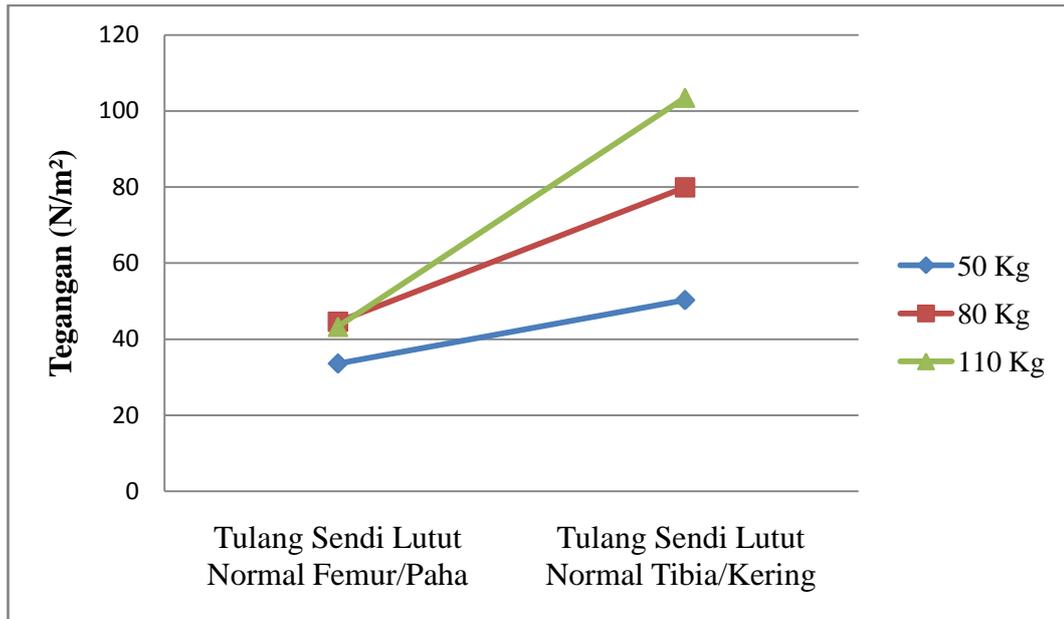
Gambar 4.19 Simulasi Tulang Sendi Lutut Normal Tibia/ Kering Dengan Beban 110Kg.

Dari gambar 4.14, 4.15, 4.16, 4.17, 4.18, dan 4.19 didapatkan hasil dari simulasi dengan beban 50Kg, 80Kg, dan 110Kg. Pada spesimen tulang sendi lutut normal menggunakan software solidwork dalam bentuk seperti pada table 4.3.

4.3 .Tabel hasil simulasi tulang sendi lutut normal dengan tegangan 50Kg, 80Kg dan 110Kg.

| No | Berat ( Kg ) | Tulang Sendi Lutut Normal Femur/Paha (N/m <sup>2</sup> ) | Tulang Sendi Lutut normal Tibia/ Kering (N/m <sup>2</sup> ) |
|----|--------------|--|---|
| 01 | 50           | 33.6   | 50.3  |
| 02 | 80           | 44.6   | 79.9  |
| 03 | 110          | 43.3   | 103.5   |

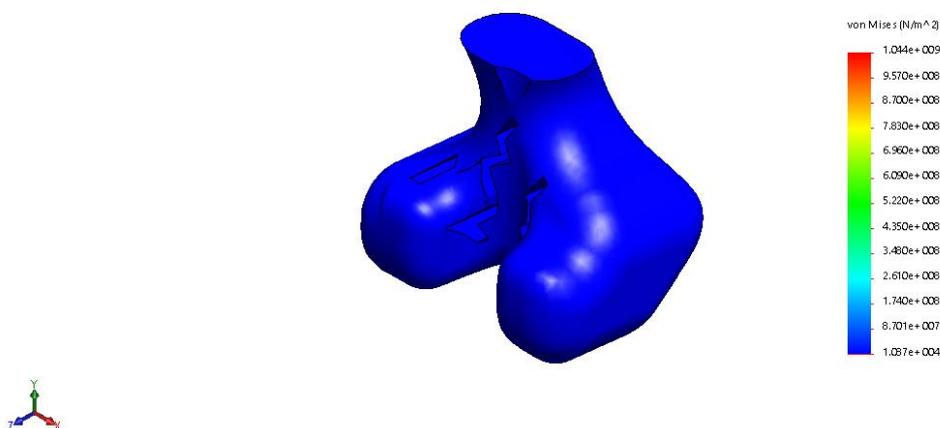
Dari hasil data tabel 4.3 diatas maka, dapat dibuat dalam bentuk grafik seperti gambar 4.20



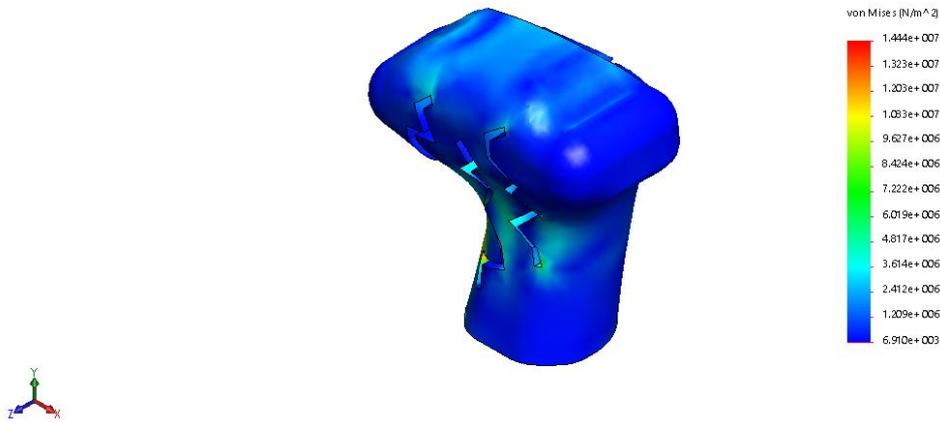
Gambar 4.20 Hasil Grafik Tegangan Tulang Sendi Lutut Normal

