

**REDESAIN DAN FABRIKASI GRIPPER ARM 2-FINGER
MENGUNAKAN ADDITIVE MANUFACTURING**



SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan pendidikan diploma empat (D-4) Program Studi Teknik Manufaktur Jurusan Teknik mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang

HASRAT 44316002


FANTRY 44316017

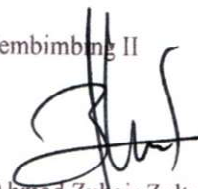
**PROGRAM STUDI D-4 TEKNIK MANUFAKTUR
JURUSAN TEKNIK MESIN
POLITEKNIK NEGERI UJUNG PANDANG
MAKASSAR
2020**

HALAMAN PENGESAHAN


Skripsi ini dengan judul “**Redesain dan Fabrikasi Gripper Arm 2-Finger Menggunakan Additive Manufacturing**” oleh Hasrat NIM 443 16 002 dan Fantry NIM 443 16 017 telah diterima dan disahkan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar diploma empat pada Program Studi Teknik Manufaktur Politeknik Negeri Ujung Pandang.

Makassar, September 2020

Pembimbing I

Ir. Myas M. M.T.
NIP. 19670228 199303 1 004

Pembimbing II

Ahmad Zubair Zultan S.T., M.T., Ph.D.
NIP 19740423 199903 1 002

Mengetahui,
Koordinator Program Studi,







Ir. Abdul Salam, M.T.
NIP. 196012241991031001

HALAMAN PENERIMAAN

Pada hari ini, Senin tanggal 8 September 2020, tim penguji ujian sidang skripsi telah menerima skripsi mahasiswa: Hasrat (443 16 002) dan Fantry (443 16 017) dengan judul “Redesain dan Fabrikasi *Gripper Arm 2-Finger* Menggunakan *Additive Manufacturing*.”

Makassar, September 2020

Tim Penguji Ujian Skripsi:

1. Ir. Abdul Salam, M.T.	Ketua	()
2. Arsyad Suyuti, S.T., M.T.	Sekretaris	(.....)
3. Abram Tangkemandu, S.T., M.T.	Anggota	()
4. Ir. Syaharuddin Rasyid, M.T.	Anggota	()
5. Ir. Muas M, M.T.	Anggota	()
6. Ahmad Zubair Zultan, S.T., M.T., Ph.D., Anggota		()

KATA PENGANTAR

Puji syukur atas kehadiran Allah SWT berkat nikmat kesempatan dan kesehatan yang diberikan penulis mampu menyelesaikan tugas akhir ini dengan tepat waktu. Salawat dan salam tak lupa kami curahkan atas baginda Rasulullah Muhammad SAW.

Penyusunan tugas akhir ini tidak lepas dari bantuan dari berbagai pihak, untuk itu peneliti ingin menyampaikan terima kasih kepada:

1. Kedua orang tua dan seluruh keluarga yang telah banyak memberikan bantuan moril maupun materil.
2. Rusdi Nur, S.ST.,M.T.,Ph.D. selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin.
3. Ir. Abdul Salam, M.T. selaku Ketua Prodi D-4 Teknik Manufaktur.
4. Ir. Muas M, M.T. selaku dosen pembimbing-1, yang telah memberikan arahan dan bimbingan dalam penyelesaian tugas akhir ini.
5. Ahmad Zubair Zultan, S.T., M.T., Ph.D., selaku dosen pembimbing-2, yang telah memberikan arahan dan bimbingan dalam penyelesaian tugas akhir ini.
6. Haryani S.Sos selaku Staf Administrasi D-4 Teknik Mesin.
7. Teman-teman kelas 4 D-4 Teknik Manufaktur atas dukungan moril dan doanya dalam pembuatan proposal skripsi.
8. Kerabat kerja di pos kamling atas dukungan pemikiran.

Semoga Allah SWT membalas kebaikan dan jasa-jasa beliau yang telah membimbing dan membantu kami dalam pembuatan tugas akhir ini.

Makassar, September 2020

Penyusun



DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN PERSETUJUAN	i
ABSTRAK	ii
KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI	v
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR SIMBOL	x
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Ruang Lingkup Penelitian	4
1.4 Tujuan Penelitian	4
1.5 Manfaat Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Manipulator	5
2.2 Konsep dasar manipulator	7
2.3 <i>Autodesk Fusion 360</i>	9
2.4 CAE DENGAN FUSION 360	10
2.5 Jenis-Jenis Simulasi	12
2.6 <i>3D Printing</i>	15
2.7 <i>Filament PLA (Polylactic Acid)</i>	17
BAB III METODE PENELITIAN	18
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	18
3.2 Alat dan Bahan	19
3.3 Langkah Kerja	19

3.4 Diagram Alur Penelitian	29
3.5 Teknik Analisis Data	31
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	32
4.1 Hasil Penelitian	32
4.1.1 Spesifikasi filament PLA	32
4.1.2 Model <i>Gripper Arm</i>	33
4.1.3 Hasil Pengujian.....	33
A. Pengukuran Massa Model <i>Gripper Arm</i>	33
B. Hasil Pengujian Tekan	34
4.1.4 Hasil Uji Simulasi.....	37
A. Hasil Uji Simulasi Model I Vertikal	37
B. Hasil Uji Simulasi Model I Horizontal	40
C. Hasil Uji Simulasi Model II Horizontal	43
D. Hasil Uji Simulasi Model II Vertikal.....	46
4.2 Pembahasan.....	48
4.2.1 Model <i>Gripper Arm</i>	48
4.2.2 Pengujian Aktual	49
4.2.3 Pengujian Simulasi	51
4.2.4 Data Pengujian Design Expert.....	39
A. Analisa Keterkaitan Antara Infill, Sudut Arah Cetak dan Massa Model	42
B. analisa varians dan model matematika Massa.....	42
C. Analisa Varians dan Model Matematika Kekuatan	45
D. Optimasi	47
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	50
5.1 Kesimpulan	50
5.2 Saran	50
DAFTAR PUSTAKA	51
LAMPIRAN	72

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Jadwal Kegiatan Penelitian.....	18
Tabel 3.2 tabel distribusi tegangan	31
Tabel 4.1 Spesifikasi Material PLA.....	32
Tabel 4.2 Sampel Pengujian massa	34
Tabel 4.3 Hasil Pengujian kekuatan Secara Vertikal.....	35
Tabel 4.4 Perbandingan Hasil Uji Kekuatan Sampel Secara Eksperimen Dan Simulasi Secara Vertikal	32
Tabel 4.5 Perbandingan Hasil Uji Kekuatan Sampel Secara Eksperimen Dan Simulasi Secara Vertikal	34
Tabel 4.6 Hasil pengujian kekuatan secara Horisontal.....	36
Tabel 4.7 Perbandingan Hasil Uji Kekuatan Sampel Secara Eksperimen Dan Simulasi Secara Horisontal	37
Tabel 4.8 Perbandingan Hasil Uji Kekuatan Sampel Secara Eksperimen Dan Simulasi Secara Horisontal	39
Tabel 4.9 Statistik Kecocokan Model Untuk Massa	64
Tabel 4.10 Hasil ANOVA untuk Massa	65
Tabel 4.11 Statistik Kecocokan Model Untuk Kekuatan.....	67
Tabel 4.12 Hasil ANOVA untuk Kekerasan.....	68
Tabel 4.13 Pengaturan Untuk Optimasi Parameter Proses Dan Respon	69
Tabel 4.14 Solusi yang memungkinkan untuk optimasi kekuatan	70

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 robot manipulator (sumber gambar fusion autodesk fusion)	7
Gambar 2.2 <i>Joint</i> (sendi) pada lengan robot	8
Gambar 2.3 Contoh Gripper Pencengkrum	9
Gambar 2.4 3D printing	16
Gambar 2.5 Filament PLA	18
Gambar 3.1 Desain Material Benda Uji (a) Model 1, dan (b) Model 2	21
Gambar 3.2 Dimensi <i>Gripper Arm</i> Model 1	22
Gambar 3.3 <i>Import</i> Desain Gambar	22
Gambar 3.4 Pengaturan posisi Benda Uji	23
Gambar 3.5 <i>Edit Process Setting</i>	23
Gambar 3.6 Pengaturan <i>Infill</i>	24
Gambar 3.7 Pengaturan <i>Support</i>	24
Gambar 3.8 Pengaturan <i>Temperature</i> Cetak	25
Gambar 3.9 Pengaturan Kecepatan Cetak	25
Gambar 3.10 Simulasi Pencetakan	26
Gambar 3.11 Penyimpanan G-code	26
Gambar 3.12 Spesimen Uji Tekan	29
Gambar 3.13 Diagram Alur Penelitian	30
Gambar 4.1 Model 1 (a) dan Model 2 (b)	33
Gambar 4.2 Model 1 Pembebanan Vertikal	37
Gambar 4.3 Hasil Simulasi Model 1 Secara Vertikal	40

Gambar 4.4 Simulasi Model 1 Pembebanan Horisontal	40
Gambar 4.5 Hasil Simulasi Model 1 Horizontal	42
Gambar 4.6 Simulasi Model 2 Pembebanan Horisontal.....	43
Gambar 4.7 Hasil Simulasi Model 2 Secara Horizontal	45
Gambar 4.8 Model 2 Simulasi Pembebanan Vertikal.....	46
Gambar 4.9 Hasil Simulasi Model 2 Secara Vertikal.....	48
Gambar 4.10 Grafik Perbandingan Hasil Simulasi dan Aktual Model 1.....	49
Gambar 4.11 Grafik Perbandingan Hasil Simulasi dan Aktual Model 2.....	50
Gambar 4.12 Grafik Perbandingan Simulasi Terhadap Model 1 dan 2.....	53
Gambar 4.13 Grafik Garis Perbandingan model 1 dan model 2 Arah Cetak 45 penekanan Vertikal.....	55
Gambar 4.14 Grafik Garis Perbandingan model 1 dan model 2 Arah Cetak 45 penekanan Horisontal	56
Gambar 4.15 Grafik Garis Perbandingan model 1 dan model 2 Arah Cetak 113 penekanan Vertikal.....	57
Gambar 4.16 Grafik Batang Perbandingan model 1 dan 2 Arah Cetak 113 Secara Horizontal	58
Gambar 4.17 Grafik Garis Perbandingan model 1 dan model 2 Arah Cetak 180 penekanan Vertikal.....	59
Gambar 4.18 Grafik Garis Perbandingan model 1 dan model 2 Arah Cetak 180 penekanan Horizontal.....	60
Gambar 4.19 Grafik Berat terhadap sudut dan infil	64
Gambar 4.20. Grafik kekuatan terhadap sudut dan infill.....	67

Gambar 21. Daerah Kekuatan dan Berat Gripper yang optimum (area kuning)..69



DAFTAR SIMBOL

NO.	SIMBOL	PENJELASAN
1.	%	Persentase
2.	°	Derajat
3.	N	Newton
4.	MPa	Megapascal



DAFTAR LAMPIRAN

Alat Yang Digunakan Saat Pengujian	73
Proses pencetakan gripper arm.....	74
Hasil proses 3D printing	75
Hasil pencetakan gripper arm.....	75
Desain alat bantu pengujian	76
Proses pengujian.....	76
Proses pengambilan data.....	77
Sampel pengujian.....	78
Lampiran fusion 360.....	79
Hasil simulasi	80
Drawing model 1	81
Drawing model 2.....	82



SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Hasrat

NIM : 44316002

menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa segala pernyataan dalam skripsi ini yang berjudul "Redesain dan Fabrikasi *Gripper Arm 2-Finger* Menggunakan *Additive Manufacturing*" merupakan gagasan dan hasil karya saya sendiri dengan arahan komisi pembimbing dan belum pernah diajukan dalam bentuk apa pun pada perguruan tinggi dan instansi mana pun.

Semua data dan informasi yang digunakan telah dinyatakan secara jelas dan dapat diperiksa kebenarannya. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya penulis lain telah disebutkan dalam naskah dan dicantumkan dalam skripsi ini.

Jika pernyataan saya tersebut di atas tidak benar, saya siap menanggung risiko yang ditetapkan oleh Politeknik Negeri Ujung Pandang.

Makassar, 9 September 2020



Hasrat

44316002

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Fantry

NIM : 44316017

menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa segala pernyataan dalam skripsi ini yang berjudul " Redesain dan Fabrikasi *Gripper Arm 2-Finger* Menggunakan *Additive Manufacturing*" merupakan gagasan dan hasil karya saya sendiri dengan arahan komisi pembimbing dan belum pernah diajukan dalam bentuk apa pun pada perguruan tinggi dan instansi mana pun.

Semua data dan informasi yang digunakan telah dinyatakan secara jelas dan dapat diperiksa kebenarannya. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya penulis lain telah disebutkan dalam naskah dan dicantumkan dalam skripsi ini.

Jika pernyataan saya tersebut di atas tidak benar, saya siap menanggung risiko yang ditetapkan oleh Politeknik Negeri Ujung Pandang.

Makassar, 9 September 2020



Fantry

44316017

REDESAIN DAN FABRIKASI GRIPPER ARM 2-FINGER MENGUNAKAN ADDITIVE MANUFACTURING

Oleh:

**Hasrat
Fantry**

RINGKASAN

Gripper arm 2-finger merupakan bagian dari manipulator atau lengan robot yang memiliki 2 jari untuk mengambil objek benda.. Penelitian ini bertujuan untuk mengoptimalkan model dari gripper arm 2-finger dengan memaksimalkan kekuatan serta meminimalkan berat model. Gripper arm dicetak menggunakan mesin 3D printing. Pencetakan gripper arm dibagi menjadi model 1 dan model 2 (model alternative). Pencetakan model dilaksanakan pada infill 60%, 80%,100% dengan sudut arah cetak 45°, 113°, 180° dan material digunakan adalah PLA+ yang mempunyai nilai kekuatan tekan 65 Mpa. Hasil dari penelitian menunjukkan kekuatan tertinggi terjadi pada gripper arm model 2 sebesar 140 N pada pembebanan horizontal dan 400N pada pembebanan vertikal . kekuatan terbesar pada model 2, dikombinasikan terhadap pencetakan infill 100% dan arah sudut cetak 45°(vertical) dan pada kombinasi pencetakan infill 80% dan arah sudut cetak 113° (horizontal). Kerapatan infill serta arah pencetakan pada mesin 3D printing berpengaruh pada kekuatan gripper arm yang dicetak.

Kata Kunci: Gripper Arm, 3D Printing, Infill, Sudut Arah Cetak, Kekuatan,

REDESAIN DAN FABRIKASI *GRIPPER ARM 2-FINGER* MENGUNAKAN *ADDITIVE MANUFACTURING*

Oleh:

**Hasrat
Fantry**

RINGKASAN

Gripper arm 2-finger is part of a manipulator or a robot arm that has 2 fingers to pick up objects. This study aims to optimize the model of the 2-finger gripper arm by maximizing strength and minimizing the weight of the model. The gripper arm is printed using a 3D printing machine. Gripper arm printing is divided into model 1 and model 2 (alternative model). Model printing is carried out at infill of 60%, 80%, 100% with printing direction 45 °, 113 °, 180 ° and the material used is PLA + which has a tensile strength value of 65 MPa. Results of the study show that the highest strength occurs in the gripper arm model 2 of 140 N for horizontal loading and 400N for vertical loading. Biggest strength in model 2, combined with 100% infill printing and 45 ° (vertical) printing direction and the combination of 80% infill printing and 113 ° (horizontal) printing direction. The infill density and the printing direction on a 3D printing machine affect the strength of the printed gripper arm.

Keywords: *Gripper Arm; 3D Printing; infill density; Print Direction; Strenght.*

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dalam dunia industri saat ini, banyak produk yang dihasilkan secara massal yang dituntut untuk memiliki ketelitian yang tinggi. Berdasarkan pertimbangan kualitas produk yang dihasilkan, maka diperlukanlah suatu alat yang dapat mendukung kinerja di bidang industri. Alat tersebut salah satu contohnya adalah robot. Salah satu jenis robot yang digunakan di dunia industri adalah *arm* robot. *Arm* robot sangat populer dalam dunia robotika untuk masa depan. *Arm* robot pada umumnya terdiri dari bahu, persendian dan tangan yang bisa berupa sebuah gripper atau tangan yang memiliki jari seperti halnya tangan manusia sebagai pengambil objek. Bagian tangan robot dikenal sebagai manipulator tangan, yaitu sistem gerak yang berfungsi untuk manipulasi (memegang, mengambil, mengangkat, memindahkan, mengolah) objek. Untuk melakukan pengambilan objek lengan robot ini dilengkapi dengan *gripper* (pemegang) yang berupa jari-jari seperti halnya jari manusia. Desain dari *gripper* arm sangat mempengaruhi fungsi dari manipulator mulai dari daya kekuatan, penggunaan material hingga nilai estetika dari alat tersebut.

Fusion360 adalah *cloud-based* CAD/CAM *tool* untuk keperluan *collaborative product development*. Dimana pada era berkembangnya sistem informasi yang cepat maka dibutuhkan *tools* yang dapat mengakomodir kebutuhan para desainer dalam melakukan kolaborasi desain mereka. *Fusion360* mengkombinasikan pemodelan organik dengan *solid modeling* yang presisi secara

cepat dan mudah diterapkan, serta membuat desain memungkinkan untuk dapat diproduksi. *Rendering* dan gambar teknik yang terdapat dalam *Fusion360* memudahkan para pihak untuk berkomunikasi dalam desain produk sebelum produk tersebut dibuat, bahkan sistem CAM dalam *Fusion360* dapat menghasilkan program CNC untuk mesin-mesin berkomputerisasi dalam membuat produk tersebut. Mengirim data 3 Dimensi langsung ke mesin *3D Printer* dapat juga dilakukan sehingga desain yang dibuat dapat secara cepat terwujud dalam bentuk prototype fisik. karena dengan menggunakan printer 3D pembuatan *prototype* yang biasanya memakan waktu yang lama dapat dibuat dalam waktu yang lebih singkat. Selain itu *Autodesk Fusion360* ini juga dilengkapi dengan kemampuan CAE dimana fungsi dari CAE adalah untuk melakukan analisa *Engineering* seperti *Stress Analysis*, *Modal Frequency Analysis*, *Buckling Test*, *Thermal Analysis*, dan lain sebagainya. Untuk melengkapi luaran dari desain yang telah dibuat di *Fusion360* tersedia pula fitur untuk membuat gambar kerja dari setiap *part/assembly* yang telah di desain (Rusdi Nur, 2019).

Dalam hal pemodelan 3D, *Fusion 360* menawarkan sketsa, pemodelan parametrik, pemodelan langsung, pemodelan bentuk bebas, pemodelan permukaan, lembaran logam, pemodelan jala, rakitan, dan integrasi desain PCB. Oleh karena itu, ini mencakup semua kebutuhan yang mungkin dimiliki oleh para perancang industri ketika mengembangkan suatu produk, menggabungkan estetika dan fungsi.

Penelitian dan pengembangan merupakan penelitian yang dilakukan bukanlah untuk menemukan teori, melainkan penelitian yang bertujuan untuk menghasilkan atau mengembangkan suatu produk (Paidi, 2014: 57). Sedangkan menurut Nana Syaodih Sukmadinata (2009: 206) Penelitian dan pengembangan atau Research and Development (R&D) adalah rangkaian proses atau langkah-langkah dalam rangka mengembangkan suatu produk baru atau menyempurnakan produk yang telah ada agar dapat dipertanggungjawabkan

Umumnya desain *Gripper Arm 2-finger* pada lengan robot diperuntukkan untuk memegang benda dengan bentuk tertentu . Bentuk desain gripper *Arm 2-finger* dapat dioptimalkan, agar mendapatkan model yang sempurna serta kekuatan produk yang lebih kokoh. Dari permasalahan tersebut peneliti tertekan untuk meredesain atau mengembangkan model *gripper arm 2-finger* terhadap struktur model dan kekuatan produk yang lebih maksimal menggunakan simulasi pada software *Autodesk fusion 360*. Hasil dari redesain selanjutnya dicetak menggunakan 3D printing untuk melihat bentuk *prototype* fisik *Gripper Arm 2-Finger*.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan, maka rumusan masalah pada penelitian ini adalah meredesain *Gripper Arm 2-Finger* agar lebih ringan (meminimalkan material) dan memaksimalkan kekuatan produk dengan menggunakan simulasi pada *software Autodesk fusion 360*.

