

**Pengembangan *Three-Point Flexural Test Machine* sesuai
Standar ISO 4049 untuk Pengujian Biomaterial Gigi berbasis
Polimer**

TUGAS AKHIR

**Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Mesin**



Disusun Oleh :

Nama : Muhammad Anggi Nugraha
No. Mahasiswa : 18525003
NIRM :

**JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA**

2023

LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PEMBIMBING

**Pengembangan *Three-Point Flexural Test Machine* sesuai Standar
ISO 4049 untuk Pengujian Biomaterial Gigi berbasis Polimer**

TUGAS AKHIR

Disusun Oleh :

Nama : Muhammad Anggi Nugraha

No. Mahasiswa : 18525003

NIRM :

Yogyakarta, 20 September 2023

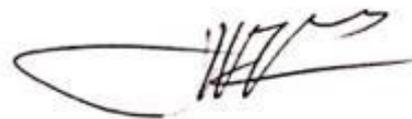
Pembimbing I,



Irfan Aditya Dharma, S.T., M.Eng.,

Ph.D.

Pembimbing II,



Dr. Ir. Paryana Puspaputra, M.Eng.

LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PENGUJI

Pengembangan *Three-Point Flexural Test Machine* sesuai Standar
ISO 4049 untuk Pengujian Biomaterial Gigi berbasis Polimer

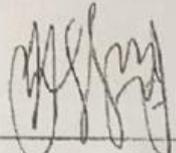
TUGAS AKHIR

Disusun Oleh :

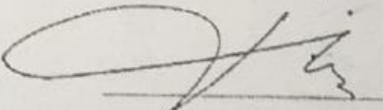
Nama : Muhammad Anggi Nugraha
No. Mahasiswa : 18525003
NIRM :

Tim Penguji

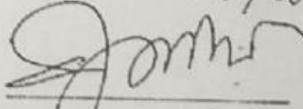
Irfan Aditya Dharma, S.T., M.Eng., Ph.D.
Ketua


Tanggal : 25/10/2023

Ir. Arif Budi Wicaksono, S.T., M.Eng., IPP
Anggota I

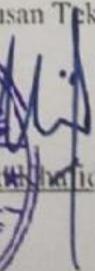

Tanggal : 24/10/2023

Ir. Santo Ajie Dhewanto, S.T., M.M. IPP
Anggota II


Tanggal : 24/10/2023

Mengetahui

Ketua Jurusan Teknik Mesin



D. G. N. M. H. S. T. M. T. IPP

PERNYATAAN KEASLIAN

Demi Allah Yang Maha Segalanya, dengan ini saya menyatakan bahwa karya ini adalah hasil saya sendiri kecuali kutipan dan ringkasan yang telah saya cantumkan sumbernya sebagai referensi. Apabila dikemudian hari terbukti bahwa pengakuan saya tidak benar serta melanggar peraturan yang sah dalam hak kekayaan intelektual maka saya bersedia mengikuti hukuman maupun sanksi apapun sesuai hukum yang diberlakukan Universitas Islam Indonesia.

Yogyakarta, 20 September 2023



Muhammad Anggi Nugraha

HALAMAN PERSEMBAHAN

Segala puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan yang Maha Esa Allah SWT yang telah melimpahkan rezeki dan rahmat-Nya, Serta panjatan doa dan dukungan yang selalu diberikan oleh orang-orang tercinta, hingga pada akhirnya penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini. Oleh sebab itu penulis ingin mengucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada:

Ibu dan Bapak yang selalu senantiasa memberikan dukungan baik moral maupun materill serta doa yang selalu dipanjatkan sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini.

Bapak Irfan Aditya Dharma, S.T., M. Eng., Ph. D. selaku dosen pembimbing yang telah memberikan banyak sekali ilmu terhadap penulis baik ilmu yang berhubungan dengan studi teknik mesin maupun ilmu kehidupan yang sangat bermanfaat bagi penulis.

Penulis berharap semoga Tugas Akhir ini dapat berguna dan bermanfaat untuk perkembangan ilmu pengetahuan khususnya pada bidang yang sesuai dengan topik penulis.

HALAMAN MOTTO

“Sebuah keyakinan yang diinterpretasikan dalam wujud atitit adalah hal yang sangat penting untuk digunakan sebagai senjata baik diawal maupun diakhir”

“Keyakinan dan Ilmu Akan Menjadi Sebuah Kekuatan”

“Kita tidak harus menjadi kaya dalam konteks memiliki uang yang banyak, tapi esensi kekayaan adalah tergantung dimana kita meletakkan hal tersebut, salah satunya apa yang kita inginkan dapat tercapai”

“Jangan Berbangga Karna Telah Menjadi Pionir, namun Berbanggalah Ketika Ikut Andil dalam Suatu Proses”

KATA PENGANTAR

“Assalamualaikum Warahmatullahi Wabarokatuhu”

Alhamdulillahirobbil'alamin, segala puji dan syukur atas kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya sehingga laporan Tugas Akhir ini dapat terselesaikan. Shalawat serta salam penulis panjatkan kepada junjungan kita Nabi Muhammad SAW yang telah membawa kita kepada kehidupan yang lebih baik saat ini. Laporan Tugas Akhir ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana pada Program Studi Teknik Mesin Universitas Islam Indonesia. Penyusunan laporan Tugas Akhir ini dapat terselesaikan dengan baik karena adanya bimbingan dan dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu penulis mengucapkan terimakasih kepada:

1. Orang tua saya tercinta yang selalu memberikan kasih sayang, dorongan, serta dukungan kepada penulis sehingga penulis dapat menjalankan dan menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan baik.
2. Bapak Dr. Muhammad Khafidh, S.T., M.T., selaku Ketua Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia.
3. Bapak Irfan Aditya Dharma, S.T., M.Eng., Ph.D., selaku dosen pembimbing Tugas Akhir yang telah memberikan ilmu dan arahan dalam penyusunan laporan Tugas Akhir ini.
4. Seluruh dosen dan staf pengajar Teknik Mesin FTI UII.
5. Arif Rahman Hakim, S.T., yang telah membantu serta menjadi tempat untuk berdiskusi dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
6. Prayuda Violita Nurhaliza, S.Kom., yang telah menemani, memberi dorongan, serta dukungan selama menjalankan proses perkuliahan hingga dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini.
7. Teman-teman Jogja Brutal yang selalu memberikan dorongan dan semangat serta menjadi tempat untuk berdiskusi, bertukar pikiran, pandangan, dan pengalaman selama menjalani masa perkuliahan hingga saat ini.
8. Keluarga besar Teknik Mesin Universitas Islam Indonesia Angkatan 2018.

Penyusunan laporan Tugas Akhir ini telah dilakukan dengan sebaik-baiknya dan sebenar-benarnya, namun masih memungkinkan terjadinya kesalahan maupun kekurangan dalam penyusunannya. Oleh karena itu, penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun untuk kesempurnaan laporan Tugas Akhir ini. Semoga laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi semuanya.

“Wabillahaufiq walhidayah”

“Wassalamu’alaikum Warahmatulahi Wabarokatuhu”

Yogyakarta, 20 September 2023

A handwritten signature in black ink, consisting of a large, stylized initial 'M' followed by the name 'Anggi Nugraha' in a cursive script.

(Muhammad Anggi Nugraha)

ABSTRAK

Dalam proses pembuatan gigi tiruan diperlukan pengujian untuk mengetahui sifat dari material yang digunakan seperti *ultimate strength*, *flexural strength*, *yield strength*, kekakuan dan lain-lainnya apakah sudah memenuhi standar yang digunakan. Perancangan mesin uji lentur skala kecil bertujuan agar dapat mengetahui sifat material yang tepat untuk dapat dilakukan pembuatan gigi tiruan. Material yang digunakan dalam pembuatan gigi tiruan sendiri merupakan salah satu pengembangan dari material-material yang ada, yaitu dengan menggunakan bahan dasar resin. Tentunya untuk lebih mengetahui sifat mekanis dari material tersebut, diperlukan pengujian seperti pengujian tarik, pengujian lentur, pengujian tekan, dan lain-lainnya. Mesin ini dirancang berukuran kecil dan ringan sehingga dapat dipindahkan dengan mudah atau portabel. Selain itu mesin ini dirancang berukuran kecil dikarenakan benda yang akan diuji atau spesimennya tergolong berukuran kecil karena mengacu pada standar ISO 4049. Penelitian ini juga bertujuan untuk pengembangan dari penelitian sebelumnya yaitu mesin uji tarik skala kecil, yaitu dikembangkan menjadi mesin uji universal (UTM). Sehingga untuk kedepannya mesin ini selain bisa melakukan pengujian dengan spesimen yang kecil khususnya untuk pengujian tarik dan lentur, mesin ini juga dapat menjadi sarana pembelajaran bagi mahasiswa agar dapat lebih mengetahui lebih lanjut mengenai pengujian material lebih baik.

Kata Kunci: Biomaterial Gigi Tiruan, *Flexural Strength*, Pengujian Lentur, ISO 4049

ABSTRACT

In the process of making dentures, testing is required to determine the properties of the material used, such as ultimate strength, flexural strength, yield strength, stiffness, etc., whether they meet the standards used. The design of a small-scale bending testing machine aims to find out the exact material properties for making dentures. The material used in the manufacture of dentures itself is one of the developments of existing materials, namely by using a resin base material. Of course, to know more about the mechanical properties of these materials, tests such as tensile testing, bending testing, compression testing, and others are needed. This machine is designed to be small and lightweight so that it can be moved easily or portable. In addition, this machine is designed to be small because the object to be tested or the specimens are relatively small because it refers to the ISO 4049 standard. This research also aims to develop from previous research, namely a small-scale tensile testing machine, which is developed into a universal testing machine (UTM). So for the future this machine besides being able to carry out tests with small specimens especially for tensile and flexure tests, this machine can also be a learning tool for students so they can find out more about material testing better.

Keywords: Dentures Biomaterials, Flexural Strength, Flexural Testing, ISO 4049

DAFTAR ISI

Halaman Judul	i
Lembar Pengesahan Dosen Pembimbing	ii
Lembar Pengesahan Dosen Penguji	iii
pernyataan keaslian.....	iv
Halaman Persembahan	v
Halaman Motto	vi
Kata Pengantar.....	vii
Abstrak	ix
<i>Abstract</i>	x
Daftar Isi	xi
Daftar Tabel.....	xiii
Daftar Gambar	xiv
Bab 1 Pendahuluan	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan Perancangan.....	3
1.5 Manfaat Perancangan.....	3
1.6 Sistematika Penulisan	3
Bab 2 Tinjauan Pustaka	5
2.1 Kajian Pustaka	5
2.2 Dasar Teori	6
2.2.1 Uji Lentur (<i>Bending</i>)	6
2.2.2 Material Teknik	7
2.2.3 <i>Computer Aided Design (CAD)</i>	8
2.2.4 <i>Computer Aided Engineering (CAE)</i>	8
2.2.5 <i>Computer Aided Manufacturing (CAM)</i>	9
2.2.6 <i>Computer Numerically Controlled (CNC)</i>	9
2.2.7 <i>3D Print</i>	10
2.2.8 <i>PLA (Polylactic Acid)</i>	10

2.2.9	ISO 4049	11
Bab 3	Metode Penelitian	14
3.1	Alur Penelitian	14
3.2	Peralatan dan Bahan.....	14
3.2.1	Perangkat Keras.....	14
3.2.2	Perangkat Lunak	14
3.2.3	Bahan	15
3.3	Perancangan	15
3.3.1	Konsep Mesin Uji <i>3 Point Bending</i>	15
3.3.2	Desain dan Analisis Mesin Uji Lentur	17
3.3.3	Proses Manufaktur Mesin Uji Lentur	22
3.3.4	Spesimen Pengujian Lentur	25
Bab 4	Hasil dan Pembahasan	28
4.1	Hasil Perancangan.....	28
4.1.1	Peletakan Sensor Pada Meja Peninggi.....	28
4.1.2	Komponen <i>Support</i> Dan <i>Loading Nose</i>	30
4.1.3	1Hasil Akhir Perancangan Mesin Uji Lentur	38
4.2	Pengujian	39
4.3	Hasil Pengujian	40
4.3.1	Pengujian Komponen Aluminium 5052.....	40
4.3.2	Pengujian Komponen <i>Fillament</i> PLA+	42
4.3.3	Pengujian Komponen Campuran.....	44
4.4	Pembahasan	46
4.4.1	Pembahasan Grafik Pengujian.....	46
4.4.2	Pembahasan Biaya Produksi.....	49
Bab 5	Penutup.....	52
5.1	Kesimpulan	52
5.2	Saran	52
Daftar Pustaka	53