#### 4.7 Hasil Uji Simulasi Tulang Sendi Lutut Retak Vertical 50Kg.

Tulang sendi lutut retak vertical adalah tulang sendi lutut yang terjadi akibat kecelakaan maupun terjadi benturan yang serius menyebabkan tulang retak tersebut berbentuk vertical. Berikut adalah hasil uji simulasi tulang sendi lutut retak vertical dengan tekanan yang menggunakan software solidworks seperti yang terlihat pada gambar 4.21 dan 4.22



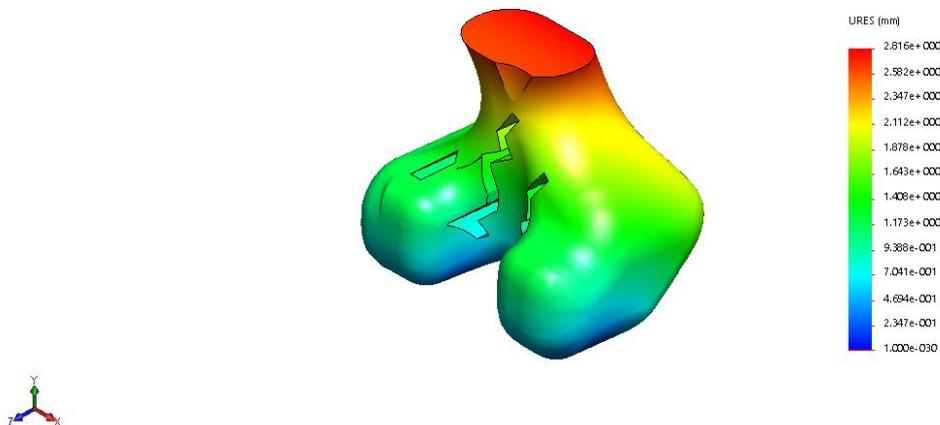
Gambar 4.21 Simulasi Tulang Sendi Lutut Retak Vertical Femur/ Paha Dengan Beban 50Kg.



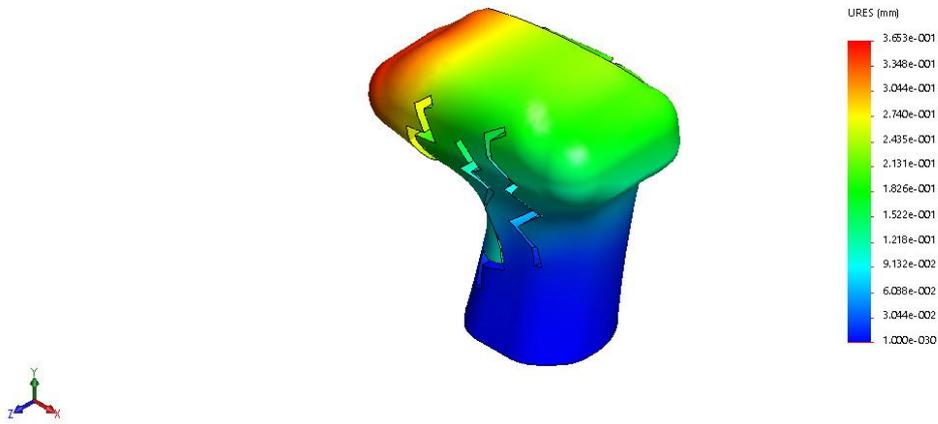
Gambar 4.22 Simulasi Tulang Sendi Lutut Retak Vertical Tibia/ Kering Dengan Beban 50Kg.

#### 4.7.1 Hasil Uji Simulasi Tulang Sendi Lutut Retak Vertical 80Kg.

Tulang sendi lutut retak vertical adalah tulang sendi lutut yang terjadi akibat kecelakaan maupun terjadi benturan yang serius menyebabkan tulang tersebut berbentuk vertical. Berikut adalah hasil uji simulasi tulang sendi lutut retak vertical terlihat pada gambar 4.23 dan 4.24



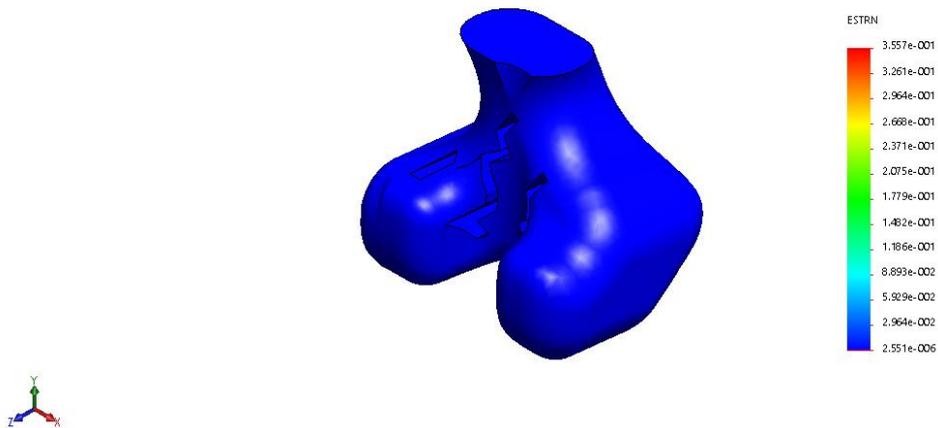
Gambar 4.23 Simulasi Tulang Sendi Lutut Retak Vertical Femur/ Paha Dengan Beban 80Kg.



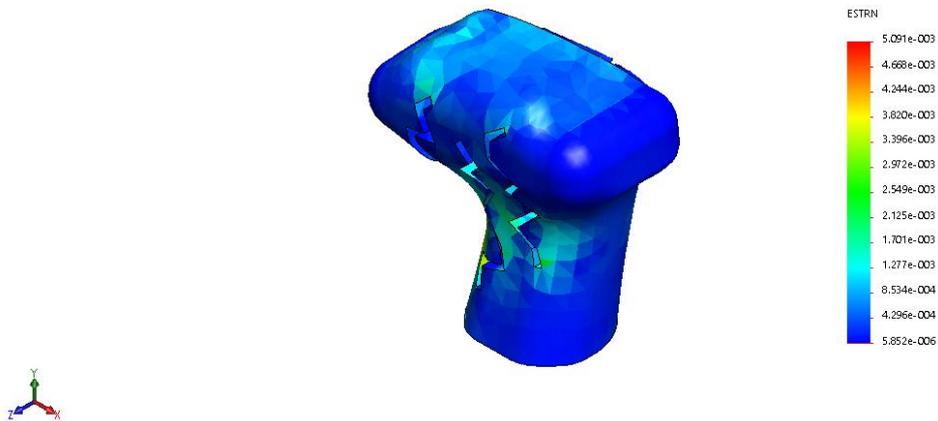
Gambar 4.24 Simulasi Tulang Sendi Lutut Retak Vertical Tibia/ Kering Dengan Beban 80Kg.