1.3 Ruang Lingkup Penelitian

Adapun yang termasuk dalam ruang lingkup penelitian ini yaitu :

1. Melakukan desain *Gripper Arm 2-Finger* terlebih dahulu menggunakan *software Autodesk Fusion360*.
2. Melakukan analisis desain *Gripper Arm 2-Finger* menggunakan *software fusion 360*.
3. Mencetak hasil desain *Gripper Arm 2-Finger* sebelum dan sesudah Redesain menggunakan *3D printing*.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai pada penelitian ini adalah untuk mengoptimalkan desain *Gripper Arm 2-Finger* agar lebih ringan namun dapat memaksimalkan kekuatan model produk.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dilakukannya penelitian ini ialah:

1. Dapat memberikan informasi mengenai optimalisasi desain *Gripper Arm 2-Finger* menggunakan *Software Fusion 360*.
2. Sebagai sarana referensi bagi industri maupun mahasiswa khususnya teknik mesin mengenai optimalisasi desain *Gripper Arm 2-Finger* menggunakan *Software Fusion 360*.
3. Dapat menerapkan serta mengembangkan ilmu pengetahuan serta teknologi khususnya di bidang *software Autodesk Fusion360*.
4. Sebagai sarana referensi bagi industri serta peneliti selanjutnya dalam penelitian menggunakan *software Autodesk Fusion360*.

BAB II

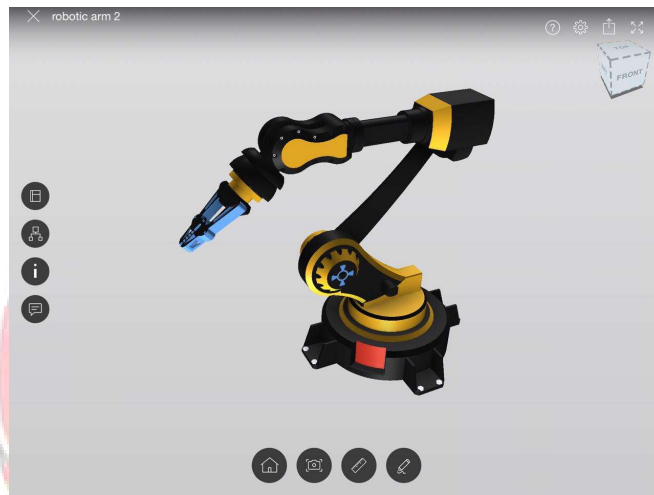
TINJAUAN PUSTAKA

Teknologi Robot Manipulator yang berbentuk mirip dengan lengan manusia dan berfungsi membantu pekerjaan manusia yaitu dengan mengaplikasikan lengan robot tersebut didalam dunia industri, dapat digunakan sebagai pemindah barang dengan berat barang berskala besar, dengan kecepatan dan ketepatan yang akurat, pengendaliannya pun bisa berupa otomatis atau secara manual. Otomatis robot merupakan robot yang dapat bergerak sesuai dengan sistem gerakannya tanpa harus ada campur tangan manusia. Manual robot merupakan robot yang bergerak sesuai dengan sistem gerakannya tapi dengan bantuan operator sebagai pengendalinya. Lengan robot pada umumnya terdiri dari bahu, persendian dan tangan yang bisa berupa sebuah *gripper* atau tangan yang memiliki jari seperti halnya tangan manusia sebagai pengambil objek. Bagian tangan robot dikenal sebagai manipulator tangan, yaitu sistem gerak yang berfungsi untuk manipulasi (memegang, mengambil, mengangkat, memindahkan, mengolah) objek. Untuk melakukan pengambilan objek lengan robot ini dilengkapi dengan *gripper* (pemegang) yang berupa jari-jari seperti halnya jari manusia. Lengan robot didesain agar dapat mengikuti gerak sesuai dengan gerakan yang dilakukan oleh gerakan lengan manusia.

2.1 Manipulator

Robot Manipulator merupakan robot yang bentuknya menyerupai lengan manusia dan berfungsi membantu pekerjaan manusia sehari-hari termasuk pada

dunia industri. Robot Manipulator juga dapat digunakan sebagai pemindah barang dengan berat barang berskala besar dengan kecepatan dan ketepatan yang akurat, serta pengendaliannya pun bisa berupa otomatis atau secaramanual. Robot otomatis merupakan robot yang dapat bergerak sesuai dengan sistem geraknya tanpa harus ada campur tangan manusia (Hendy Djaya Siswaja, 2008).



Gambar 2.1 Robot Manipulator (sumber: *autodesk fusion*)

Robot manual merupakan robot yang bergerak sesuai dengan sistem geraknya tapi dengan bantuan operator sebagai pengendalinya. Lengan robot pada umumnya terdiri dari bahu, persendian dan tangan yang bisa berupa sebuah *gripper* atau tangan yang memiliki jari seperti halnya tangan manusia sebagai pengambil objek. Bagian tangan robot dikenal sebagai manipulator tangan, yaitu sistem gerak yang berfungsi untuk manipulasi (memegang, mengambil, mengangkat, memindahkan, mengolah) objek. Untuk melakukan pengambilan objek lengan robot ini dilengkapi dengan *End Effector (Gripper)* yang berupa jari-jari seperti halnya jari manusia (Afin, 2018).

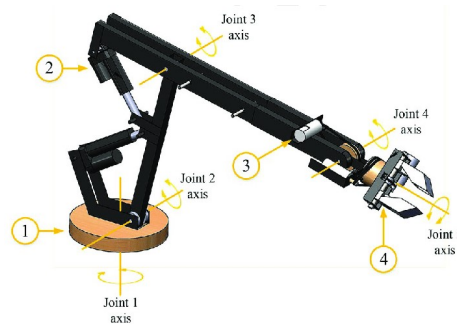
Lengan robot didesain agar dapat mengikuti gerak sesuai dengan gerakan yang dilakukan oleh gerakan lengan manusia, input pengontrol dibuat dengan potensiometer untuk persendian lengan dan *flex sensor* yang diletakkan pada jari-jari manusia dengan cara membuat pengendali yang sesuai dengan bentuk lengan dan jari-jari manusia agar dapat digunakan sebagai penggerak sendi-sendi pada lengan robot

2.2 Konsep Dasar Manipulator

Robot Manipulator merupakan sistem mekanik yang menunjukkan pergerakan dari robot. Sistem mekanik ini terdiri dari susunan link (rangka) dan *joint* (engsel) yang mampu menghasilkan gerakan yang terkontrol, sebagai rangkaian umpan balik terbuka maupun rangkaian umpan balik tertutup yang dihubungkan dengan sendi-sendi dan dapat melakukan gerakan-gerakan secara bebas (Raditya Wahyu Imansyah, 2013). Beberapa istilah dalam manipulator robot yaitu

1. *Joint* (Sendi) yaitu koneksi antar link yang dapat menentukan pergerakan.

Pada gambar 2.2 merupakan contoh *joint* (sendi) pada robot.



Gambar 2.2 *Joint* (sendi) pada lengan robot (sumber: sistem kendali robot manipulator pemindah barang)

2. *Link* merupakan bagian-bagian kerangka yang kaku yang dihubungkan secara bersamaan sehingga membentuk suatu rangkaian kinematic.

Bagian-bagian manipulator lengan robot Secara umum manipulator lengan robot itu terdiri dari :

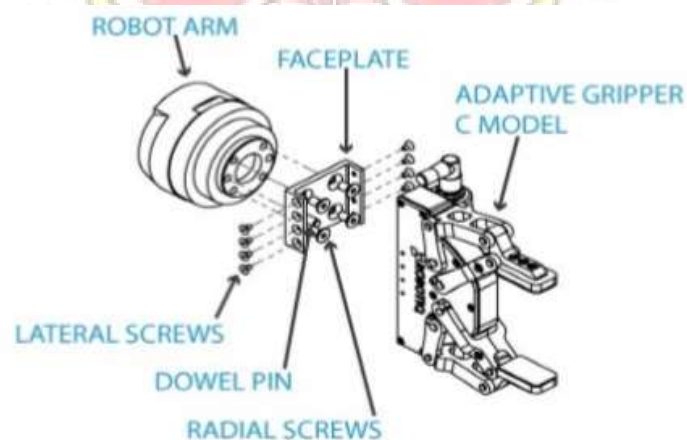
- a. Mekanikal tangan (*Mechanical Arm*). Merupakan pembentukan utama konstruksi pada lengan robot, dimana pembentukannya disesuaikan dengan kebutuhan dari lengan robot dan pengendali lengan robot tersebut.

- b. *End Effector*

Merupakan suatu komponen pada lengan robot yang mempunyai fungsi mencengkram suatu objek tertentu untuk di pegang atau di pindahkan.

Jenis-jenis *End Effector* diantara lain *Gripper* dan *Tools*.

- c. *Gripper* (Pencengkram): Merupakan suatu piranti yang digunakan untuk mencengkram suatu objek. Pada gambar 2.2 merupakan contoh *Gripper* dengan tipe pencengkram.



Gambar 2.3 Contoh Gripper Pencengkram (sumber: Andy Rahmawan, 2013)

2.3 Autodesk Fusion 360

Autodesk Fusion 360 adalah *cloud-based CAD/CAM tool* untuk keperluan *collaborative product development*. Dimana pada era berkembangnya sistem informasi yang cepat maka dibutuhkan tools yang dapat mengakomodir kebutuhan para desainer dalam melakukan kolaborasi desain mereka. *Fusion360* mengkombinasikan pemodelan organik dengan solid modeling yang presisi secara cepat dan mudah diterapkan, serta membuat desain memungkinkan untuk dapat diproduksi. *Rendering* dan gambar teknik yang terdapat dalam *Fusion360* memudahkan para pihak untuk berkomunikasi dalam desain produk sebelum produk tersebut dibuat, bahkan sistem CAM dalam *Fusion360* dapat menghasilkan program CNC untuk mesin-mesin berkomputerisasi dalam membuat produk tersebut. Mengirim data 3 Dimensi langsung ke mesin *3D Printer* dapat juga dilakukan sehingga desain yang dibuat dapat secara cepat terwujud dalam bentuk prototype fisik. Data yang tersimpan dalam sistem *Cloud* memastikan para designer dapat mengakses secara mudah dimana saja dan kapanpun. Selain itu *Autodesk Fusion360* ini juga dilengkapi dengan kemampuan CAE dimana fungsi dari CAE adalah untuk melakukan analisa *Engineering* seperti *Stress Analysis*, *Modal Frequency Analysis*, *Buckling Test*, *Thermal Analysis*, dan lain sebagainya. Untuk melengkapi luaran dari desain yang telah dibuat di *Fusion360* tersedia pula fitur untuk membuat gambar kerja dari setiap *part/assembly* yang telah di desain.

2.4 CAE Dengan FUSION 360

Menurut Didi Widya Utama (2017), Simulasi menggunakan analisis elemen hingga (*Finite Element Analysis*, FEA) untuk menyelidiki performansi. Simulasi memungkinkan kita untuk melakukan stress (statis, nonlinier statis, dan simulasi kejadian), modal, tekuk, *termal*, *stres termal*, dan analisis pengoptimalan bentuk (). Kita dapat menentukan bagaimana beban menyebabkan deformasi dan kegagalan, atau membantu Kita memahami jika dan bagaimana bagian akan gagal. Kita dapat juga menentukan frekuensi getaran alami untuk menghilangkan resonansi. Kita dapat mengidentifikasi distribusi suhu dan tekanan yang disebabkan oleh panas. Kita dapat menghemat waktu pada saat bereksperimen dengan variasi desain *virtual* atau beradaptasi dengan perubahan persyaratan desain. Kita dapat meminimalkan persyaratan prototipe fisik dan pengujian destruktif.

Melakukan analisis bagian mekanis atau perakitan dalam fase desain dapat menghasilkan produk yang lebih baik dengan waktu yang lebih singkat. simulasi *fusion360* dapat membantu kita dalam beberapa hal:

- a. Untuk menentukan apakah bagian atau rakitan cukup kuat untuk menahan beban atau getaran yang diharapkan tanpa merusak atau merusak secara berlebihan,
- b. Untuk mendapatkan wawasan berharga pada tahap awal ketika biaya mendesain ulang kecil.

- c. Untuk menentukan apakah bagian tersebut dapat dirancang ulang agar lebih hemat biaya sambil tetap tampil memuaskan sesuai penggunaan yang diharapkan.
- d. Akun untuk tegangan yang disebabkan oleh gradien suhu di samping tegangan yang terkait dengan beban mekanik statis atau transien.
- e. Pastikan komponen elektronik tidak kepanasan dan juga bahwa pendingin tidak dirancang secara berlebihan.
- f. Pastikan bahwa struktur yang panjang dan ramping tidak gagal karena ketidakstabilan *geometris* (tekuk) ketika mengalami beban tekan.
- g. Pastikan bahwa perangkat selamat dijatuhkan ke benda keras atau damp proyektil.
- h. Ubah massa dan geometri suatu objek untuk mengubah frekuensi getaran alaminya hindari frekuensi beban operasi untuk mencegah resonansi.
- i. Optimalkan geometri bagian Kita untuk meminimalkan bobotnya.

Simulasi menggunakan representasi matematis dari sistem fisik. Proses simulasi terdiri dari tahapan-tahapan sebagai berikut:

- a. Membangun atau mengimpor bagian atau perakitan (model)
- b. Menyederhanakan atau memodifikasi model khusus untuk tujuan simulasi
- c. Mendefinisikan sifat material
- d. Menerapkan kondisi batas (beban, penopang, mendefinisikan kondisi kontak, dan menyambung. Proses ini bersama-sama dengan bahan-bahan pendefinisian, adalah tahap pengaturan simulasi (juga disebut sebagai *preprocessing*).

- e. Tambahkan massa titik (Manual) untuk mensimulasikan berat komponen yang tidak termasuk dalam model.
- f. Ganti badan secara otomatis dalam model dengan beban massa titik (Otomatis) yang setara untuk menyederhanakan analisis Kita
- g. Memecahkan representasi matematis dan desain Kita Hasi untuk geometri dan beban atau kondisi yang rumit akan sulit atau tidak mungkin ditentukan oleh persamaan teknik klasik. Namun, elemen elemen yang terbentuk melalui proses meshing memiliki bentuk sederhana, dan perilaku individu mereka relatif mudah ditentukan. Pemecah meringkas perilaku masing-masing elemen dan memprediksi kinerja seluruh sistem fisik dengan menyelesaikan persamaan aljabar simultan.
- h. Meninjau hasil Studi tentang hasil solusi disebut sebagai evaluasi hasil atau *postprocessing*.

2.5 Jenis-Jenis Simulasi

Kita dapat melakukan beberapa jenis simulasi dengan *Autodesk Fusion 360*. Pedoma berikut digunakan untuk membantu memilih jenis simulasi yang tepat untuk situasi khusus. Kita dapat memilih Jenis simulasi saat membuat eksperimen, dan juga dapat mengubah studi yang ada dengan menggunakan perintah Kelola di bilah simulasi Beberapa jenis simulasi studi yang tersedia dirangkum dalam daftar berikut (Indar Sugiarto, 2008):

- a. *Static Stress*; Menganalisis bagaimana model merespon beban dan kendala struktural. Dari hasil analisa, Kita dapat menyelidiki perpindahan, tekanan, factor, keselamatan, reaksi, dan kriteria kegagalan umum. Hasilnya

dihitung berdasarkan asumsi perpindahan kecil dan respons linear terhadap tegangan.

- b. *Modal Frequency*; Analisis karakteristik getaran bebas alami dari suatu ba atau rakitan. Dari hasil analisis, Kita dapat menyelidiki bentuk berbagai mode getaran, frekuensi yang sesuai, dan faktor partisipasi massa mereka. Selain itu *Autodesk fusion 360* dapat menjelaskan efek beban struktural pada frekuensi alami.
- c. *Structural Buckling*; Menentukan *multiplier buckling* kritis untuk struktur dikenai beban tekan. Pengganda ini dihitung untuk sejumlah bentuk mode yang ditentukan. Ini adalah faktor dimana beban yang diterapkan harus a untuk mencapai beban tekuk kritis. Pengganda kurang dari 1,0 berarti bahwa struktur tertekuk karena ketidakstabilan geometris sebelum beban yang diterapkan tercapai.
- d. *Nonlinear Static Stress*, Jenis simulasi ini memperluas kemampuan di luar analisis tegangan statis dengan menambahkan dukungan untuk karakteristik berikut:
 - Deformasi dan gerak besar
 - Perubahan kontak selama acara simulasi
 - Perubahan beban atau kondisi batas selama acara simulasi
 - Perilaku material nonlinier (seperti perubahan kekakuan material dan deformasi permanen, yang keduanya terjadi ketika material ditekan melebihi kekuatan luluh)

- Peningkatan perhitungan bergKita dilakukan saat beban diterapkan secara bertahap (*ramped*)
- e. *Event Simulation*; Jenis simulasi ini memperluas kemampuan di luar analisis tegangan statis nonlinier dengan menambahkan dukungan untuk karakteristik berikut:
- Kecepatan dan redaman serta massa dan akselerasi (efek inersia) dipertimbangkan untuk simulasi peristiwa dinamis yang bergantung waktu dan benar (seperti analisis dampak).
 - Kurva beban mengontrol besarnya beban yang diterapkan dan perpindahan yang ditentukan sebagai fungsi waktu.
 - Peningkatan beban bukan merupakan pembagian beban atau perpindahan statis yang sewenang-wenang. Sebagai gantinya, mereka menentukan kondisi struktural pada titik waktu sesaat yang sebenarnya selama peristiwa yang disimulasikan. Hasil dihitung dan dikeluarkan pada setiap titik.
 - Simulasi Acara umumnya melibatkan penambahan waktu yang sangat kecil dan durasi acara keseluruhan yang pendek. Contoh tipikalnya adalah mensimulasikan perilaku kaca pelindung atau helm selama suatu peristiwa benturan.
- f. *Thermal*; Tentukan distribusi suhu kondisi-mapan dan aliran panas yang dihasilkan. Beban termal yang tersedia termasuk suhu yang diterapkan, sumber panas permukaan, konveksi, radiasi, dan pembangkit panas internal. Konduktivitas termal dari material harus diketahui serta suhu

sekitar dan koefisien perpindahan panas pada permukaan konveksi atau beban radiasi. Catatan: Karena simulasi termal *Fusion 360* adalah kondisi mapan, setidaknya satu beban termal berbasis suhu diperlukan dalam model untuk mensimulasikan perpindahan panas. Solusi *steady-state* mewakili ketika model telah mencapai kesetimbangan termal. Artinya, ada keseimbangan antara input panas dan output panas, dan distribusi suhu tetap konstan.

- g. *Thermal Stress*; Mensimulasikan tekanan yang disebabkan suhu. *Gradien* suhu dalam model dan karakteristik ekspansi termal yang bervariasi dari bahan. menghasilkan tekanan karena ekspansi termal tidak seragam. Tegangan adalah fungsi dari regangan karena ekspansi/kontraksi termal dan kekakuan material, Selain itu, Kita dapat menerapkan beban mekanis (seperti gravitasi, tekanan, atau gaya) pada model tegangan termal. Hasilnya menunjukkan kepada Kita efek gabungan dari tekanan beban struktural dan tekanan yang disebabkan suhu.
- h. *Shape Optimization*; Menentukan di mana kita dapat menghapus material dari desain Kita sambil tetap mencapai tekanan dan tujuan pemindahan yang diijinkan. Gunakan alat ini untuk mengoptimalkan penggunaan materi dan untuk mencapai tujuan desain yang ringan (seperti untuk peralatan penerbangan).

