



# **Analisis *Crack* Pada Robot Exoskeleton Lower Limb**

## **Proposal Tugas Akhir**

**Oleh:**

**Muhammad Fadhil Al Fadjri (4212001033)**

**Program Studi Teknik Mekatronika  
Jurusan Teknik Elektro  
Politeknik Negeri Batam  
2024**

## Pernyataan Keaslian Tugas Akhir

Saya yang bertandatangan dibawah ini menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan Tugas Akhir saya yang berjudul : "Analisis *Crack* Pada Robot Exoskeleton Lower Limb" adalah **hasil karya sendiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diizinkan, dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.** Semua referensi yang dikutip atau dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka. Apabila ternyata pernyataan saya ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Batam, 30 Juli 2024



---

Muhammad Fadhil Al Fadri  
NIM: 4212001033

# Lembar Pengesahan

Tugas Akhir disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar  
Sarjana Terapan Teknik (S.Tr.T) di Politeknik Negeri Batam

oleh:

Muhammad Fadhil Al Fadjri (4212001033)

Tanggal Sidang : 16 Juli 2024

Disetujui oleh :



1. Dr. Budi Sugandi, S.T., M.Eng  
NIK: 100002



1. Daniel Sutopo Pamungkas,  
S.T., M.T., Ph.D  
NIK: 100006



2. Adlian Jefiza, S, Pd., M.T  
NIK: 119220



2. Hanifah Widiastuti, S.T., Ph.D  
NIK: 198503232020122002

# Analisis *Crack* Pada Robot Exoskeleton Lower Limb

## Abstrak

Kegagalan yang disebabkan oleh kelelahan material sangat membahayakan karena kelelahan bisa mengakibatkan patah yang terjadi tanpa diawali deformasi pada material tersebut. Oleh karena itu tidak terdeteksi secara visual. Beberapa hal yang dapat mengakibatkan kelelahan pada material lebih cepat, yaitu beban maksimum yang cukup tinggi dan siklus penerapan tegangan yang cukup besar.

Pada proses perancangan robot exoskeleton *lower limb*, kekuatan dan keamanan dari robot tersebut merupakan hal yang harus menjadi perhatian utama. Alasannya pada bagian setiap Link Joint, pada perancangan mekanisme *Link Joint* merupakan hal yang penting. Kenyamanan dan keamanan struktur ditentukan dari geometri dan jenis material yang digunakan. Analisis untuk struktur mekanik *Link Joint* yang mengalami keretakan dapat dilakukan dengan metode *Fracture Mechanics*. Metode menghasilkan nilai *SIF (Stress Intensity Factor)* yaitu intensitas stress yang terdapat pada bagian ujung *crack* (retak) atau retakan akibat akumulatif beban. Penelitian dilakukan untuk mengetahui tegangan kritis dan perkiraan umur pakai berdasarkan pengujian yang dilakukan.

Pengujian yang dipakai untuk mengetahui keretakan (*Crack*) pada mekanisme setiap Link Joint sebagai analisis penelitian ini akan menggunakan perangkat lunak berbasis *Finite Element Method* (Metode elemen hingga), yaitu *Solidworks 2020*.

Kata kunci: Robot Exoskeleton Lower Limb, keretakan, *SIF (Stress Intensity Factor)*.

# **Crack Analysis on Robots Lower Limb Exoskeleton**

## **Abstract**

*Failures caused by material fatigue are very dangerous because fatigue can lead to fractures that occur without any preceding deformation in the material. Therefore it is not visually detectable. Some of the things that can cause fatigue in materials faster, namely a high enough maximum load and a large enough stress application cycle.*

*In the process of designing a lower limb exoskeleton robot, the strength and safety of the robot is something that must be a major concern. The reason is that in each link joint, the design of the link joint mechanism is important. The comfort and safety of the structure is determined by the geometry and type of material used. Analysis for the mechanical structure of a Link Joint that has cracked can be done using the Fracture Mechanics method. The method produces a SIF (Stress Intensity Factor) value, namely the intensity of stress contained at the end of the crack or crack due to accumulative loads. Research was conducted to determine the critical stress and estimated service life based on the tests carried out.*

*The test used to determine the crack in the mechanism of each Link Joint as an analysis of this research will use Finite Element Method-based software, namely Solidworks 2020.*

*Keywords: Robot Exoskeleton Lower Limb, cracking, SIF (Stress Intensity Factor).*

## Kata Pengantar

Puji syukur penulis ucapkan atas ke hadirat Allah SWT. Atas limpahan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis mampu menyelesaikan Laporan Tugas Akhir dengan judul “Analisis Crack Pada Robot Exoskeleton Lower Limb” dibuat guna memenuhi syarat kelulusan di jurusan Teknik Elektro, program studi D4 Teknik Mekatronika, Politeknik Negeri Batam.

Pada kesempatan ini penulis menyampaikan terima kasih atas segala bantuan dan dukungan yang telah diberikan selama proses pembuatan Tugas akhir ini kepada:

1. Allah Swt atas semua kasih dan karunia-Nya.
2. Kedua orang tua dan keluarga penulis yang telah memberikan dukungan berupa do’a dan motivasi.
3. Bapak Uuf Brajawidagda, S.T., M.T., Ph.D. selaku Direktur Politeknik Negeri Batam.
4. Bapak Dr. Budi Sugandi, S.T., M.Eng. selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Batam.
5. Bapak Indra Hardian Mulyadi, S.T., M.Eng. selaku Ketua Program Studi Teknik Mekatronika Politeknik Negeri Batam.
6. Bapak Daniel Sutopo Pamungkas, S.T.,M.T., Ph.D dan Ibu Hanifah Widiastuti, S.T., Ph.D selaku dosen pembimbing sekaligus pengampu mata kuliah Tugas Akhir penulis yang telah menyediakan waktu dan pikiran untuk mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
7. Bapak M. Naufal Airlangga Diputra,S.Pd., M.P.H selaku dosen penulis.
8. Bapak Dr. Budi Sugandi, S.T., M.Eng. dan bapak Adlian Jefiza, S, Pd., M.T selaku dosen penguji.
9. Seluruh staf pengajar dan administrasi di jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Batam.
10. Ingwi Citra Hidayah selaku *partner* yang sudah membantu Tugas akhir penulis.
11. Semua pihak yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan Laporan Tugas Akhir ini masih ada kekurangan. Oleh karena itu, kritik dan saran untuk perbaikan Tugas Akhir ini sangat diperlukan. Semoga Laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi kita semua, terima kasih.

Batam 27 Juli 2024

A handwritten signature in black ink, consisting of stylized, overlapping letters and a long horizontal stroke extending to the right.

Muhammad Fadhil Al Fadri  
Nim: 4212001033

# Daftar Isi

Pernyataan Keaslian Tugas Akhir .....	iii
Lembar Pengesahan .....	iv
Abstrak .....	iii
<i>Abstract</i> .....	iv
Kata Pengantar .....	v
Daftar Isi .....	vii
Daftar Gambar .....	ix
Daftar Tabel .....	xi
Bab 1 Pendahuluan .....	1
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Rumusan Masalah .....	2
1.3. Tujuan .....	2
1.4. Manfaat .....	2
1.5. Batasan .....	2
Bab 2. Tinjauan Pustaka .....	3
2.1. Robot Exoskeleton <i>Lower Limb</i> .....	3
2.2. <i>PolyLactic Acid (PLA)</i> .....	5
2.3. <i>Software SolidWorks</i> .....	6
2.4. <i>Hot Spot Stress</i> .....	7
2.5. Retak ( <i>crack</i> ) dan Perambatan Retak .....	7
2.6. <i>Fracture Mechanics</i> .....	9
2.7. <i>Stress Intensity Factor (SIF)</i> .....	10
2.8. <i>FEM (Finite Element Method)</i> .....	12
Bab 3. Metode .....	13
3.1. Perancangan .....	13
3.2. Alat dan Bahan .....	14

Bab 4. Hasil dan Pembahasan .....	22
4.1 Hasil Pemodelan dengan metode <i>Fracture Mechanics</i> .....	22
4.2 Mendefinisikan material dalam perangkat lunak <i>Solidworks</i> .....	22
4.3 Memberikan beban eksternal .....	24
4.4 Mesh .....	24
4.5 Simulasi link pinggul min dan max material PLA.....	26
4.6 Simulasi link lutut min dan max material PLA.....	32
4.7 Simulasi link pinggul dan link lutut material Aluminium Aisi 316 Stainless Steel .....	39
4.8 Simulasi link pinggul dan link lutut min dan max material 6061 Alloy.....	45
BAB 5. Kesimpulan dan Saran .....	52
5.1 Kesimpulan .....	52
5.2 Saran.....	52
Daftar Pustaka.....	53
Biodata.....	534
Lampiran A.....	55
Analisis <i>Crack</i> Pada Robot Exoskeleton Lower Limb .....	55

## Daftar Gambar

Gambar 1. Robot Eksoskeleton Lower Limb .....	2
Gambar 2. Mekanik Robot .....	3
Gambar 3. Bagian Mekanik Robot .....	4
Gambar 4. Bagian Analisa Pada Link Pinggul .....	4
Gambar 5. Bagian Analisa Pada Link Lutut .....	5
Gambar 6. <i>SolidWorks</i> .....	6
Gambar 7. Crack Propagation .....	8
Gambar 8. Faktor Penyebab Struktur Rentan .....	9
Gambar 9. Ilustrasi Retak Semi Elipstical.....	11
Gambar 10. Grafik perbandingan $a/2c$ dan $\sigma/\sigma_s$ .....	11
Gambar 11. Diagram alir Analisis Crack pada Robot Eksoskeleton Lower Limb ....	13
Gambar 12. Alur Pengujian .....	15
Gambar 13. Alur Pengujian Pada <i>Solidworks</i> .....	16
Gambar 14. H Spesimen pemodelan link pinggul dan link lutut.....	17
Gambar 15. Pemberian Tekanan pada part pinggul dan lutut .....	19
Gambar 16. Proses mesh pada part pinggul dan lutut .....	20
Gambar 17. pemodelan link pinggul dan link lutut .....	22
Gambar 18. Spesifikasi bahan material PLA .....	23
Gambar 19. Spesifikasi bahan Aluminium .....	23
Gambar 20. Position fixtures and external loads .....	24
Gambar 21. Meshing pada spesimen link pinggul .....	25
Gambar 22. Meshing pada spesimen link lutut .....	25
Gambar 23. Hasil simulasi link pinggul beban maximum 50 kg material PLA.....	26
Gambar 24. Grafik link pinggul Material PLA beban maximum 50 kg .....	27
Gambar 25. Hasil simulasi link pinggul beban minimum 10 kg material PLA .....	27
Gambar 26. Grafik link pinggul Material PLA beban minimum 10 kg .....	28
Gambar 27. Hasil simulasi link pinggul tekanan atas beban maximum 50 kg .....	29
Gambar 28. Grafik link pinggul tekanan atas max 50 kg material PLA .....	30
Gambar 29. Hasil simulasi link pinggul tekanan atas beban minimum 10 kg .....	30
Gambar 30. Grafik link pinggul tekanan atas min 10 kg material PLA .....	31

Gambar 31. Hasil simulasi link lutut beban maximum 50 kg material PLA.....	32
Gambar 32. Grafik link lutut Material PLA beban maximum 50 kg .....	33
Gambar 33. Hasil simulasi link lutut beban minimum 10 kg material PLA .....	33
Gambar 34. Grafik link lutut Material PLA beban minimum 10 kg .....	34
Gambar 35. Hasil simulasi link lutut tekanan atas beban maximum 50 kg .....	35
Gambar 36. Grafik link lutut tekanan atas max 50 kg material PLA .....	36
Gambar 37. Hasil simulasi link lutut tekanan atas minimum 10 kg .....	36
Gambar 38. Grafik link lutut tekanan atas min 10 kg material PLA .....	37
Gambar 39. Simulasi link pinggul material Aluminium .....	39
Gambar 40. Grafik link pinggul material Aluminium .....	39
Gambar 41. Simulasi link pinggul beban maximum 1 ton atau 9806.65 Newton. 40	
Gambar 42. Grafik link pinggul beban maximum 1 ton material Aluminium .....	41
Gambar 43. Simulasi link lutut material Aluminium .....	42
Gambar 44. Grafik material Aluminium link lutut .....	42
Gambar 45. Simulasi link lutut beban maximum 1 ton atau 9806.65 Newton .....	43
Gambar 46. Grafik link lutut beban maximum 1 ton material Aluminium .....	44
Gambar 47. Simulasi link pinggul beban min 50 kg material 6061 Alloy .....	45
Gambar 48. Grafik link pinggul beban minimum 50 kg material 6061 Alloy .....	46
Gambar 49. Simulasi link pinggul beban max 400 kg material 6061 Alloy .....	46
Gambar 50. Grafik link pinggul beban maximum 400 kg material 6061 Alloy .....	47
Gambar 51. Simulasi link lutut beban min 50 kg material 6061 Alloy .....	48
Gambar 52. Grafik link lutut beban minimum 50 kg material 6061 Alloy .....	49
Gambar 53. Simulasi link lutut beban max 300 kg material 6061 Alloy .....	49
Gambar 54. Grafik link lutut beban max 300 kg material 6061 Alloy .....	50

## Daftar Tabel

Tabel 1. Karakteristik PLA .....	6
Tabel 2. Alat dan Bahan .....	14
Tabel 3. Tabel rencana pengujian Part .....	18
Tabel 4. Nilai simulasi link pinggul Beban maximum 50 Kg .....	26
Tabel 5. Nilai simulasi link pinggul Beban minimum 10 Kg .....	28
Tabel 6. Nilai simulasi link pinggul tekanan atas beban maximum 50 Kg .....	29
Tabel 7. Nilai simulasi link pinggul tekanan atas beban minimum 10 Kg .....	31
Tabel 8. Nilai simulasi link lutut beban maximum 50 kg .....	32
Tabel 9. Nilai simulasi link lutut beban minimum 10 Kg .....	34
Tabel 10. Nilai simulasi link lutut tekanan atas beban maximum 50 Kg .....	35
Tabel 11. Nilai simulasi link lutut tekanan atas beban minimum 10 Kg .....	37
Tabel 12. Hasil Nilai material Aluminium link pinggul 120 kg .....	40
Tabel 13. Hasil Nilai material Aluminium link pinggul 1 ton .....	41
Tabel 14. Hasil Nilai material Aluminium link lutut 120 Kg .....	43
Tabel 15. Hasil Nilai material Aluminium link lutut 1 ton .....	44
Tabel 16. Hasil Nilai material 6061 Alloy pinggul min beban 50 kg .....	45
Tabel 17. Hasil Nilai material 6061 Alloy pinggul max beban 400 kg .....	47
Tabel 18. Hasil Nilai material 6061 Alloy lutut beban min 50 kg .....	48
Tabel 19. Hasil Nilai material 6061 Alloy lutut beban max 300 kg .....	50

# Bab 1 Pendahuluan

## 1.1. Latar Belakang

Dapat dilihat dari keadaan sekarang kebutuhan manusia dalam berjalan ataupun bergerak merupakan salah satu hal yang dasar. setiap manusia memerlukannya karena pada hakikatnya manusia adalah makhluk yang memerlukan gerak dan berpindah tempat. Aktivitas pergerakan manusia sangat diperlukan dalam menunjang kegiatan sehari-hari. Pada kenyataannya manusia sering mengalami intensitas dalam berjalan dapat menyebabkan kelelahan yang mengakibatkan kehilangan kemampuan berjalan, ataupun bisa disebabkan oleh berbagai macam penyakit lainnya.

Untuk mengatasi masalah pada alat bantu jalan, maka dibutuhkan suatu bantuan sistem robotik yang dapat memudahkan pasien dalam rehabilitasi yaitu Robot Exoskeleton Lower limb yang dibuat dengan tujuan membantu proses rehabilitasi bagi manusia yang kehilangan kemampuan berjalan akibat stroke, cedera tulang belakang, patah kaki dan sebagainya. robot ini terdiri dari link ke pinggul, dan lutut yang terhubung ke setiap sendi. Dalam pengembangan ini kami mengembangkan robot Exoskeleton Lower Limb seringan mungkin sehingga pengguna merasa lebih nyaman dan bergerak bebas tanpa beban tambahan. Analisis pada struktur ini perlu dilakukan karena sering terjadi *crack* (keretakan) pada material robot tersebut. [1]

Robot Exoskeleton Lower Limb dibuat dari material yang berjenis hollow iron yang berbahan baja ringan dan aluminium sebagai lapisan luarnya, dan Polylactid Acid (PLA) Filament yang dilelehkan di mesin 3D printing sehingga dapat membentuk suatu objek. Pada robot tersebut sering terjadi crack atau keretakan pada materialnya, Dalam penerapannya agar robot bisa berjalan dengan kokoh sesuai langkah manusia diperlukan material yang lebih tepat.

Kegagalan yang disebabkan oleh kelelahan material sangat membahayakan karena kelelahan bisa mengakibatkan patah yang terjadi tanpa diawali deformasi pada material tersebut. Oleh karena itu tidak terdeteksi secara visual. Beberapa hal yang dapat mengakibatkan kelelahan pada material lebih cepat, yaitu beban maksimum yang cukup tinggi dan siklus penerapan tegangan yang cukup besar. Variabel lain yang dapat mempercepat kelelahan ialah konsentrasi tegangan, korosi, suhu, tegangan sisa dan geometri dari kerangka mekanisme robot itu sendiri. [2]

Berdasarkan mekanisme pada robot Exoskeleton Lower Limb ini dilakukan analisis menggunakan metode FEM (*Finite Element Method*) untuk menguji bagian mekanisme robot yang mengalami *crack* (keretakan). [3]

## 1.2. Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dalam pembuatan tugas akhir tersebut adalah :

1. Bagaimana mendapatkan nilai *stress intensity factor* (SIF) pada mekanik Robot?
2. Bagaimana cara menentukan sebuah material yang tepat pada mekanik robot?
3. Berapa nilai *Equivalent Von-Misses Stress* pada mekanik Robot?