#### 4.7.2 Hasil Uji Simulasi Tulang Sendi Lutut Retak Vertical 110Kg.

Tulang sendi lutut retak vertical adalah tulang sendi lutut yang terjadi akibat kecelakaan maupun terjadi benturan yang serius menyebabkan tulang tersebut berbentuk vertical. Berikut adalah hasil uji simulasi tulang sendi lutut retak vertical dengan tekanan yang menggunakan software solidworks seperti yang terlihat pada gambar 4.25 dan 4.26



Gambar 4.25 Simulasi Tulang Sendi Lutut Retak Vertical Femur/ Paha Dengan Beban 110 Kg.



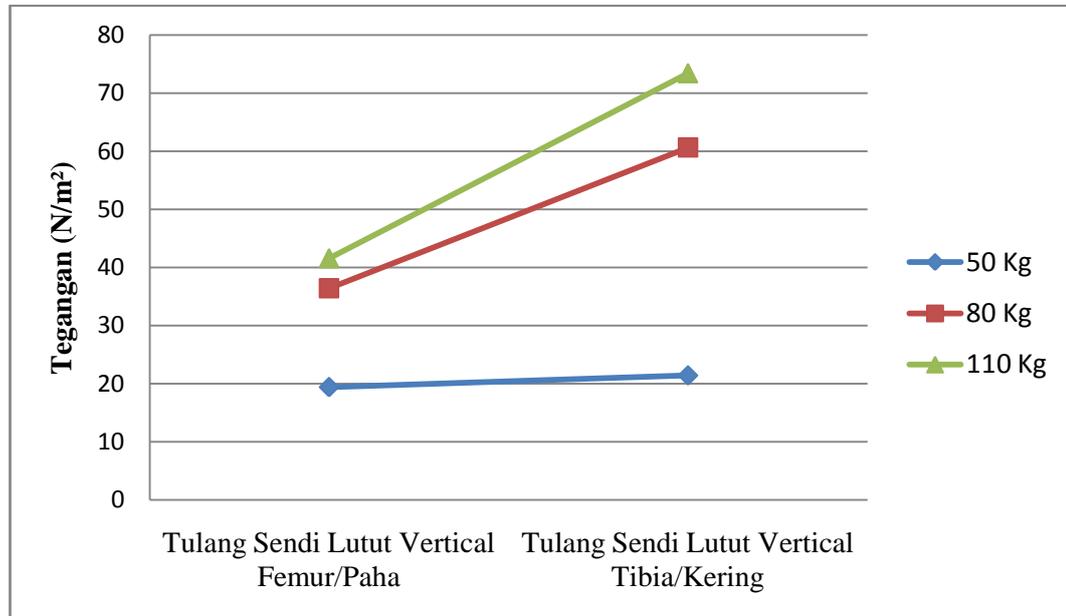
Gambar 4.26 Simulasi Tulang Sendi Lutut Retak Vertical Tibia/ Kering Dengan Beban 110 Kg.

Dari gambar 4.21, 4.22, 4.23, 4.24, 4.25, dan 4.26 didapatkan hasil dari simulasi dengan beban 50Kg, 80Kg, dan 110Kg. Pada spesimen tulang sendi lutut retak vertical menggunakan software solidwork dalam bentuk seperti pada table 4.4.

4.4. Tabel hasil simulasi tulang sendi lutut retak vertical dengan tegangan 50Kg, 80Kg, dan 110Kg.

| No | Berat ( Kg ) | Tulang Sendi Lutut Vertical Femur/Paha (N/m <sup>2</sup> ) | Tulang Sendi Lutut Vertical Tibia/ Kering (N/m <sup>2</sup> ) |
|----|--------------|--|---|
| 01 | 50           | 19.4   | 21.4  |
| 02 | 80           | 36.4   | 60.6  |

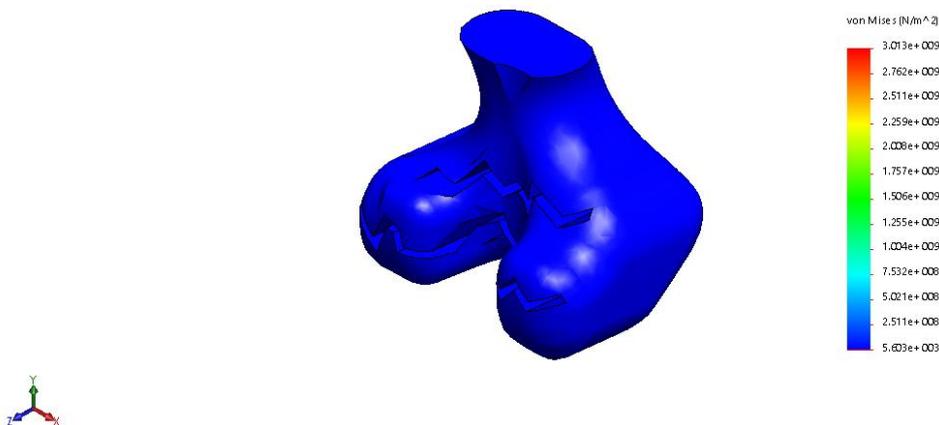
Dari Hasil data tabel 4.4 diatas maka, dapat di buatlah dalam bentuk grafik seperti gambar 4.27