DAFTAR TABEL

Tabel 3 - 1 Perbandingan Faktor Mekanis Material Komponen Mesin	16
Tabel 3 - 2 Perbandingan Faktor Non Mekanis Material Komponen Mesin	17
Tabel 3 - 3 Komponen Utama Mesin Uji Lentur	19
Tabel 3 - 4 Parameter <i>Printing</i> Prototipe Komponen.....	22
Tabel 3 - 5 Parameter <i>3D Print</i> Resin	26
Tabel 4 - 1 Parameter <i>Printing</i> Komponen Material PLA+	35
Tabel 4 - 2 Parameter <i>Printing</i> Komponen Material PLA+	37
Tabel 4 - 3 Data Pengujian dengan Komponen Aluminium 5052	40
Tabel 4 - 4 Data Pengujian dengan Komponen PLA+	42
Tabel 4 - 5 Data Pengujian dengan Komponen Campuran	44
Tabel 4 - 6 Biaya Produksi Komponen Bermaterial Aluminium 5052	50
Tabel 4 - 7 Biaya Produksi Komponen Bermaterial PLA+.....	50
Tabel 4 - 8 Biaya Produksi Komponen Bermaterial Campuran.....	51

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2 - 1 3 Point Bending	7
Gambar 2 - 2 4 Point Bending	7
Gambar 2 - 3 Mesin CNC.....	9
Gambar 2 - 4 Mesin 3D Print.....	10
Gambar 2 - 5 PLA Fillament.....	11
Gambar 2 - 6 Kuat Lentur Minimum.....	13
Gambar 3 - 1 Alur Proses Perancangan.....	14
Gambar 3 - 2 Desain Mesin Uji Tarik Skala Kecil.....	17
Gambar 3 - 3 Desain Mesin Uji Lentur Skala Kecil.....	18
Gambar 3 - 4 Komponen utama mesin uji lentur	18
Gambar 3 - 5 Desain Meja Peninggi	19
Gambar 3 - 6 Desain Sensor Beban.....	20
Gambar 3 - 7 Posisi Peletakan Sensor Beban pada Meja Peninggi.....	20
Gambar 3 - 8 Desain Area Uji Spesimen Uji Lentur.....	21
Gambar 3 - 9 Prototipe <i>Loading Nose</i> dan <i>Support</i>	23
Gambar 3 - 10 Pengukuran Dimensi Komponen <i>Support</i> hasil Prototipe.....	23
Gambar 3 - 11 Pengukuran Dimensi Komponen <i>Loading Nose</i> hasil Prototipe..	24
Gambar 3 - 12 Komponen <i>Loading Nose</i> Hasil CNC	25
Gambar 3 - 13 Komponen <i>Support</i> Hasil CNC.....	25
Gambar 3 - 14 Desain Spesimen ISO 4049.....	26
Gambar 3 - 15 Spesimen Uji Hasil 3D <i>Printing</i> Resin	27
Gambar 4 - 1 Pemasangan Sensor Beban pada Meja Peninggi.....	28
Gambar 4 - 2 Pemasangan Plat Dudukan Pada Sensor Beban	29
Gambar 4 - 3 Komponen <i>Spacer</i> untuk Penambah Jarak.....	29
Gambar 4 - 4 Pemasangan Meja Peninggi ke Mesin Uji Lentur	30
Gambar 4 - 5 Desain Area Pengujian	30
Gambar 4 - 6 Komponen <i>Support</i> yang Sudah Terpasang.....	31
Gambar 4 - 7 Tampak Bawah Komponen yang Terkunci Mur.....	31
Gambar 4 - 8 Pemasangan <i>Loading Nose</i> dan Dudukan Sensor Jarak pada Mesin	32

Gambar 4 - 9 Penghubungan Baut Sensor Jarak dengan Dudukan Sensor	33
Gambar 4 - 10 Komponen <i>Support</i> dan <i>Loading Nose</i> dengan Material Aluminium 5052	34
Gambar 4 - 11 Komponen <i>Support</i> dan <i>Loading Nose</i> dengan Material PLA+ ..	34
Gambar 4 - 12 Orientasi untuk <i>Printing</i> Komponen Bermaterial PLA+	36
Gambar 4 - 13 Komponen <i>Support</i> dan <i>Loading Nose</i> dengan Material Campuran	37
Gambar 4 - 14 Orientasi <i>Printing</i> untuk Komponen Bermaterial Campuran	38
Gambar 4 - 15 Tampilan Depan dan Tampilan Isometrik Mesin Uji Lentur Skala Kecil	39
Gambar 4 - 16 Grafik Hasil Pengujian dengan Komponen Bermaterial Aluminium	41
Gambar 4 - 17 Titik Pengambilan Gambar yang Ditunjukkan pada Grafik.....	41
Gambar 4 - 18 Grafik Hasil Pengujian dengan Komponen Bermaterial PLA+ ...	43
Gambar 4 - 19 Titik Pengambilan Gambar yang Ditunjukkan pada Grafik.....	43
Gambar 4 - 20 Grafik Hasil Pengujian dengan Komponen Bermaterial Campuran	45
Gambar 4 - 21 Titik Tegangan dan Regangan yang Terjadi pada Video Rekaman	45
Gambar 4 - 22 Grafik Seluruh Pengujian	46
Gambar 4 - 23 Perbedaan Pembacaan pada Daerah Elastis	47
Gambar 4 - 24 Area Komponen yang Permukaannya Kasar.....	48
Gambar 4 - 25 Titik Sebelum Spesimen Putus Mengalami Penurunan	49

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pada zaman ini sering ditemukan berbagai keluhan mengenai permasalahan gigi dan mulut antara lain, gigi berlubang, bau mulut, karies gigi, susunan gigi yang tidak teratur, dan gigi ompong atau kehilangan gigi. Kehilangan satu atau beberapa gigi dapat menyebabkan terjadinya perubahan jaringan pada rongga mulut. Oleh karena itu, saat ini terdapat alternatif untuk permasalahan tersebut yaitu dengan pembuatan gigi tiruan.

Berdasarkan observasi yang dilakukan oleh penulis pada saat menemui drg. M. Febrian Isrofi menyatakan, pada saat ini dalam pembuatan gigi tiruan yang dilakukan oleh laboratorium gigi masih banyak menggunakan mahkota gigi konvensional. Sedangkan mahkota gigi konvensional sendiri tidak banyak ditemukan dan juga memiliki harga yang relatif tinggi untuk kualitas serta warna yang bagus.

Dalam proses pembuatan gigi tiruan sendiri tentu tidak terlepas dari dilakukannya suatu pengujian untuk mengukur apakah material yang digunakan dalam pembuatan gigi tiruan itu sendiri memiliki kekuatan yang bagus untuk dijadikan gigi tiruan. Melihat potensi dan perkembangan teknologi bidang rekayasa mekanik material non-logam saat ini peneliti terdorong untuk menciptakan suatu material baru yang memiliki kualitas lebih baik dari sebelumnya. Sifat material merupakan salah satu indikator kualitas dari suatu material yang perlu diperhatikan. Oleh karena itu pengujian material menjadi suatu tahapan yang penting bagi peneliti untuk mengetahui kekuatan tarik maksimum (*ultimate tensile strength*), kekuatan luluh (*yield strength*), kelenturan (*elasticity*), dan kekuatan tekan (*compressive strength*).

Mesin pengujian lentur yang saat ini sering ditemui rata-rata memiliki skala yang relatif besar, karena biasanya dilakukan pengujian untuk barang-barang dimensi besar contohnya logam dan beton. Salah satu contoh mesin pengujian yang ada di lingkungan UII yaitu terdapat di Teknik Sipil Universitas Islam Indonesia.

Mesin tersebut ditujukan untuk pengujian logam dan beton dengan ukuran mesin yang relatif besar, berat dan sulit dipindahkan. Saat ini mesin uji lentur dengan spesifikasi menggunakan spesimen berkekuatan rendah belum tersedia terutama di lingkungan UII. Oleh karena itu diperlukan sebuah mesin uji lentur dengan mobilitas yang baik, mampu melakukan pengujian dengan spesimen uji bermaterial plastik dan resin, serta menggunakan sistem digital yang mampu menyajikan data dengan baik yang kemudian dapat diolah.

Mesin uji lentur juga merupakan salah satu sarana laboratorium Pendidikan yang sangat penting dalam menunjang dan mendukung proses belajar mengajar dan proses penelitian yang dilakukan oleh akademisi (Pandiati, Okariawan, Sulistyowati, Salman, & Adhi, 2017).

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah disampaikan, berikut merupakan rumusan masalah dalam penelitian ini:

1. Bagaimana cara merancang dan manufaktur komponen pada *Three-Point Flexural Test Machine* untuk pengujian biomaterial gigi berbasis polimer sesuai standar ISO 4049?
2. Apakah alat yang dirancang mampu melakukan pengujian lentur sesuai dengan standar ISO 4049?
3. Bagaimana perbedaan pembacaan data pengujian lentur dengan komponen mesin yang bermaterial aluminium dan kombinasi *3D Print Fillament*?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam perancangan ini adalah sebagai berikut:

1. Perancangan ini merupakan pengembangan dari mesin uji tarik dari penelitian sebelumnya.
2. Melakukan perancangan, analisis, dan pembahasan pada komponen mekanik untuk mesin uji lentur skala kecil.
3. Perancangan ini dikhususkan untuk pengujian lentur 3 titik.

4. Perancangan ini dibatasi hanya hingga berhasil memindahkan data pengujian lentur 3 titik ke perangkat eksternal.
5. Pengujian dilakukan dengan ketentuan sesuai dengan standar ISO 4049.

1.4 Tujuan Perancangan

Tujuan dilakukannya penelitian atau perancangan ini yaitu:

1. Melakukan perancangan dan manufaktur komponen mekanik mesin uji lentur skala kecil.
2. Melakukan pengujian mesin uji lentur skala kecil terhadap spesimen dengan standar ISO 4049.
3. Mengetahui perbedaan pembacaan data hasil pengujian dengan penggunaan komponen bermaterial aluminium dan kombinasi *3D print filament* untuk mengurangi biaya produksi.

1.5 Manfaat Perancangan

Manfaat perancangan ini adalah dapat merancang dan membuat mesin uji lentur skala kecil untuk mengetahui kekuatan lentur dari suatu benda berkekuatan rendah atau material non logam. Selain itu perancangan ini dapat bermanfaat untuk pengujian lentur 3 titik khusus untuk ISO 4049 yang merupakan standar yang digunakan dalam pembuatan gigi tiruan. Manfaat lainnya yaitu mesin uji lentur dapat menunjang dan mendukung proses belajar mengajar serta proses penelitian yang dilakukan oleh Mahasiswa.

1.6 Sistematika Penulisan

Penulisan laporan tugas akhir ini terdiri dari 5 bab yang berurutan agar mempermudah pembaca dalam memahami isi dari laporan tugas akhir ini. Pada Bab 1 merupakan merupaka pembuka dari laporan tugas akhir ini yang terdiri dari latar belakang, rumusan masalah, Batasan masalah, tujuan perancangan, manfaat perancangan, dan sistematika penulisan. Pada Bab 2 merupakan tinjauan Pustaka dan dasar teori yang sudah ditetapkan pada perancangan ini.

Bab 3 merupakan metode penelitian yang di dalamnya berisikan alur penelitian, alat dan bahan, serta tahapan perancangan yang telah dilakukan. Bab 4

menjelaskan mengenai proses pembuatan serta hasil dari perancangan alat yang telah dilakukan, pengujian, dan hasil pengujian. Dan yang terakhir pada bab 5 yang berisi kesimpulan dan saran dari hasil perancangan.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kajian Pustaka

Pengujian lentur menjadi salah satu bagian penting pada sifat mekanik dari suatu material, pada pengujian lentur dapat dihasilkan kurva uji yang berisi tegangan dan regangan dari material pada saat benda uji diberikan gaya dorong. Saat ini material juga berkembang seiring majunya teknologi yang pesat. Beberapa pengujian bending yang dilakukan memiliki ukuran spesimen yang kecil.