## 1.3. Tujuan

Adapun tujuan dari penyusunan tugas akhir tersebut adalah :

1. Memodelkan nilai *stress intensity factor* (SIF) pada mekanik Robot.
2. Membandingkan nilai *Stress Intensity Factor* (SIF) pada mekanik Robot.
3. Mendapatkan nilai *Equivalent Von-Misses Stress*.

## 1.4. Manfaat

Adapun manfaat dari penyusunan tugas akhir tersebut adalah :

1. Dapat mengetahui nilai *crack* dari SIF (*Stress Intensity Factor*) pada mekanik Robot.
2. Dapat mengetahui material yang tepat jika diberi tekanan pada mekanik robot.
3. Mengetahui Nilai *Equivalent Von-Misses Stress* berdasarkan tekanan yang diberikan.

## 1.5. Batasan

Adapun batasan masalah dalam penyusunan tugas akhir tersebut adalah :

1. Menganalisis hanya pada struktur Robot Exoskeleton Lower Limb pada bagian link pinggul dan lutut yang terbuat dari material PLA dan Aluminium.
2. Menganalisis hanya pada bagian mekanisme Robot Exoskeleton Lower Limb.
3. Menganalisis nilai *stress intensity factor* (SIF) hanya menggunakan *software Solid Works*.
4. Menganalisis nilai *Stress Von Mises* hanya menggunakan *software Solid Works*.
5. Menganalisis perhitungan dan hasil nilai simulasi hanya menggunakan *software Solid Works*.

## Bab 2. Tinjauan Pustaka

### 2.1. Robot Exoskeleton *Lower Limb*

#### 2.1.1 Pengertian Robot Exoskeleton *Lower Limb*

Robot Exoskeleton Lower Limb adalah sebuah robot rehabilitasi yang dibuat dengan tujuan membantu proses rehabilitasi bagi manusia yang kehilangan kemampuan berjalan akibat stroke, cedera tulang belakang, patah kaki dan sebagainya. Gambar 1 adalah Robot Exoskeleton *Lower Limb*, design robot exoskeleton yang dibuat khusus untuk pengguna agar seringan mungkin dalam berjalan menggunakan exoskeleton. [4]



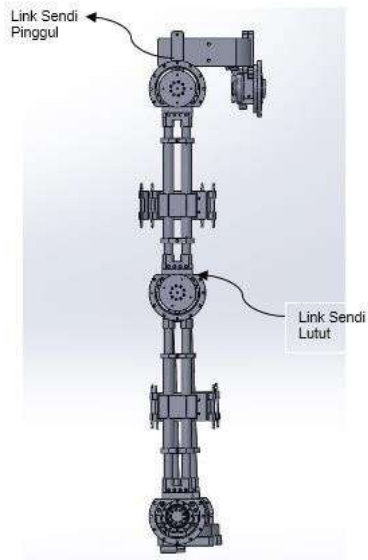
**Gambar 1. Robot Exoskeleton Lower Limb**

#### 2.1.2 Bagian analisis pada Robot Exoskeleton *Lower Limb*

##### 1. Mekanik Robot



**Gambar 2. Mekanik Robot perspektif tampak depan**



**Gambar 3. Bagian Mekanik Robot perspektif tampak samping**



**Gambar 4. Bagian Analisis pada Link Pinggul**



**Gambar 5. Bagian Analisis pada Link Lutut**

Adapun beberapa bagian mekanik pada robot exoskeleton *lower limb*, antara lain adalah:

1. Link sendi pinggang (Pergerakan sendi pinggang)
2. Link sendi lutut (Pergerakan sendi lutut)

Cara kerja pada bagian mekanik robot ini adalah Exoskeleton ini merehabilitasi sendi pinggul dan lutut. Untuk pengguna agar tidak merasa berat dalam berjalan menggunakan exoskeleton, maka motor tersebut akan ditempatkan pada kedudukan tiang besi treadmill sehingga untuk menggerakkan joint tersebut dibantu sling kabel yang menempel di setiap pulley nya, dengan besi carbon yang ringan pada bagian link paha dan link lutut fungsi pulley untuk menarik sling kabel. agar mengurangi resiko terjadinya kecelakaan dalam pemakaian robot exoskeleton.

## **2.2. PolyLactic Acid (PLA)**

*PolyLactic Acid* (PLA) adalah polimer dari asam laktat yang bersifat dapat terurai secara hayati dan dapat diproses menjadi plastik kemasan. PLA memiliki bahan yang baik dan dapat sepenuhnya terdegradasi oleh mikroorganisme di alam setelah digunakan dan memiliki sifat mekanik dan fisik yang baik. Plastik yang paling banyak digunakan dalam pencetakan 3D Titik lelehnya yang rendah, kekuatan tinggi, ekspansi termal rendah, adhesi lapisan yang baik, dan ketahanan panas yang tinggi saat proses melibatkan pemanasan dan pendinginan menjadikannya bahan yang ideal.

PLA memiliki cakupan pemakaian yang cukup luas. Pemakaiannya meliputi pembuatan perabot-perabot, komputer, gagang telepon dan kebutuhan peralatan kantor lain, cover pelindung mesin potong rumput, cangkang bagasi/tas barang, dan pipa. Oleh karena itu material tersebut dapat di gunakan secara efektif untuk menambahkan lapisan, maka PLA banyak digunakan untuk interior bagian dalam atau luar kendaraan atau perlengkapan otomotif lainnya. [5]

Secara umum ABS memiliki karakteristik sebagai berikut:

**Tabel 1 Karakteristik PLA [6]**

Properti	Nilai
Kepadatan (g/cm <sup>3</sup> )	1.27
Kekuatan Tarik (MPa)	59
Perpanjangan Istirahat (%)	7
Modulus Elastis (MPa)	3500
Modulus Geser (MPa)	1287
Kekuatan Lentur (MPa)	106
Kekerasan Rockwell (HRA)	88
Suhu Transisi Kaca (°C)	55
Titik Leleh PLA (°C)	165

Sumber: dspace.mit.edu

### 2.3. Software SolidWorks

*Solidworks* adalah *software CAD (Computer Aided Design)* dan *CAE (Computer Aided Engineering)* yang berfungsi untuk melakukan pemodelan 3D dan simulasi engineering. *Solidworks* digunakan untuk merancang part permesinan atau susunan part permesinan berupa assembling dengan tampilan 3D untuk merepresentasikan part sebelum part aslinya dibuat atau ditampilkan dalam tampilan 2D (drawing).



**Gambar 6. Solidworks**

*Solidworks* merupakan *computer aided engineering (CAE)* atau salah satu *software* berbasis *finite element method (FEM)* yang digunakan untuk *design* dan analisis dalam bidang *engineering* dan rekayasa. *Solidworks* dapat melakukan beberapa macam tipe simulasi yang berbeda seperti: struktural, mekanika fluida, analisa elektromagnetik, dan lain-lain atau bahkan gabungan analisis seperti panas dengan struktur. [7]

*Solidworks* menunjukkan tingkat reliabilitas yang baik dan pemrograman untuk mengadaptasi penyelesaian masalah mekanika patahan yang praktis untuk *engineer*. Ini menunjukkan bahwa kredibilitas dari *software* dapat digunakan pada penelitian ini yaitu analisis *crack* pada Robot Exoskeleton *Lower Limb*.

## 2.4. Hot Spot Stress

Hot Spot Stress adalah lokasi pada suatu sambungan (tubular) dimana terjadi tegangan tarik / tekan maksimum. Hot Spot Stress dapat mengakibatkan kelelahan pada struktur semakin cepat. Secara umum juga dapat diidentifikasi ada tiga tipe tegangan dasar yang menyebabkan adanya *hot spot stress*:

- A. Tipe A, disebabkan oleh gaya-gaya aksial dan momen-momen yang merupakan hasil dari kombinasi frame.
- B. Tipe B, disebabkan detail-detail sambungan struktur seperti geometri sambungan yang kurang memadai, variasi kekakuan yang bervariasi di sambungan dan lain-lain.
- C. Tipe C, disebabkan oleh faktor metalurgis yang dihasilkan dan kesalahan pengelasan seperti *undercut*, *porosity* dan lain-lain.

Hot Spot Stress juga biasa terjadi pada daerah yang mudah retak (*crack*) dengan tekanan yang diberikan mengenai struktur sehingga masa operasinya maka retak (*crack*) ini akan mengalami perambatan pada titik yang menyebabkan kegagalan pada struktur mekanik robot. [8]

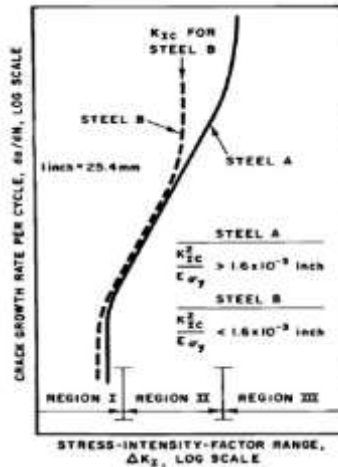
## 2.5. Retak (*crack*) dan Perambatan Retak

Retak merupakan salah satu cacat yang dapat terjadi pada saat pengelasan berlangsung. Retak menjadi faktor utama terjadinya kegagalan struktur. Kegagalan terjadi saat retak mengalami beban siklis yang membuat retak berubah ukuran hingga mencapai ukuran tertentu dan menyebabkan kepecahan. Retak yang menyebabkan kepecahan terjadi dalam beberapa tahap, antara lain:

1. Retak awal (*initial crack*)

Retak merupakan salah satu cacat yang terjadi pada struktur. Cacat pada struktur dapat terjadi pada saat fabrikasi maupun saat masa operasi struktur. Pada saat fabrikasi, cacat las dapat disebabkan oleh macam hal seperti kualitas welder, temperatur, arus, kualitas material, maupun faktor lingkungan. Sedangkan pada saat masa operasi, cacat terjadi karena kelelahan struktur maupun fluktuasi tegangan pada bagian yang telah mengalami korosi.

2. Perambatan retak (*crack propagation*)  
Kecepatan perambatan retak pada struktur dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain:
  - a. Ketipisan Struktur
  - b. Beban yang mengenai struktur
  - c. Tipe Material
  - d. Kondisi lingkungan, suhu temperatur, dan lain-lain.



**Gambar 7. Crack Propagation**

3. Kepecahan  
Menurut Broek [9], kepecahan dibagi menjadi dua antara lain:
  - a. *Cleavage* (terbelah), merupakan keretakan yang terjadi tanpa didahului deformasi plastis disebut juga dengan *brittle fracture*.
  - b. *Rupture* (runtuh), merupakan keretakan yang didahului deformasi plastis pada material.
 Kepecahan terjadi apabila suatu struktur yang terdapat retak mengalami perambatan retak yang tidak stabil dan sangat cepat (*fast fracture*).

## 2.6. Fracture Mechanics

Mekanika fraktur (FM) adalah suatu metode untuk memprediksi kegagalan pada suatu struktur yang memiliki suatu keretakan. Mekanika fraktur menggunakan metode mekanika analitis benda padat untuk mengkalkulasi daya penggerak pada suatu retakan dan merupakan percobaan mekanika benda padat untuk menandai gaya pembalasan material untuk mematahkan.

Berikut Informasi diperlukan untuk meprediksi mekanika fraktur (FM):

1. Beban yang diterapkan.
2. Tekanan bersifat sisa.
3. Bentuk dan ukuran tiap bagian.
4. Ukuran, bentuk, penempatan, dan orientasi retakan.

Pada umumnya tidak semua informasi ini ada dan asumsi konservatif harus dibuat. Faktor intensitas tegangan (SIF) digunakan pada mekanik fraktur (FM) untuk menyatakan tegangan (*Stress Intensity*) pada ujung keretakan yang disebabkan sebuah pembebanan yang kecil.



(b) The fracture mechanics approach

**Gambar 8. Faktor Penyebab Struktur Rentan [9]**

Gambar 6 menjelaskan mengapa faktor-faktor penyebab suatu struktur rentan terhadap kegagalan, antara lain:

1. *Flaw Size* (a)

Kegagalan struktur dapat terjadi akibat adanya berbagai macam diskontinuitas (*porosity, lack of fusion, to crack*, dan lain-lain).

2. *Applied Stress* ( □)

Tegangan yang terjadi pada struktur yang berhubungan dengan fluktuasi tegangan, konsentrasi tegangan dan pembebanan.

3. *Fracture toughness* (K)

*Fracture toughness* merupakan sifat pada material yang memiliki *crack* untuk dapat bertahan dari kegagalan. Apabila suatu material memiliki

*fracture toughness* yang tinggi maka material tersebut akan mengalami *ductile fracture*.

Metode mekanika kepecahan (*fracture mechanics*) bertujuan untuk :

1. Menentukan kekuatan umur sisa struktur sebagai fungsi ukuran retak.
2. Menentukan ukuran retak yang diterima struktur.
3. Menentukan waktu yang dibutuhkan bagi retak untuk merambat hingga mencapai ukuran kritisnya.
4. Menentukan ukuran retak yang mungkin terjadi pada struktur pada masa awal operasinya.
5. Menentukan jadwal inspeksi retak pada struktur.

## 2.7. Stress Intensity Factor (SIF)

*Stress intensity factor* merupakan perhitungan matematik yang berkaitan dengan beban dan ukuran cacat pada geometri tertentu. *Stress intensity factor* (SIF) digunakan untuk menganalisis medan tegangan di depan ujung retak. Prinsip dasar *fracture mechanics* ialah medan tegangan di depan ujung retak dari sebuah spesimen atau member struktur dapat dikarakteristikkan menggunakan satu parameter yaitu *stress intensity factor* (KI) [9].

Persamaan 2.1 merupakan persamaan umum untuk *stress intensity factor* sebagai berikut:

$$K = \sigma_{nom} \sqrt{\pi a} f(g) \quad (2.1)$$

Keterangan:

$K$  = *stress intensity factor* (ksi $\sqrt{\text{in}}$ )

$A$  = kedalaman retak awal  $\sigma_{nom}$  = tegangan nominal  $f(g)$  = fungsi koreksi terhadap dimensi dan geometri serta posisi retak.

Persamaan SIF (*Stress Intensity Factor*) untuk retak berbentuk *semi elliptical* pada suatu pelat atau spesimen yang mengalami pembebanan (beban tarik) dihitung melalui persamaan SIF dimana nilai  $\beta = \pi/2$  (*semi elliptical*) yaitu:

$$K_1 = 1.12 \sigma \sqrt{\pi \frac{a}{Q}} \cdot M_K \quad (2.2)$$

Dimana:

A = kedalaman retak

$\sigma$  = tegangan pada lokasin retak Q =

Faktor koreksi *front free surface*

$M_K$  = Faktor koreksi *back free surface*

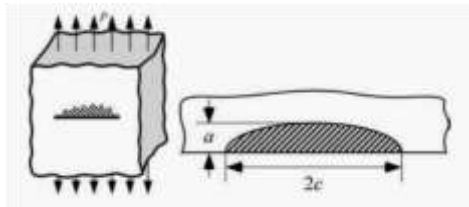
Nilai  $K_1$  sangat bergantung pada dimensi, penentuan faktor *back free surface* menggunakan persamaan berikut:

$$M_K = 1.0 + 1.2 \left( \frac{a}{t} - 0.5 \right) \quad (2.3)$$

Dimana:

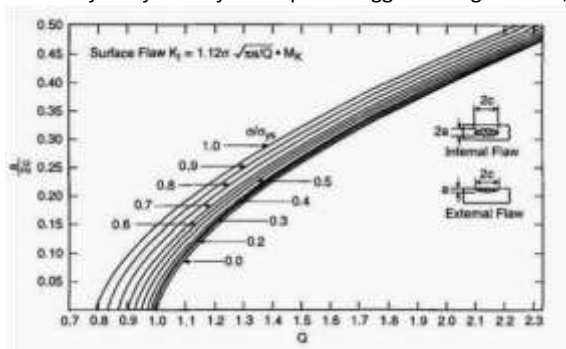
$K_1$  = *Stress Intensity Factor* t

= Ketebalan material



**Gambar 9. Ilustrasi retak semi eliptical Sumber: Anderson, 2005**

Untuk faktor koreksi *front free surface* dapat menggunakan gambar 8, berikut:



**Gambar 10. Grafik perbandingan a/2c dan  $\sigma/\sigma_{ys}$**

SIF sering digunakan sebagai parameter desain untuk menentukan sifat dari proses kepecahan dan dapat digunakan untuk menentukan umur sisa dari struktur

yang mengalami kerusakan akibat kelelahan. Dengan adanya SIF, nantinya dapat juga diketahui bagaimana tingkat kelelahan perambatan retak. Retak ini terbentuk akibat adanya tegangan geser luar yang bekerja pada arah melintang dan membentuk sudut dengan arah perambatan retak.

## **2.8. FEM (*Finite Element Method*)**

Metode elemen hingga merupakan prosedur numerik yang dapat digunakan untuk menyelesaikan masalah-masalah dalam bidang rekayasa seperti analisis tegangan pada struktur, frekuensi dan *mode shape*, perpindahan panas, elektromagnetik, serta aliran fluida. [9]

Konsep dasar dari metode elemen hingga adalah menyelesaikan suatu masalah dengan cara membagi suatu objek (spesimen) menjadi bagian-bagian kecil yang terhingga. Bagian-bagian kecil ini kemudian dianalisis dan hasilnya digabungkan kembali agar mendapatkan penyelesaian untuk keseluruhan objek (spesimen). Bagian-bagian kecil disebut dengan elemen dan tiap elemen dihubungkan dengan nodal (*node*).