2.6 3D Printing

3D *printing* adalah teknologi yang pertama kali tercipta di tahun 1980-an. Diciptakan pertama kali oleh Chuck Hull dari *3D Systems Corp.* Sejak saat itu 3D

Printer terus berkembang dan digunakan secara luas. 3D *printing* adalah teknologi mencetak menggunakan mesin printing khusus sehingga hasil yang didapatkan berbentuk 3D. Mesin *printing* tersebut memiliki kecanggihan khusus, yakni mampu mencetak benda, yang sama persis dengan gambar *soft file*-nya, dalam bentuk 3D (tidak lagi sebatas mencetak gambar di atas kertas saja).



Gambar 2.4 3d printing (sumber: solvay.com)

Hasil dari 3D *printing* ini digunakan dalam *prototyping* (model) maupun industri secara luas, seperti dalam arsitektur, otomotif, militer, industri medis, fesyen, sistem informasi geografis sampai biotech (penggantian jaringan tubuh manusia). Contohnya, dalam pembuatan sepatu yang dilakukan oleh salah satu merk ternama dunia, solnya sudah mulai menggunakan 3D *printing*, yang tentunya sangat bisa terkustomisasi sesuai pengguna sepatunya.

2.7 Filament PLA (Polyactic Acid)

Menurut Endang Warsiki (2017), poli (asam laktat) atau *polylactic acid* atau *polylactide* (PLA) adalah poliester alifatik termoplastik biodegradable dan

bioaktif yang berasal dari sumber daya terbarukan. Karakteristik secara umum dari PLA adalah tidak beracun, menyempit pada saat dipanaskan sehingga cocok digunakan sebagai bahan pembungkus plastik dan sifat yang mudah melarutkannya dapat digunakan untuk aplikasi pencetakan 3D. Namun disisi lain suhu transisi yang relatif rendah menjadikan material ini tidak cocok digunakan untuk aplikasi yang bersentuhan dengan cairan panas yang berlebih. Dengan demikian aplikasi yang cocok dengan PLA adalah digunakan untuk membuat protipe perangkat medis. Suhu cetak umum PLA adalah antara 190°C hingga 220°C. Bahan ini sedikit fleksibel, namun menghasilkan cangkang luar yang halus dari benda tercetak.



Gambar 2.5 *Filament* PLA (sumber: 3dinsider.com)

BAB III

METODE PENELITIAN

Jenis penelitian ini adalah menganalisa optimalisasi desain *Gripper Arm 2-Finger* dengan menggunakan *Software Autodesk Fusion 360* dengan tujuan untuk mengoptimalkan model dan kekuatan produk. *Gripper Arm*. Hasil pengujian dari desain *Gripper Arm 2-Finger* selanjutnya dicetak menggunakan *3D printing* dengan tujuan untuk mengetahui bentuk *prototype* fisik desain yang telah didesain.

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan di kampus Politeknik Negeri Ujung Pandang pada laboratorium CAD CAM Jurusan Teknik Mesin. Waktu pelaksanaan penelitian dimulai pada bulan Januari – Agustus 2020.

Adapun *schedule* kegiatan penelitian adalah sebagai berikut:

3.2 Alat dan Bahan

Adapun alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

a) Alat:

1. Laptop
2. Autodesk Fusion360
3. *3D Printing Anycubic Mega - S*
4. Simplify 3D
5. Alat bantu pengujian

b) Bahan:

1. Plastik *Polylactic Acid (PLA)*

3.3 Langkah Kerja

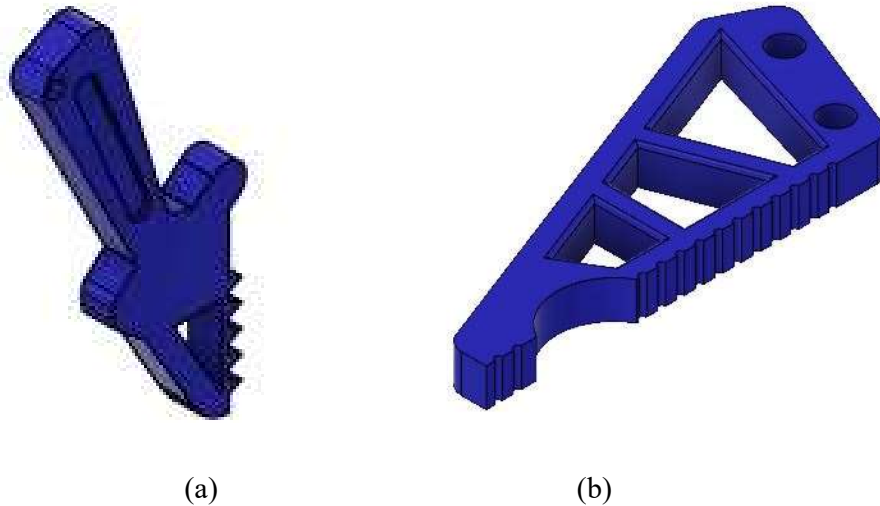
Penelitian ini dilakukan dengan beberapa tahap, antara lain sebagai berikut:

a. Persiapan alat dan bahan

Alat dan bahan yang disiapkan ialah sesuai yang telah disebutkan sebelumnya di atas dalam penelitian ini.

b. Pembuatan *Design* Benda Uji

Pembuatan *design* benda uji dengan cara menggambar benda uji menggunakan *software Autodesk Fusion360* sesuai dengan Gambar 3.1



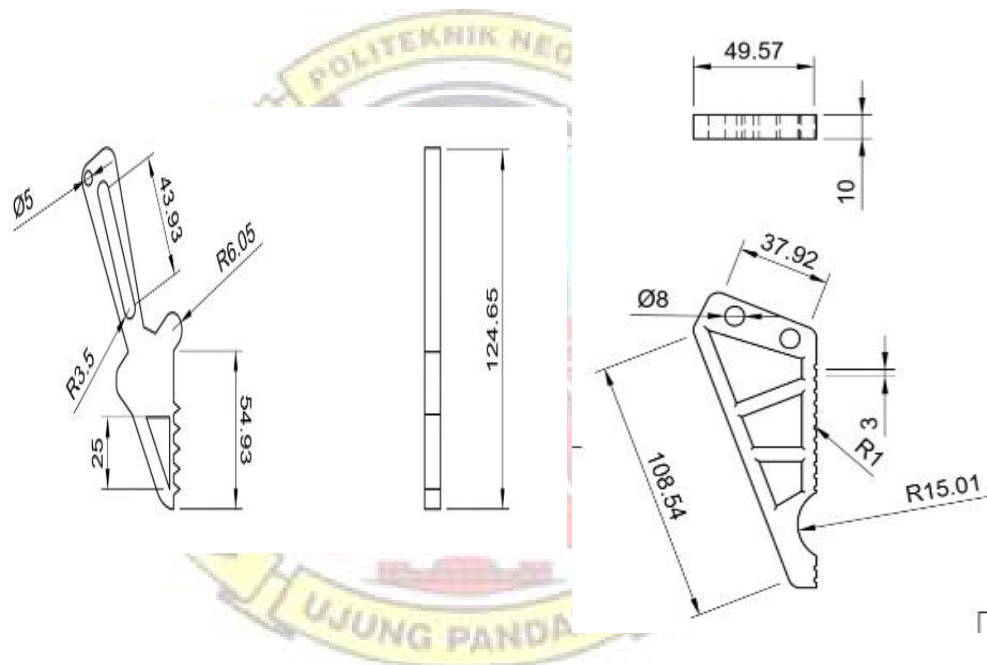
Gambar 3.1 Desain Material Benda Uji (a) Model 1, dan (b) Model 2

c. Melakukan simulasi benda uji

Simulasi dilakukan dengan menggunakan *software Autodesk Fusion360*, design yang telah selesai Digambar akan disimulasikan dengan metode simulasi statis stress pada *software Autodesk Fusion360*.

d. Pencetakan Benda uji

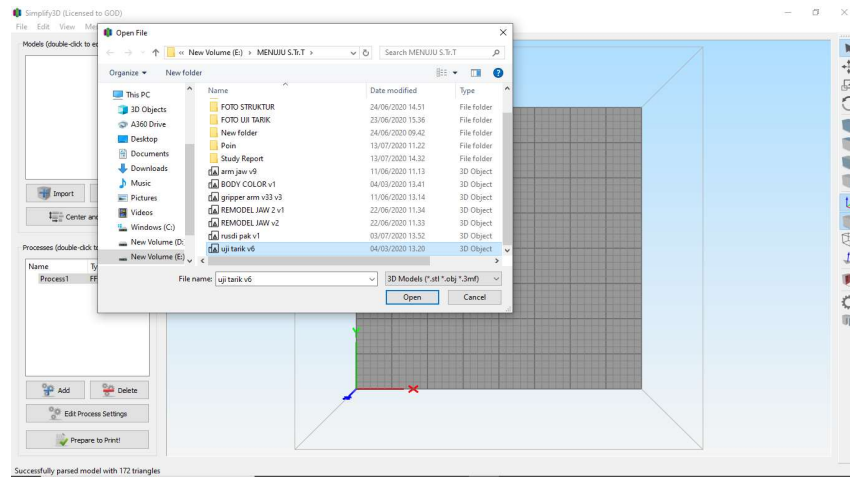
Gambar benda uji yang telah selesai kemudian diekspor ke format.slt yang akan digunakan di aplikasi Simplify 3D untuk mencetak benda uji material PLA dan ABS dengan memperhatikan variasi *Infill* cetak.



Gambar 3.2 Dimensi *Gripper Arm Model 1*

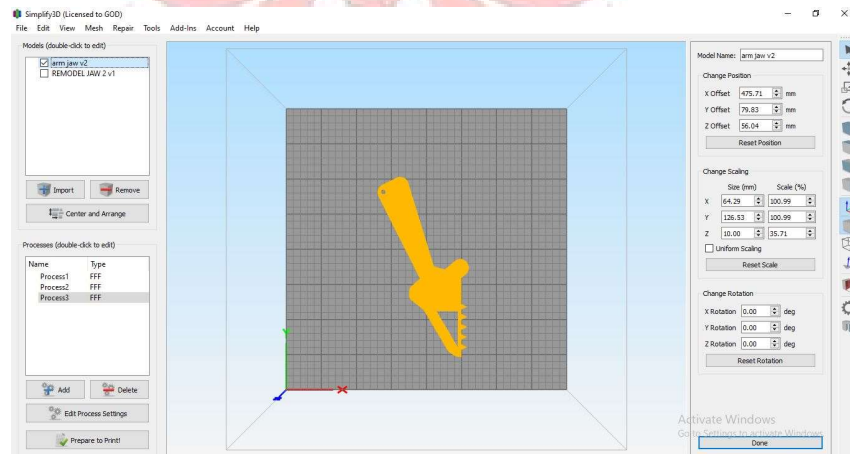
Adapun Langkah – Langkah yang harus diperhatikan dalam Simplify3D sebagai berikut :

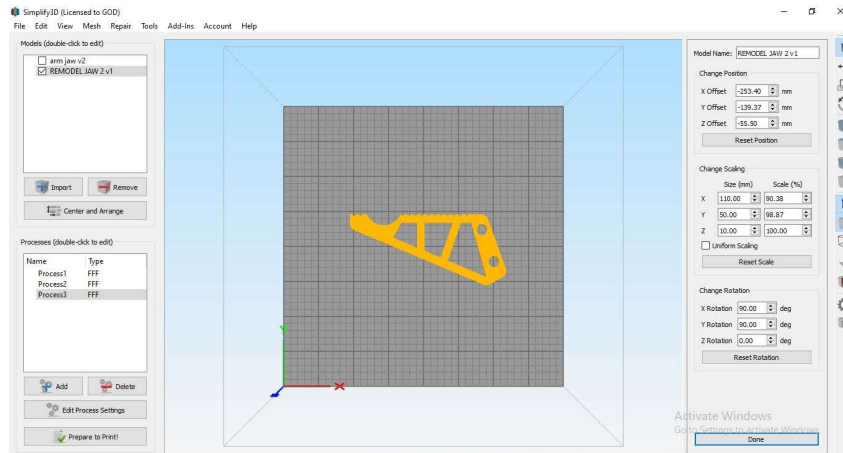
- *Import* desain gambar yang telah diubah dalam bentuk .slt



Gambar 3.3 *Import* Desain gambar

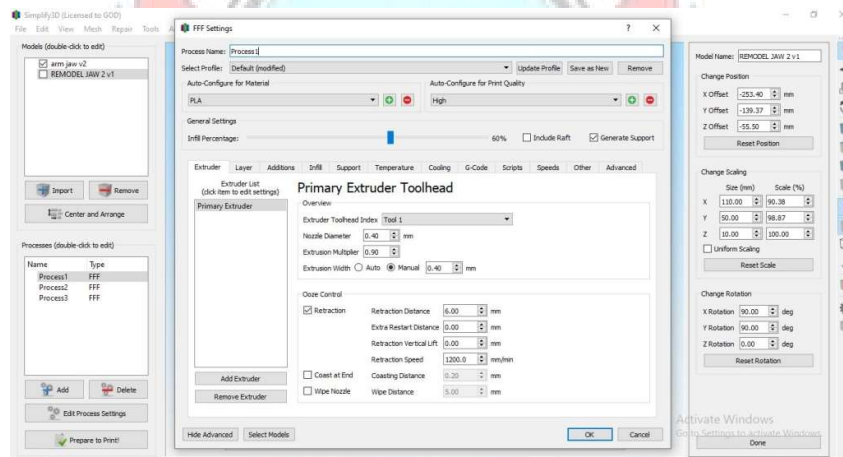
- Kemudian atur posisi gambar sesuai keingan, pastikan posisi benda uji rapat dengan tabel





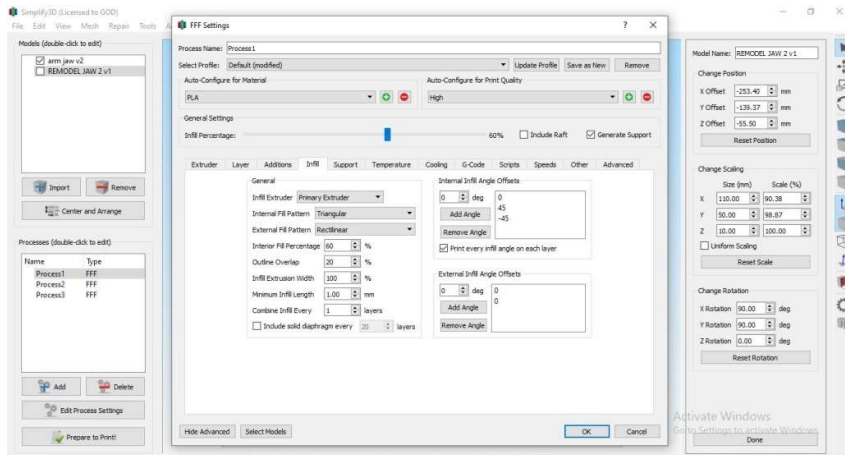
Gambar 3.4 Pengaturan Posisi Benda Uji

- Lalu masuk ke *Edit Process Setting*, kemudian atur material apa yang akan digunakan, Kualitas pencetakan (*Fast, Medium, High*), Layer



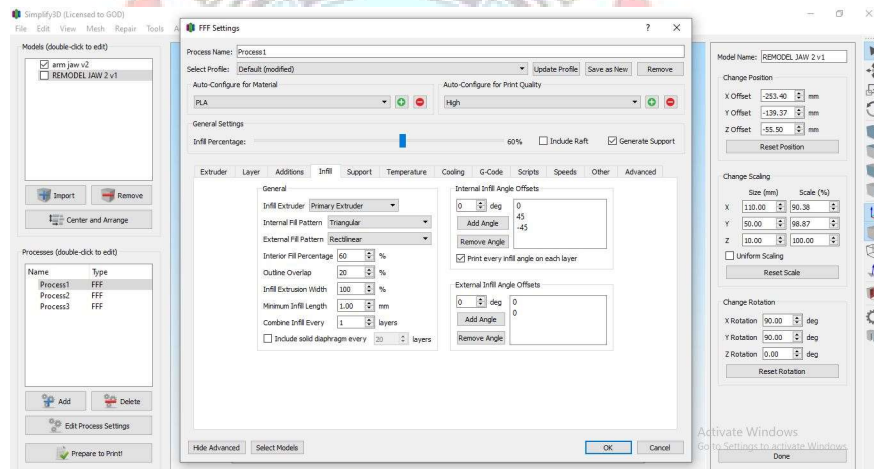
Gambar 3.5 Edit Process Setting

- *Infill* (0 – 100 %) Arah Cetak pada saat pencetakan, Internal Fill & External Fill,



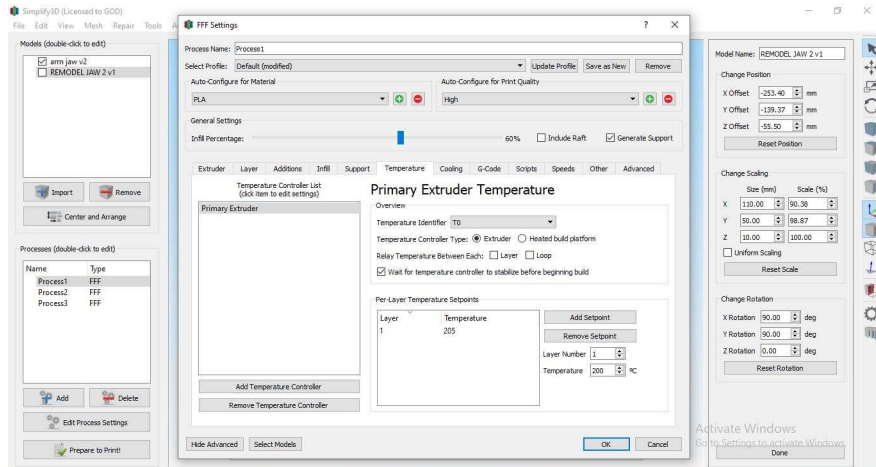
Gambar 3.6 Pengaturan *Infill*

- Support (jika diperlukan),



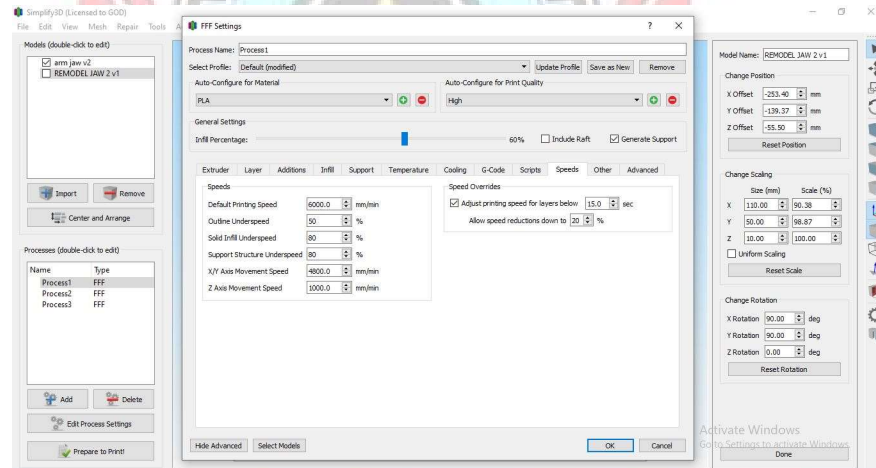
Gambar 3.7 Pengaturan Support

- *Temperature* pencetakan (Sesuai dengan temperature material),



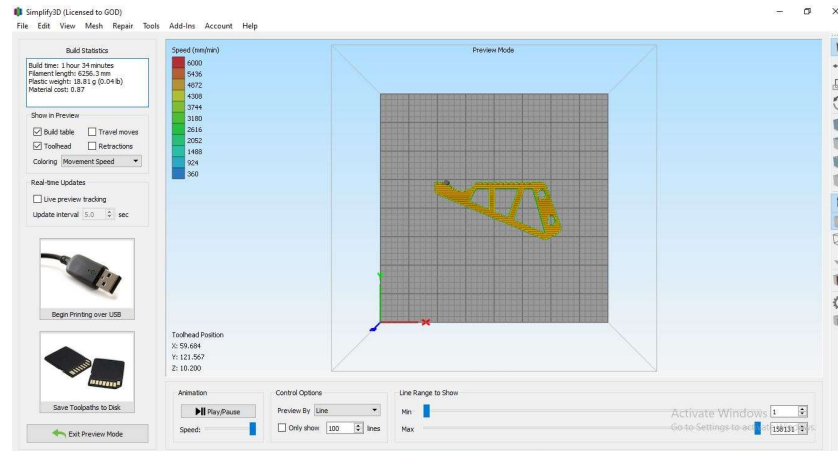
Gambar 3.8 Pengaturan *Temperature* Cetak