Sebelumnya sudah dilaksanakan penelitian mengenai “Perancangan Struktur Mekanik Uji Tarik dengan Kapasitas 150 kgf” oleh Aulia Abdi Nur Syamsudin. Dari hasil penelitian tersebut dihasilkan suatu alat mesin uji tarik dengan skala yang kecil yang cukup baik (Syamsudin, 2021). Mesin tersebut mampu untuk melakukan pengujian dengan spesimen yang memiliki ukuran kecil. Kemudian penelitian tersebut dikembangkan oleh Arif Rahman Hakim dengan “Pengembangan Lanjut Mesin Uji Tarik Skala Kecil: Ekstraksi Data dan Cengkaman *Gripper*” dimana penelitian tersebut berhasil mengembangkan mesin uji tarik skala kecil yang memiliki cengkaman baik, pembacaan data yang baik, serta penampilan data yang lebih menarik (Hakim, 2022). Melalui penelitian-penelitian tersebut didapatkan gambaran mengenai pengembangan terhadap mesin uji tarik skala kecil untuk dikembangkan menjadi sebuah mesin uji universal yang dapat melakukan pengujian tarik dan juga pengujian lentur (*bending*).

Pada penelitian “Rancang Bangun Mesin Uji Tarik, Tekan dan Tekuk (*Bending*) Menggunakan Tenaga Hidrolik” oleh Gerson, Shinta Tri Kismanti, dan Muhammad Firdan Nurdin dihasilkan mesin uji universal untuk pengujian tarik, *bending*, dan tekan dengan kapasitas dongkrak hidrolik 2 ton menggunakan sistem kerja motor penggerak dan *gearbox* yang terhubung pada poros engkol untuk memompa dongkrak hidrolik yang mampu menghasilkan data hasil pengujian tarik dan pengujian *bending*, sedangkan untuk pengujian tekan mengalami kegagalan pengambilan data yang disebabkan oleh beberapa faktor (Gerson et al., 2023). Serta ada juga penelitian yang dilakukan oleh (Apriliansyah et al., 2020) yang

berjudul “Rancang Bangun Mesin Uji Tarik dan Uji *Bending* Untuk Pengujian Bahan Komposit Polimer” dalam penelitian ini dilakukan perancangan mesin uji universal untuk pengujian tarik dan *bending* dengan spesimen komposit polimer yang memiliki kekuatan maksimal 1500 kg atau 14705,9 N berdasarkan standar ASTM (*American Standart Testing & Material*) yaitu D638-03 tipe 1 untuk uji tarik dan D790-07 untuk uji *bending*. Melalui penelitian-penelitian tersebut didapatkan gambaran mengenai komponen-komponen yang diperlukan dalam suatu perancangan mesin uji lentur (*bending*).

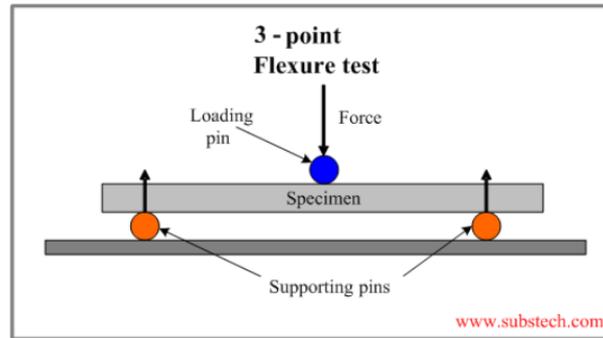
Pada jurnal berjudul “*Flexural Strength of Microhybrid Composite Resin with Polyethylene Fiber’s Layer Addition*” yang disusun oleh Varina Zata Nabilah, Lusi Hidayati, dan Agus Sumono menunjukkan bahwa kekuatan minimum yang harus dimiliki resin komposit yang dipolimerisasi dengan sinar menurut ISO 4049 adalah 50 MPa (Nabilah et al., 2016). Melalui penelitian tersebut didapatkan gambaran mengenai pengambilan serta pembacaan data untuk mesin uji lentur 3 titik (*3 point bending*). Maka dengan itu, penelitian ini ditujukan untuk pengembangan terhadap mesin uji lentur skala kecil yang sebelumnya sudah dirancang menjadi mesin UTM (*Universal Testing Machine*) yang dapat melakukan pengujian lentur *3 point bending* khusus untuk biomaterial gigi dengan standar ISO 4049. Perancangan ini dilakukan agar dalam tahapan pembuatan gigi tiruan, pemilihan material dapat lebih mudah dilaksanakan karena pengujian lentur untuk material yang dipilih dapat dilakukan pada mesin ini.

2.2 Dasar Teori

2.2.1 Uji Lentur (*Bending*)

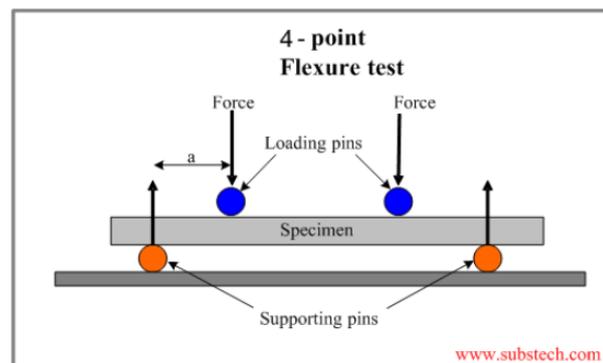
Uji lentur (*Bending Test*) merupakan salah satu bentuk pengujian untuk menentukan mutu suatu material secara visual. Selain itu uji *bending* digunakan untuk mengukur kekuatan material akibat pembebanan pada suatu titik di tengah-tengah spesimen yang ditahan diatas dua tumpuan. Proses pembebanan menggunakan pendorong yang dimensinya telah ditentukan untuk mendorong bagian tengah dari spesimen uji agar dapat tertekuk diantara dua penyangga yang dipisahkan oleh jarak yang telah ditentukan. Pengujian *bending* sendiri memiliki 2

macam pengujian, yaitu terdapat *three point bending test* atau uji lentur dengan 3 titik dan terdapat juga *four point bending test* atau pengujian lentur dengan 4 titik (Beliu et al., 2016).



Gambar 2 - 1 3 Point Bending

(Sumber: Lamidi, 2020)



Gambar 2 - 2 4 Point Bending

(Sumber: Lamidi, 2020)

2.2.2 Material Teknik

Bahan atau material teknik dapat diklasifikasikan secara umum menjadi material logam dan material non-logam. Material logam dibagi menjadi 2 jenis yaitu logam besi (*ferrous*) dan logam non-besi (*non-ferrous*). Untuk material non-logam terdiri dari beberapa contoh, antara lain plastik (*polymer*), keramik (*ceramic*), dan komposit (*composite*). Material logam sering digunakan karena bahan ini memiliki karakteristik khusus yang tidak dimiliki oleh bahan lainnya. Namun material non-logam memiliki karakteristik khusus yaitu material jenis ini

mudah dibentuk yang membuat material ini sering digunakan pada beberapa macam produk jadi maupun produk *prototype*. Oleh karena itu sifat mekanik adalah faktor yang utama dalam memilih bahan untuk desain produk dan juga produksi (Hidayat, 2019).

Sifat suatu material dianggap sebagai respon dari suatu material untuk menahan beban yang diberikan seperti, kekuatan, ketangguhan, kekerasan, keuletan, getas, dan kelelahan (Hidayat, 2019). Pengujian material berguna untuk dapat mengetahui sifat dari suatu material itu sendiri, dan salah satu tes pengujian material yaitu pengujian lentur (*bending*).

2.2.3 Computer Aided Design (CAD)

CAD adalah *software* komputer untuk membuat/merancang/menggambar suatu objek atau bagian dari objek tersebut menjadi bentuk 2 dimensi maupun 3 dimensi, sehingga dapat digunakan sebagai sarana publikasi atau presentasi (Aminullah, 2022).

Dalam buku berjudul “*Computer Aided Design (CAD)*” yang ditulis oleh Ideen Sadrehaghighi, dalam buku tersebut dijelaskan bahwa Computer Aided Design (CAD) merupakan suatu alat bantu dalam pembuatan, modifikasi, analisis, dan optimasi desain yang sering digunakan pada sistem komputer (*workstation*) (Sadrehaghighi, 2022).

Software CAD dapat membantu meningkatkan produktivitas dari seorang desainer, kualitas desain, komunikasi antar desainer, serta arsip *database manufacturing*. Pada perangkat lunak CAD memungkinkan desainer untuk membuat garis maupun kurva dalam ruang dua-dimensi (2D) dan kurva, *surface*, dan benda pejal dalam ruang tiga-dimensi (3D).

2.2.4 Computer Aided Engineering (CAE)

Computer Aided Engineering (CAE) merupakan suatu proses untuk menganalisis suatu desain tiga-dimensi (3D) menggunakan sebuah perangkat lunak (*software*) dalam komputer. CAE memiliki teknologi yang dirancang khusus untuk melakukan perhitungan terhadap desain tiga-dimensi yang dapat memberikan informasi awal mengenai seluruh siklus pengembangan desain seperti, konseptual

desain, pengujian terhadap faktor internal maupun eksternal produk, dan juga pemeliharaan produk (Kolbasin & Husu, 2018)

2.2.5 *Computer Aided Manufacturing (CAM)*

Computer Aided Manufacturing (CAM) yaitu suatu teknologi dalam bidang manufaktur yang menggunakan perangkat lunak (*software*) dan juga mesin untuk memfasilitasi dan mengoptimasi proses manufaktur. *Computer Aided Manufacturing (CAM)* merupakan proses lanjutan dari sebelumnya yaitu proses *Computer Aided Engineering (CAE)*. Penggunaan teknologi *Computer Aided Manufacturing (CAM)* juga bertujuan untuk mengurangi limbah dan energi agar dapat meningkatkan produksi dan efisiensi produksi melalui kecepatan produksi yang meningkat, konsistensi bahan baku, dan akurasi perkakas yang lebih tepat (Setyoadi & Latifah, 2015).

2.2.6 *Computer Numerically Controlled (CNC)*

CNC merupakan singkatan dari *Computer Numerically Controlled* atau kontrol numerik berbasis komputer. Mesin CNC merupakan salah satu jenis mesin perkakas yang sering digunakan didunia industri yang dilengkapi dengan sistem mekanik dan kontrol berbasis komputer sebagai pengaturnya. Dari perancangan yang sudah diatur dengan komputer akan menghasilkan Bahasa mesin berkode seperti N, G, F, T, dan lain-lain, mesin CNC akan dapat membaca kode – kode tersebut sebagai perintahnya.



Gambar 2 - 3 Mesin CNC

2.2.7 3D Print

3D *Printing* atau *Additive Layer Manufacturing* adalah suatu proses pembuatan objek 3 dimensi atau bentuk lainnya dari model digital. Sistem kerja dari mesin 3D *Printing* memiliki kesamaan dengan *printer* laser dengan teknik membuat objek dari sejumlah *layer* atau lapisan yang masing-masing dicetak setiap diatas satu lapisan lainnya. (Putra & Ds, 2018).

Mesin 3D *printer* dapat mencetak, memodelkan, alat peraga Pendidikan, model perhiasan, alat penunjang Kesehatan, desain produk, mainan anak dan berbagai kebutuhan untuk mencetak dalam bentuk 3 dimensi, sehingga teknologi ini dapat menjadi salah satu tren teknologi informasi dan komunikasi pada zaman ini.



Gambar 2 - 4 Mesin 3D Print

2.2.8 PLA (*Polylactic Acid*)

Asam polilaktat (*Polylactic Acid*) atau biasa disebut dengan PLA merupakan plastik yang dapat terurai secara hayati, tidak seperti ABS (*Acetonitrile Butadiene Styrene*). PLA terbuat dari bahan baku yang terbarukan, salah satunya yaitu tepung jagung. PLA merupakan salah satu bahan yang paling mudah untuk dicetak, meskipun cenderung sedikit menyusut saat setelah tercetak.

Plastik PLA umumnya sulit diproses karena tingkat pendinginan dan pematatannya yang tergolong tinggi. Perlu diketahui juga bahwa produk atau desain yang dihasilkan bisa rusak apabila terkena air.