Secara umum langkah-langkah dalam metode elemen hingga dapat diringkas sebagai berikut:

1. Membagi objek (spesimen) analisis menjadi elemen-elemen kecil.
2. Menentukan fungsi deformasi.
3. Menentukan persamaan hubungan antara regangan dan deformasi serta antara tegangan dengan regangan.
4. Menentukan matrik persamaan dan kekakuan elemen.
5. Penggabungan persamaan elemen menjadi persamaan global.
6. Menyelesaikan persamaan derajat kebebasan yang belum diketahui.
7. Penyelesaian regangan dan tegangan elemen.
8. Interpretasi hasil.

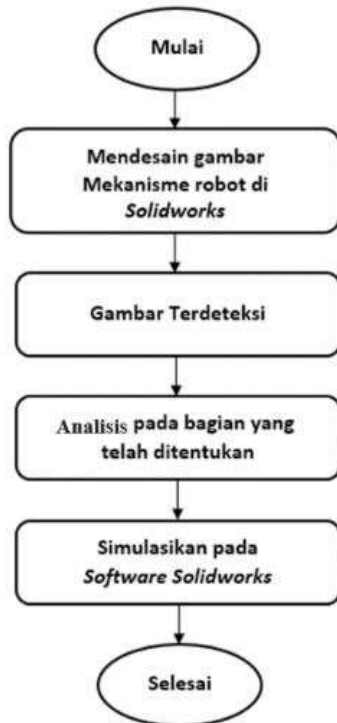
Di dalam metode elemen hingga terdapat beberapa hal yang perlu diketahui dan dipahami sebelum memulai pemodelan, salah satunya adalah jenis elemen. Penentuan jenis elemen harus disesuaikan dengan kondisi spesimen, pada kasus pemodelan dengan mekanika struktural terdapat dua jenis elemen yang biasanya banyak digunakan di antaranya jenis elemen tetrahedral dan elemen *hexdra* dan dapat kriteria khusus di antaranya: jenis linier maupun jenis *quadratic*, keduanya hal ini berbeda dalam jumlah node yang dimiliki. Pada jenis linier, letak node terletak bagian/ujung sudut saja sedangkan pada jenis *quadratic* ada tambahan node pada bagian tengah elemen.

## Bab 3. Metode

### 3.1. Perancangan

Dalam perancangan “Analisa Crack pada Robot Exoskeleton Lower Limb” memiliki beberapa tahap seperti blok diagram, menganalisis menggunakan *Finite Element*, desain dan simulasi visualnya menggunakan Software Solidwork.

Perancangan Diagram Alir Analisa Crack pada Robot Exoskeleton Lower Limb. dapat di lihat pada Gambar 11.



Gambar 11. Diagram alir Analisis Crack pada Robot Exoskeleton Lower Limb

### 3.2. Alat dan Bahan

Adapun dalam pengerjaan tugas akhir tersebut, dibutuhkan alat dan lokasi untuk pengerjaannya. Adapun lokasi dan alat yang akan dijelaskan sebagai berikut:

1. Lokasi
  - a. Lokasi pengerjaan tugas akhir tersebut ada 2 yaitu, lokasi Politeknik Negeri Batam dan pengujian dirumah penulis.
2. Alat

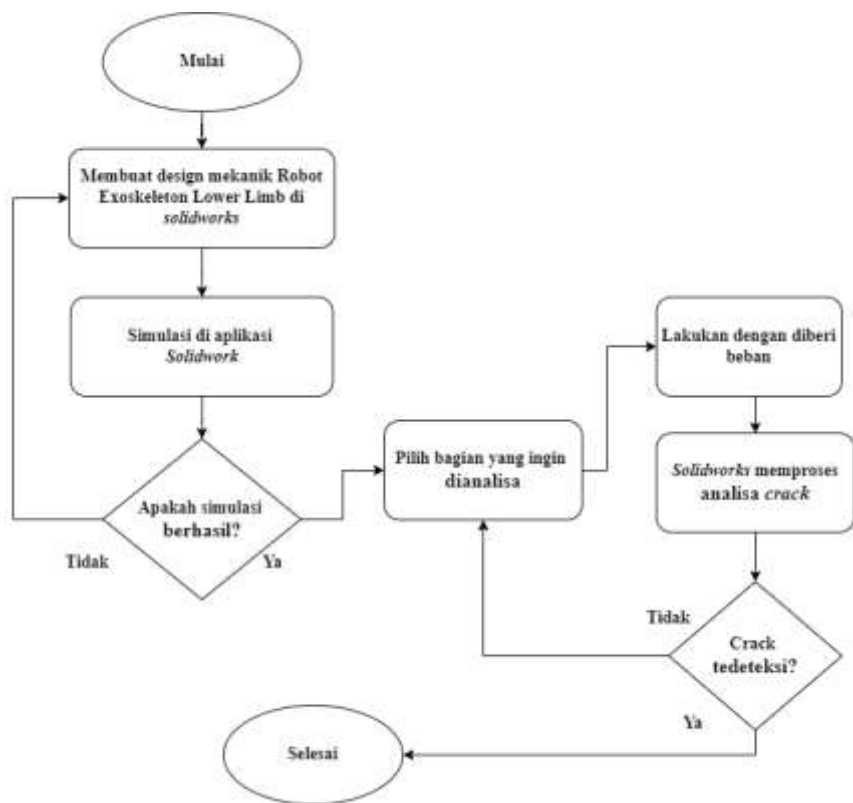
Alat yang dibutuhkan penulis di rumah dalam mendesain tugas akhir tersebut yaitu menggunakan PC atau Laptop yang di dalamnya sudah ada aplikasi *software Microsoft Word*. Lalu terdapat juga *software Solidwork* dapat mendesain mekanisme Robot dan menggunakan simulasinya.

**Tabel 2. Alat dan Bahan**

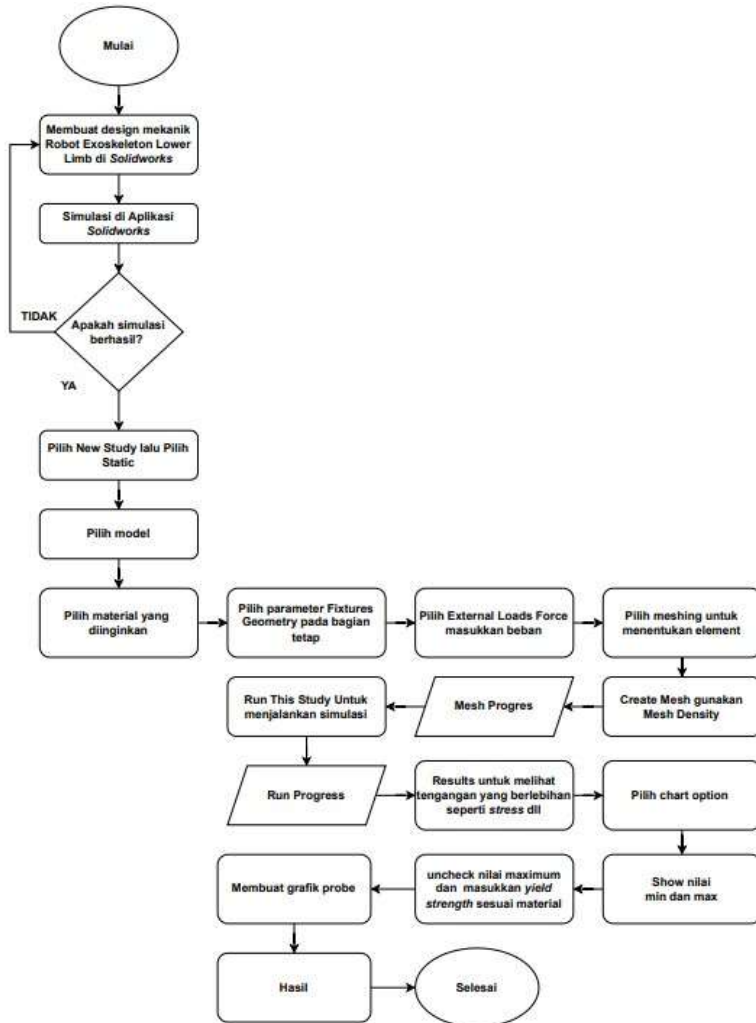
No.	Alat/bahan	Jumlah	Fungsi
1	Laptop	1	Untuk melakukan jalannya Aplikasi
2	<i>Software Solidwork 2020</i>	1	Desain dan Simulasi mekanisme Robot
3	Robot Exoskeleton Lower Limb	1	Objek yang akan digunakan yaitu bagian mekanisme disetiap ling kaki
4.	<i>Software Microsoft Word</i>	1	Untuk penyusunan laporan tugas akhir

### 3.3. Pengujian

Metodologi tugas akhir ini yaitu dimulai dengan membuat gambar pada aplikasi *Solidwork* untuk menjalankan analisis sebagai validitas dari sebuah desain. Ada beberapa tahapan yaitu membuat rancangan mekanisme robot pada *Solidwork*. Setelah rancangan sukses dan terdeteksi pada *Solidwork* dan bisa dijalankan maka selanjutnya memilih bagian yang akan di analisis. Setelah memilih bagian yang di analisis, selanjutnya dilakukan pengujian dengan diberi pembebanan atau tekanan pada bagian tersebut dan kemudian akan tampil hasilnya.



Gambar 12. Alur Pengujian

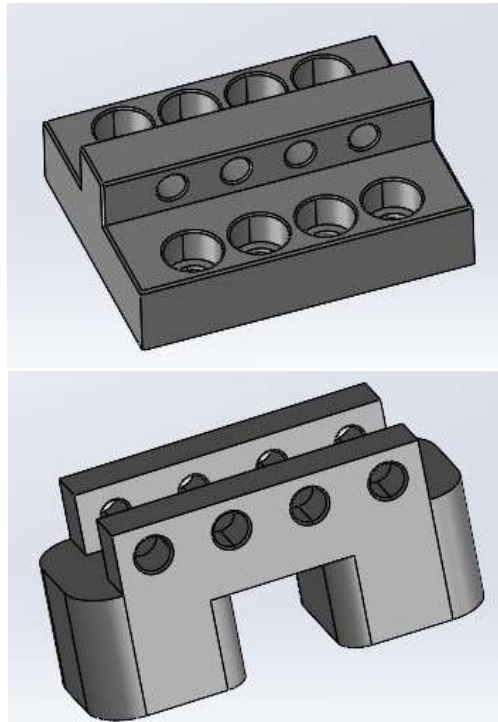


Gambar 13. Alur Pengujian Pada Solidworks

**Pendekatan dengan menggunakan metode Fracture Mechanics.**

1. Pemodelan spesimen analisis



Dalam tahap ini dilakukan pemodelan spesimen, dimulai dengan pembuatan ditampilkan spesimen dengan memasukkan data geometri yang telah ada seperti di tampilkan pada Gambar 14 berikut:



**Gambar 14. Spesimen pemodelan link pinggul dan link lutut**

Berikut tabel spesifikasi yang disimulasikan pada mekanik robot Exoskeleton Lower Limb di bagian link pinggul dan link lutut.

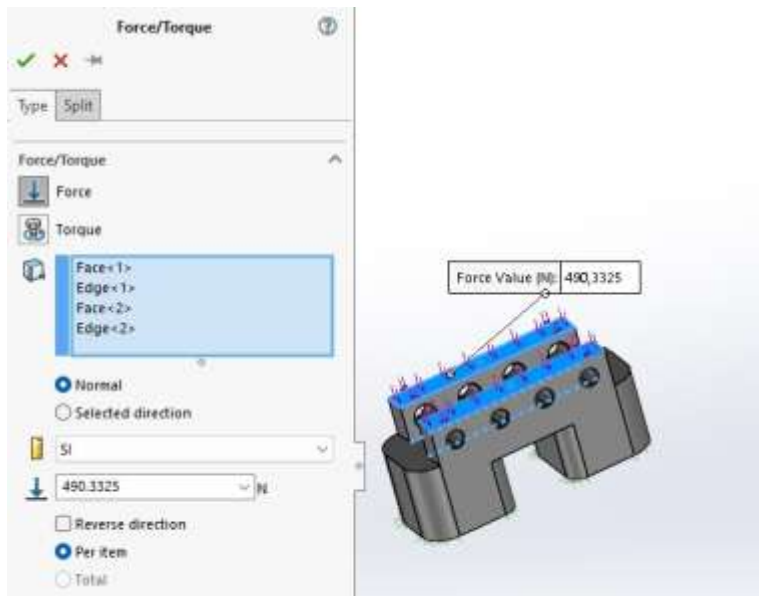
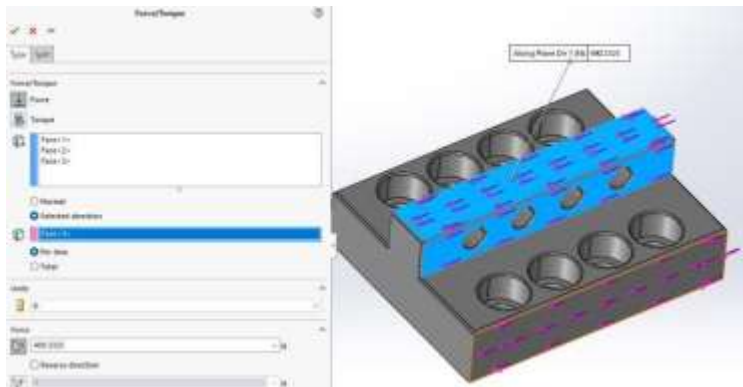
Tabel 3. Tabel rencana pengujian part

Part	Material	Beban
	Plastic/Aluminium	plastic 50/80kg Aluminium 120 kg/1 ton 6061 Alloy 50 kg/400 kg
	Plastic/Aluminium	plastic 50/80kg Aluminium 120kg/1 ton 6061 Alloy 50 kg/400 kg

2. Pemberian tekanan dan kondisi batas langkah selanjutnya adalah dengan memasukkan nilai tekanan (*Pressure*) dengan di antaranya nilai 50-80 kg dan kondisi batas pada part robot, dan memperoleh hasil di antaranya:

- a. Total *Deformation*
- b. *Max. Principal Stress*

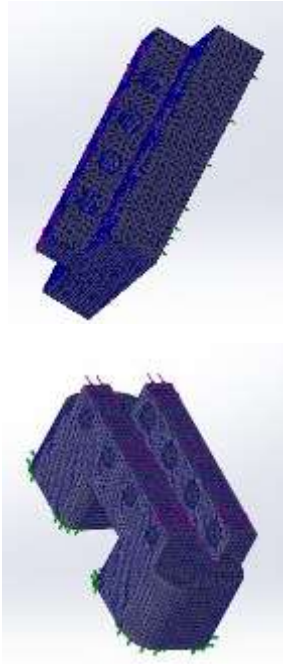
Nilai *Max. Principal Stress* yang diperoleh pada tahap ini yaitu dengan menjadi indikasi retak awal atau *crack initiation* dan letak terjadinya *crack*.



**Gambar 15. Pemberian Tekanan pada part pinggul dan lutut**

### 3. Proses Mesh

Untuk langkah selanjutnya yaitu melakukan meshing pada spesimen dengan perbedaan ukuran mesh yang digunakan, Pada umumnya langkah mesh pada metode *fracture mechanics* adalah ukuran (size) pada daerah part link pinggul dan link lutut tersebut.



**Gambar 16. Proses mesh pada part pinggul dan lutut**

### 4. Variabel yang diperoleh

Hasil akhir pada pemodelan dengan *semi elliptical crack* memiliki data yang akan dibutuhkan dalam tugas akhir ini yaitu:

- a. *Equivalent Stress (von-misses)*
- b. *Displacement*
- c. *strain*
- d. *SIF (Stress Intensity Factor)*

5. *Equivalent Stress (Von-misses)*

Von mises stress adalah tegangan yang nilainya didapat dari teori kegagalan karena energi distorsi. Jika nilai von mises stress melebihi tegangan luluh dari material, maka desain akan mengalami kegagalan. Pada simulasi tegangan, dari hasil analisis von mises tersebut dapat diketahui dengan melihat perubahan warna yg terjadi dimana warna merah menunjukkan tekanan yang terbesar, warna biru adalah terkecil. Sedangkan area dengan tekanan sedang adalah area dengan warna kuning, hijau, biru muda. [10]

6. *Displacement*

Deformasi (displacement) merupakan proses perubahan bentuk atau distorsi pada suatu komponen yang terjadi akibat beban atau tekanan. Deformasi merupakan salah satu indikator untuk mengetahui kekuatan material. Semakin kuat suatu material, maka nilai deformasi yang dihasilkan dari proses pembebanan semakin kecil. Semakin lemah suatu material, maka nilai deformasi yang dihasilkan dari proses pembebanan semakin besar. [10]

7. *Strain*

Merupakan jenis deformasi yang bergantung pada sifat elastisitas benda, antara lain tegangan (*stress*) dan regangan (*strain*). Tegangan menunjukkan kekuatan gaya yang menyebabkan perubahan bentuk benda. Regangan merupakan ukuran mengenai seberapa jauh part tersebut berubah bentuk.

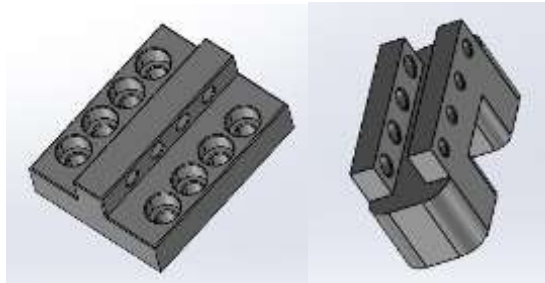
8. *SIF (Stress Intensity Factor)*

Merupakan Nilai faktor keamanan yang penting untuk menjaga ketika sistem menerima beban diluar dari perhitungan. Tujuannya adalah agar rancangan yang telah dibuat tidak gagal saat mengalami keadaan tersebut. dalam menentukan kualitas suatu produk Patokannya, jika nilai minimal kurang dari 1, maka produk tersebut kualitasnya jelek, tidak aman untuk digunakan, cenderung membahayakan, sebaliknya juga nilai lebih dari 1 (biasanya antara 1 – 3) maka produk tersebut berkualitas baik, aman dan layak digunakan. [10]

## Bab 4. Hasil dan Pembahasan

### 4.1 Hasil Pemodelan dengan metode *Fracture Mechanics*

Pemodelan struktur mekanik robot pada dalam tugas akhir ini dimodelkan dengan *software solidworks*. Design yang dibuat pada *Solidworks* ini terdiri dari ling pinggul dan ling lutut, Pada bagian Ling piunggul dan ling lutut untuk digunakan dalam simulasi ini memuatkan hasil nilai-nilai analisis pada *Solidworks*.