- dan Kecepatan cetak



Gambar 3.9 Pengaturan Kecepatan cetak

- Kemudian Klik *Prepare to Print* lalu perhatikan simulasi pencetakan benda uji apakah sesuai dengan yang kita inginkan



Gambar 3.10 Simulasi Pencetakan

- Jika telah sesuai, Bisa klik *Begin Printing over USB* jika menggunakan kabel USB atau bisa klik *Save Toolpaths to Disk* jika menggunakan SD card
- Setelah file telah disimpan file *G-code* ke *SD-card*. Masukkan *SD-card* ke *port SD-card* yang ada pada mesin *3D printing*.
- Nyalakan mesin *3D Printing* dengan cara menekan tombol *ON* yang berada pada bagian samping kiri mesin *3D*.
- Pilih *Tools* pada *LCD* mesin, klik *Axis* lalu pilih *Home*.
- Klik perintah *Back* untuk kembali ke tampilan *Tools*.
- Pilih perintah *Preheat*, lalu pilih *preheat PLA* jika menggunakan *filament PLA* atau pilih *preheat ABS* apabila menggunakan *filament ABS*, jika sudah selesai klik perintah *Back* (perintah *Preheat* berfungsi untuk memanaskan *Nozzle* dan *Print Bed* dengan suhu yang sesuai

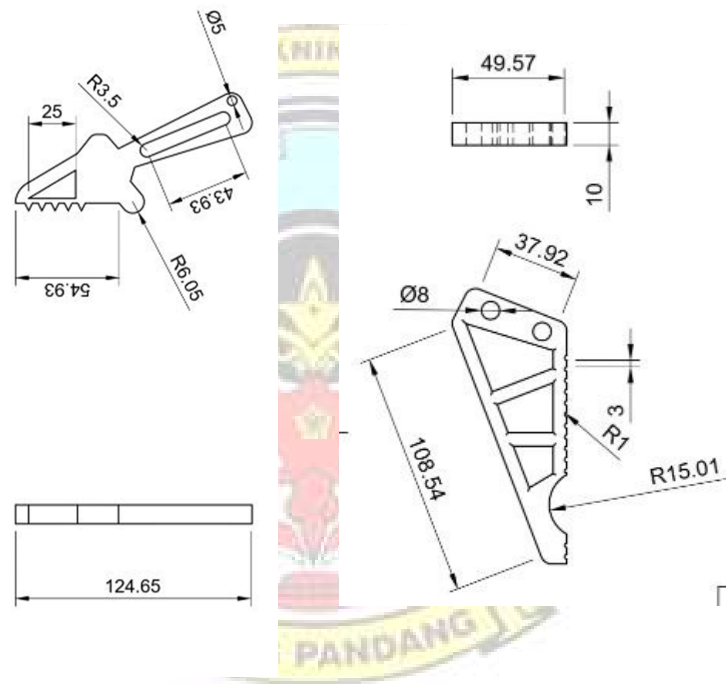
dengan standar mesin dan tidak dapat digunakan untuk menaikkan atau menurunkan suhu *Nozzle* atau *Print Bed*).

- Kembali ke menu utama lalu pilih *Setup* dan klik *Temp*. Perintah ini berfungsi untuk mengatur suhu dari *Nozzle* dan *Print Bed* secara manual.
- Jika pengaturan dari suhu *Nozzle* dan *Print Bed* sudah selesai, kemudian kembali ke menu utama. Jika suhu *Nozzel* dan *Print Bed* telah mencapai suhu yang ditentukan,
- Selanjutnya pilih perintah *Print* dan klik program file *G-code* yang akan dicetak, setelah itu klik *Print*, tunggu hingga proses *printing*-nya selesai.
- Catat waktu machine time setelah proses pencetakan sampel 3D telah selesai. Lakukan proses pencetakan berulang kali dengan program file *G-code* yang berbeda.
- Setelah proses *printing*-nya selesai maka selanjutnya yaitu pilih *Tolls* lalu klik *Cooling* untuk melakukan proses pendinginan *Nozel* dan *Print Bed*.

e. Pengujian Benda Uji

Yang dilakukan dalam pengujian ini ialah:

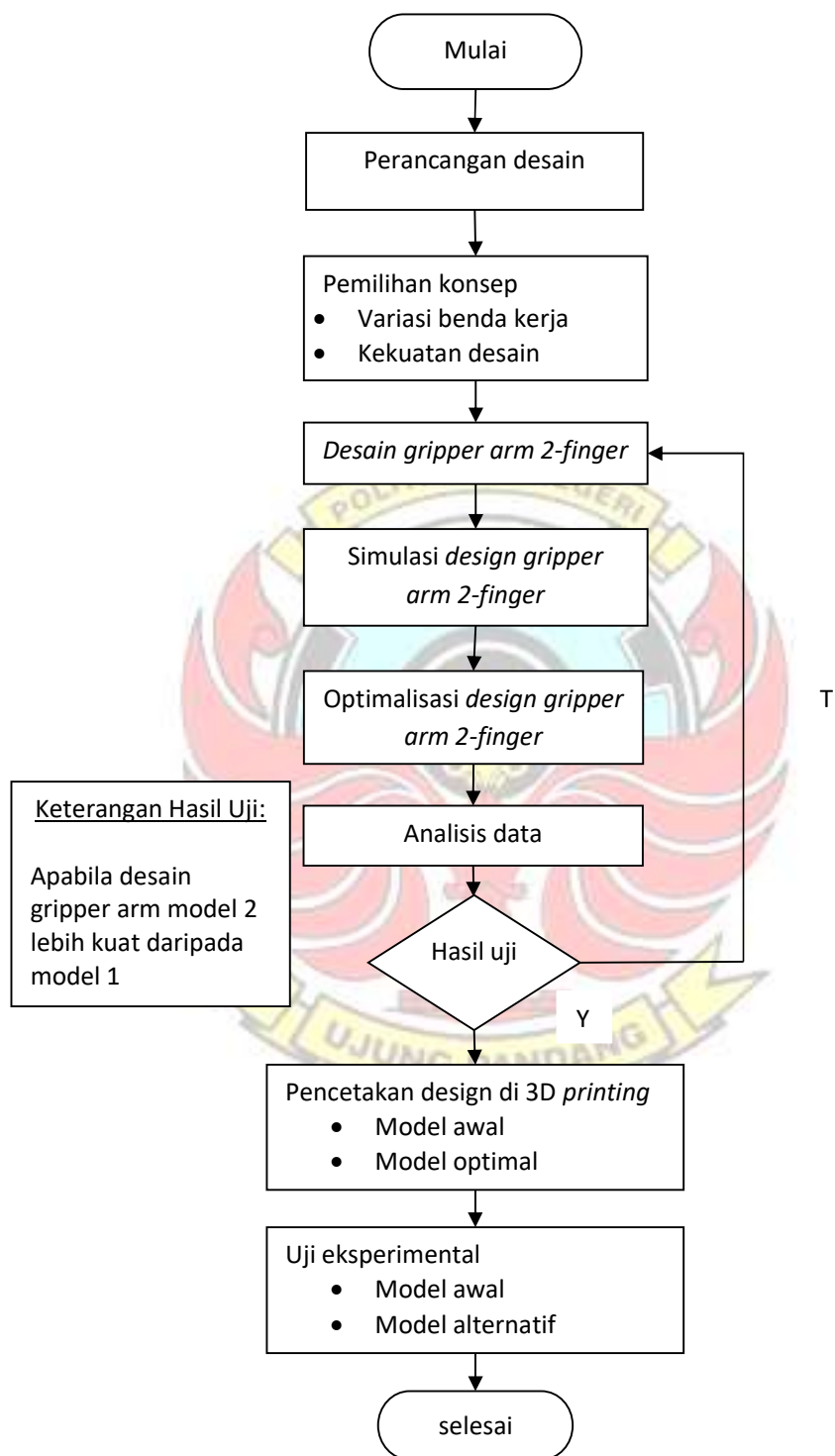
- Melakukan pengukuran berat spesimen yang telah dicetak dan dikelompokkan sesuai material, dan dibandingkan dengan simulasi berat pada Simplify3D
- Melakukan uji Tekan pada spesimen. Pada proses pengujian ini data yang diperoleh ialah kekuatan maksimal untuk mengangkat beban. Pengujian ini dilakukan di mesin uji Tekan universal yang ada di laboratorium mekanik



Gambar 3.12 Spesimen Uji Tekan

3.4 Diagram Alur Penelitian

Uraian langkah penelitian di atas dapat dijabarkan dalam bentuk diagram alur (Gambar 3.2).



Gambar 3.13 Diagram alur penelitian

3.5 Teknik Analisis Data

Teknik analisis data yang digunakan ialah dengan analisis metode elemen hingga yang merupakan bagian terintegrasi dari *software Autodesk fusion 360*. Dari analisis ini dapat diperoleh informasi distribusi tegangan pada *gripper arm* yang disimulasikan.

Variabel penelitian adalah sebagai berikut:

Tabel 3.2 tabel distribusi tegangan

NO	Infil (%)	Sudut (°)	Model
1	80	113	Model 2
2	80	113	Model 1
3	100	113	Model 1
4	80	45	Model 2
5	100	45	Model 1
6	100	45	Model 2
7	60	180	Model 2
8	60	180	Model 1
9	60	45	Model 2
10	100	180	Model 1
11	80	180	Model 1
12	100	180	Model 2
13	60	113	Model 2
14	60	45	Model 1
15	80	45	Model 1
16	80	113	Model 1
17	80	113	Model 2
18	100	113	Model 2
19	80	113	Model 2
20	60	113	Model 1
21	80	180	Model 2
22	80	113	Model 1

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil

Berdasarkan tujuan penelitian ini yaitu untuk mengoptimisasi desain *Gripper Arm 2-Finger* agar lebih ringan namun dapat memaksimalkan kekuatan model produk.. Hasil penelitian kemudian di pelajari dan dianalisa untuk memperoleh suatu kesimpulan dari kegiatan penelitian yang telah dilakukan.

4.1.1 Spesifikasi filamen PLA

Poli (asam laktat) atau *polylactic acid* atau *polylactide* (PLA) adalah poliester alifatik termoplastik *biodegradable* dan bioaktif yang berasal dari sumber daya terbarukan. Sifat-sifat material dapat dilihat tersebut pada tabel berikut:

Tabel 4.1 Spesifikasi material PLA

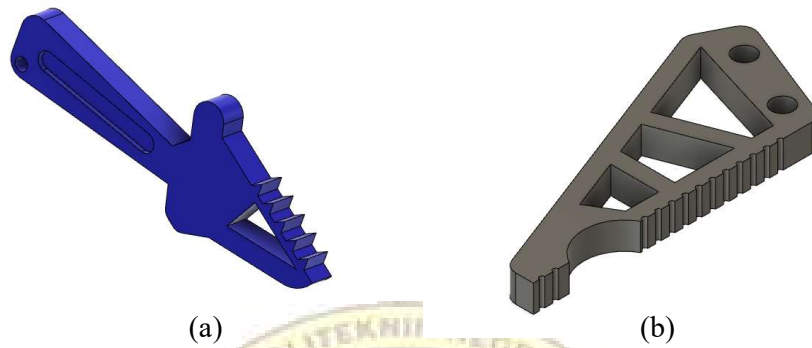
Properties of Polylactic Acid		
Physicochemical properties	Specific gravity	1.24
	Glass transition temperature	60 °C
	Temperature print	195–225°C
Mechanical properties	Tensile strength break	7.7 MPa
	Tensile yield strength	8.7 MPa
	Tensile modulus	500 GPa
	Tensile elongation	6%
Properties of printing process	Temperature of printing	210 °C
	Print speed of shell	40 mm/min
	Print speed of sparse	90 mm/min

(sumber gambar www.3dprintingzoom.com)

4.1.2 Model Gripper Arm

Dalam penelitian redesain dari model gripper arm 2-fingers terdapat dua model griper arm sebelum redesain (model 1) dan sesudah redesain (model 2)

kedua model ini dicetak menggunakan mesin 3D printing dengan bahan PLA dapat dilihat pada gambar sebagai berikut;



Gambar 4.1 model 1 (a) dan model 2 (b)

4.1.3 Hasil pengujian

A. Pengukuran massa model *gripper arm*

Berdasarkan hasil pengukuran massa sampel model *gripper arm* yang telah ditimbang maka dapat diperoleh data sebagai berikut

Tabel 4.2. Sampel pengujian massa

No	Infill (%)	Print direction (°)	Model	Massa (gr)	
				Actual	Simulasi
1	80	113	Model 2	17,1	20,5
2	80	113	Model 1	15,9	22,4
3	100	113	Model 1	18,5	26,3
4	80	45	Model 2	16	20
5	100	45	Model 1	20,9	26,1
6	100	45	Model 2	18,6	24,5
7	60	180	Model 2	14,5	19,5
8	60	180	Model 1	13,6	19,8
9	60	45	Model 2	14,5	18,8
10	100	180	Model 1	18,8	26,5
11	80	180	Model 1	15,8	22,5

Tabel 4.2. Sampel pengujian massa

12	100	180	Model 2	16,8	23,7
13	60	113	Model 2	14,4	18,7
14	60	45	Model 1	15,2	19,5
15	80	45	Model 1	15,8	22,5
16	80	113	Model 1	15,8	23,4
17	80	113	Model 2	14,4	20,5
18	100	113	Model 2	19,4	24,5
19	80	113	Model 2	14,5	20,5
20	60	113	Model 1	13,4	22,4
21	80	180	Model 2	16,2	20,9
22	80	113	Model 1	16,3	23,4



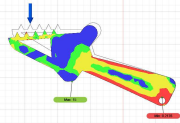
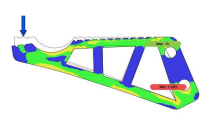


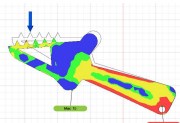
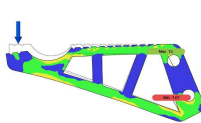


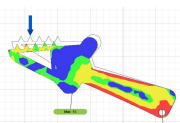
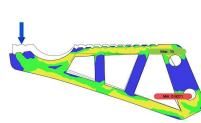


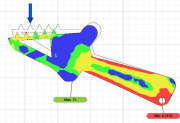
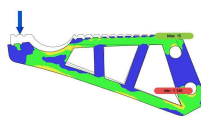
B. Hasil Pengujian Tekan



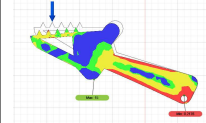
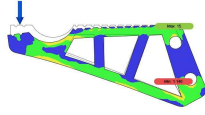


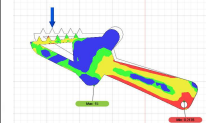
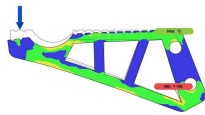


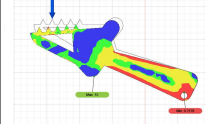
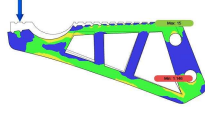


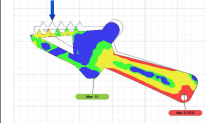
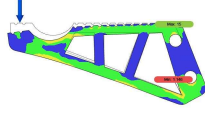


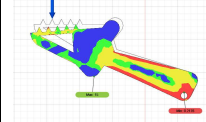
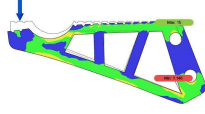
Berdasarkan hasil pengujian tekan pada model 1 dan model 2 yang telah dipanaskan dan dicetak menggunakan mesin 3D *Printing* dan telah diuji menggunakan mesin uji tekan dengan arah penekanan secara vertical dan horisontal, maka telah diperoleh data seperti terlihat pada tabel berikut:

Tabel 4.3 hasil pengujian kekuatan secara vertikal

Print direction (°)	Infill Density (%)	Weight (gr)		Loads (N)	
		Model 1	Model 2	Model 1	Model 2
45	60	15.2	14.5	220	320
45	80	15.8	16	260	300
45	100	20.9	18.6	280	400
113	60	13.4	14.4	260	280
113	80	15.8	14.4	260	300
113	100	18.5	19.4	280	380
180	60	13.6	14.5	200	200
180	80	15.8	16.2	280	200
180	100	18.8	16.8	280	200
45	80	15.8	16	260	300
45	60	15.2	14.5	220	300

Tabel 4.4 perbandingan hasil uji kekuatan sampel secara eksperimen dan simulasi secara vertikal

Print direction (°)	Infill Density (%)	Eksperimen		Simulasi	
		Model 1	Model 2	Model 1	Model 2
45	60				
45	80				
45	100				
113	60				

113	80				
113	100				
180	60				
180	80				
180	100				

Tabel 4.5 perbandingan hasil uji kekuatan sampel secara eksperimen dan simulasi secara vertikal

Print direction (°)	Infill Density (%)	Loads (N)				Reaksi Gaya Pada Daerah Kritis/Rusak (N)	
		Eksperimen		Simulasi (Loads max)		Simulasi	Simulasi
		Model 1	Model 2	Model 1	Model 2	Model 1	Model 2
45	60	220	320	220	450	168.5	170.9
45	80	260	300	260	480	199.1	183.4
45	100	280	400	280	500	214.5	189.9
113	60	260	280	260	520	199.1	197.5
113	80	260	300	260	550	199.1	208.9
113	100	280	380	280	600	214.5	227.9
180	60	200	200	200	500	153.2	189.9
180	80	280	200	280	500	199.1	189.9
180	100	280	200	280	600	214.5	227.9



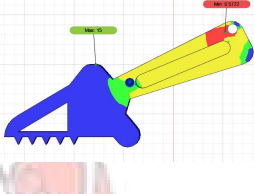
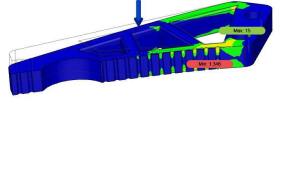


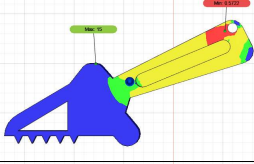
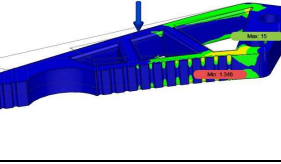


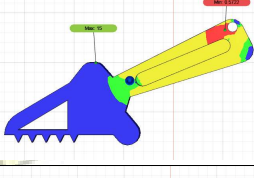
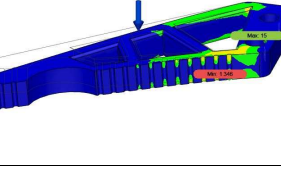


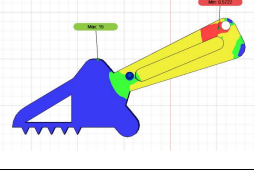
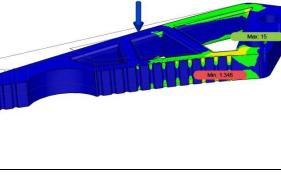




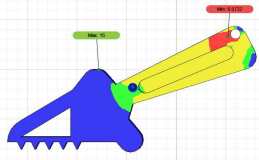
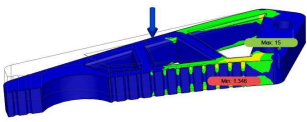


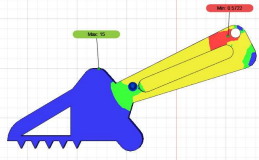
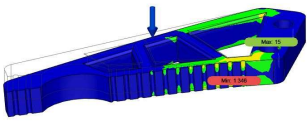

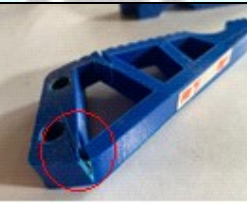
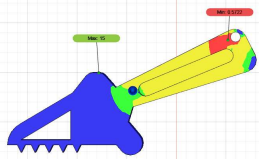
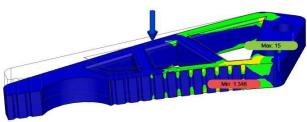


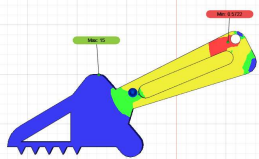
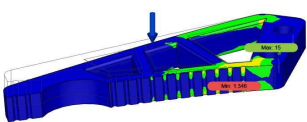
Pada pengujian dengan arah pembebanan vertikal di terhadap model 1 dan 2 terlihat pada model 1 terdapat titik rawan yang ditandai warna merah pada hasil simulasi dan dapat dilihat pada hasil eksperimen pada model 1 sampel mengalami kerusakan sedangkan model 2 memiliki daya tahan model yang lebih kuat terlihat pada hasil simulasi yang ditandai dengan warna hijau pada model. Terlihat pada titik kerusakan pada model 2 yang diberi pembebanan 600 N mengalami reaksi gaya terbesar senilai 227.9 N di titik kritisnya.