Gambar 2 - 5 PLA *Fillament*

2.2.9 ISO 4049

International Organization for Standardization (ISO) adalah suatu badan yang mengatur standar internasional yang terdiri dari perwakilan badan standarisasi nasional masing-masing negara untuk mengukur kualitas organisasi. ISO merupakan suatu organisasi yang menetapkan standar internasional di bidang industri dan komersil dunia. ISO meliputi spesifikasi kelas dunia untuk beragam hal, seperti produk layanan, hingga memastikan kualitas serta efisiensi. Dalam pengujian suatu material seperti pengujian tarik dan pengujian *bending*, biasanya diatur dengan standar ISO. Salah satu contoh standar ISO yang digunakan untuk standarisasi pengujian lentur (*bending*) yaitu ISO 4049.

Sesuai dengan keterangan yang terdapat pada standar ISO 4049, bahwa pengujian lentur (*bending*) untuk bahan restoratif berbasis polimer gigi dilakukan proses pengujian *3 point bending* atau pengujian lentur 3 titik. Peralatan pada pengujian lentur pada dasarnya terdiri dari dua buah batang as dengan diameter 2 mm, kemudian dipasangkan secara paralel dengan jarak antara titik pusat kedua batang adalah 20 mm. Kemudian terdapat batang as ketiga dengan diameter yang sama yaitu 2 mm yang posisinya berpusat diantara 2 batang lainnya, sehingga ketiga batang as tersebut menjadi kombinasi untuk memberikan pembebanan secara 3 titik pada spesimen uji.

ISO 4049 menetapkan persyaratan untuk bahan restorasi berbasis polimer gigi yang disediakan dalam bentuk yang sesuai untuk pencampuran mekanis,

pencampuran tangan, atau aktivasi energi eksternal intraoral dan ekstraoral. ISO 4049 merupakan standar yang terbaik untuk mengukur kuat lentur (*flexural strength*) dari gigi tiruan. Menurut ISO 4049, bahan restoratif berbasis polimer gigi dikategorikan menjadi 2 tipe seperti berikut:

1. Pengisi berbasis polimer dan bahan restoratif yang diklaim oleh pabrikan sesuai untuk restorasi yang melibatkan permukaan oklusal.
2. Seluruh pengisi berbasis polimer dan bahan restorative.

Pada ISO 4049 juga menjelaskan bahwa terdapat 3 kelas bahan pengisi, restorative, dan luting berbasis polimer gigi, yaitu sebagai berikut:

1. Kelas 1: Bahan yang pengaturannya dipengaruhi oleh pencampuran inisiator dan activator (bahan “*self-curing*”).
2. Kelas 2: Bahan yang pengaturannya dipengaruhi oleh penerapan energi dari sumber eksternal, seperti cahaya biru atau panas (bahan yang diaktifkan dengan energi eksternal). Bahan tersebut dibagi lagi menjadi 2 grup, yaitu sebagai berikut:
 - a. Grup 1: Bahan yang penggunaannya membutuhkan energi untuk diterapkan secara intra-oral.
 - b. Grup 2: Bahan yang penggunaannya membutuhkan tenaga untuk diterapkan secara ekstra-oral. Ketika terbuat, bahan ini akan ditempatkan pada tempatnya.

Dengan catatan, bahan-bahan tertentu dapat diklaim oleh pabrikan sebagai grup 1 dan grup 2. Dalam hal ini bahan tersebut harus memenuhi persyaratan untuk kedua kelompok,

3. Kelas 3: Bahan yang diperlakukan dengan penerapan energi eksternal dan juga memiliki mekanisme penyembuhan sendiri.

Dalam ISO 4049 disebutkan juga standar kuat lentur minimum (*minimum flexural strength*) untuk setiap tipe yang sudah disebutkan sebelumnya. Kuat lentur (*flexural strength*) dari bahan tipe 1 dan 2 dengan perlakuan yang sudah ditetapkan pada ISO 4049 disyaratkan untuk sama dengan atau lebih tinggi dari gambar 2-5.

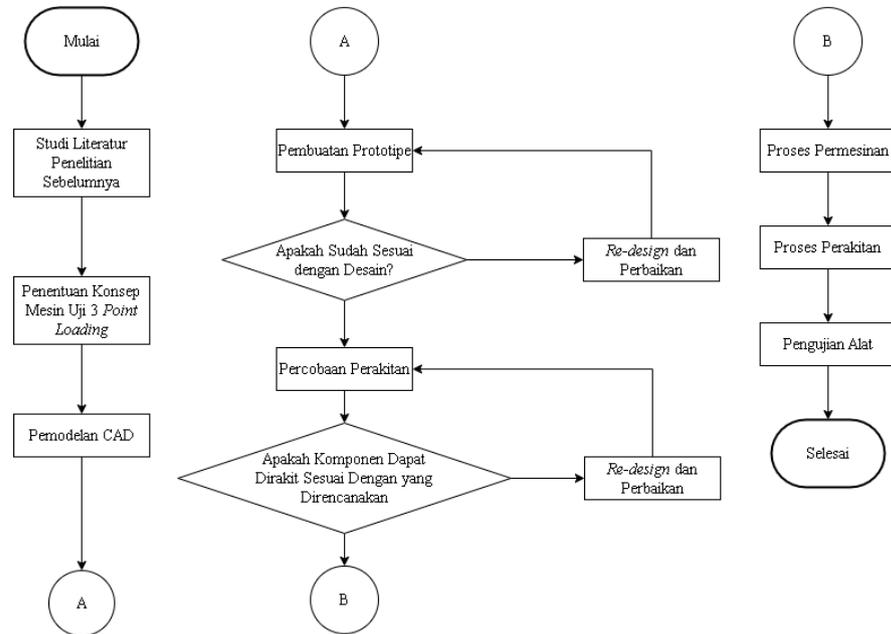
Type 1	Class 1	80 MPa
	Class 2, group 1	80 MPa
	Class 2, group 2	100 MPa
	Class 3	80 MPa
Type 2	Class 1	50 MPa
	Class 2, group 1	50 MPa
	Class 3	50 MPa

Gambar 2 - 6 Kuat Lentur Minimum

(Sumber: ISO 4049:2000)

BAB 3 METODE PENELITIAN

3.1 Alur Penelitian



Gambar 3 - 1 Alur Proses Perancangan

3.2 Peralatan dan Bahan

Peralatan dan bahan yang digunakan pada perancangan ini terbagi menjadi perangkat keras dan perangkat lunak sebagai berikut:

3.2.1 Perangkat Keras

1. Mesin Uji Tarik Skala Kecil
2. Mesin 3D Printer Anet ET5
3. Mesin 3D Print Resin Anycubic
4. Mesin Frais
5. Mesin CNC Milling

3.2.2 Perangkat Lunak

1. Solidworks 2018

2. *Ultimaker Cura*
3. *Chitubox V1.7.0*

3.2.3 Bahan

1. Aluminium 5052
2. *3D Print Fillament PLA+*
3. Plat Besi
4. Besi Siku

3.3 Perancangan

Proses perancangan terdiri dari konsep mesin uji *3 point bending*, desain dan analisis komponen mesin uji *3 point bending*, dan proses manufaktur mesin uji *3 point bending*.

3.3.1 Konsep Mesin Uji 3 Point Bending

Proses perancangan komponen mesin uji *3 point bending* diawali dengan konsep desain. Terdapat beberapa proses dalam menentukan konsep desain mesin uji *3 point bending*:

3.3.1.1 Analisis Beban

Dalam menentukan konsep desain mesin uji lentur, perlu dilakukan terlebih dahulu analisis beban. Analisis beban diawali dengan melihat data kekuatan lentur (*flexural strength*) dari material atau bahan tertentu. Dalam penelitian ini difokuskan untuk aplikasi dari standar ISO 4049. Sesuai dengan standar tersebut, material yang digunakan memiliki kekuatan lentur minimal 80 Mpa seperti yang tertera pada gambar 2-3. Berdasarkan data tersebut, dapat dihitung berapa beban minimal yang diberikan, yaitu sebesar 21,33 N. Apabila beban yang didefinisikan adalah 25 N, maka beban tersebut sudah lebih dari kekuatan lentur tertinggi yang didapatkan dari data pada standar ISO 4049.

3.3.1.2 Kriteria Desain

Setelah melakukan perhitungan beban, selanjutnya yaitu menentukan beberapa kriteria desain yang harus dipenuhi, sebagai berikut:

1. Mesin uji lentur dirancang untuk dapat mengukur beban hingga 25 N,
2. Mesin uji lentur dapat menampilkan hasil pengujian dalam bentuk grafik tegangan-regangan.
3. *Fixture* atau komponen untuk pendorong dan *support* atau span dirancang agar dapat menahan serta mendorong spesimen dengan baik sehingga spesimen uji dapat melentur dengan maksimal.
4. Mesin uji lentur yang dirancang mampu melakukan pengujian dengan standar ISO 4049.
5. Penggerak dan struktur gerak pada mesin uji lentur ini menggunakan penggerak dan struktur yang sudah dirancang pada penelitian sebelumnya yaitu mesin uji tarik skala kecil.

3.3.1.3 Pemilihan Material

Sebelum menentukan bahan yang cocok untuk digunakan pada komponen mesin uji lentur, dilakukan terlebih dahulu perbandingan terhadap faktor mekanis dan non mekanis dari suatu material. Terdapat 2 jenis material yang dibandingkan yaitu aluminium dan *PLA+*. Hasil perbandingan material tersebut dapat dilihat pada tabel 3-1 dan 3-2.

Tabel 3 - 1 Perbandingan Faktor Mekanis Material Komponen Mesin

(Sumber : *Material Properties Solidworks*)

Jenis Material	Modulus Elastisitas (<i>Kgf/cm²</i>)	Kekuatan Luluh (<i>Kgf/cm²</i>)	Kekuatan Tarik (<i>Kgf/cm²</i>)
Aluminium	703.599,9	562,35	1.205,23
<i>PLA+</i>	23.453,5	265,96	642,421

Tabel 3 - 2 Perbandingan Faktor Non Mekanis Material Komponen Mesin

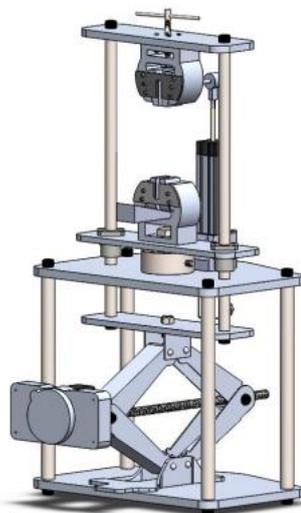
Jenis Material	Ukuran Bahan	Harga	Fabrikasi
Aluminium	45 x 95 x 20	Rp. 280.000	Menggunakan HSS
PLA+	1 Kg	Rp. 175.000	3D Printing

Dengan menggunakan perbandingan tersebut, maka dipilihlah material utama untuk komponen mesin uji lentur ini yaitu aluminium. Untuk aluminium yang dipilih yaitu aluminium *alloy* seri 5052. Namun untuk mengetahui lebih lanjut serta dapat mengurangi biaya produksi dalam pembuatan mesin uji ini yaitu komponen juga dibuat menggunakan material PLA+.

3.3.2 Desain dan Analisis Mesin Uji Lentur

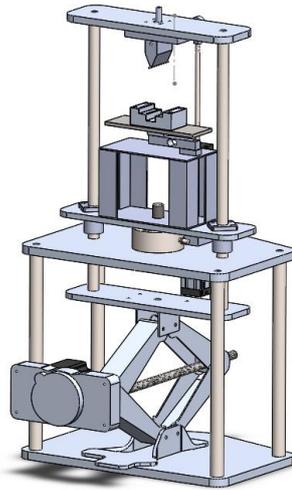
3.3.2.1 Desain 3 Dimensi

Setelah menentukan konsep yang meliputi analisis beban, kriteria desain, dan pemilihan bahan, proses selanjutnya yaitu melakukan pemodelan CAD atau desain 3 dimensi. Dalam tahapan ini perlu mempertimbangkan peletakan komponen untuk mesin uji lentur skala kecil pada mesin uji tarik skala kecil yang sudah dirancang sebelumnya.