**Gambar 17.** pemodelan link pinggul dan link lutut

Simulasi *Stress Analysis* dilakukan untuk mendapatkan hasil dari pembebanan statis berupa  $\sigma$  (tegangan) dan SF (Safety Factor). Dalam proses simulasi ini dilakukan untuk mengetahui keberhasilan desain yang telah dibuat dan menentukan material yang tepat.

### 4.2 Mendefinisikan material dalam perangkat lunak *Solidworks*

Material yang digunakan adalah PLA dan Aluminium dengan desain yang sudah ditentukan. Gambar 18 dan 19 adalah spesifikasi dari material PLA dan Aluminium pada perangkat lunak *Solidworks*.



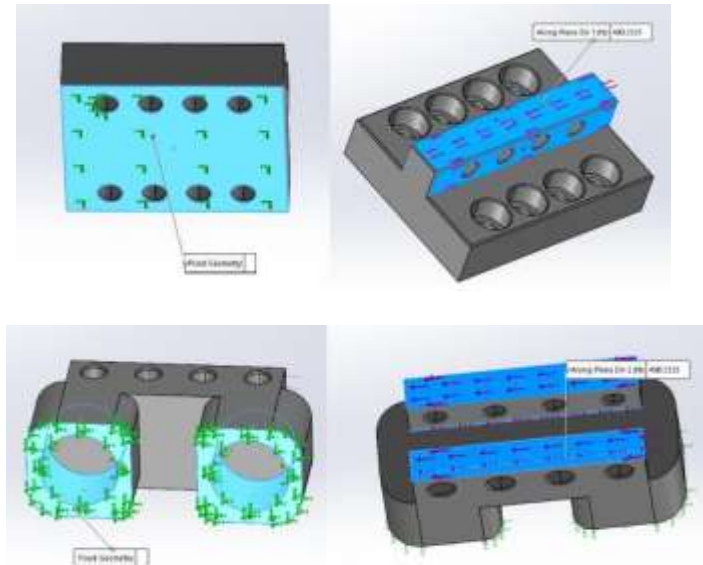
Gambar 18. Spesifikasi material PLA



Gambar 19. Spesifikasi Material Aluminium

### 4.3 Memberikan beban eksternal

Beban yang diberikan pada part link pinggul dan lutut yaitu sebesar 50 kg – 80 kg atau 490.3325 N - 784.532 N, Dimana sebagai beban atau gaya tarik yang diberikan pada objek yang sedang diuji. bagian yang diuji dan arah pembebanan tarik (beban eksternal) dimana part link pinggul mengunci dibagian tengah di bawah lubang baut dan link lutut mengunci di sela lubang baut dapat di lihat pada gambar 20.



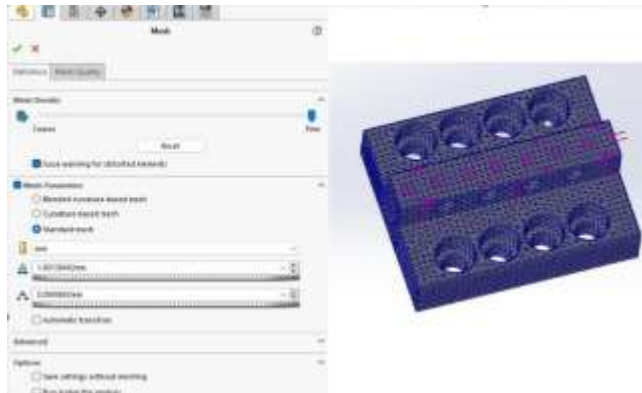
Gambar 20. Position fixtures and external loads

### 4.4 Mesh

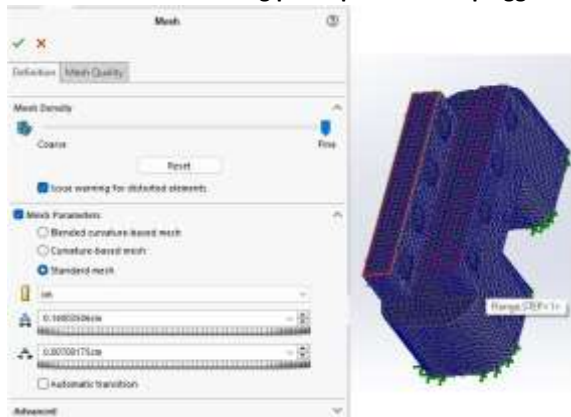
Meshing adalah pembagian satu atau beberapa bagian menjadi elemen dan node. Prinsip dari FEM adalah membagi model objek menjadi banyak sel kecil dengan bentuk yang sederhana, yang digunakan untuk memodelkan geometri objek seakurat mungkin. Sel-sel kecil ini disebut *Finite Elements* (FE) atau elemen elemen. Sel-sel ini terhubung satu sama lain pada titik-titik yang disebut node.

Proses mengubah model objek menjadi model FE disebut meshing, dan ini merupakan langkah penting dalam alur kerja FE. Perangkat lunak *SolidWorks* mampu merumuskan sejumlah persamaan aljabar sendiri, (menyatukannya dalam satu matriks persamaan melalui hubungan antara elemen, material properti objek, pengekangan dan

beban.) jadi, ketelitian sangat dibutuhkan dalam pembuatan mesh dan untuk mengevaluasi kualitasnya. (Hasil akhirnya memberikan data yang berbeda untuk tegangan, regangan, suhu untuk setiap (FE) *Finite Elements*.) Oleh karena itu, keakuratan mesh sangat mempengaruhi keakuratan solusi akhir pada proses meshing. Penelitian ini menggunakan standar mesh seperti yang ditunjukkan pada gambar 21 dan gambar 22.



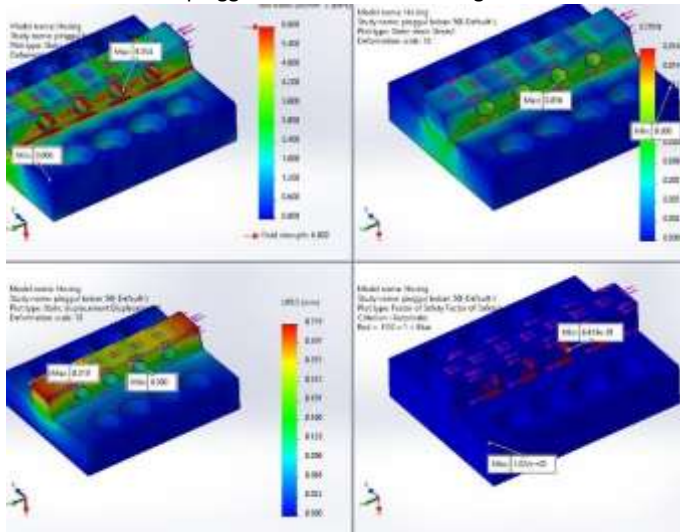
**Gambar 21. Meshing pada spesimen link pinggul**



**Gambar 22. Meshing pada spesimen link lutut**

## 4.5 Simulasi link pinggul min dan max material PLA

- 1) Hasil simulasi link pinggul beban maximum 50 kg atau 490.3325 Newton



**Gambar 23.** Hasil simulasi link pinggul beban maximum 50 kg material PLA

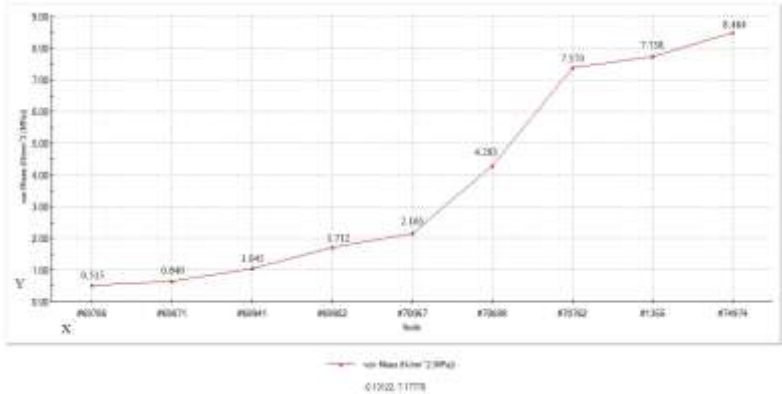
Uji simulasi menggunakan material PLA pada link pinggul dengan berat 70 gram dan di beri beban 50 kg atau 490.3325 Newton, untuk menentukan hasil simulasi pada material PLA yang dimana area crack terdapat pada bagian tengah di bawah lubang baut. Pada simulasi beban 50 kg menyatakan bahwa part sudah mengalami crack/patah yang dimana part tersebut tidak mampu menahan beban, jadi penulis tidak melakukan simulasi beban 60 kg – 80 kg.

**Tabel 4.** Nilai simulasi link pinggul beban maximum 50 Kg

Nilai Min	Nilai Max	Type
0.006 Mpa	9.354 Mpa	<i>Von Mises Stress</i>
0.000 Mpa	0.319 Mpa	<i>Displacement</i>
0.000 Mpa	0.016 Mpa	<i>Strain</i>
6.414e-01 Mpa	1.022e+03 Mpa	<i>Factor of Safety</i>

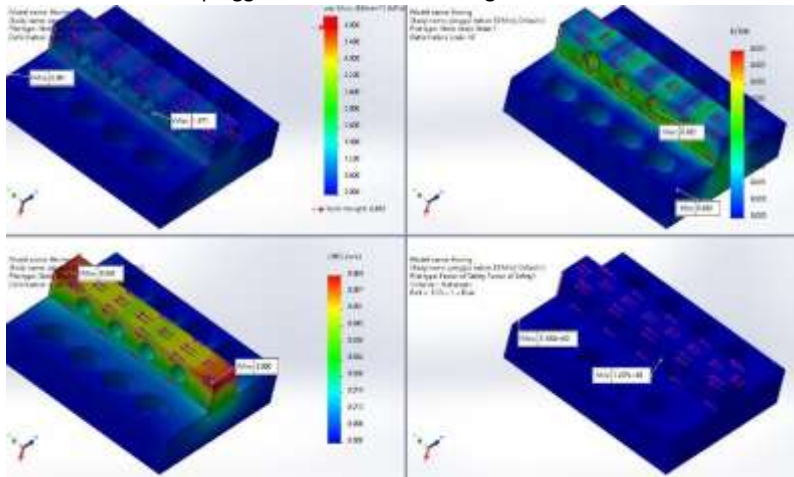
Pada gambar dan tabel di atas mengalami (Crack Initiation) munculnya warna merah pada area tengah di bawah lubang baut, akhirnya menjalar hingga patah. Dapat dilihat bahwa link pinggul diberi tekanan hasilnya melebihi nilai *yield*

strength: 6 Mpa material PLA, dan mendapatkan nilai stress 9.354 Mpa dengan *Safety of factor* tidak aman pada material PLA yang di mana kegagalan material masih muncul nya warna merah yang menandakan material gampang *crack*/patah.



**Gambar 24. Grafik link pinggul Material PLA beban maximum 50 kg**

2) Hasil simulasi link pinggul beban minimum 10 kg atau 98.0665 Newton



**Gambar 25. Hasil simulasi link pinggul beban minimum 10 kg material PLA**

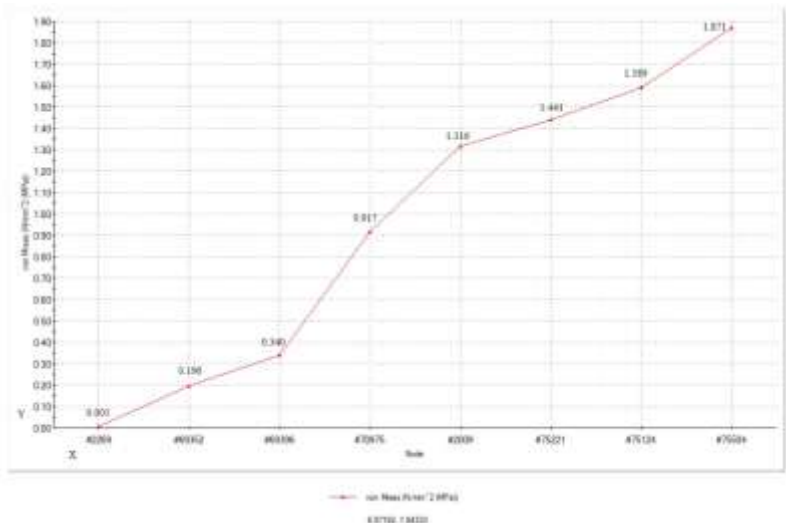
Uji simulasi menggunakan material PLA pada link pinggul dengan berat 70 gram dan memberi beban minimum 10 kg atau 98.0665 Newton. yang dimana untuk menguji ketahanan beban minimum PLA, Pada simulasi beban 10 kg menyatakan

part tidak mengalami kegagalan yang dimana untuk material PLA memiliki batasan beban minimum dan maximum, untuk beban minimum PLA yaitu di beban 10 kg dan beban maximum nya di 50 kg.

**Tabel 5. Nilai simulasi link pinggul beban minimum 10 Kg**

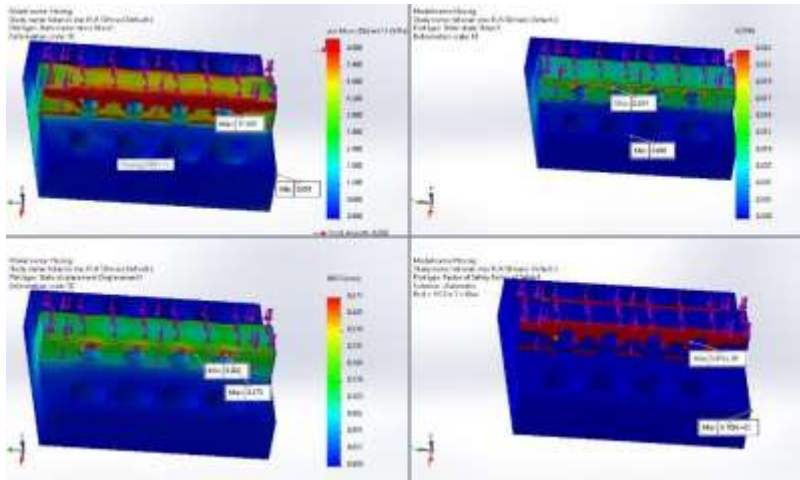
Nilai Min	Nilai Max	Type
0.001 Mpa	1.871 Mpa	<i>Von Mises Stress</i>
0.000 Mpa	0.064 Mpa	<i>Displacement</i>
0.000 Mpa	0.003 Mpa	<i>Strain</i>
3.207e+00 Mpa	5.108e+03 Mpa	<i>Factor of Safety</i>

Pada gambar dan tabel di atas tidak mengalami (Crack Initiation) tidak munculnya warna merah pada area tengah di bawah lubang baut, Dapat dilihat bahwa link pinggul diberi tekanan hasilnya tidak melebihi nilai *yield strength*: 6 Mpa material PLA, dan mendapatkan nilai stress 1.871 Mpa dengan *Safety of factor* sangat aman pada material PLA yang di mana tidak muncul nya warna merah yang menandakan material aman digunakan ketika diberi beban 10 kg.



**Gambar 26. Grafik link pinggul Material PLA beban minimum 10 kg**

3) Hasil simulasi link pinggul tekanan dari atas beban maximum 50 kg atau 490.3325 Newton



**Gambar 27. Hasil simulasi link pinggul tekanan atas beban maximum 50 kg**

Uji simulasi menggunakan material PLA pada link pinggul dengan berat 70 gram dan memberi beban dari atas maximum 50 kg atau 490.3325 Newton. yang dimana untuk menguji ketahanan beban maximum PLA.

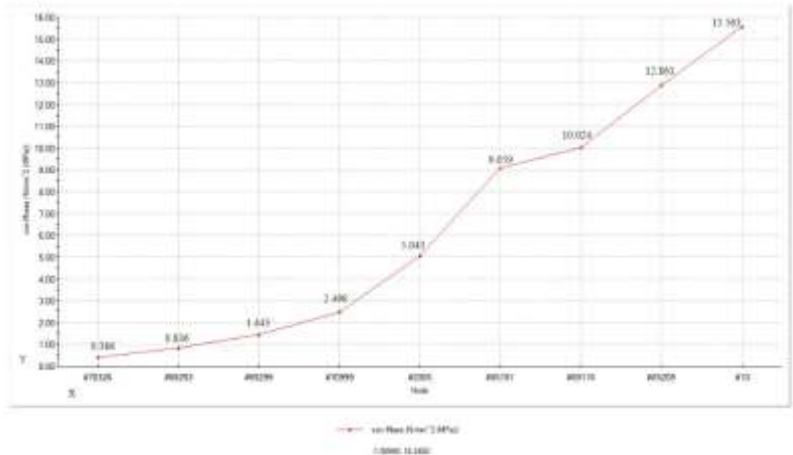
**Tabel 6. Nilai simulasi link pinggul tekanan atas beban maximum 50 Kg**

Nilai Min	Nilai Max	Type
0.001 Mpa	15.563 Mpa	<i>Von Mises Stress</i>
0.000 Mpa	0.273 Mpa	<i>Displacement</i>
0.000 Mpa	0.024 Mpa	<i>Strain</i>
3.855e-01 Mpa	4.709e+03 Mpa	<i>Factor of Safety</i>

Simulasi menggunakan pressure dari atas dapat dilihat hasilnya munculnya warna merah yang menyatakan part *crack*/patah jika diberi beban maximum

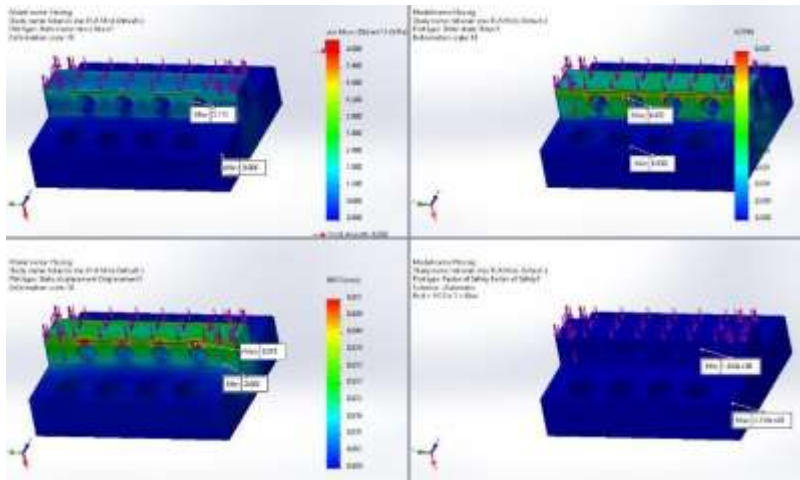
50

kg atau 490.3325 Newton. Hasil nilai stress yang didapat pada simulasi tersebut 15.563 yang dimana nilai tersebut melebihi nilai *yield strength*: 6 Mpa material PLA, dan *factor of safety* tidak aman digunakan.