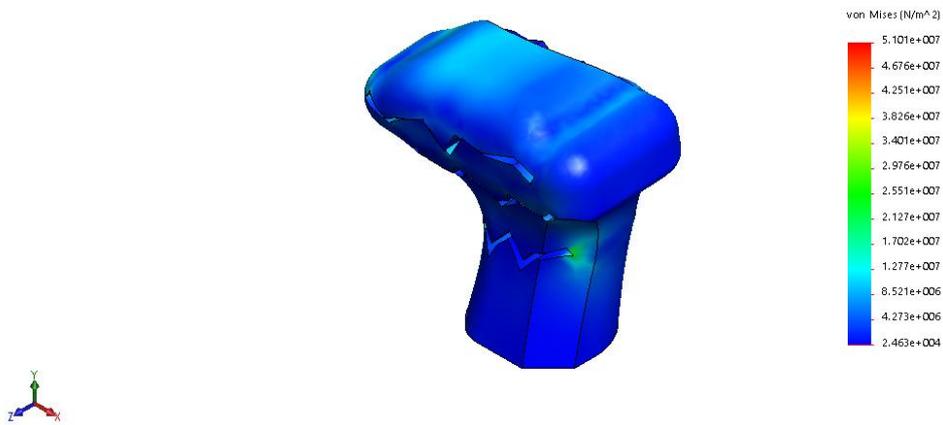
Gambar 4.27 Hasil Grafik Tegangan Tulang Sendi Lutut Vertikal.

#### 4.8 Hasil Uji Simulasi Tulang Sendi Lutut Retak Horizontal 50Kg.

Tulang sendi lutut retak Horizontal adalah tulang sendi lutut yang terjadi akibat kecelakaan maupun terjadi benturan yang serius menyebabkan tulang sendi lutut tersebut berbentuk horizontal. Berikut adalah hasil uji simulasi tulang sendi lutut retak horizontal dengan tekanan yang menggunakan software solidworks seperti yang terlihat pada gambar 4.28 dan 4.29.



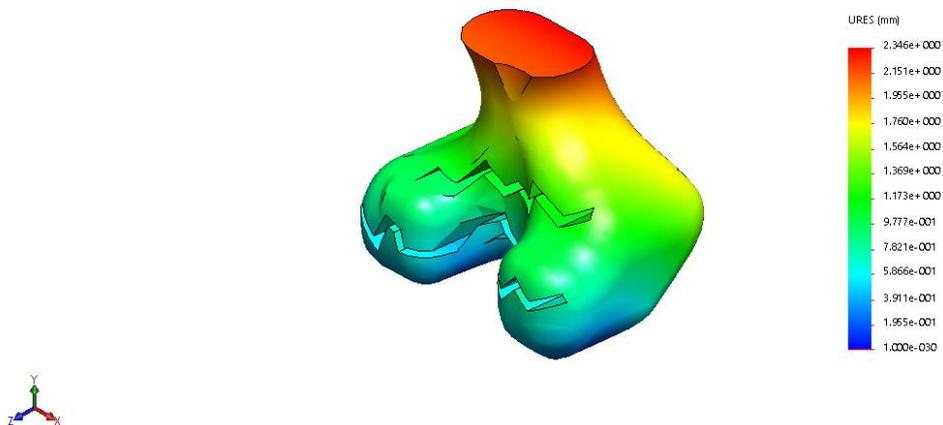
Gambar 4.28 Simulasi Tulang Sendi Lutut Retak Horizontal Femur/ Paha Dengan Beban 50Kg.



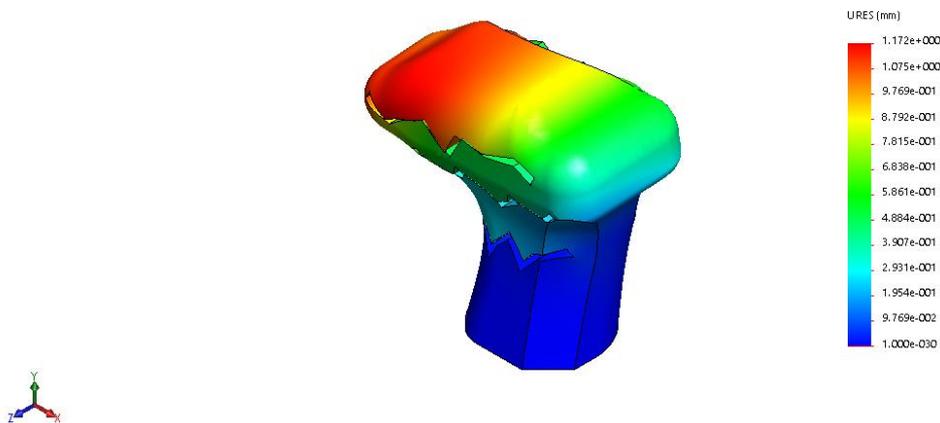
Gambar 4.29 Simulasi Tulang Sendi Lutut Retak Horizontal Tibia/ Kering Dengan Beban 50Kg.

#### 4.8.1 Hasil Uji Simulasi Tulang Sendi Lutut Retak Horizontal 80Kg.

Tulang sendi lutut retak Horizontal adalah tulang sendi lutut yang terjadi akibat kecelakaan maupun terjadi benturan yang serius menyebabkan tulang tersebut berbentuk horizontal. Berikut adalah hasil uji simulasi tulang sendi lutut retak horizontal dengan tekanan yang menggunakan software solidworks seperti yang terlihat pada gambar 4.30 dan 4.31.



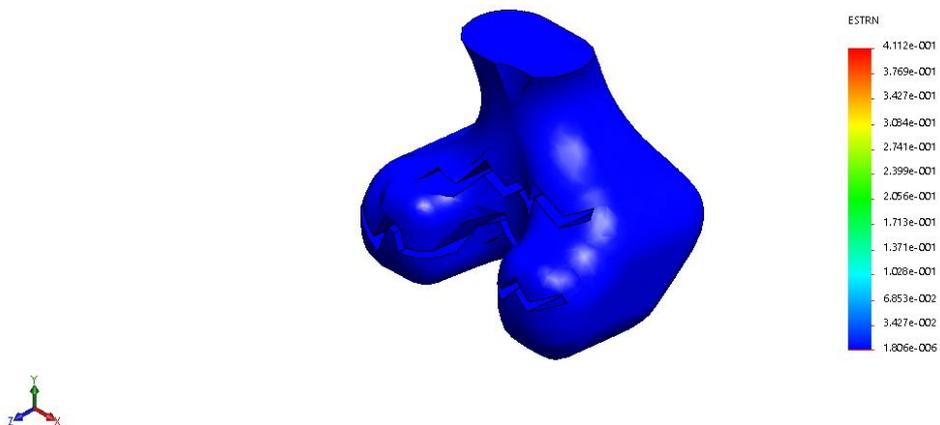
Gambar 4.30 Simulasi Tulang Sendi Lutut Retak Horizontal Femur/ Paha Dengan Beban 80Kg.