Gambar 3 - 2 Desain Mesin Uji Tarik Skala Kecil
(Sumber : Syamsudin, 2021)

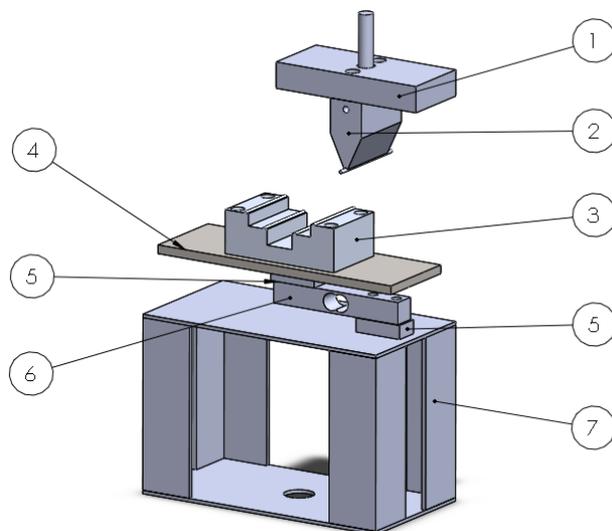
Pada gambar 3-2 merupakan desain dalam perancangan yang sebelumnya dilakukan, yaitu mesin uji tarik skala kecil. Pada penelitian ini dilakukan pengembangan untuk perancangan yang sebelumnya, oleh karena itu terdapat beberapa komponen pada mesin uji tarik skala kecil yang masih dipertahankan dan beberapa diganti. Desain mesin uji lentur skala kecil ditunjukkan pada gambar 3-3.



Gambar 3 - 3 Desain Mesin Uji Lentur Skala Kecil

Penjelasan mengenai komponen yang diganti :

1. Komponen yang diganti

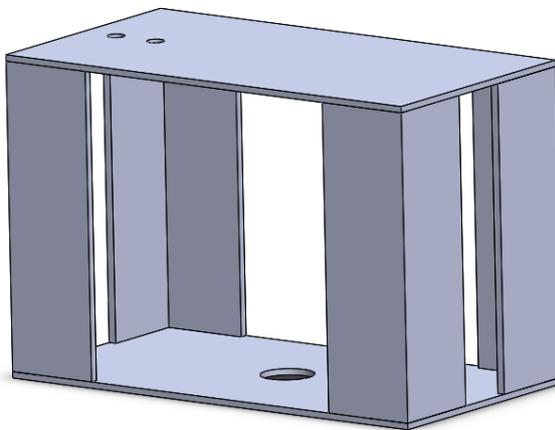


Gambar 3 - 4 Komponen utama mesin uji lentur

Tabel 3 - 3 Komponen Utama Mesin Uji Lentur

No.	Nama Komponen	Jumlah	Material
1.	Dudukan sensor jarak	1	Aluminium 5052
2.	<i>Loading Nose</i> (Pendorong)	1	Aluminium 5052
3.	<i>Span / Support</i> (Penyangga)	1	Aluminium 5052
4.	Plat dudukan	1	Plat Aluminium
5.	<i>Spacer</i> sensor beban	2	PLA <i>Fillament</i>
6.	Sensor beban	1	-
7.	Meja peninggi	1	Besi

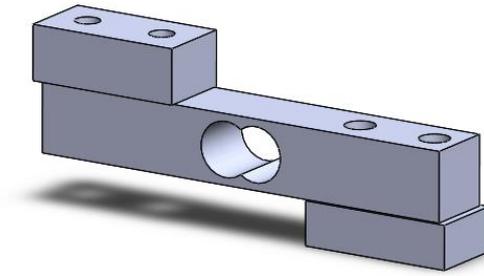
2. Desain Meja Peninggi



Gambar 3 - 5 Desain Meja Peninggi

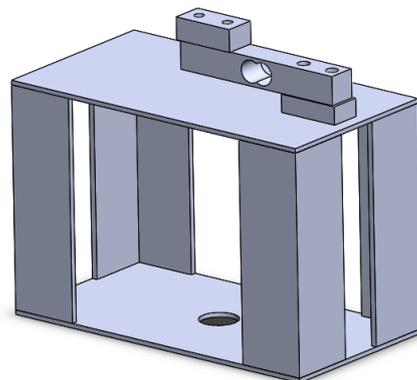
Meja peninggi memiliki ukuran panjang x lebar x tinggi yaitu 150 mm x 80 mm x 102m. Meja peninggi tersebut dirancang untuk meninggikan posisi *support* sehingga Gerakan dorong yang terjadi lebih efektif atau tidak terlalu jauh. Meja peninggi juga dirancang sebagai dudukan untuk sensor beban yang baru.

3. Peletakan Sensor Beban



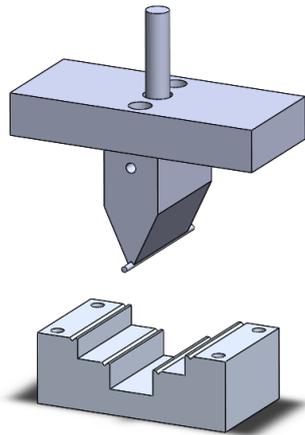
Gambar 3 - 6 Desain Sensor Beban

Sensor beban yang digunakan memiliki kapasitas 0-10 kg. Kapasitas tersebut disesuaikan dengan kebutuhan pengujian dengan standar ISO 4049. Pada standar ISO 4049 disebutkan kekuatan lentur untuk spesimen yang diuji yaitu 100 MPa dan 80 MPa. Oleh karena itu pembacaan beban yang diperlukan cukup diantara 0 hingga 10 kgf. Sensor beban yang sebelumnya terpasang memiliki kapasitas 100 ton, dengan menggunakan kapasitas berat tersebut menjadikan pembacaan data kurang akurat. Oleh karena itu sensor beban yang sebelumnya digantikan dengan sensor beban dengan kapasitas yang lebih kecil. Posisi peletakan sensor beban dapat dilihat pada gambar 3-7.



Gambar 3 - 7 Posisi Peletakan Sensor Beban pada Meja Peninggi

4. Desain Area Uji Spesimen Uji Lentur



Gambar 3 - 8 Desain Area Uji Spesimen Uji Lentur

Pada desain area pengujian, terbagi menjadi 2 bagian, yaitu *Loading Nose* atau pendorong spesimen dan *Support* atau span. Pendorong merupakan komponen yang berfungsi untuk pemberi beban pada spesimen. Pendorong ini terhubung dengan sensor jarak, untuk kemudian dapat mengukur perpindahan jarak dari titik pengujian dimulai hingga batas titik tertentu.

Support atau span merupakan komponen yang berfungsi sebagai tempat meletakkan atau penyangga spesimen uji lentur. Span ini terhubung dengan sensor beban, untuk kemudian dapat mengukur beban ketika proses pengujian dilakukan.

Kedua komponen dirancang sesuai dengan ISO 4049 yang menjelaskan bahwa terdapat 3 komponen batang as dengan diameter 2 mm yang menjadi kombinasi untuk 3 titik pembebanan. 2 batang as dipasangkan secara paralel dengan jarak antar titik tengah batang as sebesar 20 mm, kemudian 1 batang as diposisikan tepat ditengah antara kedua batang as tersebut.

3.3.3 Proses Manufaktur Mesin Uji Lentur

3.3.3.1 Pembuatan Prototipe

Proses prototipe dilakukan untuk meninjau komponen yang sebelumnya sudah didesain sebelumnya sudah dapat bekerja dengan baik sebelum dilakukan proses permesinan, sehingga dapat mengurangi resiko kegagalan produksi. Pada tahapan ini komponen mesin yang dilakukan proses prototipe adalah *loading nose* atau pendorong dan juga *support* atau span. Hal ini dilakukan untuk mendapatkan ukuran yang pasti sudah sesuai dengan desain yang dibuat atau belum. Kriteria yang dituliskan pada ISO 4049 juga menunjukkan dimensi pada beberapa titik, sehingga perlu dipastikan apakah desain yang sebelumnya dibuat sudah memiliki ukuran yang sesuai dengan kriteria yang tertulis pada ISO 4049. Proses prototipe ini dilakukan menggunakan mesin 3D *print* dan menggunakan *software Ultimaker Cura* sebagai *slicer* dengan parameter *printing* dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

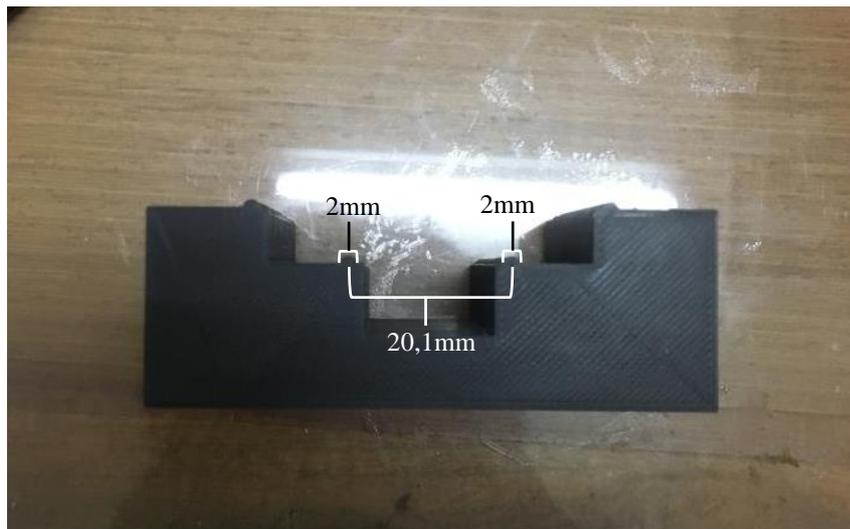
Tabel 3 - 4 Parameter *Printing* Prototipe Komponen

Parameter <i>Print</i> Prototipe	
<i>Layer Height</i> / Ketinggian Layer (mm)	0,05
<i>Shell Thickness</i> / Ketebalan Dinding (mm)	0,75
<i>Bottom Thickness</i> / Ketebalan Alas (mm)	2
<i>Fill Density</i> / Kepadatan (%)	70
<i>Print Speed</i> / Kecepatan Cetak (mm/s)	40
<i>Printing Temperature</i> / Suhu Cetak (°C)	150
<i>Bed Temperature</i> / Suhu Landasan (°C)	60



Gambar 3 - 9 Prototipe *Loading Nose* dan *Support*

Setelah hasil dari proses 3D *printing* sudah terbuat, selanjutnya dilakukan pengukuran dimensi dengan menggunakan jangka sorong pada komponen hasil dari proses prototipe yang dilakukan. Hasil dari pengukuran dimensi prototipe komponen dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 3 - 10 Pengukuran Dimensi Komponen *Support* hasil Prototipe



Gambar 3 - 11 Pengukuran Dimensi Komponen *Loading Nose* hasil Prototipe

Dari hasil pengukuran yang dilakukan dapat diperhatikan bahwa pada bagian utama pada komponen sudah memiliki dimensi yang sesuai dengan keterangan yang ada pada standar ISO 4049 yaitu pada 3 titik pembebanan memiliki diameter 2 mm dan jarak antara titik tengah batang yaitu 20 mm.

3.3.3.2 Proses CNC

Setelah prototipe sudah sesuai dengan desain yang dibuat, selanjutnya masuk ketahapan permesinan yaitu dengan proses CNC. Proses CNC dipilih karena proses permesinan ini memiliki akurasi yang tinggi, sehingga komponen yang dibuat dapat sesuai dengan desain mulai dari bentuk dan juga dimensinya. Pada tahapan ini dilakukan permesinan untuk komponen yang sama dengan tahapan pembuatan prototipe, namun pada tahapan ini material yang digunakan yaitu aluminium 5052. Proses ini dilakukan dengan pemakanan pada material yang sebelumnya berbentuk balok utuh kemudian menjadi komponen yang sudah di desain. Hasil dari proses CNC dapat dilihat pada gambar 3-12 dan gambar 3-13.



Gambar 3 - 12 Komponen *Loading Nose* Hasil CNC

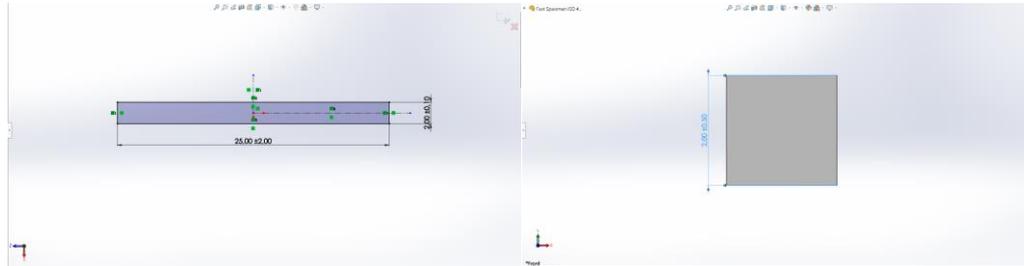


Gambar 3 - 13 Komponen *Support* Hasil CNC

3.3.4 Spesimen Pengujian Lentur

Spesimen pengujian yang dibuat yaitu spesimen khusus sesuai dengan standar ISO 4049. Pada standar tersebut dijelaskan spesimen yang dibuat khusus untuk pengujian biomaterial gigi. Dalam hal ini terdapat beberapa material yang dapat digunakan untuk pembuatan spesimen pada pengujian ini. Pada penelitian yang dilakukan dipilih material eResin-PLA dengan merk Esun. Berdasarkan TDS (*Technical Data Sheet*) material ini memiliki kuat lentur atau *flexural strength* 25 hingga 61 MPa. Dimensi spesimen juga dijelaskan pada standar ISO 4049.