**Gambar 28. Grafik link pinggul tekanan atas max 50 kg material PLA**

4) Hasil simulasi link pinggul tekanan dari atas beban minimum 10 kg atau 98.0665 Newton



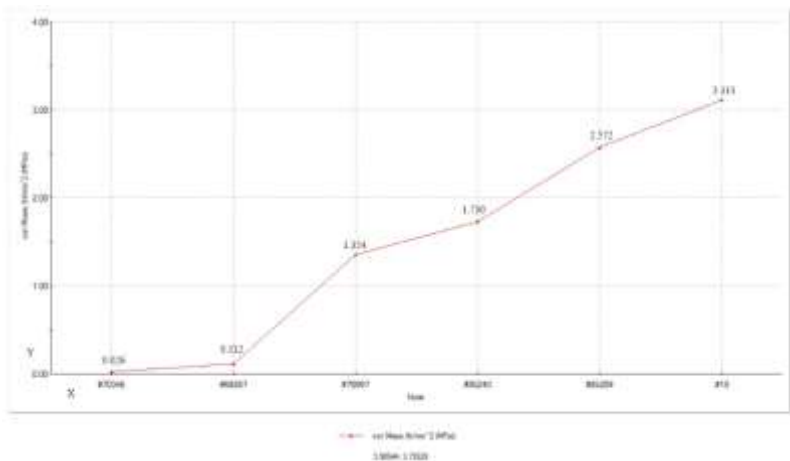
**Gambar 29. Hasil simulasi link pinggul tekanan atas beban minimum 10 kg**

Uji simulasi menggunakan material PLA pada link pinggul dengan berat 70 gram dan memberi beban dari atas minimum 10 kg atau 98.0665 Newton, yang dimana untuk menguji ketahanan beban minimum PLA.

**Tabel 7. Nilai simulasi link pinggul tekanan atas beban minimum 10 Kg**

Nilai Min	Nilai Max	Type
0.000 Mpa	3.113 Mpa	<i>Von Mises Stress</i>
0.000 Mpa	0.055 Mpa	<i>Displacement</i>
0.000 Mpa	0.005 Mpa	<i>Strain</i>
1.928e+00 Mpa	2.354e+04 Mpa	<i>Factor of Safety</i>

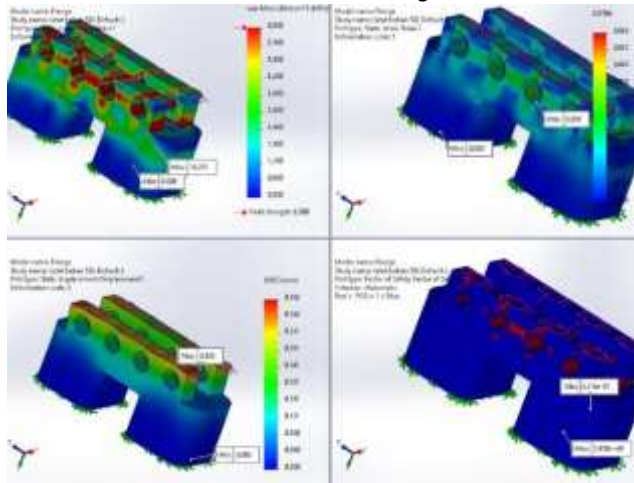
Simulasi menggunakan pressure dari atas dapat dilihat hasilnya tidak munculnya warna merah yang menyatakan part tidak mudah *crack*/patah jika diberi beban maximum 10 kg atau 98.0665 Newton. Hasil nilai stress yang didapat pada simulasi tersebut 3.113 Mpa yang dimana nilai tersebut tidak melebihi nilai *yield strength*: 6 Mpa material PLA, dan *factor of safety* sangat aman digunakan jika diberi beban minimum.



**Gambar 30. Grafik link pinggul tekanan atas min 10 kg material PLA**

## 4.6 Simulasi link lutut min dan max material PLA

- 1) Hasil simulasi link lutut beban maximum 50 kg 490.3325 Newton



**Gambar 31.** Hasil simulasi link lutut beban maximum 50 kg material PLA

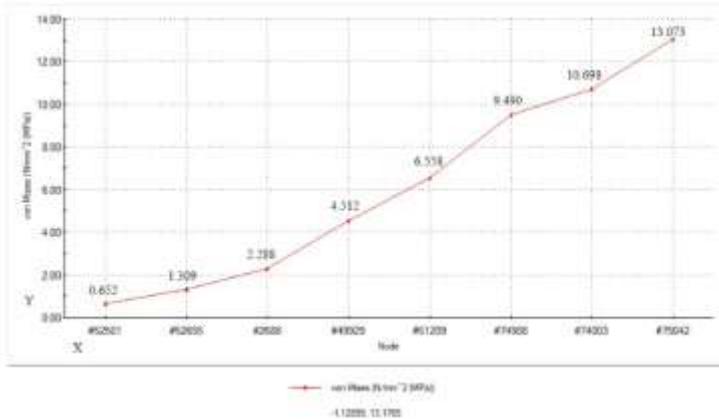
Uji simulasi pada link lutut menggunakan material PLA berat 30 gram dengan beban 50 kg atau 490.3325 Newton. untuk menentukan hasil simulasi pada material PLA yang dimana area crack terdapat pada bagian tengah sela lubang baut. Pada simulasi beban 50 kg menyatakan bahwa part sudah mengalami crack/patah yang dimana part tersebut tidak mampu menahan beban, jadi penulis tidak melakukan simulasi beban 60 kg – 80 kg.

**Tabel 8.** Nilai simulasi link lutut beban maximum 50 kg

Nilai Min	Nilai Max	Type
0.000 Mpa	14.231 Mpa	<i>Von Mises Stress</i>
0.000 Mpa	0.402 Mpa	<i>Displacement</i>
0.000 Mpa	0.026 Mpa	<i>Strain</i>
4.216e-01 Mpa	3.690e+04 Mpa	<i>Factor of Safety</i>

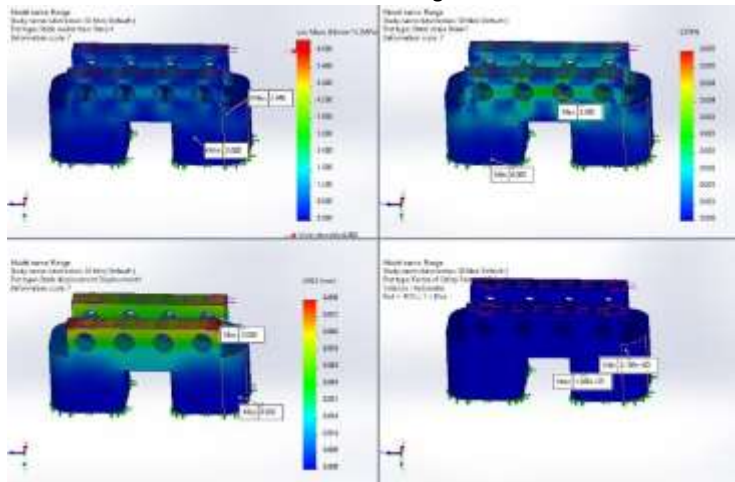
Pada gambar dan tabel di atas mengalami (Crack Initiation) munculnya warna merah pada area tengah sela lubang baut, akhirnya menjalar hingga patah.

Dapat dilihat bahwa link lutut diberi tekanan hasilnya melebihi nilai yield strength: 6 Mpa material PLA, dan mendapatkan nilai stress 14.231 Mpa dengan *Safety factor* tidak aman pada material PLA yang di mana kegagalan material masih muncul nya warna merah yang menandakan material gampang crack/ patah.



Gambar 32. Grafik link lutut Material PLA beban maximum 50 kg

2) Hasil simulasi link lutut beban minimum 10 kg 98.0665 Newton



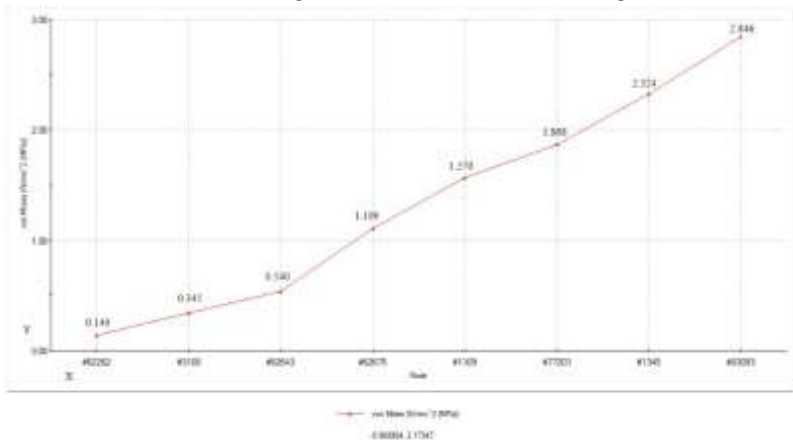
Gambar 33. Hasil simulasi link lutut beban minimum 10 kg material PLA

Uji simulasi menggunakan material PLA pada link lutut dengan berat 30 gram dan memberi beban minimum 10 kg atau 98.0665 Newton. yang dimana untuk menguji ketahanan beban minimum PLA, Pada simulasi beban 10 kg menyatakan part tidak mengalami kegagalan yang dimana untuk material PLA memiliki batasan beban minimum dan maximum, untuk beban minimum PLA yaitu di beban 10 kg dan beban maximum nya di 50 kg.

**Tabel 9. Nilai simulasi link lutut beban minimum 10 Kg**

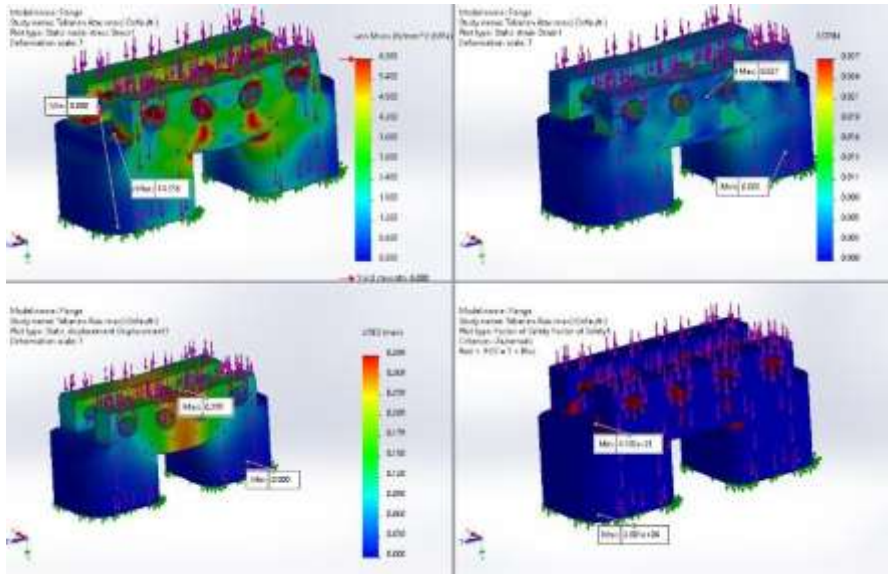
Nilai Min	Nilai Max	Type
0.000 Mpa	2.846 Mpa	<i>Von Mises Stress</i>
0.000 Mpa	0.080 Mpa	<i>Displacement</i>
0.000 Mpa	0.005 Mpa	<i>Strain</i>
2.108e+00Mpa	1.845e+05Mpa	<i>Factor of Safety</i>

Pada gambar dan tabel di atas tidak mengalami (Crack Initiation) tidak munculnya warna merah pada area tengah di bawah lubang baut, Dapat dilihat bahwa link pinggul diberi tekanan hasilnya tidak melebihi nilai *yield strength*: 6 Mpa material PLA, dan mendapatkan nilai stress 2.846 Mpa dengan *Safety of factor* sangat aman pada material PLA yang di mana tidak muncul nya warna merah yang menandakan material aman digunakan ketika diberi beban 10 kg.



**Gambar 34. Grafik link lutut Material PLA beban minimum 10 kg**

3) Hasil simulasi link lutut tekanan dari atas beban maximum 50 kg atau 490.3325 Newton



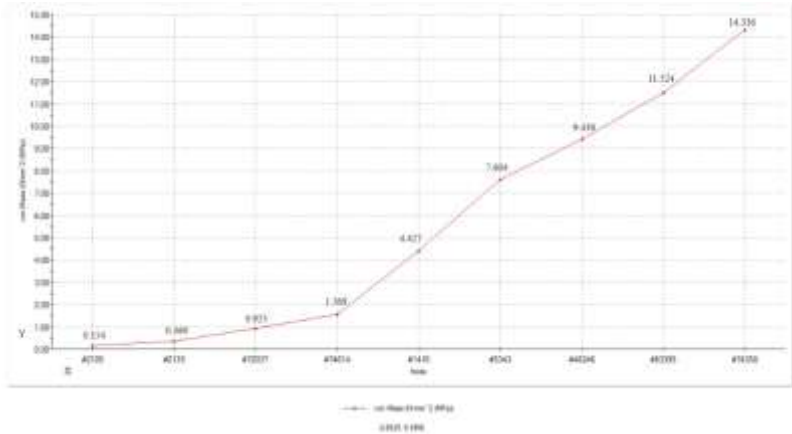
**Gambar 35.** Hasil simulasi link lutut tekanan atas beban maximum 50 kg

Uji simulasi menggunakan material PLA pada link pinggul dengan berat 30 gram dan memberi beban dari atas maximum 50 kg atau 490.3325 Newton. yang dimana untuk menguji ketahanan beban maximum PLA.

**Tabel 10.** Nilai simulasi link lutut tekanan atas beban maximum 50 Kg

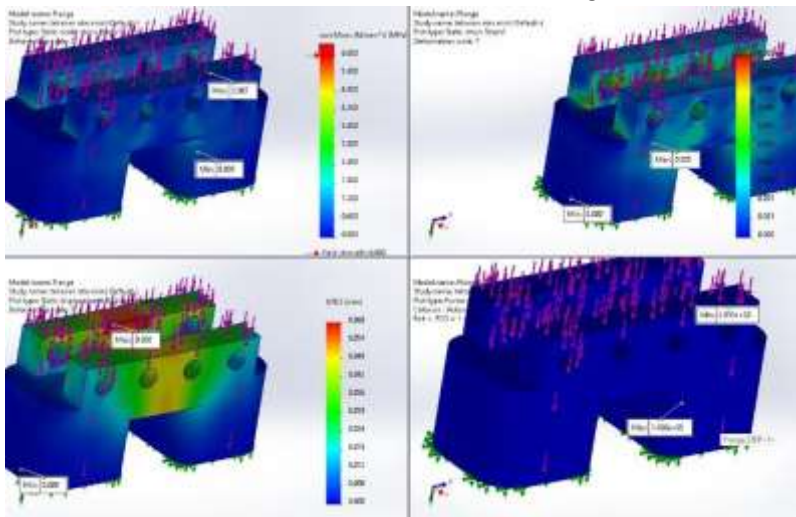
Nilai Min	Nilai Max	Type
0.000 Mpa	14.336 Mpa	<i>Von Mises Stress</i>
0.000 Mpa	0.299Mpa	<i>Displacement</i>
0.000 Mpa	0.027 Mpa	<i>Strain</i>
4.185e-01 Mpa	2.801e+04 Mpa	<i>Factor of Safety</i>

Simulasi menggunakan pressure dari atas dapat dilihat hasilnya munculnya warna merah yang menyatakan part *crack*/patah jika diberi beban maximum 50 kg atau 490.3325 Newton. Hasil nilai stress yang didapat pada simulasi tersebut 14.336 Mpa yang dimana nilai tersebut melebihi nilai *yield strength*: 6 Mpa material PLA, dan *factor of safety* tidak aman digunakan.