Tabel 4.6 hasil pengujian kekuatan secara horisontal

Print direction (°)	Infill Density (%)	Weight (gr)		Loads (N)	
		Model 1	Model 2	Model 1	Model 2
45	60	15.2	14.5	80	100
45	80	15.8	16	80	100
45	100	20.9	18.6	100	120
113	60	13.4	14.4	60	100
113	80	15.8	14.4	80	140
113	100	18.5	19.4	100	140
180	60	13.6	14.5	60	40
180	80	15.8	16.2	80	60
180	100	18.8	16.8	80	80
45	80	15.8	16	80	100
45	60	15.2	14.5	80	100

Tabel 4.7 perbandingan hasil uji kekuatan sampel secara eksperimen dan simulasi secara horisontal

Print direction (°)	Infill Density (%)	Eksperimen		Simulasi	
		Model 1	Model 2	Model 1	Model 2
45	60				
45	80				
45	100				
113	60				

113	80				
113	100				
180	60				
180	80				

Tabel 4.8 perbandingan hasil uji kekuatan sampel secara eksperimen dan simulasi secara horisontal

Print direction (°)	Infill Density (%)	Loads (N)				Reaksi Gaya Pada Daerah Kritis/Rusak (N)	
		Eksperimen		Simulasi (Loads max)		Simulasi	Simulasi
		Model 1	Model 2	Model 1	Model 2	Model 1	Model 2
45	60	80	100	150	200	81.2	108.1
45	80	80	100	150	200	81.2	108.1
45	100	100	120	100	230	92.02	124.3
113	60	60	100	60	200	70.3	108.1
113	80	80	140	80	250	75.78	135.1
113	100	100	140	100	250	86.61	135.1
180	60	60	40	60	200	81.2	108.1
180	80	80	60	80	250	86.1	135.1
180	100	80	80	80	200	86.1	108.1

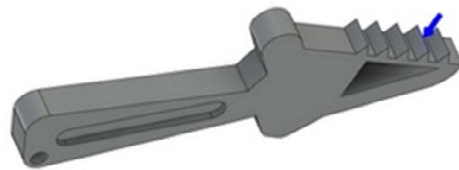
Pada pengujian dengan arah pembebanan horisontal di terhadap model 1 dan 2 terlihat pada model 1 terdapat titik rawan yang ditandai warna merah pada hasil simulasi dan dapat dilihat pada hasil eksperimen pada model 1 sampel mengalami kerusakan sedangkan model 2 memiliki daya tahan model yang lebih kuat terlihat pada hasil simulasi yang ditandai dengan warna hijau pada model. Terlihat pada titik kerusakan pada model 2 yang diberi pembebanan 250 N mengalami reaksi gaya terbesar senilai 135.1 N di titik kritisnya.

4.1.4 Hasil Uji Simulasi

Hasil uji simulasi model 1 dan model 2 terhadap kekuatan tekan yang ditekan dengan arah horizontal dan vertikal dengan menggunakan *Autodesk Fusion360* dapat diuraikan sebagai berikut:

A. Hasil uji simulasi (model I vertikal)

Dari hasil uji simulasi menggunakan software Autodesk fusion 360 dengan menggunakan stress simulation, data yang diperoleh untuk gripper arm model 1 dengan pembebanan 280 N (mengacu pada gaya maksimum yang diperoleh pada pengujian aktual) serta arah penekanan secara vertikal dapat dilihat sebagai berikut.



Gambar 4.2 Model 1 Pembebanan Vertikal

Materials

Component	Material	Safety Factor
Component1:1	Plastic	Yield Strength

Plastic PLA

Density	1.29E-06 kg / mm ³
Young's Modulus	709 MPa
Poisson's Ratio	0.4
Yield Strength	30 MPa
Ultimate Tensile Strength	40 MPa
Thermal Conductivity	2.5E-04 W / (mm C)
Thermal Expansion Coefficient	4.19E-05 / C
Specific Heat	1750 J / (kg C)

Result Summary


Name	Minimum	Maximum
Safety Factor		
Safety Factor (Per Body)	0.2176	15
Stress		
Von Mises	0.08703 MPa	137.9 MPa
1st Principal	-88.4 MPa	170 MPa
3rd Principal	-241.5 MPa	44.26 MPa
Normal XX	-98.4 MPa	133.3 MPa
Normal YY	-232.2 MPa	97.78 MPa
Normal ZZ	-131.8 MPa	85.08 MPa
Shear XY	-79.23 MPa	71.34 MPa
Shear YZ	-22.71 MPa	26.76 MPa
Shear ZX	-18.11 MPa	18.02 MPa
Displacement		
Total	0 mm	67.01 mm
X	-61.54 mm	2.214 mm
Y	-29.87 mm	0.3748 mm
Z	-0.8883 mm	0.1732 mm
Reaction Force		
Total	0 N	214.5 N
X	-190.7 N	210.3 N
Y	-139.6 N	161.5 N
Z	-50.16 N	43.92 N
Strain		
Equivalent	1.344E-04	0.3618
1st Principal	9.305E-05	0.3144
3rd Principal	-0.3123	-1.303E-04
Normal XX	-0.146	0.1549
Normal YY	-0.1976	0.1372
Normal ZZ	-0.02846	0.03295

Shear XY	-0.3129	0.2818
Shear YZ	-0.08967	0.1057
Shear ZX	-0.0715	0.07115


Loads

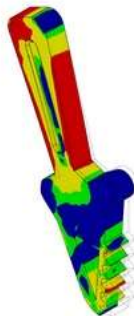
✓ Force1

Type	Force
Magnitude	280 N
X Value	-280 N
Y Value	-0.003889 N
Z Value	-0 N
Force Per Entity	No

Safety Factor (Per Body)
0  8

Stress

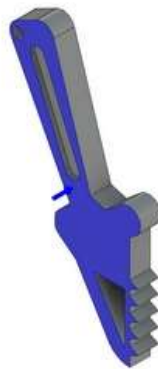
Von Mises
[MPa] 0.1  137.9



Gambar 4.3 hasil simulasi model 1 secara vertikal

B. Simulasi gripper arm (Model 1 Horizontal)

Dari hasil uji simulasi menggunakan software Autodesk fusion 360 dengan menggunakan stress simulation, data yang diperoleh untuk gripper arm model 1 dengan pembebanan 100 N (mengacu pada gaya maksimum yang diperoleh pada pengujian aktual) serta arah penekanan secara horisontal dapat dilihat sebagai berikut.



Gambar 4.4 Simulasi model 1 pembebanan horizontal

Result Summary

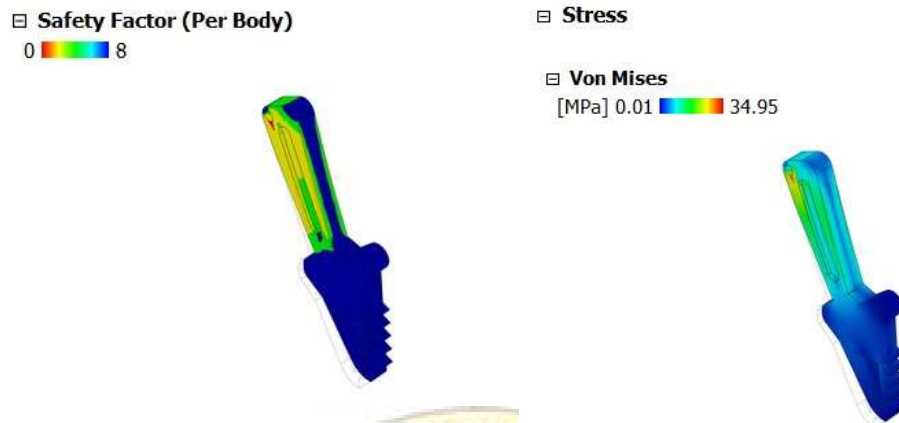
Name	Minimum	Maximum
Safety Factor		
Safety Factor (Per Body)	0.8583	15
Stress		
Von Mises	0.01377 MPa	34.95 MPa
1st Principal	-24.24 MPa	71.01 MPa
3rd Principal	-57.31 MPa	37.36 MPa
Normal XX	-39.9 MPa	49.52 MPa
Normal YY	-46.49 MPa	58.3 MPa
Normal ZZ	-26.62 MPa	43.07 MPa
Shear XY	-15.93 MPa	15.31 MPa
Shear YZ	-3.97 MPa	10.67 MPa
Shear ZX	-7.209 MPa	4.886 MPa

Displacement		
Total	0 mm	27.65 mm
X	-0.8454 mm	0.6592 mm
Y	-1.409 mm	1.129 mm
Z	-27.61 mm	0.2658 mm
Reaction Force		
Total	0 N	54.14 N
X	-29.53 N	35.4 N
Y	-45.74 N	44.79 N
Z	-17.52 N	32.71 N
Strain		
Equivalent	2.915E-05	0.08399
1st Principal	2.177E-05	0.09193
3rd Principal	-0.08328	-2.074E-05
Normal XX	-0.02315	0.0224
Normal YY	-0.03268	0.03642
Normal ZZ	-0.01921	0.02301
Shear XY	-0.06293	0.06048
Shear YZ	-0.01568	0.04214
Shear ZX	-0.02847	0.0193

Loads

✓ Force1

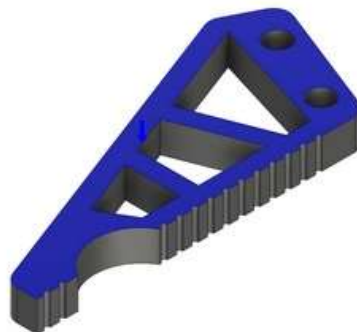
Type	Force
Magnitude	100 N
X Value	0 N
Y Value	0 N
Z Value	-100 N



Gambar 4.5 Hasil Simulasi Model 1 Horisontal

C. Simulasi gripper arm (model II horisontal)

Dari hasil uji simulasi menggunakan software Autodesk fusion 360 dengan menggunakan stress simulation, data yang diperoleh untuk gripper arm model 2 dengan pembebanan 140 N (mengacu pada gaya maksimum yang diperoleh pada pengujian aktual) serta arah penekanan secara horisontal dapat dilihat sebagai berikut.



Gambar 4.6 Simulasi model 2 pembebanan horisontal

Materials

Component	Material	Safety Factor
Body1	PLA plastic	Yield Strength

PLA plastic

Density	1.25E-06 kg / mm ³
Young's Modulus	1500 MPa
Poisson's Ratio	0.44
Yield Strength	43 MPa
Ultimate Tensile Strength	53 MPa
Thermal Conductivity	2.25E-04 W / (mm C)
Thermal Expansion Coefficient	1.3E-04 / C
Specific Heat	1500 J / (kg C)

Result Summary

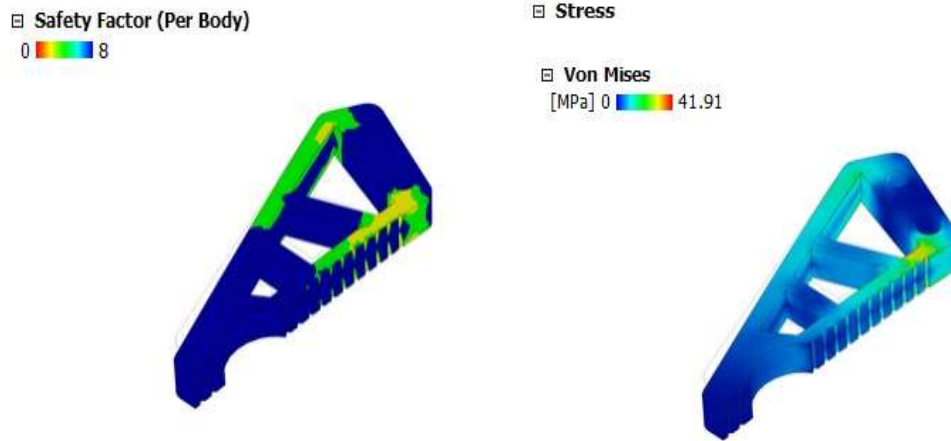
Name	Minimum	Maximum
Safety Factor		
Safety Factor (Per Body)	1.026	15
Stress		
Von Mises	0.003499 MPa	41.91 MPa
1st Principal	-25.19 MPa	46.39 MPa
3rd Principal	-52.53 MPa	18.15 MPa
Normal XX	-27.62 MPa	20.45 MPa
Normal YY	-26.68 MPa	18.86 MPa
Normal ZZ	-50.45 MPa	46.2 MPa
Shear XY	-5.928 MPa	4.866 MPa
Shear YZ	-5.951 MPa	5.218 MPa

Shear ZX	-11.81 MPa	10.83 MPa
Displacement		
Total	0 mm	9.758 mm
X	-0.1154 mm	0.1115 mm
Y	-9.738 mm	0.0318 mm
Z	-0.6191 mm	0.6162 mm
Reaction Force		
Total	0 N	75.88 N
X	-29.36 N	24.6 N
Y	-18.11 N	42.9 N
Z	-57.1 N	71.71 N
Strain		
Equivalent	3.049E-06	0.03281
1st Principal	3.126E-06	0.03327
3rd Principal	-0.03398	-1.987E-06
Normal XX	-0.012	0.01257
Normal YY	-0.01099	0.01323
Normal ZZ	-0.02779	0.02599
Shear XY	-0.01138	0.009343
Shear YZ	-0.01143	0.01002
Shear ZX	-0.02267	0.02079

Loads

✓ Force1

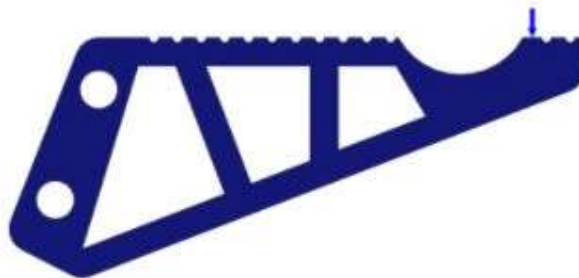
Type	Force
Magnitude	140 N
X Value	0 N
Y Value	-140 N
Z Value	0 N
Force Per Entity	No



Gambar 4.7 Hasil Simulasi Model 2 Secara Horizontal

D. Simulasi gripper arm (model II vertikal)

Dari hasil uji simulasi menggunakan software Autodesk fusion 360 dengan menggunakan stress simulation, data yang diperoleh untuk gripper arm model 2 dengan pembebanan 400 N (mengacu pada gaya maksimum yang diperoleh pada pengujian aktual) serta arah penekanan secara vertikal dapat dilihat sebagai berikut.



Gambar 4.8 Model 2 simulasi pembebanan vertikal

Result Summary

Name	Minimum	Maximum
Safety Factor		
Safety Factor (Per Body)	1.003	15
Stress		
Von Mises	0.0712 MPa	42.87 MPa
1st Principal	-4.236 MPa	56.77 MPa
3rd Principal	-28.78 MPa	14.68 MPa
Normal XX	-16.19 MPa	27.51 MPa
Normal YY	-11.78 MPa	22.05 MPa
Normal ZZ	-25.67 MPa	54.05 MPa
Shear XY	-3.367 MPa	3.326 MPa
Shear YZ	-3.836 MPa	3.528 MPa
Shear ZX	-15.56 MPa	16.39 MPa
Displacement		
Total	0 mm	5.988 mm
X	-5.771 mm	0.1235 mm
Y	-0.03291 mm	0.06217 mm
Z	-0.5343 mm	1.605 mm
Reaction Force		
Total	0 N	142.1 N
X	-75.89 N	123.2 N
Y	-24.77 N	19.78 N
Z	-103.6 N	132 N
Strain		
Equivalent	7.416E-05	0.03909
1st Principal	4.529E-05	0.0388
3rd Principal	-0.03148	-6.232E-05
Normal XX	-0.01591	0.01599

Normal YY	-0.009687	0.00686
Normal ZZ	-0.01528	0.02882
Shear XY	-0.006464	0.006387
Shear YZ	-0.007366	0.006774
Shear ZX	-0.02987	0.03147

Loads

✓ Force1

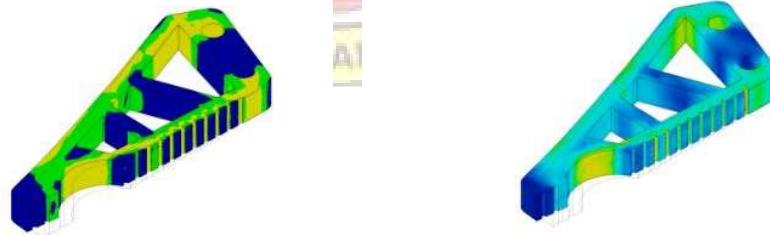
Type	Force
Magnitude	400 N
X Value	-400 N
Y Value	0 N
Z Value	0 N
Force Per Entity	No

☐ Safety Factor

☐ Safety Factor (Per Body)
0  8

☐ Stress

☐ Von Mises
[MPa] 0.07  42.87



Gambar 4.9 Hasil Simulasi Model 2 Secara Vertikal

4.2 Pembahasan

Hasil yang telah didapatkan kemudian dianalisa dan dibahas dengan tujuan mendapatkan kesimpulan dari hasil yang telah didapatkan.