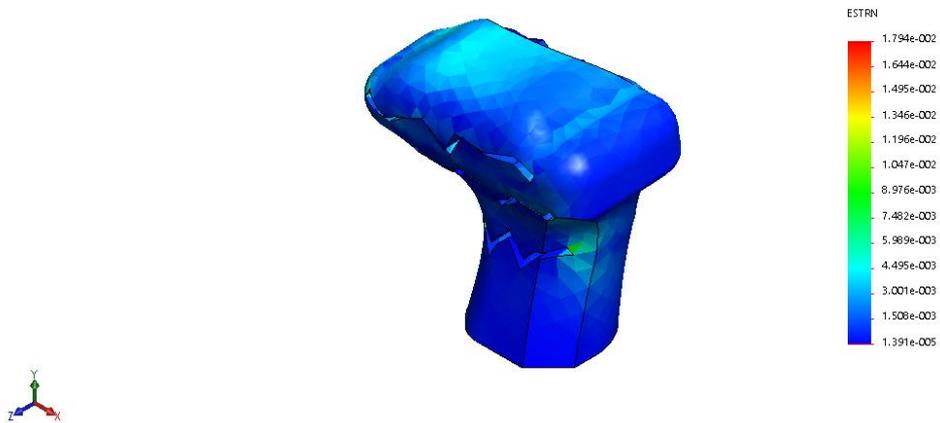
Gambar 4.31 Simulasi Tulang Sendi Lutut Retak Horizontal Tibia/ Kering Dengan Beban 80Kg.

#### 4.8.2 Hasil Uji Simulasi Tulang Sendi Lutut Retak Horizontal 110Kg.

Tulang sendi lutut retak Horizontal adalah tulang sendi lutut yang terjadi akibat kecelakaan maupun terjadi benturan yang serius menyebabkan tulang retak tersebut berbentuk horizontal. Berikut adalah hasil uji simulasi tulang sendi lutut retak horizontal dengan tekanan yang menggunakan software solidworks seperti yang terlihat pada gambar 4.32 dan 4.33.



Gambar 4.32 Simulasi Tulang Sendi Lutut Retak Horizontal Femur/ Paha Dengan Beban 110Kg.



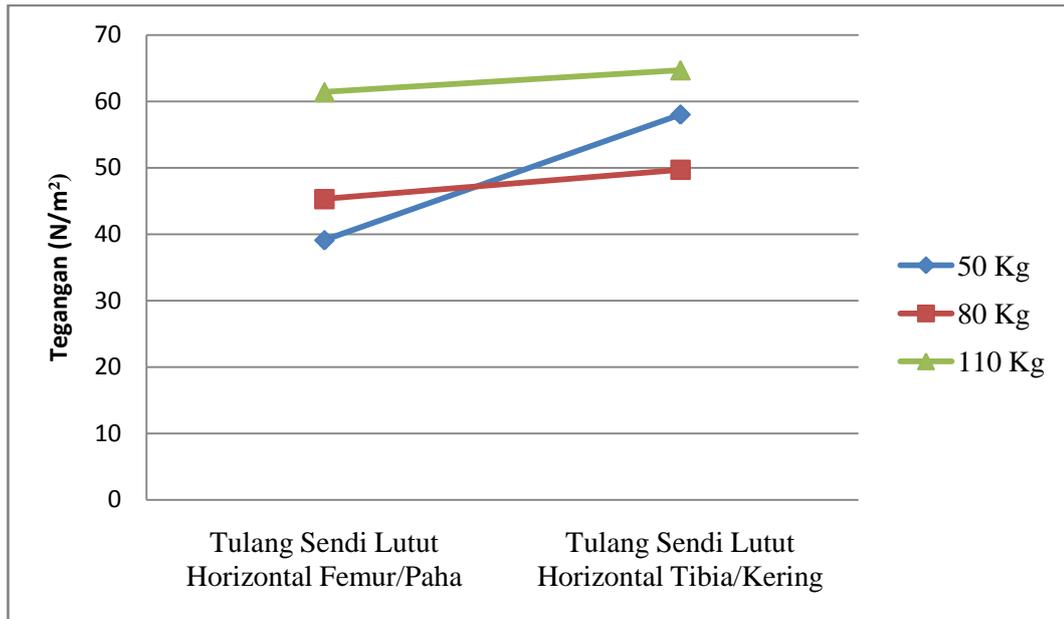
Gambar 4.33 Simulasi Tulang Sendi Lutut Retak Horizontal Tibia/ Kering Dengan Beban 110Kg.

Dari gambar 4.28, 4.29, 4.30, 4.31, 4.32 dan 4.33 didapatkan hasil dari simulasi dengan beban 50Kg, 80Kg, dan 110Kg. Pada spesimen tulang sendi lutut retak horizontal menggunakan software solidwork dalam bentuk seperti pada tabel 4.5.

4.5. Tabel hasil simulasi tulang sendi lutut retak horizontal dengan tegangan 50Kg, 80Kg, dan 110Kg.

| No | Berat ( Kg ) | Tulang Sendi Lutut Horizontal Femur/Paha (N/m <sup>2</sup> ) | Tulang Sendi Lutut HorizontalTibia/Kering (N/m <sup>2</sup> ) |
|----|--------------|--|---|
| 01 | 50           | 39.1   | 58.0  |
| 02 | 80           | 45.3   | 49.7  |
| 03 | 110          | 61.4   | 64.7  |

Dari Hasil data tabel diatas maka dapat di buat dalam bentuk grafik seperti gambar 4.34.



Gambar 4.34 Grafik Tegangan Tulang Sendi Lutut Retak Horizontal.