Gambar 36. Grafik link lutut tekanan atas max 50 kg material PLA

4) Hasil simulasi link lutut tekanan dari atas beban minimum 10 kg atau 98.0665 Newton



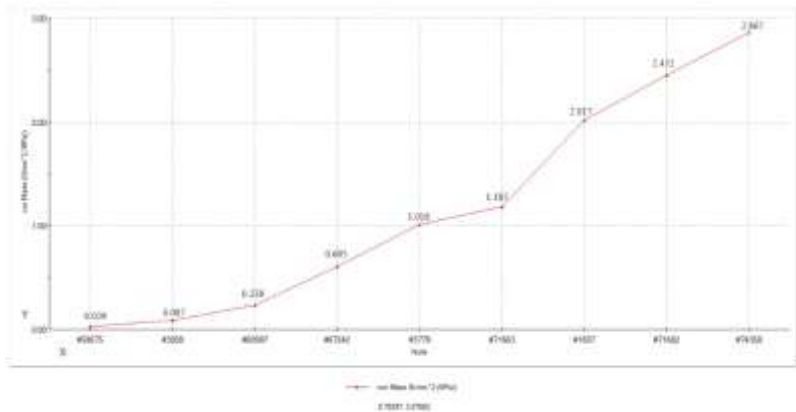
Gambar 37. Hasil simulasi link lutut tekanan atas minimum 10 kg

Uji simulasi menggunakan material PLA pada link pinggul dengan berat 30 gram dan memberi beban dari atas minimum 10 kg atau 98.0665 Newton. yang dimana untuk menguji ketahanan beban minimum PLA.

**Tabel 11. Nilai simulasi link lutut tekanan atas beban minimum 10 Kg**

Nilai Min	Nilai Max	Type
0.000 Mpa	2.867 Mpa	<i>Von Mises Stress</i>
0.000 Mpa	0.060 Mpa	<i>Displacement</i>
0.000 Mpa	0.005 Mpa	<i>Strain</i>
2.093e+00 Mpa	1.400+05 Mpa	<i>Factor of Safety</i>

Simulasi menggunakan pressure dari atas dapat dilihat hasilnya tidak munculnya warna merah yang menyatakan part tidak mudah *crack*/patah jika diberi beban maximum 10 kg atau 98.0665 Newton. Hasil nilai stress yang didapat pada simulasi tersebut 2.867 Mpa yang dimana nilai tersebut tidak melebihi nilai *yield strength*: 6 Mpa material PLA, dan *factor of safety* sangat aman digunakan jika diberi beban minimum.



**Gambar 38. Grafik link lutut tekanan atas min 10 kg material PLA**

### Hasil dan pembahasan simulasi Material PLA

Dapat dilihat pada grafik link pinggul dan link lutut pada gambar 23 dan gambar 27 bahwa hasil yang didapat sesuai dengan tabel yang diperoleh yang material PLA tidak kuat untuk menahan beban/presure 50kg atau 490.3325 Newton. Part link pinggul dan lutut melebihi nilai *yield strength*.

Proses simulasi analisis tegangan dengan pembebanan statis bertujuan untuk mengetahui ketahanan desain dan material yang telah dibuat terhadap beban. Setelah melakukan pemodelan 2D dan 3D menggunakan SolidWorks, dilanjutkan dengan proses simulasi dengan menggunakan material PLA dan Aluminium. sehingga didapatkan hasil berupa tegangan minimum dan maksimum yang terjadi pada suatu daerah dengan luasan yang kecil pada titik pembebanan yaitu pada bagian sambungan.

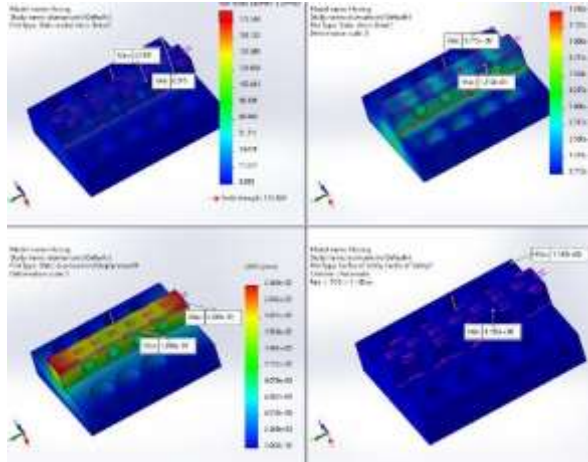
Dapat dilihat dari hasil simulasi diatas pada gambar 23 dan 27 bahwa terjadi perubahan warna dari biru sampai hijau menandakan tegangan minimum. yang dimana Daerah itu masih aman terhadap adanya konsentrasi tegangan, seiringnya waktu jika dipergunakan terus menerus material akan mengalami *crack / Patah*. Sedangkan daerah berwarna kuning sampai merah menandakan adanya konsentrasi tegangan maksimum pada bidang kontak menandakan area tersebut tidak aman dan gampang *crack/ patah*.

Dapat dilihat hasil simulasi beban minimum diatas pada gambar 25 dan 29 bahwa hasil minimum sesuai beban dan tekanan tidak memunculkan warna merah yang dimana part link pinggul dan lutut jika diberi beban minimum 10 kg tidak mudah *crack/patah*.

Hasil dari simulasi analisis tegangan dengan pembebanan statis yang terakhir adalah nilai faktor keamanan pada desain link pinggul dan link lutut dengan melihat nilai minimum dan maksimum yang diperoleh dan dapat dilihat dari tabel. Pada hasil simulasi material PLA link pinggul 70 gram dan link lutut 30 gram dengan diberi beban minimum dan maximum yang dimana jika diberi beban minimum part tidak mudah *crack/patah* sedangkan jika diberi beban maximum part mengalami *crack/patah* dan munculnya warna merah menyatakan part mengalami kegagalan.

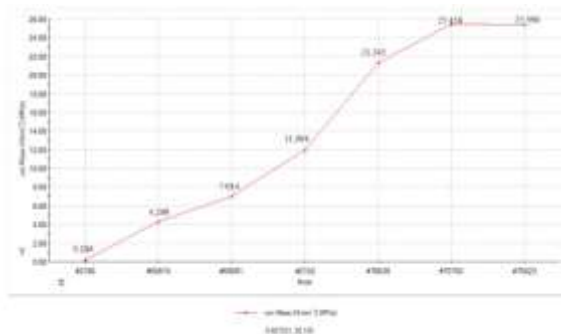
## 4.7 Simulasi link pinggul dan link lutut material Aluminium Aisi 316 Stainless Steel

- 1) Hasil simulasi beban minimum 120 kg atau 1176.798 Newton link pinggul  
Part mekanik robot pada link pinggul dan link lutut disarankan menggunakan material Aluminium Aisi 316 Stainless Steel berat 370 gram dengan presure 120 kg atau 1176.798 Newton. Untuk melebihi estimasi beban yang sebelumnya 50 kg- 80 kg.



**Gambar 39. Simulasi link pinggul material Aluminium**

Uji simulasi pada link lutut menggunakan material Aluminium berat 370 gram dengan beban 120 kg atau 1176.798 Newton untuk menentukan hasil simulasi pada material Aluminium dengan nilai *yield strength*: 172.369 Mpa



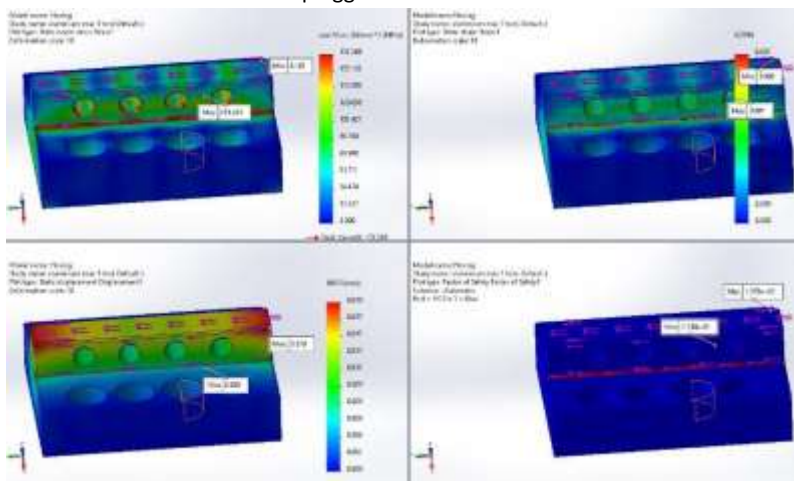
**Gambar 40. Grafik link pinggul material Aluminium**

**Tabel 12. Hasil Nilai material Aluminium link pinggul 120 kg**

Nilai Min	Nilai Max	Type
0.015 Mpa	27.991 Mpa	<i>Von Mises Stress</i>
1.000e-30 Mpa	2.269e-03 Mpa	<i>Displacement</i>
1.250e-08 Mpa	9.715e-04 Mpa	<i>Strain</i>
6.158E+00 Mpa	1.149e+04 Mpa	<i>Factor of Safety</i>

Pada gambar dan tabel diatas material aluminium sangat aman digunakan dan tidak ada crack atau menjalar patah pada material tersebut setelah disimulasi mendapatkan warna keseluruhan biru berarti aman saat digunakan dalam jangka panjang. untuk nilai stress yang didapat 27.991 Mpa yang dimana nilai kurang dari *yield strength*: 172.369 Mpa.

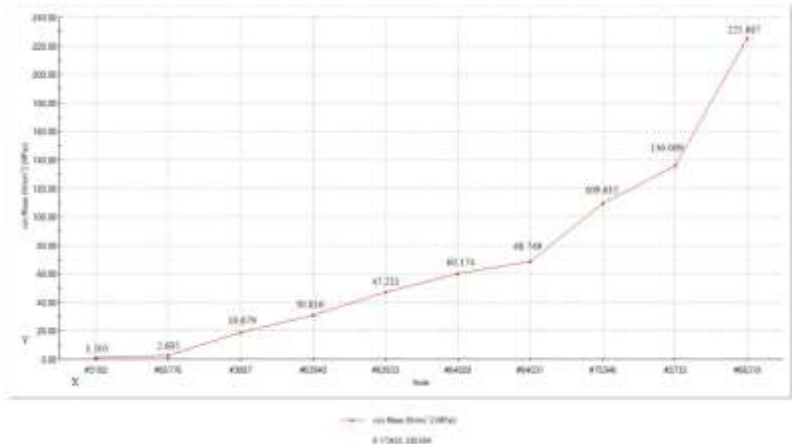
- 2) Hasil simulasi material Aluminium Aisi 316 Stainless Steel beban maximum 1 ton atau 9806.65 Newton link pinggul



**Gambar 41. Simulasi link pinggul beban maximum 1 ton atau 9806.65 Newton**

Pada simulasi ini untuk mengetes ketahanan material mampu menahan beban hingga 1 ton dengan berat material 370 gram yang dimana jika diberi beban maximum

1 ton part muncul warna merah yang dimana menandakan part mengalami crack/patah.



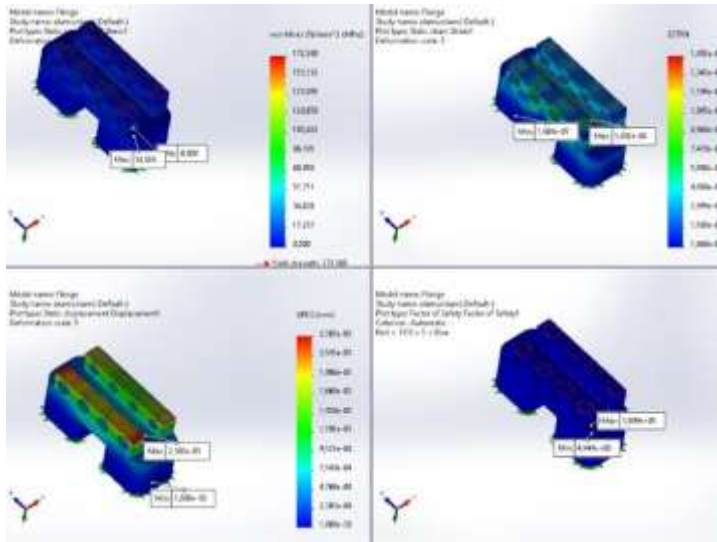
**Gambar 42. Grafik link pinggul beban maximum 1 ton material Aluminium**

**Tabel 13. Hasil Nilai material Aluminium link pinggul 1 ton**

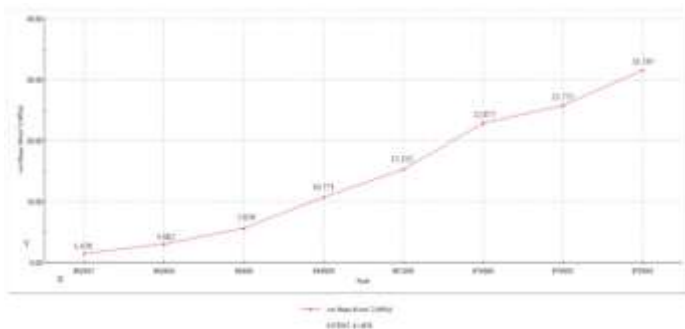
Nilai Min	Nilai Max	Type
0.125 Mpa	2333.261Mpa	<i>Von Mises Stress</i>
1.000e-30 Mpa	1.891e-02 Mpa	<i>Displacement</i>
8.096e-07 Mpa	1.042e-03 Mpa	<i>Strain</i>
7.390e-01 Mpa	1.379e+03 Mpa	<i>Factor of Safety</i>

Pada gambar dan tabel diatas material aluminium ketika diberi beban maximum 1 ton mudah *crack* atau menjalar patah dan setelah di simulasi mendapatkan nilai stress 233.261 Mpa, yang dimana nilai tersebut melebihi nilai *yield strength*: 172.369 Mpa yang menandakan part mengalami *crack/patah* jika diberi beban 1 ton.

- 3) Hasil simulasi beban minimum 120 kg atau 1176.798 Newton link lutut  
 Link lutut disarankan menggunakan material Aluminium Aisi 316  
 Stainless Steel dengan berat 180 gram pressure 120 kg atau 1176.798  
 Newton.



**Gambar 43. Simulasi link lutut material Aluminium**



**Gambar 44. Grafik material Aluminium link lutut**

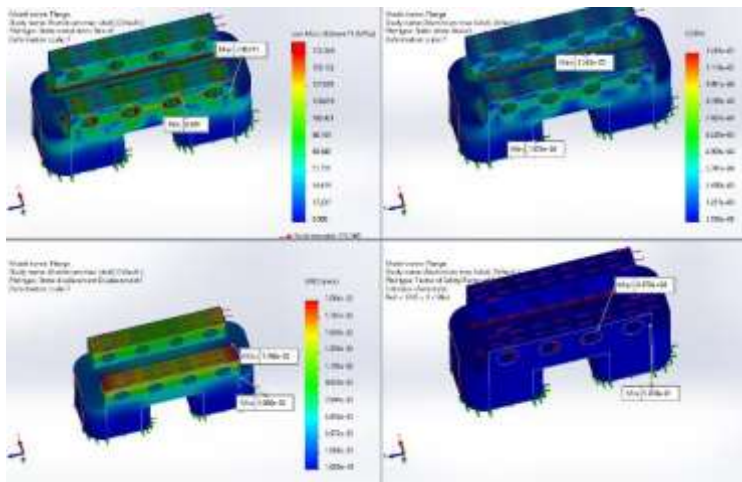
Uji simulasi pada link lutut menggunakan material Aluminium berat 180 gram dengan beban 120 kg atau 1176.798 Newton untuk menentukan hasil simulasi pada material Aluminium dengan nilai *yield strength*: 172.369 Mpa.

**Tabel 14. Hasil Nilai material Aluminium link lutut 120 Kg**

Nilai Min	Nilai Max	Type
0.000 Mpa	34.826 Mpa	<i>Von Mises Stress</i>
1.000e-30 Mpa	2.383e-03 Mpa	<i>Displacement</i>
1.869e-07 Mpa	1.492e-04 Mpa	<i>Strain</i>
4.949e+00 Mpa	3.899e+05 Mpa	<i>Factor of Safety</i>

Pada gambar dan tabel diatas material aluminium sangat aman digunakan dan tidak ada crack atau menjalar patah yang dimana material tersebut setelah disimulasi mendapatkan warna keseluruhan biru yang berarti aman saat digunakan dalam jangka panjang. Untuk nilai stress yang didapat 34.826 Mpa yang dimana nilai kurang dari *yield strength*: 172.369 Mpa.

4) Hasil simulasi material Aluminium Aisi 316 Stainless Steel beban maximum 1 ton atau 9806.65 Newton link lutut



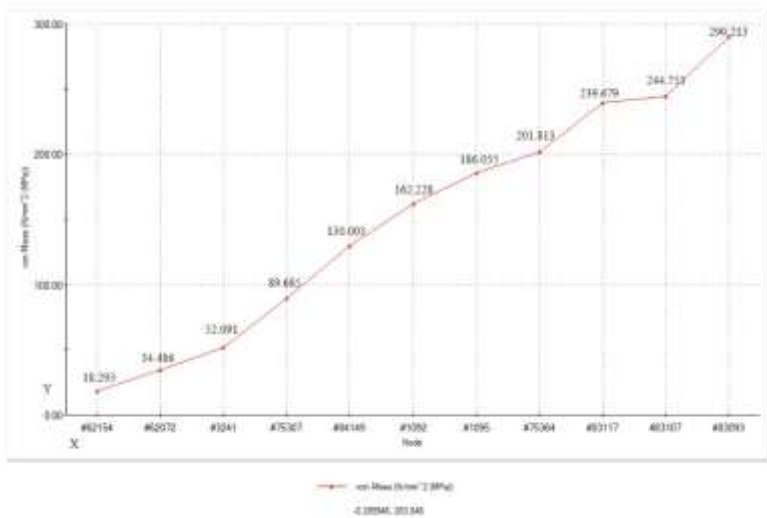
**Gambar 45. Simulasi link lutut beban maximum 1 ton atau 9806.65 Newton**

Pada simulasi ini untuk mengetes ketahanan material mampu menahan beban hingga 1 ton dengan berat material 370 gram yang dimana jika diberi beban maximum 1 ton part muncul warna merah yang dimana menandakan part mengalami crack/patah.