4.2.1 Model Gripper Arm

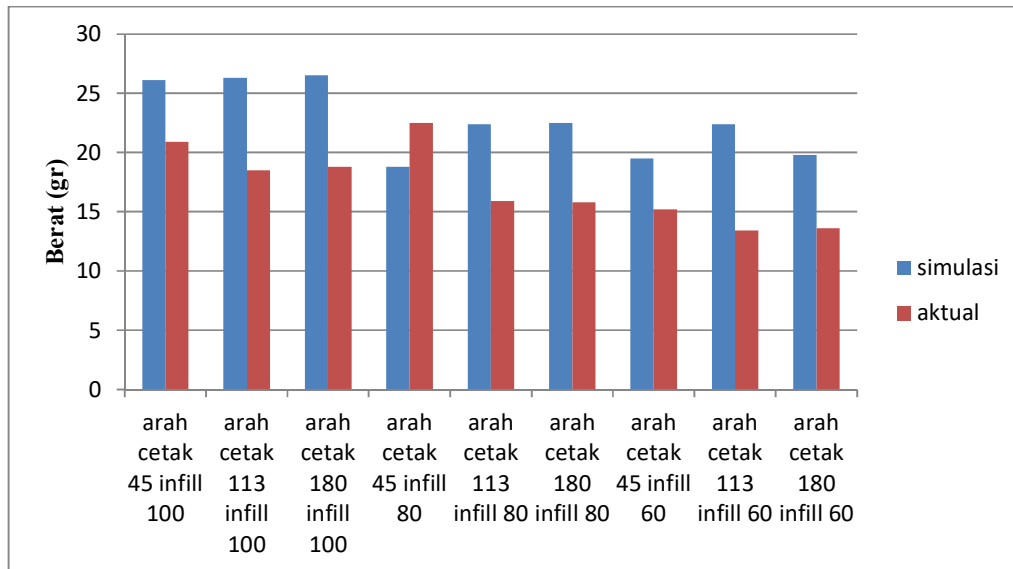
Terdapat dua jenis model gripper arm yang telah didesain menggunakan Autodesk fusion 360, model 1 merupakan model awal dan model 2 merupakan model telah diredesain sehingga kemampuan dari model 2 diharapkan jauh optimal.

Tiap tiap model dicetak menggunakan material PLA+ pada mesin 3D printing. Pada pengaturan infill di Simplify3D rentan infill adalah 0% - 100%, tetapi penggunaan nilai infill secara umum adalah 60% - 100%. Pada pengujian ini infill yang digunakan adalah 60%, 80% 100%. Sedangkan arah cetak adalah arah pencetakan yang akan dilakukan saat material yang telah dileburkan menggunakan pemanas listrik dicetak dengan arah tertentu sesuai dengan apa yang diinginkan. Pada penelitian ini arah cetak yang digunakan yaitu 45°, 113°, 180°.

4.2.2 Pengujian Aktual

A. Pengukuran Berat Spesimen

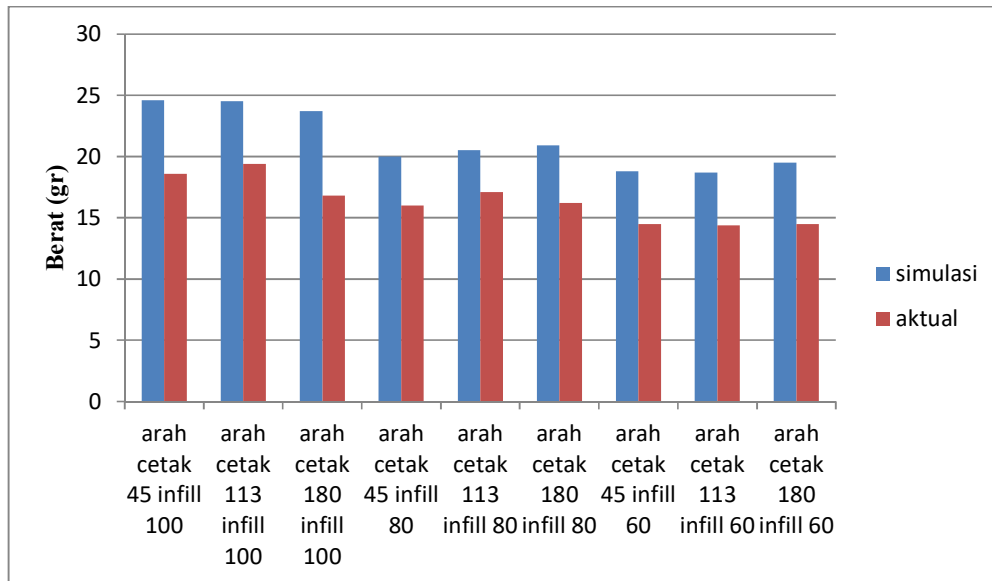
Berdasarkan hasil pengukuran berat gripper arm model 1 pada tabel 4.3 dapat diperoleh hasil dalam bentuk grafik batang pada grafik gambar dibawah:



Gambar 4.10 Grafik Perbandingan Hasil Simulasi dan Aktual Model 1

Berdasarkan grafik gambar 4.5 yang dapat dilihat di atas terdapat dua perbandingan berat yaitu berat pada simulasi dan berat pada hasil aktual yang telah ditimbang menggunakan timbangan digital. Berat spesimen pada simulasi berbeda dengan hasil timbangan aktual menggunakan timbangan digital. Nilai terberat berdasarkan hasil pengukuran berat aktual ada pada model 1 dengan material PLA+ *Infill* 80 arah cetak 45⁰ dengan nilai berat 22,5 gram dan nilai teringan ada pada model 1 dengan material PLA+ *infill* 60 arah cetak 113⁰ dengan nilai 13,4 gram. Sedangkan pada hasil pengukuran berat simulasi nilai terberat ada pada *infill* 100 arah cetak 180⁰ sebesar 26,5 gram dan nilai teringan ada pada material PLA+ *infill* 80 arah cetak 45⁰ sebesar 18,8 gram.

Berdasarkan hasil pengukuran berat pada tabel 4.4 dapat diperoleh hasil dalam bentuk grafik batang pada grafik gambar dibawah:



Gambar 4.11 Grafik Perbandingan Hasil Simulasi dan Aktual Model 2

Berdasarkan grafik gambar 4.6 yang dapat dilihat di atas terdapat dua perbandingan berat yaitu berat pada simulasi dan berat pada hasil aktual yang telah ditimbang menggunakan timbangan digital. Berat gripper arm model 2 pada simulasi berbeda dengan hasil timbangan aktual menggunakan timbangan digital. Nilai terberat berdasarkan simulasi ada pada material PLA+ *Infill* 100 arah cetak 45⁰ dengan nilai berat 24,6gram dan nilai teringan ada pada material PLA+ *infill* 60 arah cetak 113⁰ dengan nilai 18,7 gram. Sedangkan pada hasil pengukuran berat aktual nilai terberat ada pada *infill* 100 arah cetak 113⁰ sebesar 19,4 gram dan nilai teringan ada pada material PLA+ *infill* 60 arah cetak 113⁰ sebesar 14,4 gram.

4.2.3 Pengujian Simulasi

Berdasarkan hasil report simulasi gripper arm model 1 dengan penekanan arah vertikal pada gambar 4.2 didapatkan bahwa Tensile Strength (Kekuatan

Tekan) maksimum adalah 214,5 MPa dengan pemberian beban sebesar 280 N dengan menggunakan metode Remote Force. Pada gambar 4.2 di atas terlihat pula perubahan warna yang di mana ada warna hijau, kuning, dan merah. Terlihat pada warna merah tersebut adalah titik beban maksimum dan disitu pula titik kritis pada model tersebut.

Berdasarkan hasil stress simulation pada software autodesk fusion 360 pada gripper arm model 1 dengan pembebanan 280 N secara vertikal diketahui hasil tegangan von mises yaitu sebesar 137.9 Mpa dan gaya maksimum sebesar 214.5 N. Hasil tegangan *von Mises* digunakan untuk memprediksi tingkat keluluhan material terhadap kondisi pembebanan dari hasil pengujian tekan, sedangkan nilai faktor keamanan yang dimiliki oleh model ini masih dalam kisaran 0 – 8, dimana tegangan yang dialami masih dalam keadaan aman.

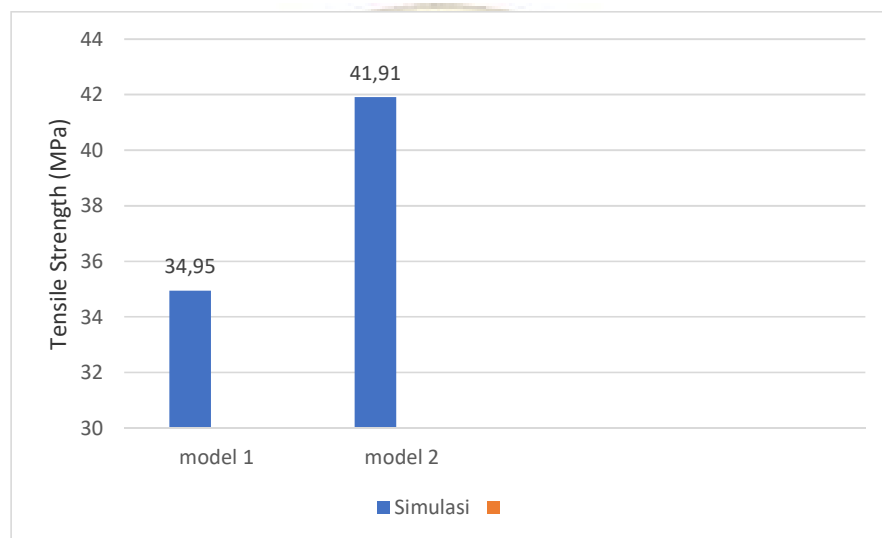
Sedangkan Berdasarkan hasil report simulasi gripper arm model 2 dengan penekanan arah vertikal pada gambar 4.3 didapatkan bahwa Tensile Strength (Kekuatan Tekan) adalah 142,1 N dengan pemberian beban sebesar 400 N dengan menggunakan metode Remote Force.

Pada gambar 4.3 di atas terlihat pula perubahan warna yang di mana ada warna hijau dan kuning. Terlihat tak ada titik kritis pada model ini sehingga model ini bias dianggap kuat daripada model 1.

Berdasarkan hasil stress simulation pada software autodesk fusion 360 pada gripper arm model 2 dengan pembebanan 400 N secara vertikal diketahui hasil tegangan von mises yaitu sebesar 42.87 Mpa dan gaya maksimum sebesar 142.1

N .Hasil tegangan *von Mises* digunakan untuk meprediksi tingkat keluluhan material terhadap kondisi pembebanan dari hasil pengujian tekan, sedangkan nilai faktor keamanan yang dimiliki oleh model ini masih dalam kisaran 0 – 8, dimana tegangan yang dialami masih dalam keadaan aman,

Berikut adalah Grafik Perbandingan Tensile Strength Simulasi terhadap model 1 dan 2 diarah penekanan secara vertikal:



Gambar 4.12 Grafik perbandingan simulasi terhadap model 1 dan 2

Berdasarkan hasil report simulasi gripper arm model 1 dengan penekanan arah horisontal pada gambar 4.2 didapatkan bahwa Tensile Strength (Kekuatan Tekan) maksimum adalah 34,95 MPa dengan pemberian beban sebesar 100 N dengan menggunakan metode Remote Force. Pada gambar 4.2 di atas terlihat pula perubahan warna yang di mana ada warna hijau, kuning, dan merah. Terlihat pada warna merah tersebut adalah titik beban maksimum dan disitu pula titik kritis pada model tersebut.

Berdasarkan hasil stress simulation pada software autodesk fusion 360 pada gripper arm model 1 dengan pembebanan 100 N secara vertikal diketahui hasil tegangan von mises yaitu sebesar 34.95 Mpa dan gaya maksimum sebesar 54.14 N .Hasil tegangan *von Mises* digunakan untuk meprediksi tingkat keluluhan material terhadap kondisi pembebanan dari hasil pengujian tekan, sedangkan nilai faktor keamanan yang dimiliki oleh model ini masih dalam kisaran 0 – 8, dimana tegangan yang dialami masih dalam keadaan aman.

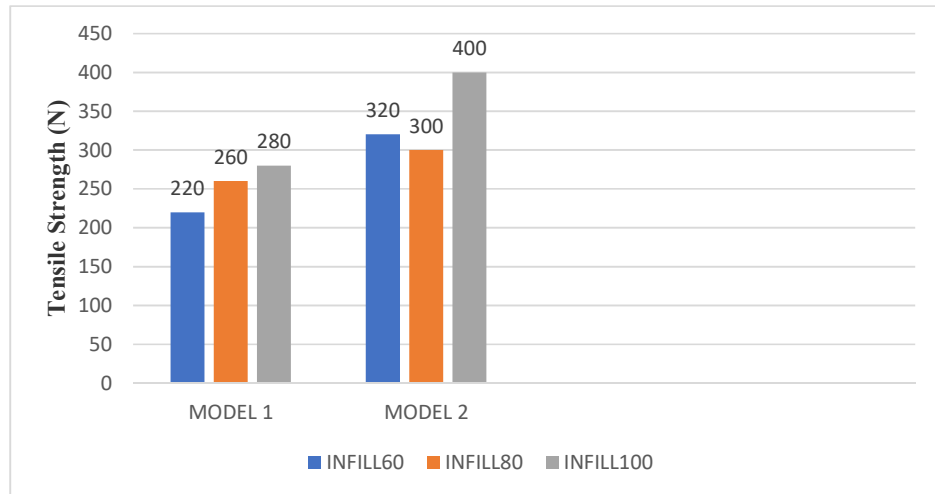
Sedangkan Berdasarkan hasil report simulasi gripper arm model 2 dengan penekanan arah horisontal pada gambar 4.3 didapatkan bahwa Tensile Strength (Kekuatan Tekan) adalah 41,91 mpa dengan pemberian beban sebesar 140 N dengan menggunakan metode Remote Force.

Pada gambar 4.3 di atas terlihat pula perubahan warna yang di mana ada warna hijau dan kuning. Terlihat tak ada titik kritikal pada model ini sehingga model ini bias dianggap kuat daripada model 1.

Berdasarkan hasil stress simulation pada software autodesk fusion 360 pada gripper arm model 2 dengan pembebanan 140 N secara horisontal diketahui hasil tegangan von mises yaitu sebesar 41,91 Mpa dan gaya maksimum sebesar 75.88 N .Hasil tegangan *von Mises* digunakan untuk meprediksi tingkat keluluhan material terhadap kondisi pembebanan dari hasil pengujian tekan, sedangkan nilai faktor keamanan yang dimiliki oleh model ini masih dalam kisaran 0 – 8, dimana tegangan yang dialami masih dalam keadaan aman.

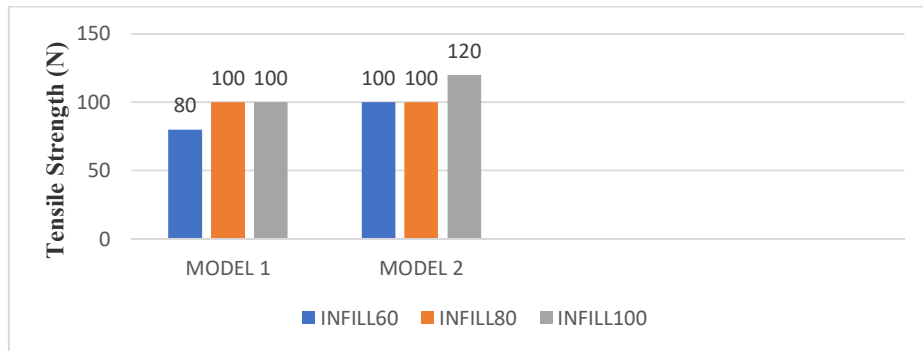
A. Pengujian Tekan

Berdasarkan hasil pengujian pada tabel 4.3 dan 4.4 maka dapat diperoleh grafik gambar perbandingan kekuatan model 1 dan model 2 penekan secara vertical dan horizontal sebagai berikut:



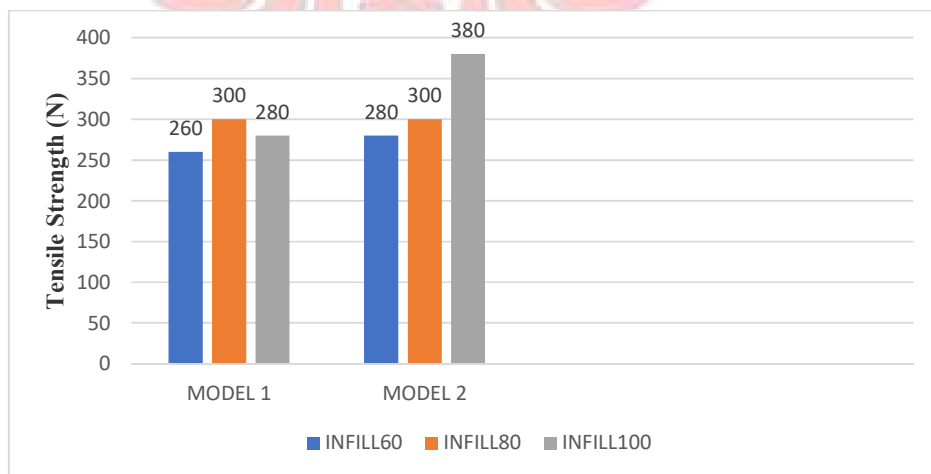
Gambar 4.13 Grafik model 1 dan model 2 Arah Cetak 45 penekanan Vertikal

Pada grafik batang dan grafik garis di atas didapat hasil perbandingan antar model 1 dan model 2 Arah cetak 45^o dengan *Infill* yang sama yaitu *infill* 60, 80, 100 penekanan secara vertikal. Di mana perbandingan pada *infill* 60 model 1 dengan nilai 220N dan model 2 320N. Pada *infill* 80 nilai model 260N dan model 2 300N. Pada *infill* 100 model 1 dengan nilai 280N dan Model 2 400N. Sehingga perbandingan pada grafik di atas Model 2 lebih kuat dari model 1 di semua varian *Infill*.



Gambar 4.14 Grafik model 1 dan model 2 Arah Cetak 45 penekanan Horizontal

Pada grafik batang dan grafik garis di atas didapat hasil perbandingan antar model 1 dan model 2 Arah cetak 45° dengan *Infill* yang sama yaitu *infill* 60, 80, 100 penekanan secara vertikal. Di mana perbandingan pada *infill* 60 model 1 dengan nilai 80N dan model 2 100N. Pada *infill* 80 nilai model 2 80N dan model 2 100N. Pada *infill* 100 model 1 dengan nilai 100N dan Model 2 120N. Sehingga perbandingan pada grafik di atas Model 2 lebih kuat dari model 2 di semua varian *Infill*.

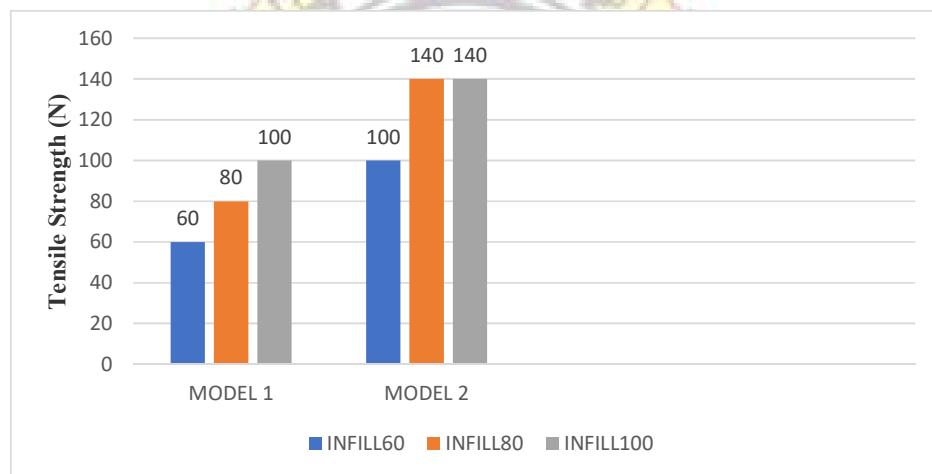


Gambar 4.15 Grafik Batang Perbandingan model 1 dan model 2 Arah Cetak 113

penekanan Vertikal

Pada grafik batang dan grafik garis di atas didapat hasil perbandingan model 1 dan model 2 Arah cetak 113 dengan *Infill* yang sama yaitu *infill* 60, 80, 100. Di mana perbandingan pada *infill* 60 model 1 dengan nilai 260N dan model 2 280N. Pada *infill* 80 model 1 300N dan model 2 300N. Pada *infill* 100 model 1 dengan nilai 280N dan model 2 380N. Sehingga perbandingan pada grafik di atas Model 2 lebih kuat dari model 1.