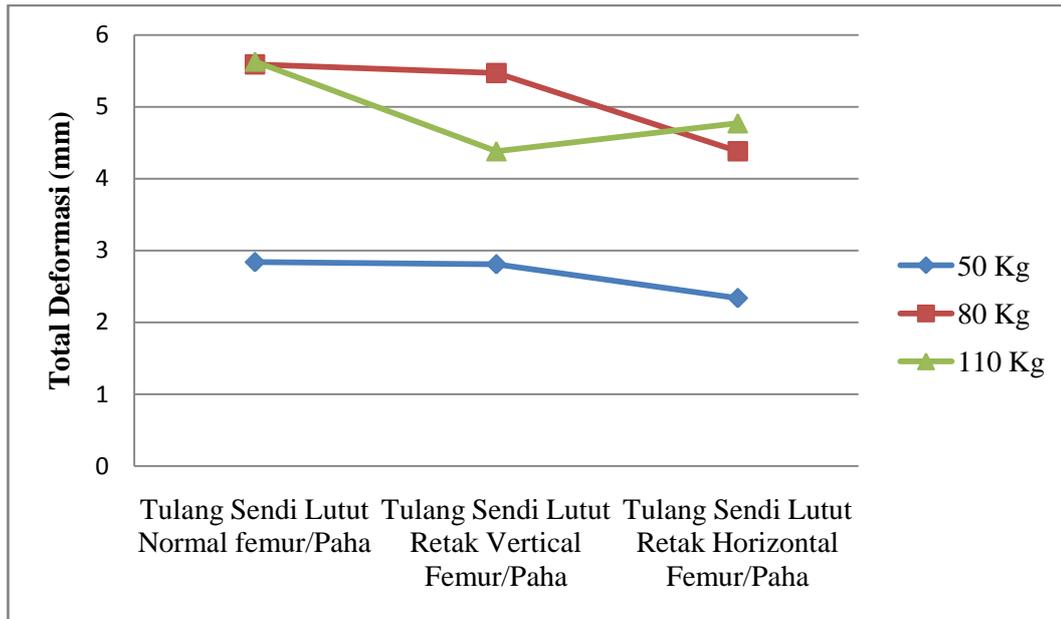
4.9 Perbandingan Hasil Tulang Sendi Lutut Normal, Retak Vertical, Retak Horizontal Pada Tulang Femur/Paha. Dan Tulang Sendi Lutut Normal, Retak Vertical, Dan Retak Horizontal Pada Tulang Tibia/Kering.

4.9.1. Hasil Deformasi Perbandingan Tulang Sendi Lutut Femur/Paha.

Tabel 4.6 Tulang Sendi Lutut Normal, Retak Vertical, Retak Horizontal Pada Tulang Sendi Lutut Femur/Paha.

| No | Berat ( Kg ) | Tulang Sendi Lutut Normal Femur/Paha (mm) | Tulang Sendi Lutut Retak Vertical Femur/Paha (mm) | Tulang Sendi Lutut Retak Horizontal Femur/Paha (mm) |
|----|--------------|---|---|---|
| 01 | 50           | 2.84                                      | 2.81  | 2.34  |
| 02 | 80           | 5.59                                      | 5.47  | 5.85  |
| 03 | 110          | 5.63                                      | 4.38  | 4.77  |

Dari hasil tabel diatas dibuat dalam bentuk grafik dapat kita lihat pada gambar 4.35



Gambar 4.35 Hasil Deformasi Tulang Femur/Paha.

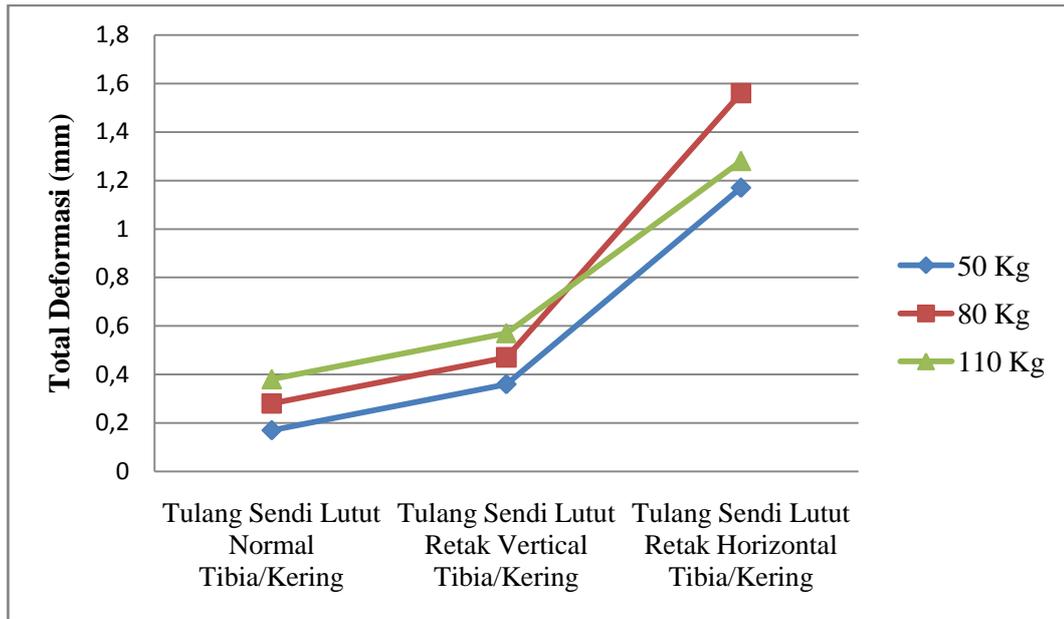
Dari gambar 4.35 menunjukkan bahwa nilai minimal berada pada berat 50 kg dengan total deformasi 2.34 mm struktur tulang sendi lutut retak horizontal dan hasil maksimal terletak pada berat 80 kg dengan total deformasi 5.85 mm struktur tulang sendi lutut retak horizontal.