Dimensi dari spesimen untuk pengujian lentur ini yaitu 25 mm x 2 mm x 2 mm. Desain dari spesimen uji dapat dilihat pada gambar 3-14.



Gambar 3 - 14 Desain Spesimen ISO 4049

Spesimen yang sudah didesain selanjutnya dilakukan proses manufaktur. Pada tahapan ini dilakukan proses 3D *printing* resin. Proses tersebut dipilih karena tidak dapat dilakukan proses 3D *printing* dengan *fillament*, karena dimensi dari spesimen yang tergolong kecil yang mengakibatkan mesin 3D *printing* tidak dapat melakukan pencetakan yang sangat kecil. Selain itu, 3D *printing* resin juga memiliki ketelitian yang lebih tinggi untuk pencetakan suatu produk. Hasil dari pencetakan dengan 3D *printing* resin juga relatif lebih halus daripada dengan menggunakan *fillament*. Proses 3D *print* resin dilakukan dengan menggunakan mesin 3D *Printer* Resin Anycubic dan dengan bantuan *software* Chitubox untuk pengaturan parameternya. Parameter *printing* dapat dilihat pada tabel 3-5. Untuk hasil pencetakan spesimen uji dapat dilihat pada gambar 3-15.

Tabel 3 - 5 Parameter 3D *Print* Resin

Parameter <i>Printing</i> Resin	
<i>Exposure Time</i> / Waktu Paparan (s)	3,5
<i>Lift Distance</i> / Jarak Angkat (mm)	5
<i>Lift Speed</i> / Kecepatan Angkat (mm/min)	50
<i>Bottom Exposure Time</i> / Waktu Paparan Bawah (s)	30
Layer Height / Ketinggian Lapisan (mm)	0,05
Retract Speed / Kecepatan Balik (mm/min)	150



Gambar 3 - 15 Spesimen Uji Hasil 3D *Printing* Resin

Dalam penelitian ini tidak ditinjau parameter khusus dalam proses 3D *printing* resin ini, dan juga tidak ditinjau perlakuan khusus yang harus dilakukan pada produk setelah dilakukan pencetakan. Dalam penelitian ini hanya meninjau dimensi dari spesimen yang dibuat harus sesuai dengan kriteria yang disebutkan pada standar ISO 4049.

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Perancangan

Hasil perancangan mesin uji lentur skala kecil ini menampilkan analisis terhadap hasil dari proses perancangan dan proses permesinan yang dilakukan sebelumnya.

4.1.1 Peletakan Sensor Pada Meja Peninggi

Setelah sebelumnya dilakukan proses manufaktur, kemudian meja peninggi dan sensor beban (*load cell*) dirangkai menjadi satu seperti pada desain yang sebelumnya sudah disiapkan. Sensor dan meja peninggi dihubungkan dengan baut dengan ukuran M6 pada 2 lubang yang sudah disiapkan pada permukaan atas meja peninggi. Pemasangan sensor beban pada meja peninggi dapat dilihat pada gambar 4-1.



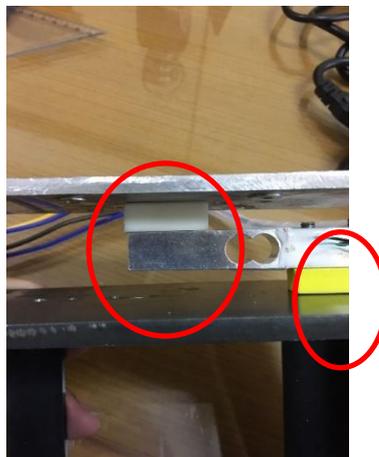
Gambar 4 - 1 Pemasangan Sensor Beban pada Meja Peninggi

Setelah sensor beban terpasang pada meja peninggi, kemudian memasang dudukan plat dudukan yang berguna menghubungkan komponen *support* dan sensor beban. Pemasangan dudukan ini juga bertujuan untuk memastikan titik tengah dari komponen *support*. Pemasangan plat ini dihubungkan dengan menggunakan baut dengan ukuran M6 yang langsung terhubung antara. Pemasangan komponen plat dudukan dapat dilihat pada gambar 4-2.



Gambar 4 - 2 Pemasangan Plat Dudukan Pada Sensor Beban

Pemasangan plat dudukan pada sensor dan juga pemasangan sensor pada meja peninggi ini diberikan komponen *spacer* yang terbuat dari 3D *print filament* PLA dengan proses manufaktur menggunakan mesin 3D *printer* untuk memberikan jarak antara sensor dengan meja peninggi dan juga sensor dengan plat dudukan. Karena sistem kerja dari sensor beban ini yaitu membaca nilai regangan yang terjadi pada badan sensor untuk kemudian akan diproses oleh *strain gauge* menjadi bentuk satuan berat, sehingga diperlukan komponen untuk memberikan jarak pada sensor sehingga dapat terjadi regangan pada sensor. Komponen tersebut dapat dilihat pada gambar 4-3.



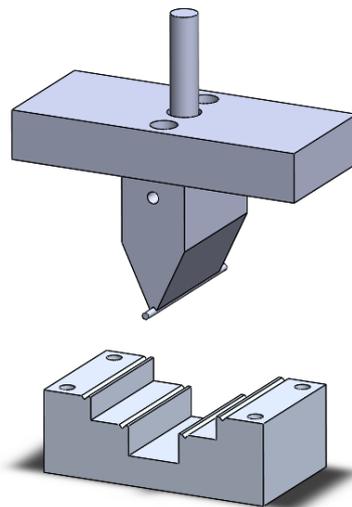
Gambar 4 - 3 Komponen *Spacer* untuk Penambah Jarak

Bagian pada sensor beban yang menjadi penumpu beban dipastikan berada tepat di titik tengah dari meja peninggi. Setelah perakitan sensor berhasil kemudian meja peninggi dipasangkan pada mesin uji. Meja peninggi diletakkan pada titik tengah dari mesin uji, kemudian dikunci menggunakan mur M16. Pemasangan meja peninggi pada mesin dapat dilihat pada gambar 4-4.



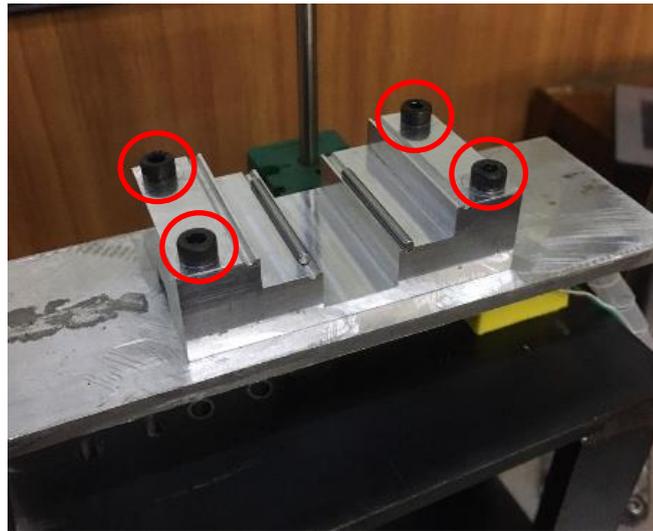
Gambar 4 - 4 Pemasangan Meja Peninggi ke Mesin Uji Lentur

4.1.2 *Komponen Support Dan Loading Nose*

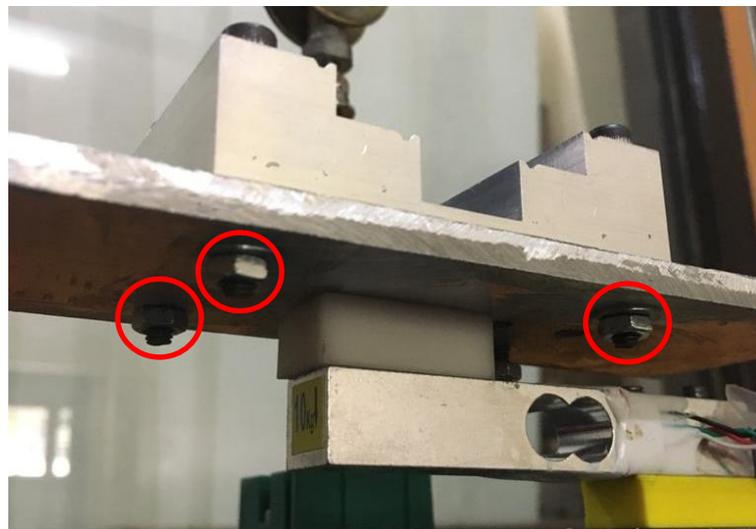


Gambar 4 - 5 Desain Area Pengujian

Komponen *support* dipasangkan terlebih dahulu pada mesin uji. Pada komponen *support* ini hubungkan pada plat dudukan berbahan aluminium dengan tebal 2,5 mm yang sebelumnya sudah dihubungkan dengan sensor beban. Komponen *support* ini dihubungkan pada plat dudukan dengan 4 baut berukuran M4 sebanyak 4 buah kemudian dikunci dengan mur M4 pada bagian permukaan bawah plat dudukan. Komponen *support* yang sudah terpasang pada mesin dapat dilihat pada gambar 4-3.

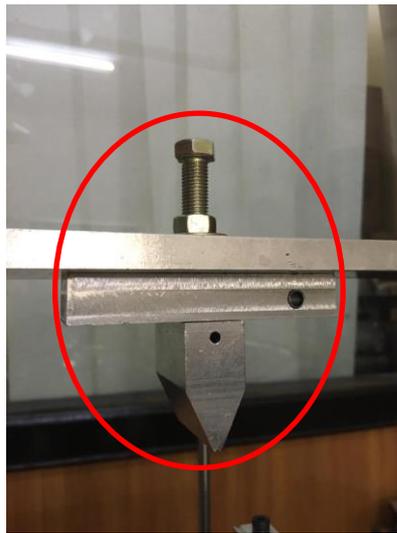


Gambar 4 - 6 Komponen *Support* yang Sudah Terpasang



Gambar 4 - 7 Tampak Bawah Komponen yang Terkunci Mur

Setelah komponen *support* terpasang kemudian dilanjutkan dengan komponen *loading nose* atau pembeban. *Loading nose* ini dipasangkan tepat pada titik tengah pada mesin uji agar dapat melakukan pembebanan tepat di tengah, kemudian dikunci dengan menggunakan mur M12. Pemasangan *loading nose* juga diikuti dengan pemasangan komponen dudukan sensor jarak, karena dudukan sensor jarak dan *loading nose* tersambung dengan baut utama berukuran M12 yang berada pada titik tengah mesin. Pemasangan komponen *loading nose* dan dudukan sensor jarak dapat dilihat pada gambar 4-8.



Gambar 4 - 8 Pemasangan *Loading Nose* dan Dudukan Sensor Jarak pada Mesin

Setelah terpasang pada mesin, kemudian sensor jarak dihubungkan pada komponen ini. Sensor jarak dihubungkan dengan dudukan yang sebelumnya sudah terpasang bersama dengan *loading nose*. Sensor jarak ini dihubungkan dengan sebuah baut M6. Baut tersebut nantinya akan menghubungkan sensor jarak dengan dudukan sensor jarak, sehingga ketika bagian *loading nose* bergerak ke bawah, sensor jarak juga dapat bergerak ke bawah mengikutiudukannya untuk melakukan pembacaan jarak perpindahan. Pemasangan baut sensor jarak dapat dilihat pada gambar 4-9.