Berikut adalah Grafik perbandingan Model 1 dan model 2 Arah cetak 113:

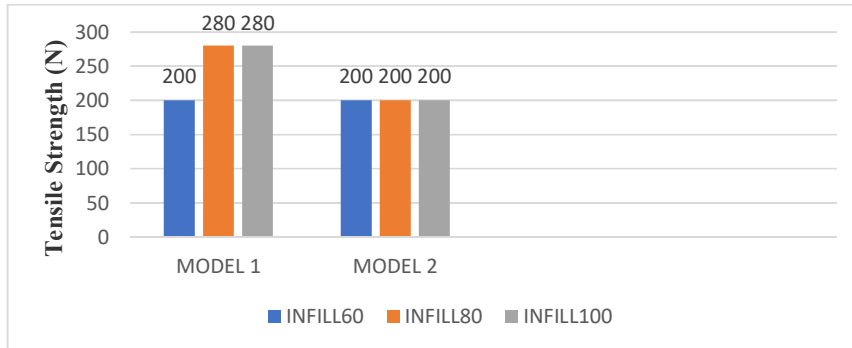


Gambar 4.16 Grafik Batang Perbandingan model 1 dan model 2 Arah Cetak 113

Secara horizontal

Pada grafik batang dan grafik garis di atas didapat hasil perbandingan model 1 dan model 2 Arah cetak 113 dengan *Infill* yang sama yaitu *infill* 60, 80, 100. Di mana perbandingan pada *infill* 60 model 1 dengan nilai 60N dan model 2 100N. Pada *infill* 80 model 1 80N dan model 2 140N. Pada *infill* 100 model 1 dengan nilai 100N dan model 2 140N. Sehingga perbandingan pada grafik di atas Model 2 lebih kuat dari model 1.

Berikut adalah Grafik perbandingan Model 1 dan model 2 arah cetak 180:

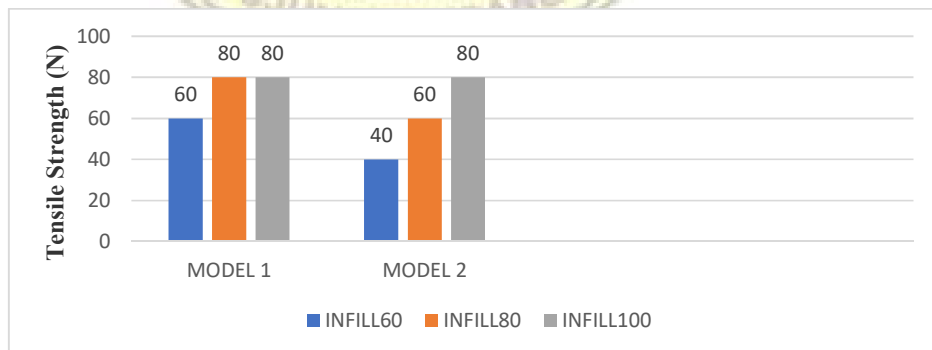


Gambar 4.17 Grafik Batang Perbandingan Model 1 dan model 2 arah cetak 180

Penekanan vertikal

Pada grafik batang dan grafik garis di atas didapat hasil perbandingan model 1 dan model 2 Arah cetak 180 dengan *Infill* yang sama yaitu *infill* 60, 80, 100. Di mana perbandingan pada *infill* 60 model 1 dengan nilai 200N dan model 2 200N. Pada *infill* 80 model 1 280N dan model 2 200N. Pada *infill* 100 model 1 dengan nilai 280N dan model 2 200N. Sehingga perbandingan pada grafik di atas Model 1 lebih kuat dari model 2.

Berikut adalah Grafik perbandingan Model 1 dan model 2 Arah cetak 180:



Gambar 4.18 Grafik Batang Perbandingan Model 1 dan model 2 arah cetak 180

Penekanan vertikal

Pada grafik batang dan grafik garis di atas didapat hasil perbandingan model 1 dan model 2 Arah cetak 180 dengan *Infill* yang sama yaitu *infill* 60, 80, 100. Di mana perbandingan pada *infill* 60 model 1 dengan nilai 60N dan model 2 40N. Pada *infill* 80 model 1 80N dan model 2 60N. Pada *infill* 100 model 1 dengan nilai 80N dan model 2 8N. Sehingga perbandingan pada grafik di atas Model 1 lebih kuat dari model 2.

Pada grafik di atas dapat dilihat pula bahwa *Infill* 100 memiliki nilai kekuatan Tekan yang lebih tinggi dari *infill* yang lain. Hal ini disebabkan pada saat pengujian Tekan kerapatan serat sangat berpengaruh untuk menahan kekuatan Tekan pada saat pengujian. *Infill* 100 mempunyai kerapatan serat yang paling tinggi pada saat pencetakan dan tidak memiliki rongga antar serat satu dan yang lain.

4.2.4 Data Pengujian Design Expert

A. Analisa Keterkaitan Antara Infill, Sudut Arah Cetak Dan Massa Model

Setelah memperoleh data nilai kekuatan dan massa , selanjutnya data akan diolah menggunakan software design expert, untuk mengetahui keterkaitan antara *infill* beserta sudut arah cetak dan massa model agar diketahui kombinasi yang sesuai.

B. Analisa Varians dan Model Matematika Massa

Analisa varians (ANOVA) dilakukan untuk menunjukkan pengaruh parameter proses dalam hal ini kerapatan material pada model gripper arm yang

telah dicetak pada mesin 3d printing serta arah cetak pada model gripper arm (sudut) dan massa produk gripper arm. Untuk tujuan tersebut digunakan metode respon permukaan (*Response Surface Method*) dengan *central composite design* (CCD). Kecocokan model dan hasil analisa ditunjukkan pada table berikut. Hasil menunjukkan bahwa model linier adalah model yang disarankan. Kecocokan model dan hasil analisa ditunjukkan pada table berikut. Hasil menunjukkan bahwa model linier adalah model yang disarankan.

Tabel 4.9: Statistik kecocokan model untuk massa

Sequential Model Sum of Squares

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F-Value	P-Value	
Mean vs Total	5773.68	1	5773.68			
Linear vs Mean	65.51	3	21.84	22.89	< 0.0001	Suggested
2FI vs Linear	2.79	3	0.9306	0.9708	0.4324	
Quadratic vs 2FI	3.49	2	1.75	2.09	0.1638	
Cubic vs Quadratic	2.45	5	0.4892	0.4637	0.7935	Aliased
Residual	8.44	8	1.05			
Total	5856.36	22	266.20			

Lack of Fit Tests

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F-Value	P-Value	
Linear	12.35	14	0.8818	0.7308	0.7055	Suggested
2FI	9.55	11	0.8685	0.7197	0.6998	
Quadratic	6.06	9	0.6733	0.5579	0.7855	
Cubic	3.61	4	0.9033	0.7486	0.6071	Aliased
Pure Error	4.83	4	1.21			

Tabel 4.10: Hasil ANOVA untuk Massa

ANOVA for Linear model
Response 1: Massa

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F-Value	P-Value	
Model	65.51	3	21.84	22.89	< 0.0001	significant
A-Infil	62.56	1	62.56	65.58	< 0.0001	
B-Sudut	2.36	1	2.36	2.47	0.1335	
C-Model	0.5891	1	0.5891	0.6175	0.4422	
Residual	17.17	18	0.9540			
Lack of Fit	12.35	14	0.8818	0.7308	0.7055	not significant
Pure Error	4.83	4	1.21			
Cor Total	82.68	21				

Fit Statistics

Std. Dev.	0.9767	R²	0.7923
Mean	16.20	Adjusted R²	0.7577
C.V. %	6.03	Predicted R²	0.6876
		Adeq Precision	13.8786

P-value < 0,05 menunjukkan bahwa model signifikan. Lack of fit F-value 0,7055 > 0,05 mengimplementasikan lack of fit tidak signifikan relative terhadap kesalahan murni. Ada kemungkinan besar 70,55% bahwa F-value lack of fit dapat terjadi karna adanya gangguan (noise).

Prediksi R² sebesar 0,6876 telah sesuai dengan adjusted R² sebesar 0,7577 yaitu perbedaannya kurang dari 0,2.

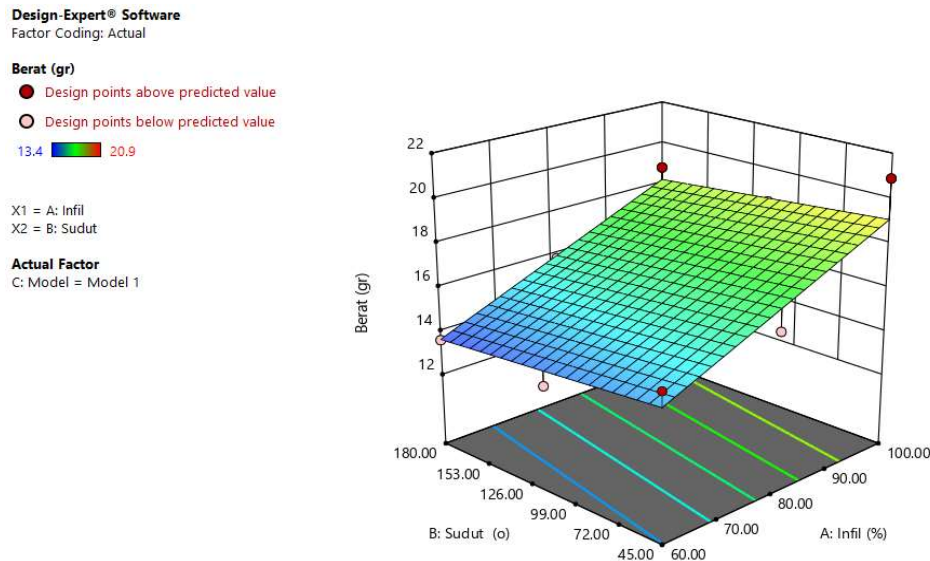
Adequate precision juga memenuhi syarat dimana nilainya 13.8786 dan harus lebih besar dari 4. Oleh karena itu dapat disimpulkan bahwa model matematika untuk memperkirakan model ini dapat digunakan.

Model matematika yang diperoleh adalah sebagai berikut:

$$Massa = Model1 + 7.97025 + 0.114167 \times Infil - 0.006564 \times Sudut$$

$$Massa = Model2 + 7.64298 + 0.114167 \times Infil - 0.006564 \times Sudut$$

Persamaan yang diperoleh (Persamaan 4.1) dapat digambarkan melalui grafik kontur dan grafik permukaan tiga dimensi (Gambar 4,1)



Gambar 4.19 Grafik Berat terhadap sudut dan infil

Kekuatan optimum diperoleh dengan mengatur ke batas nilai maksimum (maximize) sesuai respon yang diinginkan. Berat ditetapkan ke nilai minimum (minimize) sesuai tujuan pengurangan bahan saat difabrikasi.

C. Analisa Varians dan Model Matematika Kekuatan

Untuk respon berupa kekuatan, hasil perhitungan statistic diberikan pada tabel berikut dimana kecocokan model dan hasil analisa ditunjukkan pada tabel berikut. Hasil menunjukkan bahwa model quadratic adalah model yang disarankan.

Tabel 4.11: Statistik kecocokan model untuk kekuatan

Sequential Model Sum of Squares

Source	Sum of Squares	df	Mean square	F-value	P-Value	
Mean vs Total	0.1782	1	0.1782			
Linear vs Mean	0.0079	3	0.0026	6.64	0.0033	
2FI vs Linear	0.0013	3	0.0004	1.08	0.3856	
Quadratic vs 2FI	0.0027	2	0.0013	5.54	0.0182	Suggested
Cubic vs Quadratic	0.0026	5	0.0005	7.10	0.0081	Aliased
Residual	0.0006	8	0.0001			
Total	0.1932	22	0.0088			

Lack of Fit Tests

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F-Value	P-Value	
Linear	0.0069	14	0.0005	7.34	0.0338	
2FI	0.0056	11	0.0005	7.61	0.0324	
Quadratic	0.0029	9	0.0003	4.82	0.0722	Suggested
Cubic	0.0003	4	0.0001	1.18	0.4396	Aliased
Pure Error	0.0003	4	0.0001			

Tabel 4.12: Hasil ANOVA untuk Kekerasan

**ANOVA for Cubic model (Aliased)
Response 2: Kekuatan**

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F-Value	P-Value	
Model	0.0118	8	0.0015	6.10	0.0022	Significant
A-Infil	0.0027	1	0.0027	11.11	0.0054	
B-Sudut	0.0021	1	0.0021	8.79	0.0110	
C-Model	0.0031	1	0.0031	12.73	0.0034	
AB	0.0001	1	0.0001	0.2090	0.6551	
AC	0.0000	1	0.0000	0.1373	0.7170	
BC	0.0012	1	0.0012	4.88	0.0457	
A ²	0.0000	1	0.0000	0.1171	0.7377	
B ²	0.0026	1	0.0026	10.78	0.0059	
Residual	0.0032	13	0.0002			
Lack of Fit	0.0029	9	0.0003	4.82	0.0722	not significant
Pure Error	0.0003	4	0.0001			

Fit Statistics

Std. Dev.	0.0156	R²	0.7896
Mean	0.0900	Adjusted R²	0.6601
C.V. %	17.31	Predicted R²	0.2653
		Adeq Precision	8.2459

P-value < 0,05 menunjukkan bahwa model signifikan. Lack of fit F-value 0,0722 > 0,05 mengimplementasikan lack of fit tidak signifikan relative terhadap kesalahan murni. Ada kemungkinan sebesar 7,22% bahwa F-value lack of fit dapat terjadi karna adanya gangguan.

Prediksi R2 sebesar 0,4866 tidak mendekati dengan adjusted R2 sebesar 0.8985 yaitu perbedaannya kurang dari 0,2.

Adequate precision juga memenuhi syarat dimana nilainya 16.0197 dan harus lebih besar dari 4. Oleh karena itu dapat disimpulkan bahwa model matematika untuk memperkirakan model ini dapat digunakan.

Model matematika yang diperoleh adalah sebagai berikut:

$$Kekuatan = 0.10 + 0.02A - 0.005B + 0.023C + 0.0025AB + 0.0017AC - 0.01BC + 0.0024A^2 - 0.023B^2 + 0.0025ABC - 0.0125A^2B - 0.0029A^2C - 0.0075AB^2 - 0.018B^2C$$

Design-Expert® Software
Factor Coding: Actual

Kekuatan Horizontal (kN)

● Design points above predicted value

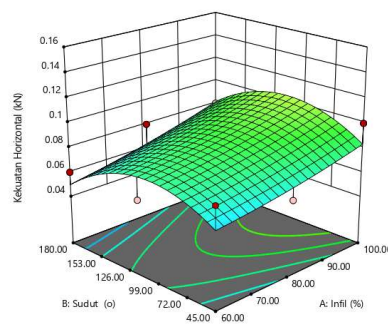
○ Design points below predicted value

0.04 0.14

X1 = A: Infil

X2 = B: Sudut

Actual Factor
C: Model = Model 1



Gambar 4.20. Grafik kekuatan terhadap sudut dan infill

D. Optimasi

Optimasi bertujuan untuk mencari nilai kekuatan tertinggi berdasarkan model dan massa dari model.

Tabel 4.13: Pengaturan untuk optimasi parameter proses dan respon

Constraints

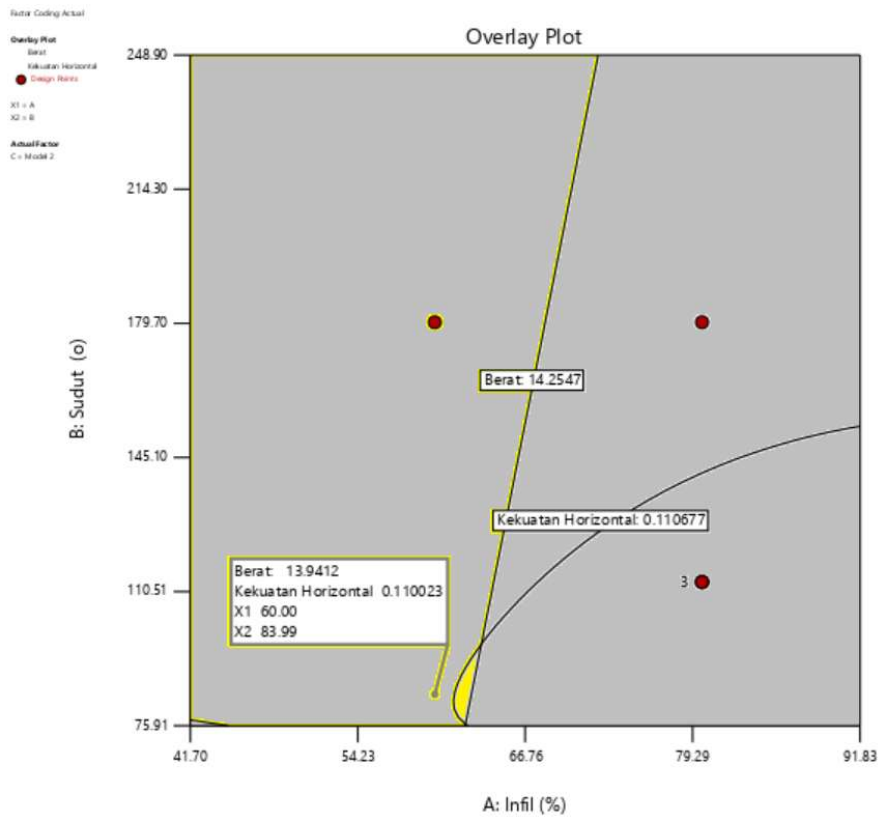
Name	Goal	Lower Limit	Upper Limit	Lower Weight	Upper Weight	Importance
A:Infil	is in range	60	100	1	1	3
B:Sudut	is in range	45	180	1	1	3
C:Model	is in range	Model 1	Model 2	1	1	3
Massa	minimize	13.4	20.9	1	1	3
Kekuatan	maximize	0.04	0.14	1	1	3

Solusi yang diperoleh untuk batasan sebagaimana tersebut diatas diperlihatkan pada Tabel 4.10. Terdapat 6 solusi yang memberikan nilai kekuatan terbaik yaitu pada kombinasi Infil 60% sudut 80.448 di model 2 dengan massa sebesar 13.965 gr.

Tabel 4.14: Solusi yang memungkinkan untuk optimasi kekuatan

Solutions for 2 combinations of categoric factor levels

No	Infill	Sudut	Model	Massa	Kekuatan	Desirability
1	60.000	80.448	Model 2	13.965	0.106	0.780
2	60.000	79.914	Model 2	13.968	0.106	0.780
3	60.000	81.062	Model 2	13.961	0.106	0.780
4	60.000	79.587	Model 2	13.971	0.106	0.780
5	60.000	81.559	Model 2	13.958	0.106	0.780
6	60.000	78.145	Model 2	13.980	0.106	0.780



Gambar 4.21. Daerah Kekuatan dan Berat Gripper yang optimum (area kuning)



BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

1. *Gripper Arm* model 2 memiliki kekuatan maksimum dinilai 400 N pada pembebanan vertikal dan 140 N pada pembebanan horizontal.
2. Kekuatan terbesar pada *Gripper Arm* model 2 diperoleh pada infill 100% dengan sudut cetak 113° dengan berat 19,4 gr.
3. Sudut cetak dari mesin *3D printing* sangat mempengaruhi dari kekuatan *Gripper Arm* yang dicetak.
4. Dari hasil optimasi kekuatan terbaik yaitu pada kombinasi Infil 60% sudut 80.448° di model 2 dengan massa sebesar 13.965 gr.

5.2 Saran

Berdasarkan penelitian dan pengembangan ini, maka dapat disarankan hal-hal sebagai berikut:

1. Suhu temperature ruangan sangat mempengaruhi hasil kekuatan dari model yang dicetak.
2. Perlunya dilakukan pengembangan lebih lanjut terhadap 3D printing serta optimasi terhadap bentuk yang lain.
3. Peneliti menyarankan kepada pembaca dan praktisi pendidikan untuk dapat melakukan penelitian sejenis yang lebih mendalam.