#### 4.9.2. Hasil Deformasi Perbandingan Tulang Sendi Lutut Tibia/Kering

Tabel 4.7 Tulang Sendi Lutut Normal, Retak Vertical, Retak Horizontal Pada Tulang Sendi Lutut Tibia/Kering.

| No | Berat ( Kg ) | Tulang Sendi Lutut Normal Tibia/Kering (mm) | Tulang Sendi Lutut Retak Vertical Tibia/Kering (mm) | Tulang Sendi Lutut Retak Horizontal Tibia/Kering (mm) |
|----|--------------|---|---|---|
| 01 | 50           | 0.17  | 0.36  | 1.17  |
| 02 | 80           | 0.28  | 0.47  | 1.56  |
| 03 | 110          | 0.38  | 0.57  | 1.28  |

Dari hasil tabel diatas dibuat dalam bentuk grafik dapat kita lihat pada gambar 4.36.



Gambar 4.36 Hasil Gambar Grafik Tulang Tibia/Kering.

Dari gambar 4.36 menunjukkan bahwa nilai minimal berada pada berat 50 kg dengan total deformasi 0.17 mm struktur tulang sendi lutut normal tibia/kering. Dan hasil maksimal terletak pada berat 80 kg dengan total deformasi 1.56 mm struktur tulang sendi lutut retak horizontal tibia/kering.

## **BAB 5**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### 5.1 Kesimpulan

Dari hasil perancangan dan pembuatan prototipe struktur tulang sendi lutut manusia pada mesin 3D printer, dengan beberapa spesimen yang bervariasi ini didapatkan beberapa kesimpulan yaitu :

1. Dari hasil penelitian didapatkan bahwa tekanan yang terjadi pada tulang lutut femur/paha dan tulang lutut tibia/betis menghasilkan nilai yang berbeda-beda.
2. Dari hasil perbandingan pada tulang femur/paha nilai minimal berada pada berat 50 kg dengan total deformasi 2.34 mm struktur tulang sendi lutut retak horizontal dan hasil maksimal terletak pada berat 80 kg dengan total deformasi 5.85 mm struktur tulang sendi lutut retak horizontal.

#### 5.2 Saran

1. Untuk memperbaiki struktur tulang sendi lutut pada manusia, agar dilakukan uji simulasi.
2. Agar untuk melakukan survey berkaitan dengan geometri tulang sendi lutut pada manusia.

## DAFTAR PUSTAKA

- A. J. Parisi, MD, JD, Daniel L. Levy, MD, Douglas A. Dennis, MD, Adjunct Professor, Adjunct Professor of Bioengineering, Assistant Clinical Professor, Cole Harscher, BS, Raymond H. Kim, MD, Jason M. Jennings, MD, DPT (2017). *Radiographic Changes in Non-Operative Contralateral Knee Following Unilateral Total Knee Arthroplasty* University of Tennessee, Knoxville, TN. 10.1016/j.arth.2018.02.018
- A.C.D. Fong , W.S.C. Li , W.K.J. T.W.R. Tsang , J.H. Zhang , T.L.W. Chen , H. Baur, P.Eichelberger, R.T.H. Cheung (2017). *Effect of foot progression angle adjustment on the knee adduction moment and knee joint contact force in runners with and without knee osteoarthritis* The Hong Kong Polytechnic University. E-mail address: Roy.Cheung@polyu.edu.hk
- B. Campi, Saket Tibrewal , Rory Cuthbert , Sheo B. Tibrewal (2006). *Unicompartmental knee replacement – current perspectives* New York: Oxford University . E-mail addresses : campi@gmail.com
- Dany Mouarbes , Etienne Cavaignac , Philippe Chiron , Emilie Berard , Jerome Murgier (2018), *Evaluation of reproducibility of robotic knee testing device (GNRB) on 60 healthy knees* Epidemiology Department, CHU Toulouse, France. E-mail addresses: mouarbes.d@chu-toulouse.fr
- Heung-Suk Seo , Chang-Wan Kim , Chang-Rack Lee , Jin-Hyuk Seo , Do-Hun Kim , Ok-Gul Kim (2017), *Outcomes of total knee arthroplasty in degenerative osteoarthritic knee with genu recurvatum*, Department of Orthopedic surgery, Inje University Busan Paik Hospital, 75 Bokji – ro , Busan jin-gu, Busan , Republic of Korea. E-mail address: leechangrack@inje.ac.kr
- Jesse C. Christen , Paul C. Lastayo , Robin L. Marcus , Gregory J. Stoddard , K.Bo Foreman , Ryan L. Mizner , Christopher L. Peters , Christopher E. Pelt (2017), *Visual knee-kinetic biofeedback technique normalizes gait abnormalities during high- demand mobility after total knee arthroplasty* University of Utah , Department of Orthopaedics, Salt lake City, UT, United States E-mail addresses: jesse.christensen@ucdenver.edu

M.Dehl , Y.Bulaid , M. Chelli ,R.Belhaouane,A.Gabrion , E.Havet, P.Mertl (2017), *Total knee arthroplasty with the Medial-Pivot knee system: Clinical and radiological outcomes at 9.5 years mean follow -up*. Universitaire d'Amiens Picardie, site sud D 408 , 80054bamiens cedex , france E-mail address: massidehl@hotmail.fr

Mark Yampolskiy, Anthony Skjellum , Michael Kretzschmar, Ruel A. Overfelt , Kenneth R.Sloan , Alec Yasinsac (2016), *Using 3D printers as weapons*. School of Computing , University of South Alabama 36688, USA. E-mail Address: yampolskiy@southalabama.edu

Seung Zhang , min Wei , Vilayanur V. Viswanathan , Benjamin Swart , Yuyan Shao, Gang Wu , Chi Zhou (2017), *3D printing technologies for electrochemical energy storage*. E-mail addresses: yuyan.shao@pnnl.gov

Yuan Zhuang , Wentong Song , Gang Ning , Xueyan Sun , Zhongzheng Sun , Guowei . (2017), *3D-printing of materials with anisotropic heat distribution using conductive polylactic acid composites*. E-mail address: taosy@dlut.edu.cn

# LAMPIRAN

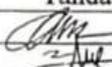
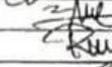
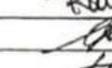
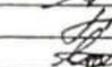
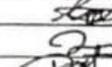
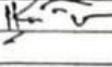
**DAFTAR HADIR SEMINAR  
TUGAS AKHIR TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK – UMSU  
TAHUN AKADEMIK 2018 – 2019**