**Tabel 15. Hasil Nilai material Aluminium link lutut 1 ton**

Nilai Min	Nilai Max	Type
0.004 Mpa	290.213 Mpa	<i>Von Mises Stress</i>
1.000e-30 Mpa	1.986e-02 Mpa	<i>Displacement</i>
1.558e-06 Mpa	1.243e-03 Mpa	<i>Strain</i>
5.939e-01 Mpa	4.679e+04 Mpa	<i>Factor of Safety</i>

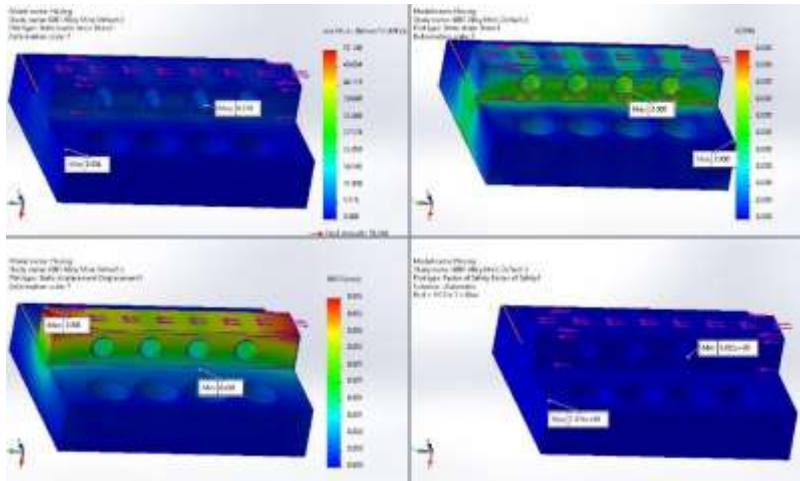
Pada gambar dan tabel diatas material aluminium ketika diberi beban maximum 1 ton mudah *crack* atau menjalar patah dan setelah di simulasi mendapatkan nilai stress 290.213 Mpa, yang dimana nilai tersebut melebihi nilai *yield strength*: 172.369 Mpa yang menandakan part mengalami *crack*/patah jika diberi beban 1 ton.



**Gambar 46. Grafik link lutut beban maximum 1 ton material Aluminium**

## 4.8 Simulasi link pinggul dan link lutut min dan max material 6061 Alloy

- 1) simulasi link pinggul material 6061 Alloy beban minimum 50 kg atau 490.3325 Newton.



**Gambar 47. Simulasi link pinggul beban min 50 kg material 6061 Alloy**

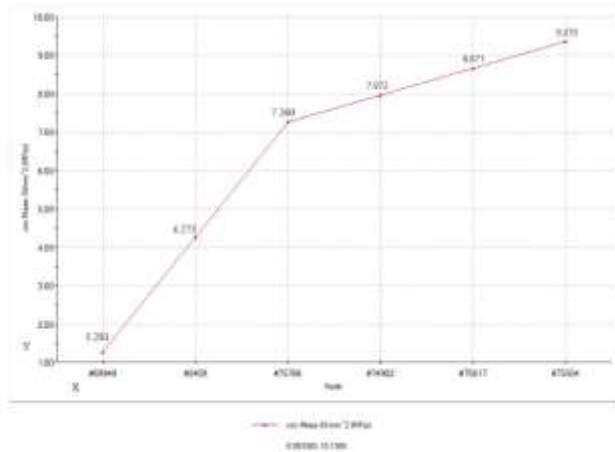
Pada simulasi link pinggul beban 50 kg dengan berat 130 gram menggunakan material 6061 Alloy yang dimana material tersebut sangat sering digunakan diberbagai mekanik robot. dapat dilihat hasil dari simulasi tidak menampilkan warna merah yang dimana jika material alloy di beri beban minimum 50 kg mampu menahan beban dan tidak *crack*/patah.

**Tabel 16. Hasil Nilai material 6061 Alloy pinggul min beban 50 kg**

Nilai Min	Nilai Max	Type
0.004 Mpa	9.370 Mpa	<i>Von Mises Stress</i>
0.000 Mpa	0.002 Mpa	<i>Displacement</i>
0.000 Mpa	0.000 Mpa	<i>Strain</i>
5.885e+00 Mpa	1.434e+04 Mpa	<i>Factor of Safety</i>

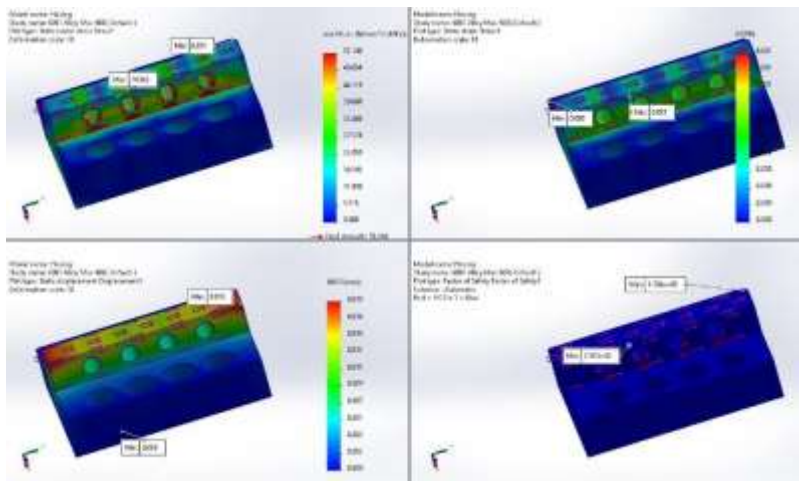
Pada gambar dan tabel diatas material 6061 Alloy ketika diberi beban minimum 50 kg tidak mudah *crack*/patah, dan setelah di simulasi mendapatkan nilai stress 9.370 Mpa

yang dimana nilai tidak melebihi nilai *yield strength*: 55.148 Mpa yang menandakan part tidak mudah crack atau mengalami kegagalan.



**Gambar 48. Grafik link pinggul beban minimum 50 kg material 6061 Alloy**

2) simulasi link pinggul material 6061 Alloy beban maximum 400 kg atau 3922.66 Newton.



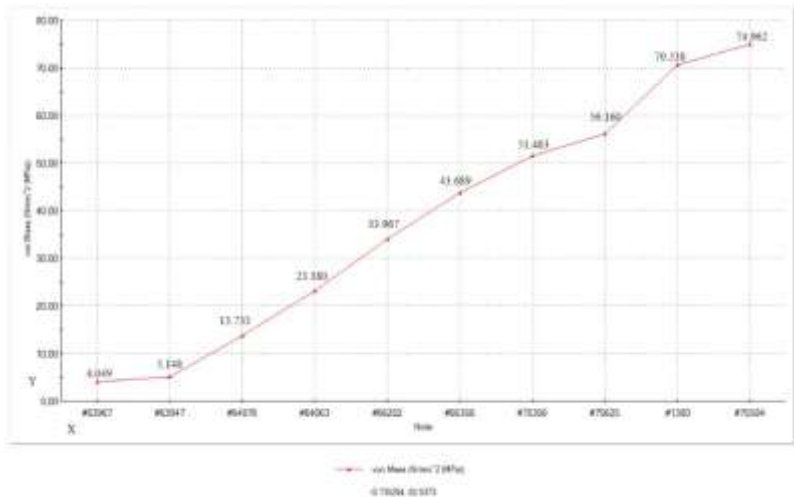
**Gambar 49. Simulasi link pinggul beban max 400 kg material 6061 Alloy**

Pada simulasi link pinggul beban 400 kg dengan berat 130 gram menggunakan material 6061 Alloy yang dimana material tersebut sangat sering digunakan diberbagai mekanik robot. dapat dilihat hasil dari simulasi menampilkan warna merah yang dimana jika material alloy di beri beban minimum 400 kg tidak mampu menahan beban dan gampang *crack/patah*.

**Tabel 17. Hasil Nilai material 6061 Alloy pinggul beban 400 kg**

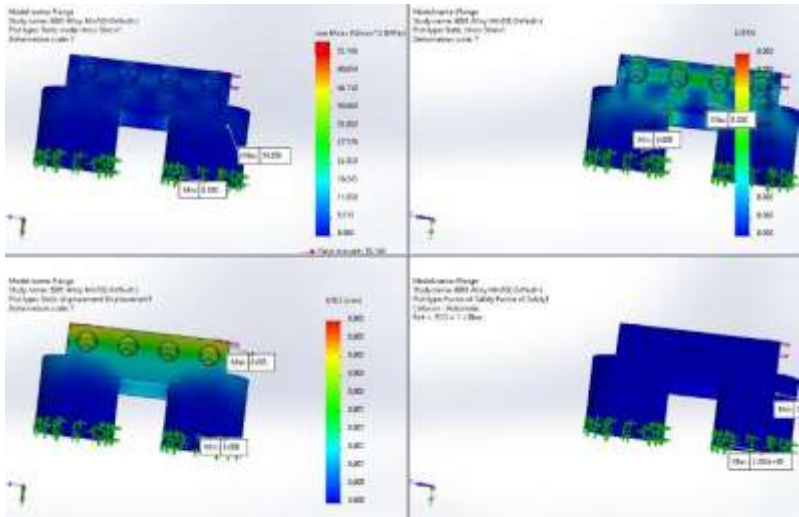
Nilai Min	Nilai Max	Type
0.031 Mpa	74.962 Mpa	<i>Von Mises Stress</i>
0.000 Mpa	0.018 Mpa	<i>Displacement</i>
0.000 Mpa	0.001 Mpa	<i>Strain</i>
7.357e-01 Mpa	1.792e+03 Mpa	<i>Factor of Safety</i>

Pada gambar dan tabel diatas material 6061 Alloy ketika diberi beban minimum 400 kg mudah *crack/patah*, dan setelah di simulasi mendapatkan nilai stress 74.962 Mpa yang dimana nilai melebihi nilai *yield strength*: 55.148 Mpa yang menandakan part mudah *crack* atau mengalami kegagalan.



**Gambar 50. Grafik link pinggul beban maximum 400 kg material 6061 Alloy**

- 3) simulasi link lutut material 6061 Alloy beban minimum 50 kg atau 490.3325 Newton.



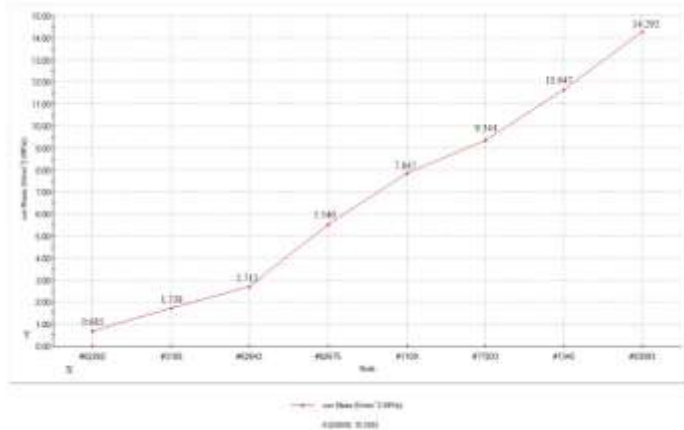
**Gambar 51. Simulasi link lutut beban min 50 kg material 6061 Alloy**

Pada simulasi link lutut beban 50 kg dengan berat 60 gram menggunakan material 6061 Alloy yang dimana material tersebut sangat sering digunakan diberbagai mekanik robot. dapat dilihat hasil dari simulasi tidak menampilkan warna merah yang dimana jika material alloy di beri beban minimum 50 kg mampu menahan beban dan tidak *crack*/patah.

**Tabel 18. Hasil Nilai material 6061 Alloy lutut beban min 50 kg**

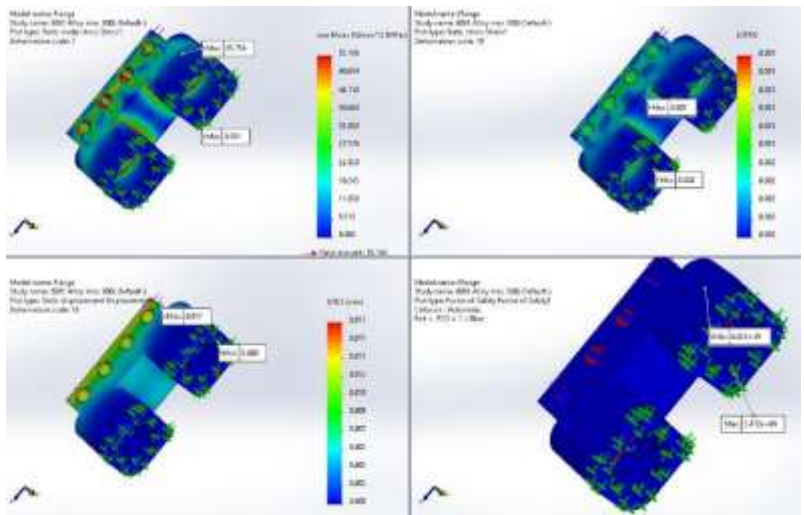
Nilai Min	Nilai Max	Type
0.000 Mpa	14.292 Mpa	<i>Von Mises Stress</i>
0.000 Mpa	0.003 Mpa	<i>Displacement</i>
0.000 Mpa	0.000 Mpa	<i>Strain</i>
3.859e+00 Mpa	3.283e+05 Mpa	<i>Factor of Safety</i>

Pada gambar dan tabel diatas material 6061 Alloy ketika diberi beban minimum 50 kg tidak mudah *crack*/patah, dan setelah di simulasi mendapatkan nilai stress 14.292 Mpa yang dimana nilai tidak melebihi nilai *yield strength*: 55.148 Mpa yang menandakan part tidak mudah crack atau mengalami kegagalan.



**Gambar 52. Grafik link lutut beban minimum 50 kg material 6061 Alloy**

- 4) simulasi link lutut material 6061 Alloy beban minimum 300 kg atau 2941.995 Newton.



**Gambar 53. Simulasi link lutut beban max 300 kg material 6061 Alloy**

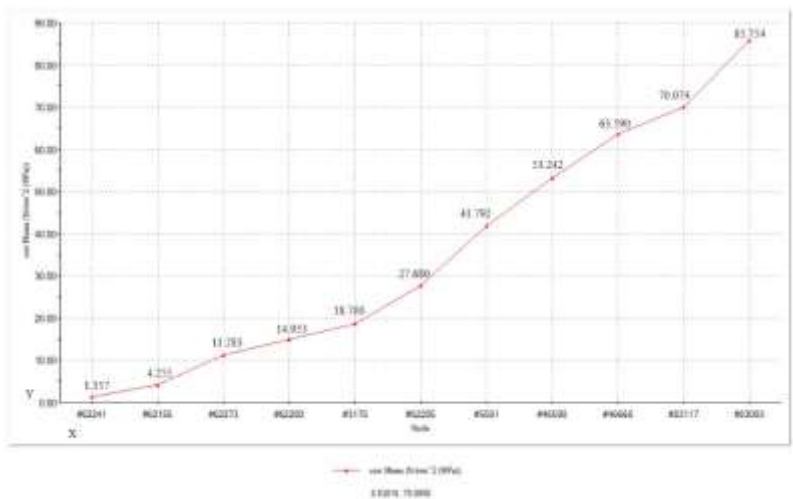
Pada simulasi link pinggul beban 300 kg dengan berat 60 gram menggunakan material 6061 Alloy yang dimana material tersebut sangat sering digunakan diberbagai mekanik robot. dapat dilihat hasil dari simulasi menampilkan warna

merah yang dimana jika material alloy di beri beban minimum 300 kg tidak mampu menahan beban dan gampang *crack*/patah.

**Tabel 19. Hasil Nilai material 6061 Alloy lutut beban max 300 kg**

Nilai Min	Nilai Max	Type
0.001 Mpa	85.754 Mpa	<i>Von Mises Stress</i>
0.000 Mpa	0.017 Mpa	<i>Displacement</i>
0.000 Mpa	0.001 Mpa	<i>Strain</i>
6.431e-01 Mpa	5.472e+04 Mpa	<i>Factor of Safety</i>

Pada gambar dan tabel diatas material 6061 Alloy ketika diberi beban minimum 300 kg mudah *crack*/patah, dan setelah di simulasi mendapatkan nilai stress 85.754 Mpa yang dimana nilai melebihi nilai *yield strength*: 55.148 Mpa yang menandakan part mudah *crack* atau mengalami kegagalan.



**Gambar 54. Grafik link lutut beban max 300 kg material 6061 Alloy**

## Hasil dan Pembahasan Material Aluminium

Dari hasil simulasi material aluminium link pinggul dan link lutut mendapatkan nilai *Yield strength*: 172.369. Nilai tersebut merupakan batas maksimum pada material dan hasil simulasi yang didapat untuk material tersebut sangat aman dan kokoh terhadap *crack*/patah. Dapat dilihat hasil simulasi material aluminium pada gambar 31, 35 dan tabel 8,10 dengan nilai *Von Mises Stress* tidak melebihi *Yield strength* dan *Factor of* yang dimana pada part link pinggul dan lutut tersebut diberi beban minimum 120 kg atau 1176.798 Newton. di gambar tersebut tidak memunculkan warna merah sehingga material sangat aman dan nilai *Factor of Safety* sudah sesuai keamanan.

Dari hasil simulasi beban maximum material Aluminium Aisi 316 Stainless Steel menunjukkan bahwa material tersebut mampu menahan beban hingga 1 ton yang dimana batas maximum material tersebut hingga munculnya warna merah part sudah menyatakan *crack*/patah yang dimana nilai stress 290.213 Mpa melebihi nilai *Yield strength* 172.369 mpa dan *Factor of Safety* tidak aman jika diberi beban 1 ton.

Simulasi dari material 6061 Alloy mendapatkan hasil minimum dan maximum yang dimana material tersebut sangat mudah didapatkan dan kualitasnya sangat bagus untuk mekanik robot. Dapat dilihat perbandingan material nya Aluminium Aisi 316 stainless steel nilai *Yield strength* 172.369 dan material 6061 Alloy nilai *Yield strength* 55.148. yang dimana masing-masing material tersebut memiliki beban minimum dan maximum nya jika nilai melebihi maximum maka material *crack*/patah hingga mengalami kegagalan pada suatu material.