DAFTAR PUSTAKA

- Afin, (2018). *Rancang Gui Dan Analisis Kinematika Pada Manipulator Robot Lengan Mentor Dengan Pengolahan Citra Kamera*, Skripsi, Universitas Gajah Mada, Yogyakarta.
- Andik Yulianto, (2014). *System Kendali Robot Manipulator Pemindah Barang Dengan Umpan Balik Visual*.
- Andy Rahmawan, (2013). *Optimasi Gripper Dua Lengan Dengan Menggunakan Metode Genetic Algoritma Pada Simulator Arm Robot 5 DOF (Degree of Freedom)*
- Didi Widya Utama (2017). *Product Design With Autodesk Fusion 360 Food Container*.
- Endang Warsiki, (2017). *Review Pembuatan Asam Polilaktat (PLA) Dari Gliserol Sebagai Hasil Samping Industry Biodiesel*
- Indar Sugiarto (2008). *Pemodelan dan Simulasi Dinamika Lengan Robot 3-DOF Menggunakan Perangkat Lunak Open Source (57-63)*.
- Nana Syaodih Sukmadinata. (2009). *Landasan Psikologi dan Proses Pendidikan*. Bandung
- Paidi. (2012). *Metodologi Penelitian Pendidikan*. Yogyakarta: UNY Press.

Raditya Wahyu Imansyah (2013). *Analisa Pergerakan Lengan Robot Manipulator*

Menggunakan 6 Derajat Kebebasan (Dof) Dengan Griper Tipe Barret.

Rusdi Nur, S.ST., M.T., Ph.D (2019). *Integrasi CAD, CAM dan CAE*

Pengembangan Produk & Rapid Prototyping.



L

A

M



P

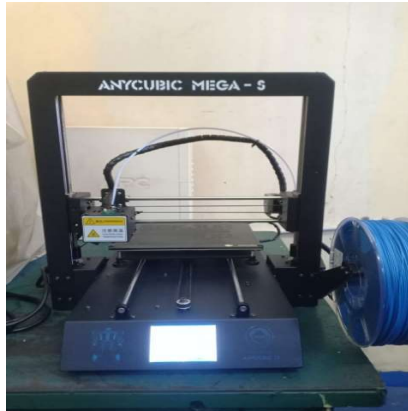
I

R

A

N

Lampiran I : Alat yang digunakan pada saat pengujian



Mesin 3D Printing

Autodesk Fusion



Simplify3D



Mesin Uji Tekan



Timbangan Digital



Spatula Besi



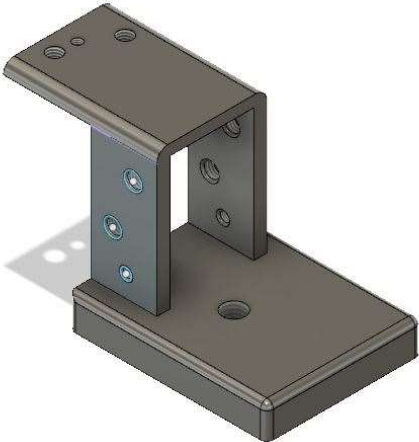
Tang Pemotong

Lampiran II : Proses pencetakan *gripper arm*



Proses pembuatan sampel
menggunakan mesin 3D *Printing*

Lampiran III : Desain alat bantu pengujian.



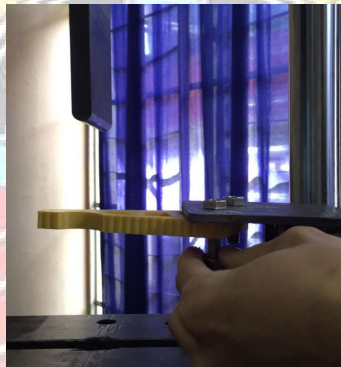
Lampiran IV : Proses pengujian



Proses Pengujian secara horisontal



Proses Pengujian model gripper arm



Proses Pengujian sampel secara horisontal



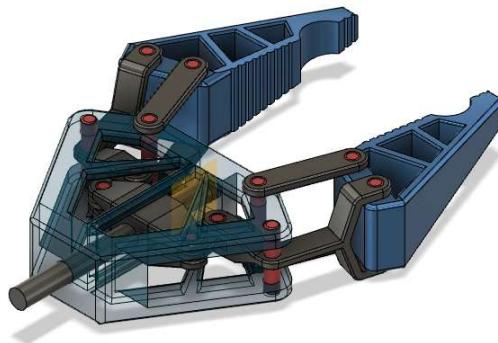
Proses pengambilan data



Sampel hasil Pengujian

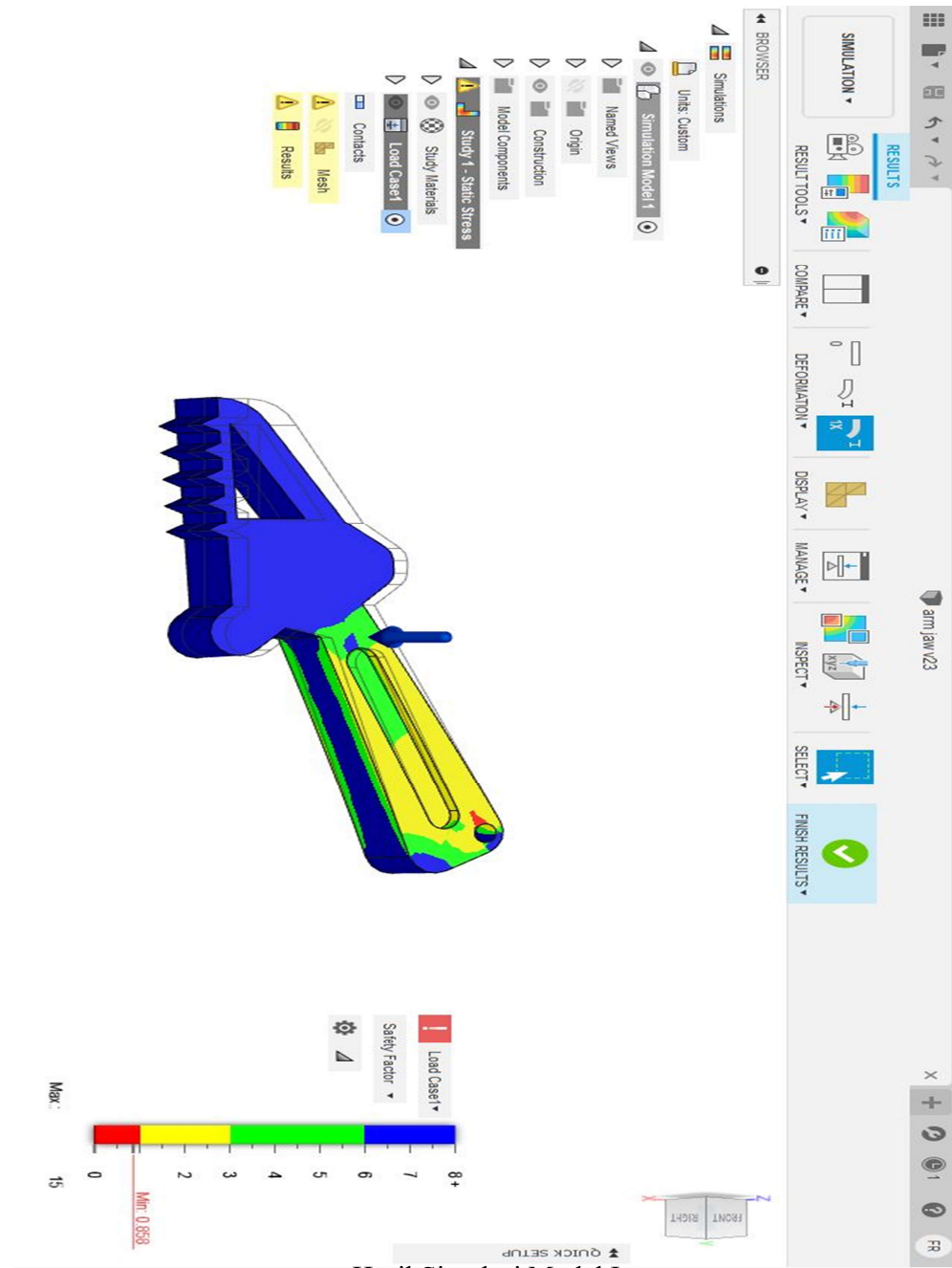


Penimbangan massa sampel uji

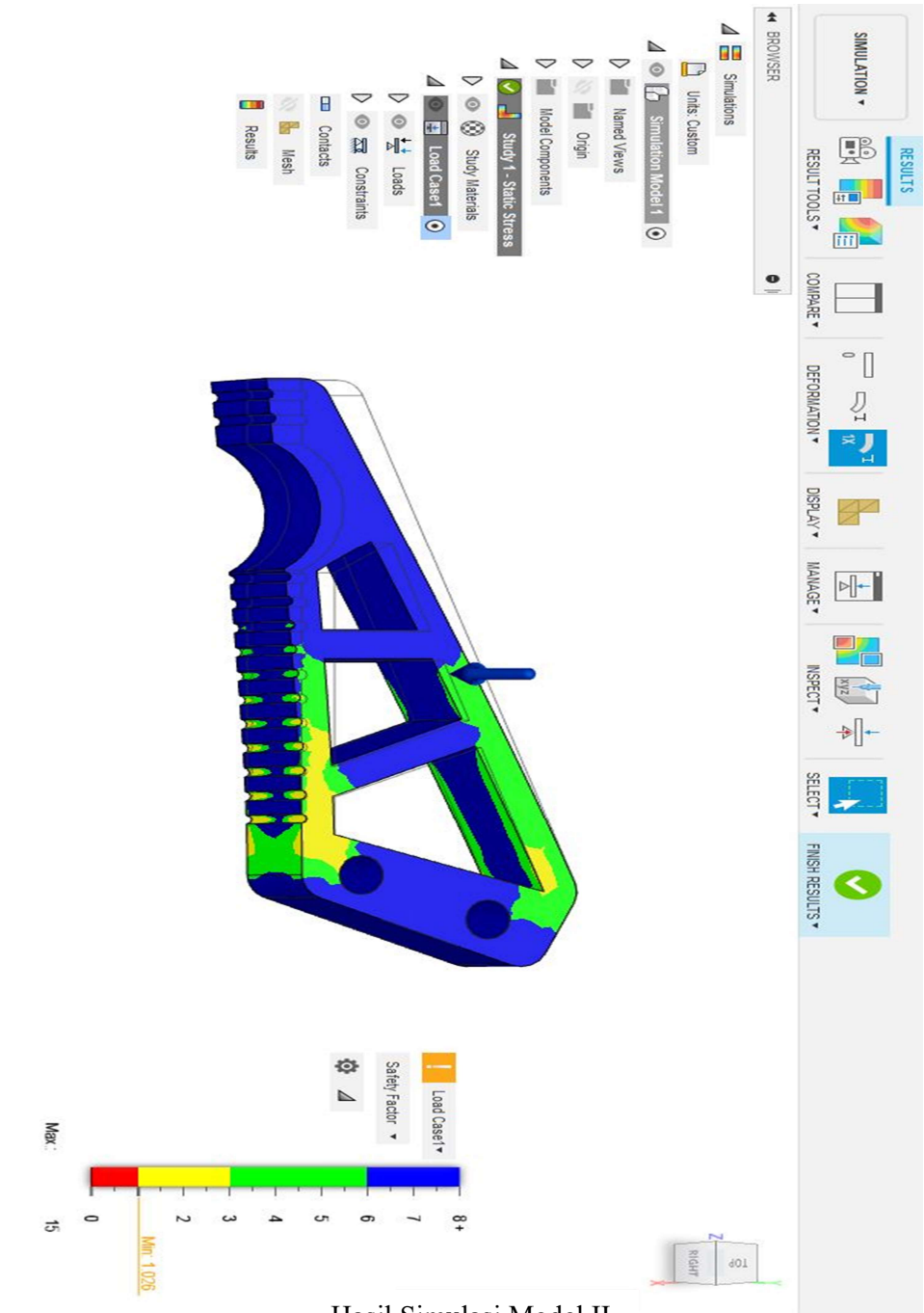


Assembly part pendukung Gripper Arm

Lampiran V : Hasil simulasi fusion 360

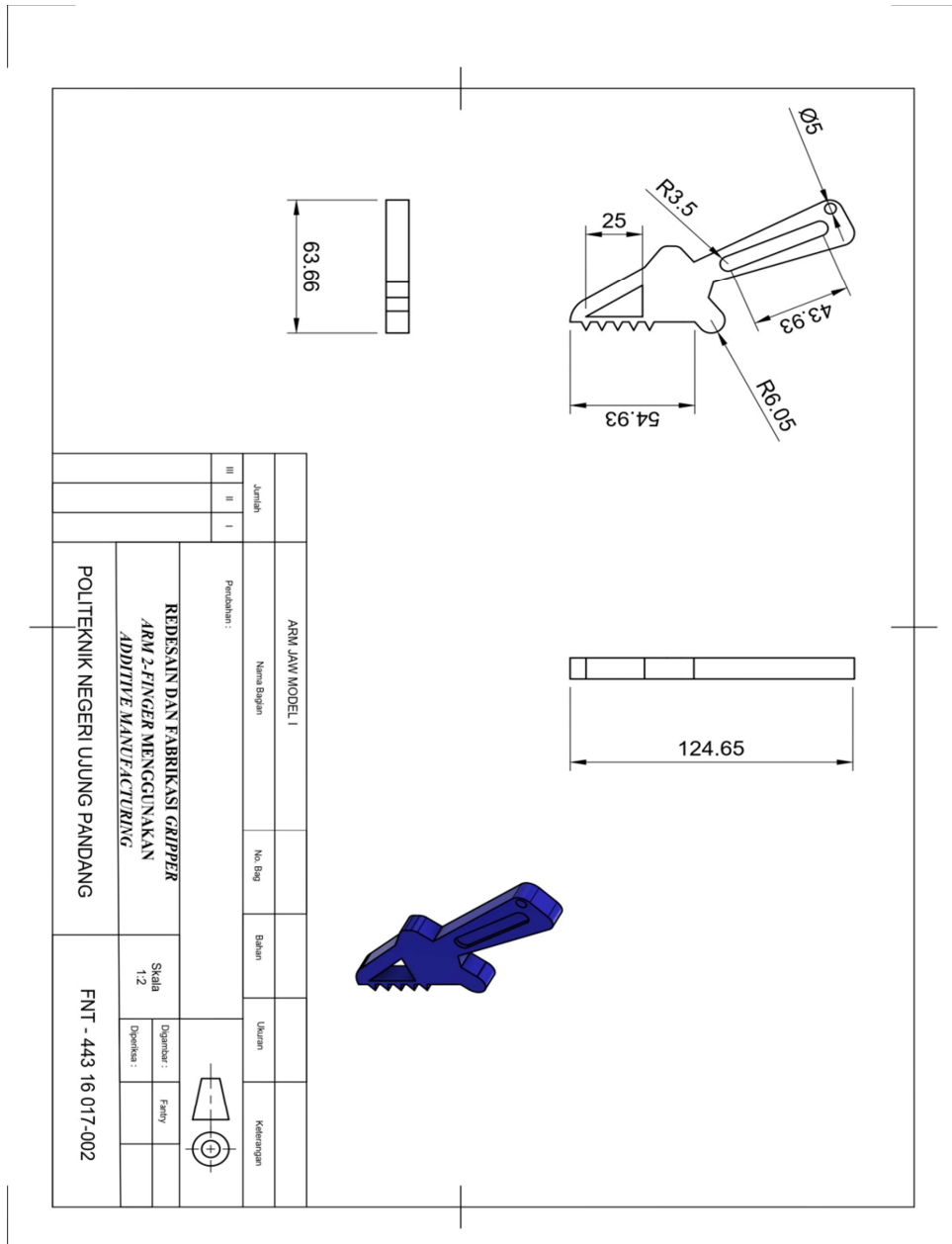


Hasil Simulasi Model I

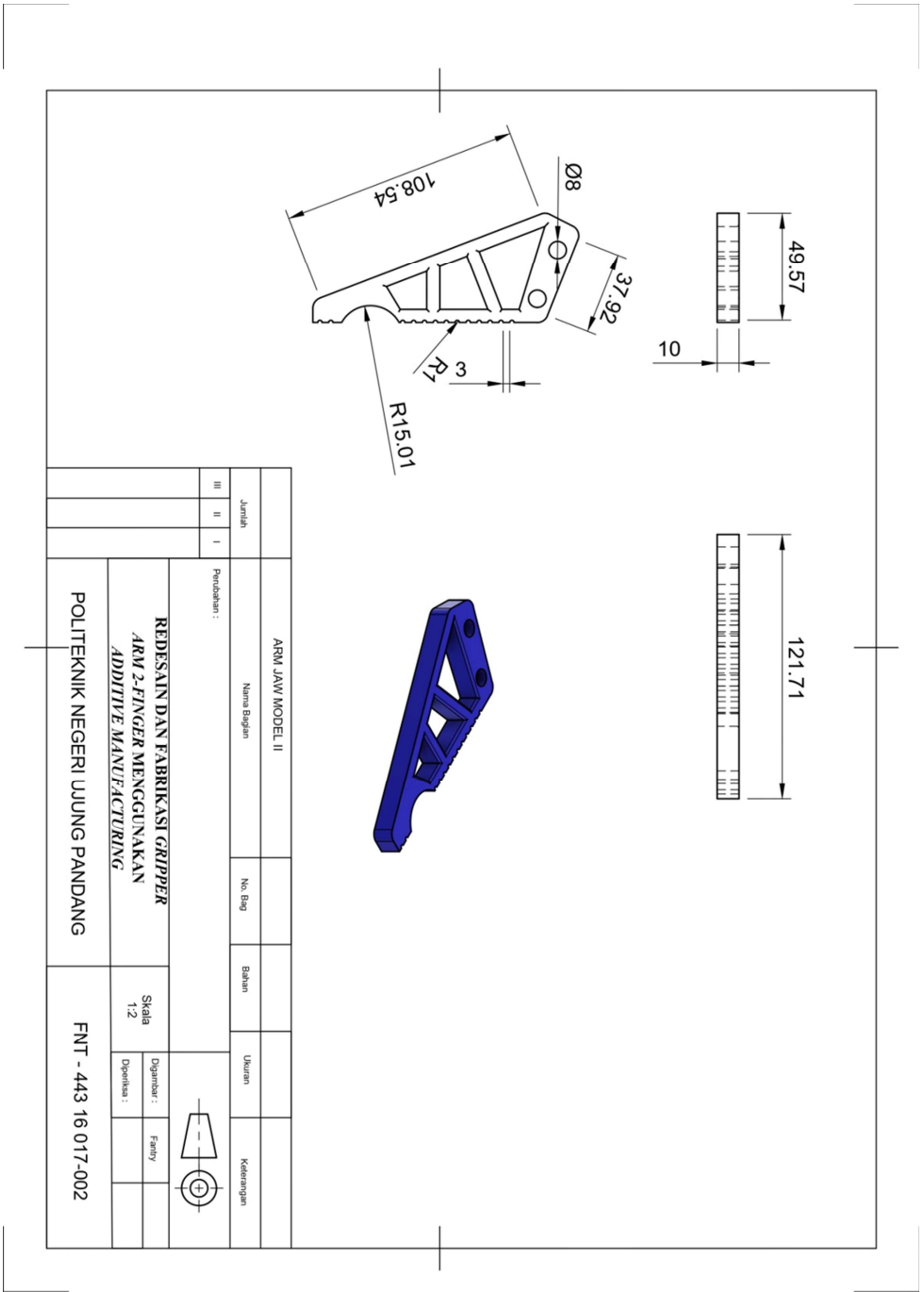


Hasil Simulasi Model II

Lampiran VI : Desain *Griper Arm*



Drawing Model I



Drawing Model II