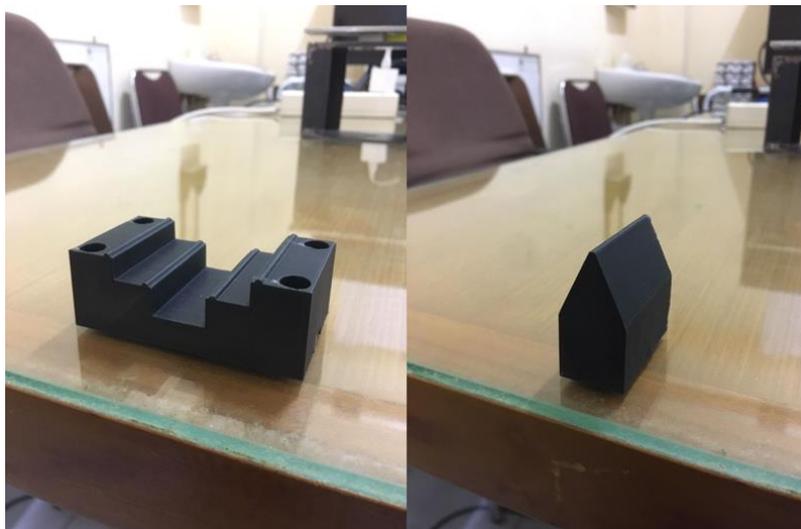
Gambar 4 - 9 Penghubungan Baut Sensor Jarak dengan Dudukan Sensor

Dalam penelitian yang dilakukan, pada kedua komponen ini dibuat dengan kombinasi material. Pembuatan dengan kombinasi material ini bertujuan untuk mengetahui material mana yang dapat digunakan untuk melakukan pengujian, dan juga dengan harga produksi yang lebih rendah. Karena pada kedua komponen tersebut menggunakan bahan aluminium pada mesin uji lentur yang umum digunakan. Pada penelitian ini, kedua komponen tersebut dibuat dengan 3 komposisi material yang berbeda, yaitu dengan material aluminium 5052 yang diproduksi dengan proses manufaktur CNC (*Computer Numerical Control*), kemudian dengan material *3D print filament* PLA+ yang diproduksi dengan proses manufaktur *3D printing*, dan yang terakhir menggunakan penggabungan 2 material yaitu material aluminium dan *3D print filament* PLA+. Komponen dengan berbagai jenis materialnya dapat dilihat pada gambar di bawah ini



Gambar 4 - 10 Komponen *Support* dan *Loading Nose* dengan Material Aluminium 5052

Kedua komponen tersebut dibuat dengan proses manufaktur CNC (*Computer Numerical Control*) dengan material yang digunakan yaitu aluminium 5052. Untuk bagian yang bersentuhan secara langsung dengan spesimen uji menggunakan as berbahan aluminium dengan diameter 2mm sesuai dengan yang disebutkan pada standar ISO 4049.



Gambar 4 - 11 Komponen *Support* dan *Loading Nose* dengan Material PLA+

Pada kedua komponen tersebut dibuat dengan proses manufaktur 3D *printing*, dengan material yang digunakan yaitu PLA+. Material PLA+ dipilih karena harga dari 3D *print filament* PLA+ masih tergolong murah. Proses manufaktur dilakukan dengan mesin 3D *printing* Anet5 dengan parameter *printing* yang dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

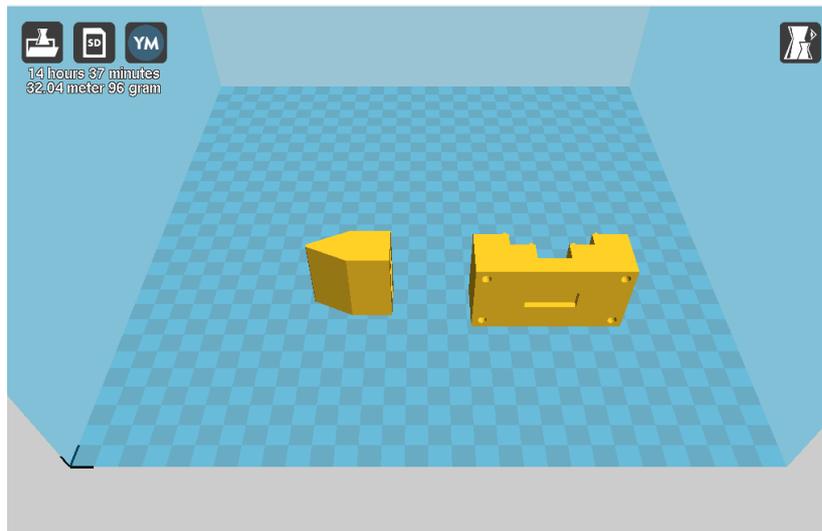
Tabel 4 - 1 Parameter *Printing* Komponen Material PLA+

Parameter <i>Print</i> Komponen Material PLA+	
<i>Layer Height</i> / Ketinggian Layer (mm)	0,05
<i>Shell Thickness</i> / Ketebalan Dinding (mm)	0,75
<i>Bottom Thickness</i> / Ketebalan Alas (mm)	2
<i>Fill Density</i> / Kepadatan (%)	70
<i>Print Speed</i> / Kecepatan Cetak (mm/s)	40
<i>Printing Temperature</i> / Suhu Cetak (°C)	150
<i>Bed Temperature</i> / Suhu Landasan (°C)	60

Salah satu pengaturan pada saat proses *slicing* dengan menggunakan *software Ultimaker Cura* yaitu *Fill Density* / *Infill* atau dapat diartikan dengan kepadatan. Kepadatan sangat berpengaruh dalam proses *printing* karena semakin rapat produk yang dicetak maka diharapkan memiliki kekuatan yang semakin tinggi juga. Menurut penelitian yang berjudul “Pengaruh Prosentase Infill pad Proses 3D *Printing* FDM terhadap Sifat Mekanik”(Eko P.U. et al., 2020) disebutkan bahwa dengan meningkatnya persentase *infill* pada material menyebabkan kekuatan material uji akan meningkat. Sehingga semakin tinggi persentase *infill* pada material uji mengakibatkan material memiliki kekuatan yang lebih tinggi karena kepadatan yang semakin tinggi, dan semakin tinggi tingkat kepadatan maka semakin tinggi kekuatan dari material tersebut. Pada proses *printing* dalam penelitian ini digunakan *infill* / *Fill Density* sebesar 70%, karena produk yang dicetak diharapkan memiliki kekuatan yang cukup untuk melakukan pengujian lentur, namun dengan material yang efisien. Oleh karena itu dalam penelitian ini dipilih *infill* / *Fill Density* sebesar 70% agar memiliki kekuatan yang

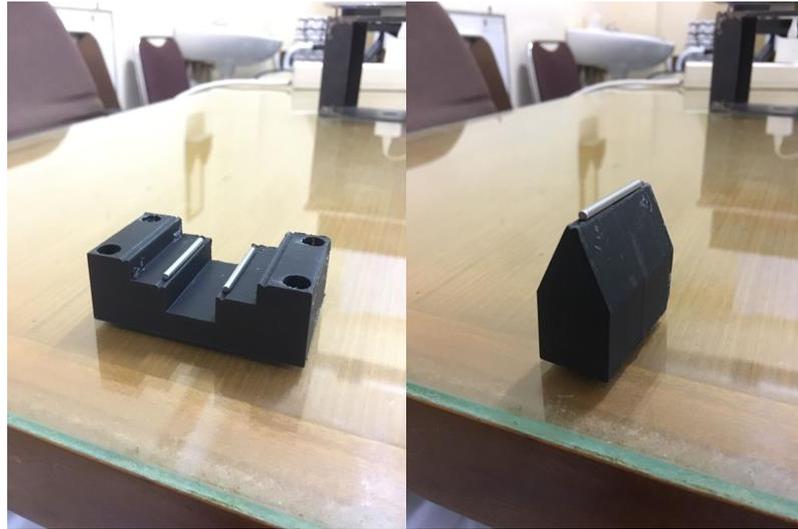
cukup namun dengan kepadatan yang tidak terlalu tinggi, sehingga penggunaan material PLA+ dapat diminimalisirkan.

Orientasi pada saat dilakukan pada proses *slicing* dengan menggunakan *software Ultimaker Cura* juga mempengaruhi jalannya proses *printing* dan juga hasil dari *printing*. Orientasi pada proses *printing* ini dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 4 - 12 Orientasi untuk *Printing* Komponen Bermaterial PLA+

Orientasi yang ditunjukkan pada gambar diatur dengan menggunakan fitur *Lay Flat* yang disediakan oleh *software Ultimaker Cura*. Orientasi tersebut dipilih agar dapat mengurangi penggunaan *support* pada saat proses *printing*, selain itu orientasi tersebut dipilih agar permukaan dari *indentor* memiliki permukaan yang lebih halus.



Gambar 4 - 13 Komponen Support dan Loading Nose dengan Material Campuran

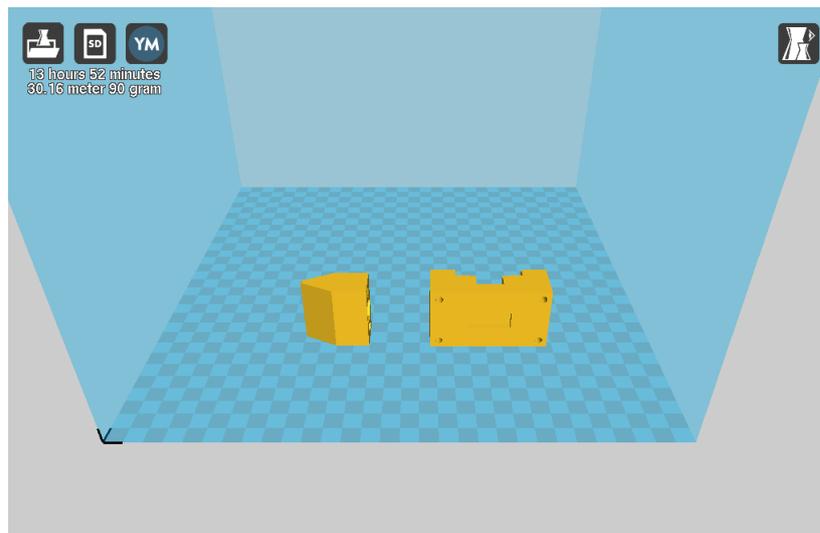
Pada komponen terakhir ini, dirancang dengan material kombinasi antara hasil manufaktur 3D *printing* dan komponen bermaterial aluminium. Pada bagian badan utama *loading nose* dan *support* dibuat dengan proses manufaktur 3D *printing* menggunakan material PLA+. Kemudian untuk bagian yang bersentuhan langsung dengan spesimen uji atau *indenter* menggunakan batang poros bermaterial aluminium dengan diameter 2 mm sesuai dengan yang disebutkan pada standar ISO 4049.

Dalam proses *printing* pada komponen ini juga menggunakan pengaturan yang sama seperti pada proses *printing* komponen bermaterial PLA+. Parameter *printing* dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 4 - 2 Parameter *Printing* Komponen Material PLA+

Parameter <i>Print</i> Komponen Material PLA+	
<i>Layer Height</i> / Ketinggian Layer (mm)	0,05
<i>Shell Thickness</i> / Ketebalan Dinding (mm)	0,75
<i>Bottom Thickness</i> / Ketebalan Alas (mm)	2
<i>Fill Density</i> / Kepadatan (%)	70
<i>Print Speed</i> / Kecepatan Cetak (mm/s)	40
<i>Printing Temperature</i> / Suhu Cetak (°C)	150
<i>Bed Temperature</i> / Suhu Landasan (°C)	60

Orientasi pada proses *printing* ini dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 4 - 14 Orientasi *Printing* untuk Komponen Bermaterial Campuran

Orientasi yang ditunjukkan pada gambar diatur dengan menggunakan fitur *Lay Flat* yang disediakan oleh *software Ultimaker Cura*. Orientasi tersebut dipilih agar dapat mengurangi penggunaan *support* pada saat proses *printing*, selain itu orientasi tersebut dipilih agar permukaan dari *indentor* memiliki permukaan yang lebih halus.

4.1.3 Hasil Akhir Perancangan Mesin Uji Lentur

Hasil akhir dari perakitan seluruh komponen mesin uji lentur dengan standar ISO 4049 dapat dilihat pada gambar 4-13. Pada gambar tersebut seluruh komponen yang ada untuk perancangan mesin uji lentur sudah digabungkan.