## BAB 5. Kesimpulan dan Saran

### 5.1 Kesimpulan

Dari analisis yang dilakukan pada Mekanik robot link pinggul dan link lutut maka dapat ditarik beberapa kesimpulan yaitu:

1. Hasil simulasi dengan analisis *Von Mises Stress* menunjukkan bahwa diberi beban pada link pinggul dan link lutut pada material PLA jika diberi nilai maximum maka nilai melebihi *yield strength* yang menunjukkan material itu tidak kuat jika digunakan terus menerus akan mengalami *crack/patah*. jika nilai minimum maka sangat aman tidak melebihi nilai *yield strength*
2. Hasil simulasi *Factor of safety* menunjukkan pada material Aluminium sangat aman digunakan dalam jangka panjang dengan nilai minimum link pinggul sebesar  $6.158E+00$  Mpa dan nilai minimum link lutut sebesar  $4,949e+00$  Mpa. Hasil simulasi *Factor of safety* material 6061 Alloy menunjukkan jika diberi beban minimum link pinggul  $5.885e+00$  Mpa dan nilai minimum link lutut  $3.859e+00$  Mpa.
3. Desain struktur link pinggul dan link lutut yang dikembangkan memenuhi kriteria aman pada simulasi menggunakan material aluminium beban hingga 1 ton dan material 6061 Alloy link pinggul hingga 400 kg dan link lutut hingga 300 kg statis yang diberikan. Hal ini dapat ditunjukkan dengan hasil *Equivalent Von-Misses Stress* link pinggul sebesar 27.991 MPa dan link lutut sebesar 34.826 Mpa pada material Aluminium 316 Aisi stainless steel dan 6061 Alloy yang masih di bawah *yield strength* jika diberi beban minimum.

### 5.2 Saran

Dari analisa yang dilakukan pada Mekanik robot pada link pinggul dan lutut, maka dapat ditarik beberapa saran yaitu:

1. Saat melakukan analisis pada *software*, memastikan posisi fixed dan external loads sesuai dengan tempat pembebanan supaya tempat pembebanan maksimal atau daerah kritis menghasilkan data yang akurat.
2. Perlu adanya analisa lebih lanjut mengenai *semi elliptical crack* yang terjadi pada link Mekanik robot.
3. Bentuk dan jenis dari *meshing* yang digunakan dalam permodelan sangat berpengaruh dengan metode *fracture mechanics*.

## Daftar Pustaka

- [1] Shi, Zhang, Zhang, and Ding, "A Review on Lower Limb Rehabilitation Exoskeleton Robots," *Chinese Journal of Mechanical Engineering*, vol. 32, no. 1, pp. 1–11, Aug. 2019, doi: 10.1186/s10033-019-0389-8.
- [2] Atmaja Rifki, Munadi, M. Tauviqirrahman, 2017. *Stress Analysis of Lower Limb Exoskeleton for Walking Assistance using Finite Element Method*, Diponegoro University, Indonesia.
- [3] K Takhur, 2022. *Finite element analysis of U-frame of robotic gait trainer for rehabilitation*, Chandigarh, India.
- [4] D. Shi, W. Zhang, W. Zhang, and X. Ding, "A review on lower limb rehabilitation exoskeleton robots," *Chinese Journal of Mechanical Engineering*, vol. 32, no. 1, pp. 1–11, Aug. 2019, doi: 10.1186/s10033019-0389-8.
- [5] T. Xometry, "PLA (Polylactic Acid): Definition, Applications, and Different Types," *Xometry*, Nov. 11, 2022. Accessed: May 18, 2023. [Online]. Available: <https://www.xometry.com/resources/materials/what-is-pla/>
- [6] S. Farah, D. G. Anderson, and R. Langer, "Physical and mechanical properties of PLA, and their functions in widespread applications — A comprehensive review," *Advanced Drug Delivery Reviews*, vol. 107, pp. 367–392, Dec. 2016, doi: 10.1016/j.addr.2016.06.012.
- [7] Penulis, "Definisi dan Fungsi SolidWorks," *tukanggambar3d.*, Aug. 17, 2021. <https://tukanggambar3d.com/definisi-dan-fungsi-solidworks/> (accessed May 26, 2023).
- [8] HotSpotStress, "Scribd." <https://www.scribd.com/doc/297869244/HotSpot-Stress#> (accessed May 26, 2023).
- [9] Fahmi, A. R. (2016). *ANALISIS FATIGUE LIFE SAMBUNGAN KRITIS PADA PLATFORM ATAKA B DENGAN RETAK SEMIELLIPTICAL MENGGUNAKAN LINEAR ELASTIC*. Surabaya.
- [10] R. Raynaldi, A. Hamid, and A. A. Luthfie, "SIMULASI UJI BENDING PADA SHAFT GENERATOR AWING 500 WATT DENGAN MATERIAL ASTM A36 MENGGUNAKAN SOFTWARE CAD," *Jurnal Teknik Mesin*, vol. 11, no. 2, pp. 131–138, Jul. 2022.

## Biodata



Nama : Muhammad Fadhil Al Fadjri  
TTL : Batam, 14 Januari 2002  
Agama : Islam  
Alamat : Baloi Blok 2 Jln. Durian no.06  
Email : mfadhilalfadjri14@gmail.com  
Riwayat Pendidikan : SMA/SMK : SMK Negeri 4 Batam  
SMP : SMP Negeri 41 Batam

# Lampiran A

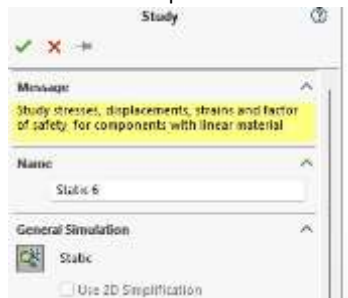
## Analisis *Crack* Pada Robot Exoskeleton Lower Limb

### PROSEDUR ANALISIS *STRESS INTENSITY FACTOR* MENGGUNAKAN SOFTWARE *SOLIDWORKS*

1. Cari menu bar yang bernama Simulation setelah itu klik New Study untuk melakukan simulasi dan masukan design yang akan disimulasi



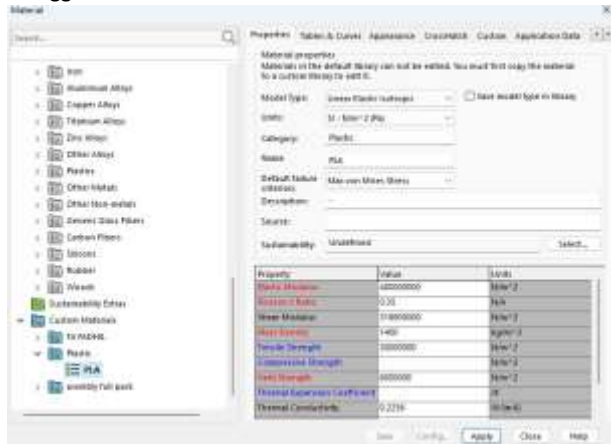
2. Lalu klik static dan beri nama pada simulasi dan klik ceklis



3. Lalu klik apply material untuk mengubah material yang diinginkan

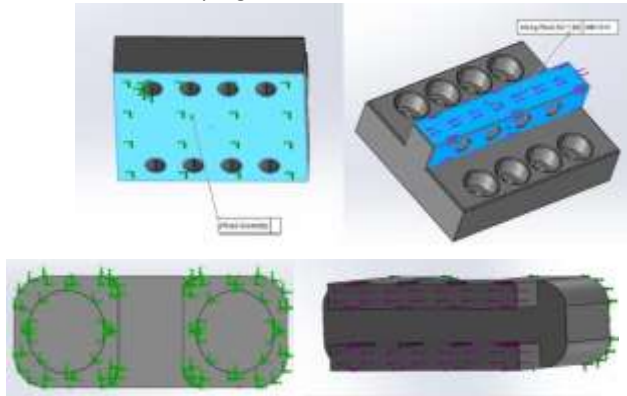


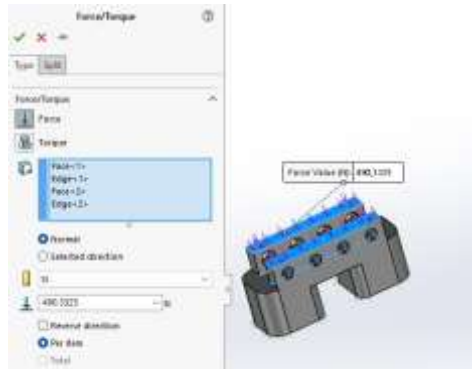
4. Lalu pilih material yang diinginkan dan bisa mengcostum material, dan disini menggunakan material PLA dan Aluminium.



Fixtures dan External Loads fix

5. Kemudian klik Fixtures untuk yang tetap dan External Loads fix untuk presure tekanan atau beban yang diberikan.





### Mesh

6. Kemudian melakukan mesh pada objek, cara input mesh tersebut mempunyai dua tahap, yaitu *input* metode mesh dan *input* ukuran pada mesh.



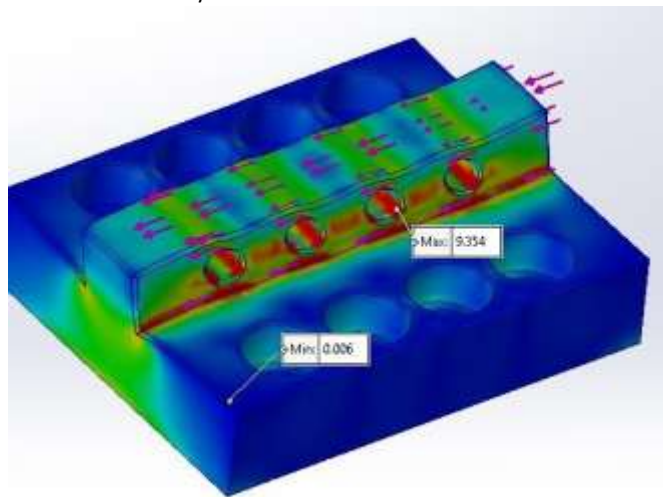
7. Kemudian Run this Study untuk menjalankan hasil simulasi



8. Maka akan muncul Results yang dimana memunculkan *Von Mises Stress*, *Displacemnet*, dan *strain*



9. Setelah itu bisa dilihat hasil simulasi dari *Von Mises Stress* dengan klik 2 kali untuk memunculkannya.



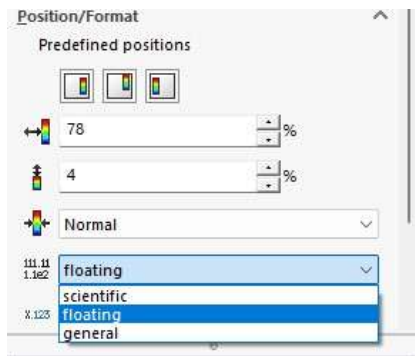
10. Kemudian lakukan untuk show nilai min dan max dengan settingan klik kanan lalu pilih Chart Option.



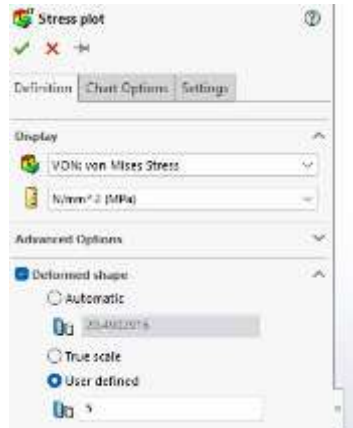
11. Setelah itu akan menampilkan Display Option dan aktifkan Show min annotation dan show max annotation yang dimana untuk memunculkan nilai dari hasil simulasi. dan matikan Automatically defined maximum value dan input nilai *yield strength*.



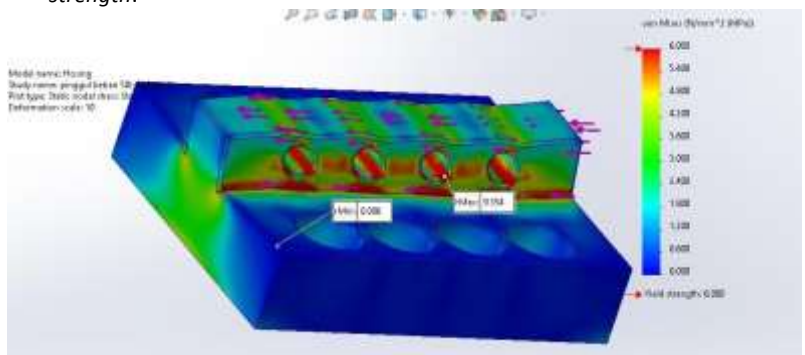
12. Kemudian untuk Position/Format bisa diubah tampilan pembacaan nilai *yield strength*.



13. Kemudian pada Definition ubah dengan tampilan seperti dibawah ini agar mudah saat pembacaan nilai dan tampilan.



14. Maka tampilan akan seperti ini dan sangat mudah membaca nilai *yield strength*.



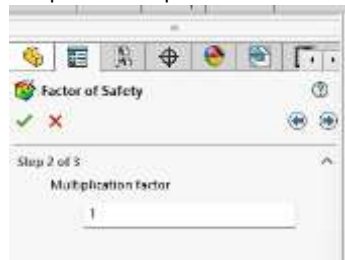
15. Kemudian nilai min dan max muncul yang didapat min 0,006 MPa dan max 9.354 Mpa yang dimana nilai melebihi *yield strength*. Yang menandakan bahwa material PLA tidak kuat dan mudah patah.
16. Lalu untuk memunculkan *Displacement* dan *Strain*. Sama saja seperti sebelumnya untuk memunculkan nilai min dan max nya serta settingan Display.
17. Lalu untuk menampilkan *Factor of Safety* yaitu klik pada menu bar Results Advisor lalu pilih New Plot kemudian klik *Factor of Safety*.



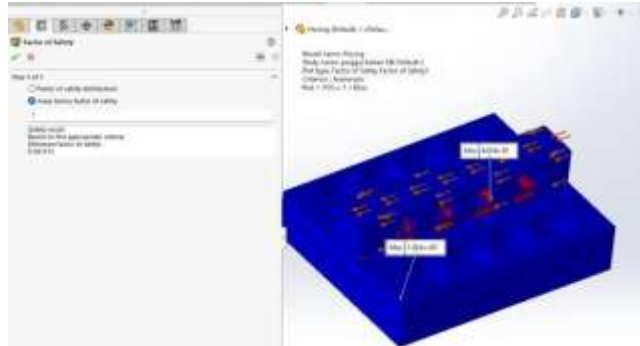
18. Kemudian klik panah untuk kanan step 1 sampai 3 untuk next.



19. Maka akan muncul step 2 lalu klik panah kanan untuk lanjut step 3.



20. Kemudian distep 3 muncul nilai minimum *Factor of Safety* yang dimana jika tampilan muncul warna merah berarti menandakan material rawan *crack/patah*.



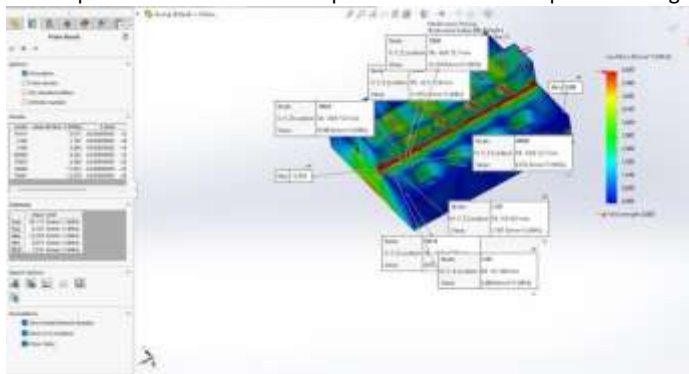
21. Lalu pada simulasi material PLA hasilnya material tidak kuat menahan beban seiringnya waktu jika dipergunakan terus menerus material akan mengalami *crack* / Patah.
22. Kemudian untuk menampilkan hasil grafik pada simulasi tersebut yaitu Klik kanan pada *Von Mises Stress*. Lalu klik probe.



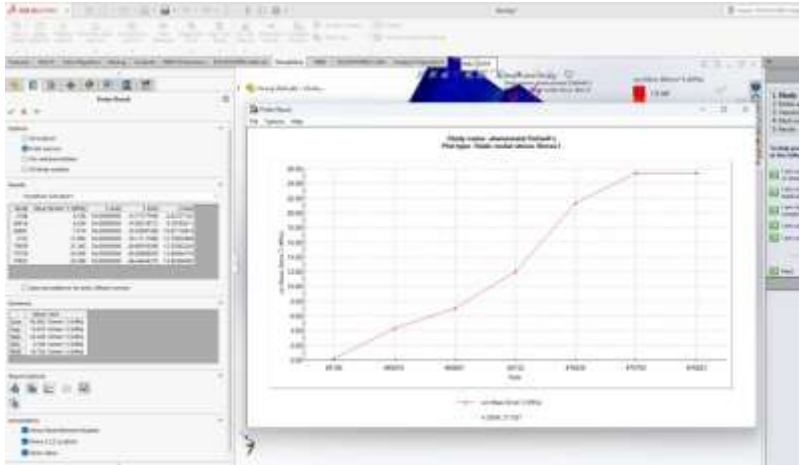
23. Lalu akan muncul tampilan seperti dibawah ini Probe Result.



24. Lalu klik pada daerah dari min sampai max untuk menampilkan hasil grafik.



25. Kemudian save grafik untuk melihat grafik yang telah ditentukan dan hasil dari grafik tersebut menampilkan nilai min dan max yang dimana nilai max 13,934 Mpa yang dimana nilai tersebut valid melebihi nilai *Yield strength*.



26. Kemudian untuk material Aluminium sama saja seperti langkah diawal settingannya. dan untuk memunculkan nilai hasil simulasinya sama saja seperti diatas.