**Peserta Seminar**

Nama : Wanda Tirta  
 NPM : 1307230112  
 Judul Tugas Akhir : Perancangan Prototype Struktur Tulang Sendi Lutut Ma-  
 Nusia Pada mesin Printer 3 D

| DAFTAR HADIR    |                              |   | TANDA TANGAN |
|-----------------|------------------------------|---|--------------|
| Pembimbing – I  | : DR.Rakhmad Arief.Srg.M.Eng | : | .....        |
| Pembimbing – II | : Sudirman Lubis.S.T.M.T     | : | .....        |
| Pembanding – I  | : M.Yani.S.T.M.T             | : | .....        |
| Pembanding – II | : Khairul Umurani.S.T.M.T    | : | .....        |

| No | NPM        | Nama Mahasiswa        | Tanda Tangan  |
|----|------------|-----------------------|---|
| 1  | 1307230205 | IBRAHIM CHORIQ        |  |
| 2  | 1507230169 | ABYANSYAH PRATAMA HRP |  |
| 3  | 1507230169 | REKUMALI              |  |
| 4  | 1307230100 | RIKI JULIANSYAH       |  |
| 5  | 1307230173 | SANOI YOGA SAHAF      |  |
| 6  | 1507230012 | Billy WINTANA PUTRA   |  |
| 7  | 1507230010 | Fery Hardiansyah      |  |
| 8  | 1507230032 | M Dipo Pamungkas      |  |
| 9  | 1307230009 | KURNIAWAN FIKO PUTRA  |  |
| 10 |            |                       |   |

Medan, 06 Muharram 1440 H  
 07 September 2019 M

Ketua Prodi. T. Mesin



**DAFTAR EVALUASI SEMINAR FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA**

---

NAMA : Wanda Tirta  
NPM : 1307230112  
Judul T.Akhir : Perancangan Prototype Struktur Tulang Sendi Lutut Manusia  
Pada Mesin Printer 3 D

Dosen Pembimbing -- I : DR.Rakhmad Arief Siregar.S.T.M.Eng  
Dosen Pembimbing -- II : Sudirman Lubis S.T.M.T  
Dosen Pemanding - I : M.Yani.S.T.M.T  
Dosen Pemanding - II : Khairul Umurani.S.T.M.T

**KEPUTUSAN**

1. Baik dapat diterima ke sidang sarjana ( collogium)
2. Dapat mengikuti sidang sarjana (collogium) setelah selesai melaksanakan perbaikan antara lain :

*lihat catatan pada buku  
skripsi*

3. Harus mengikuti seminar kembali  
Perbaikan :

.....  
.....  
.....  
.....

Medan 06 Muharram 1440H  
07 September 2019 M

Diketahui :  
Ketua Prodi. T.Mesin



Dosen Pemanding- II

*Khairul Umurani*  
Khairul Umurani.S.T.M.T

DAFTAR EVALUASI SEMINAR FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA

NAMA : Wanda Tirta  
NPM : 1307230112  
Judul T.Akhir : Perancangan Prototype Struktur Tulang Sendi Lutut Manusia  
Pada Mesin Printer 3 D

Dosen Pembimbing - I : DR.Rakhmad Arief Siregar.S.T.M.Eng  
Dosen Pembimbing - II : Sudirman Lubis S.T.M.T  
Dosen Pembanding - I : M.Yani.S.T.M.T  
Dosen Pembanding - II : Khairul Umurani.S.T.M.T

KEPUTUSAN

1. Baik dapat diterima ke sidang sarjana ( collogium)  
2. Dapat mengikuti sidang sarjana (collogium) setelah selesai melaksanakan perbaikan antara lain :

*tidak pada draft skripsi bagian yg harus direvisi*

3. Harus mengikuti seminar kembali  
Perbaikan :

.....  
.....  
.....  
.....

Medan 06 Muharram 1440H  
07 September 2019 M

Diketahui :  
Ketua Prodi. T.Mesin



Dosen Pembanding - I

M. Yani.S.T.M.T

### LEMBAR ASISTENSI TUGAS AKHIR

#### Perancangan Prototipe Struktur Tulang Sendi Lutut Manusia Pada Mesin Printer 3D

Nama : Wanda Tirta  
NPM : 1307230112

Dosen Pembimbing 1 : Dr. Eng. Rakhmad Arief Siregar  
Dosen Pembimbing 2 : Sudirman Lubis, S.T., M.T

| No | Hari/Tanggal | Kegiatan               | Paraf   |
|----|--------------|------------------------|---|
| 1. | 21/2/18      | Perbaiki Bab 1 & Bab 2 |    |
| 2. | 14/8/18      | Lanjut Bab 3           |    |
| 3. | 15/9/18      | Perbaiki Bab 3         |   |
| 4. | 27/7/19      | Lanjut Bab 4           |  |
| 5. | 30/7/19      | ACC                    |  |
| 6. | 6/8/19       | Lanjut Bab 4           |  |
| 7. | 9/8/19       | Perbaiki Bab 4         |  |
| 8. | 20/8/19      | Acc                    |  |

## DAFTAR RIWAYAT HIDUP



### **DATA PRIBADI**

Nama : WANDA TIRTA  
Npm : 1307230112  
Tempat /Tanggal Lahir : Medan, 20 Mei 1993  
Agama : Islam  
Alamat : Jln. Mangan I LK. V Mabar Hilir  
Jenis Kelamin : Laki – Laki  
Anak Ke : 3 Dari 4 Bersaudara  
No. Hp : 089690457099  
Telp : -  
Setatus Perkawinan : Belum Menikah  
Email : [wanda.tirta20@gmail.com](mailto:wanda.tirta20@gmail.com)  
Nama Orang Tua  
    Ayah : SUGIANTO  
    Ibu : SUKARWATY

### **PENDIDIKAN FORMAL**

1999 – 2005 : SD AL – IKHWAN  
2005 – 2008 : SMP TUT WURI HANDAYANI  
2008 – 2011 : SMK PAB 1 HELVETIA  
2013 – 2019 : UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA  
UTARA