Gambar 4 - 15 Tampilan Depan dan Tampilan Isometrik Mesin Uji Lentur Skala Kecil

4.2 Pengujian

Setelah seluruh komponen berhasil dirakit, selanjutnya dilakukan proses pengujian. Pengujian dilakukan pada 8 spesimen dengan material serta karakter yang sama. Dalam penelitian ini dilakukan pengujian dengan 3 jenis material yang berbeda pada 2 komponen inti pada mesin uji lentur ini yaitu pada komponen *loading nose* dan komponen *support* atau span. Pengujian ini dilakukan sebanyak 4 kali dengan komponen bermaterial aluminium 5052, 4 kali pengujian dengan komponen bermaterial *filament* PLA+, dan 4 kali pengujian dengan komponen bermaterial kombinasi antara *fillament* PLA+ dan aluminium. Hal ini dilakukan untuk mengetahui apakah terdapat perbedaan pembacaan data apabila dilakukan pengujian dengan 2 komponen yang bermaterial aluminium 5052, 2 komponen bermaterial *filament* PLA+, dan 2 komponen bermaterial kombinasi antara *fillament* PLA+ dan aluminium, apabila tidak ada perbedaan pembacaan data, maka dapat didefinisikan bahwa kedua komponen tersebut dapat digantikan dengan komponen bermaterial *filament* PLA+ untuk lebih meringankan biaya produksi.

4.3 Hasil Pengujian

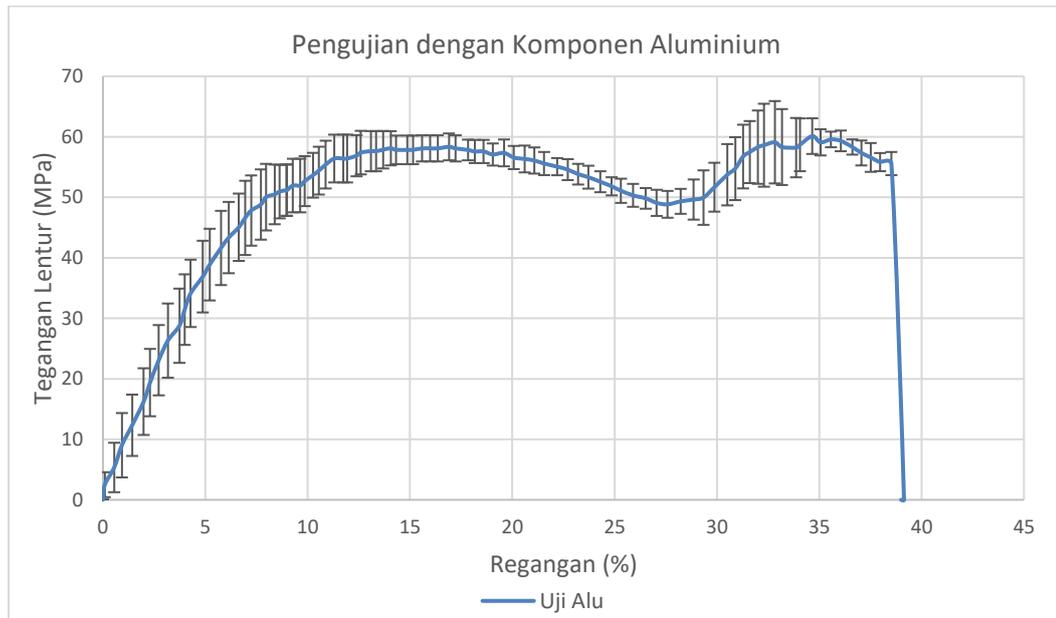
4.3.1 Pengujian Komponen Aluminium 5052

Pengujian dilakukan sebanyak 4 kali untuk 4 spesimen yang sama dengan material spesimen yaitu eResin-PLA dengan merk eSun. Spesimen uji memiliki ketebalan 2mm dengan panjang 25mm. Data hasil pengujian dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 4 - 3 Data Pengujian dengan Komponen Aluminium 5052

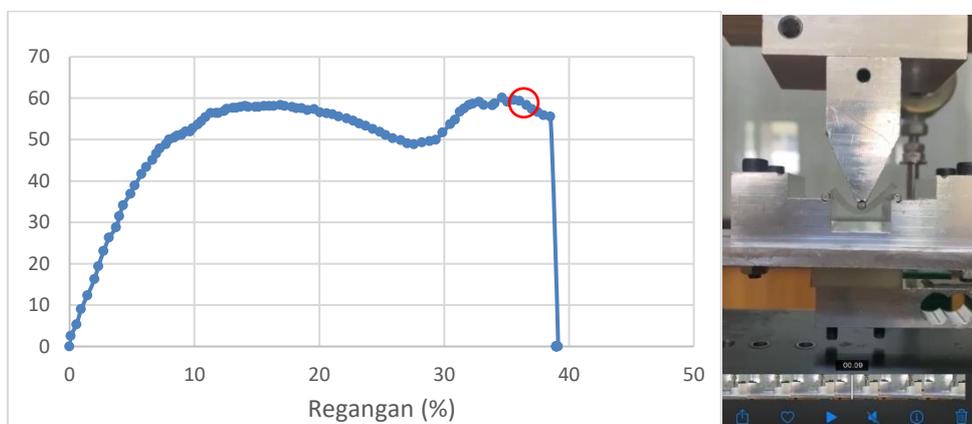
Komponen <i>Loading Nose</i> dan <i>Support Material</i> Aluminium		
Nilai Gaya (N)	Nilai Jarak Pada Saat Putus (mm)	Lama Pengujian (s)
13,89	7,42	10

Data pengujian di atas diambil dari hasil ekstraksi data pengujian dengan komponen bermaterial aluminium yang berupa file .CSV yang dapat disederhanakan menjadi tabel di atas. Hasil pengujian tersebut dapat ditampilkan dalam bentuk grafik tegangan – regangan yang sudah diolah dalam *software* Microsoft Excel dapat dilihat pada gambar grafik di bawah ini.



Gambar 4 - 16 Grafik Hasil Pengujian dengan Komponen Bermaterial Aluminium

Gambar di atas menunjukkan grafik yang dihasilkan dari 4 kali pengujian dengan menggunakan spesimen yang diujikan dengan komponen *loading nose* dan *support* bermaterial aluminium 5052. Pada gambar di atas juga menunjukkan standar deviasi yang didapatkan dari seluruh data tegangan lentur yang didapatkan pada pengulangan pengujian yang dilakukan sebanyak 4 kali. Spesimen dapat meregang hingga sekitar 39% dari panjang awalnya. Kemudian untuk tegangan lentur spesimen ini dapat terbaca hingga 60 MPa.



Gambar 4 - 17 Titik Pengambilan Gambar yang Ditunjukkan pada Grafik

Pada lingkaran merah merupakan titik pengambilan gambar yang ditunjukkan pada grafik pengujian. Gambar di atas menunjukkan ketika spesimen berada di area regangan 37%. Pada area regangan tersebut sudah mendekati titik dimana spesimen akan putus.

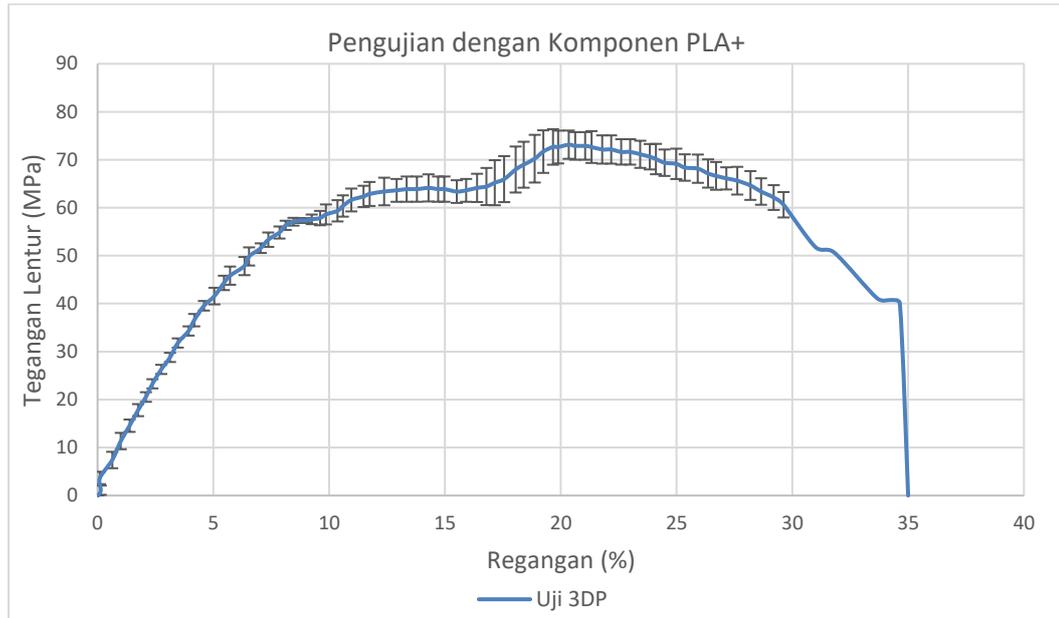
4.3.2 Pengujian Komponen *Fillament* PLA+

Pengujian berikutnya dilakukan dengan spesimen yang sama, namun dengan komponen yang berbeda materialnya. Pengujian yang selanjutnya ini dilakukan dengan komponen bermaterial 3D *print fillament* PLA+. Data hasil pengujian dengan komponen bermaterial PLA+ dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 4 - 4 Data Pengujian dengan Komponen PLA+

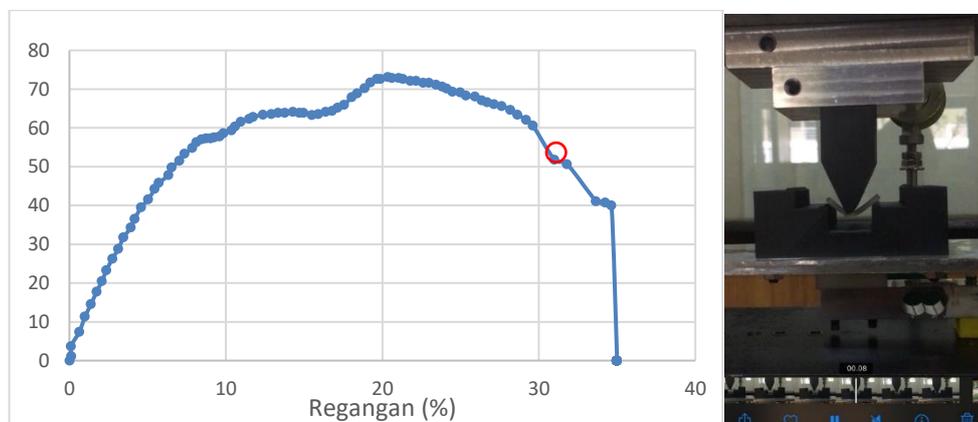
Komponen <i>Loading Nose</i> dan <i>Support Material</i> PLA+		
Nilai Gaya (N)	Nilai Jarak Pada Saat Putus (mm)	Lama Pengujian (s)
19,50	5,08	10

Data pengujian di atas diambil dari hasil ekstraksi data pengujian dengan komponen bermaterial PLA+ yang berupa file .CSV yang dapat disederhanakan menjadi tabel di atas. Hasil pengujian tersebut dapat ditampilkan dalam bentuk grafik tegangan – regangan yang sudah diolah dalam software Microsoft Excel dapat dilihat pada gambar grafik di bawah ini.



Gambar 4 - 18 Grafik Hasil Pengujian dengan Komponen Bermaterial PLA+

Gambar di atas menunjukkan grafik yang dihasilkan dari 4 kali pengujian dengan menggunakan spesimen sama yang diujikan dengan komponen *loading nose* dan *support* bermaterial PLA+. Pada gambar di atas juga menunjukkan standar deviasi yang didapatkan dari seluruh data tegangan lentur yang didapatkan pada seluruh pengujian. Spesimen dapat meregang hingga sekitar 35% dari panjang awalnya. Kemudian untuk tegangan lentur spesimen ini dapat terbaca hingga diatas 70 MPa.



Gambar 4 - 19 Titik Pengambilan Gambar yang Ditunjukkan pada Grafik

Pada lingkaran merah merupakan titik pengambilan gambar yang ditunjukkan pada grafik pengujian. Gambar di atas menunjukkan ketika spesimen berada di area regangan 31%. Pada area regangan tersebut sudah mendekati titik dimana spesimen akan putus.

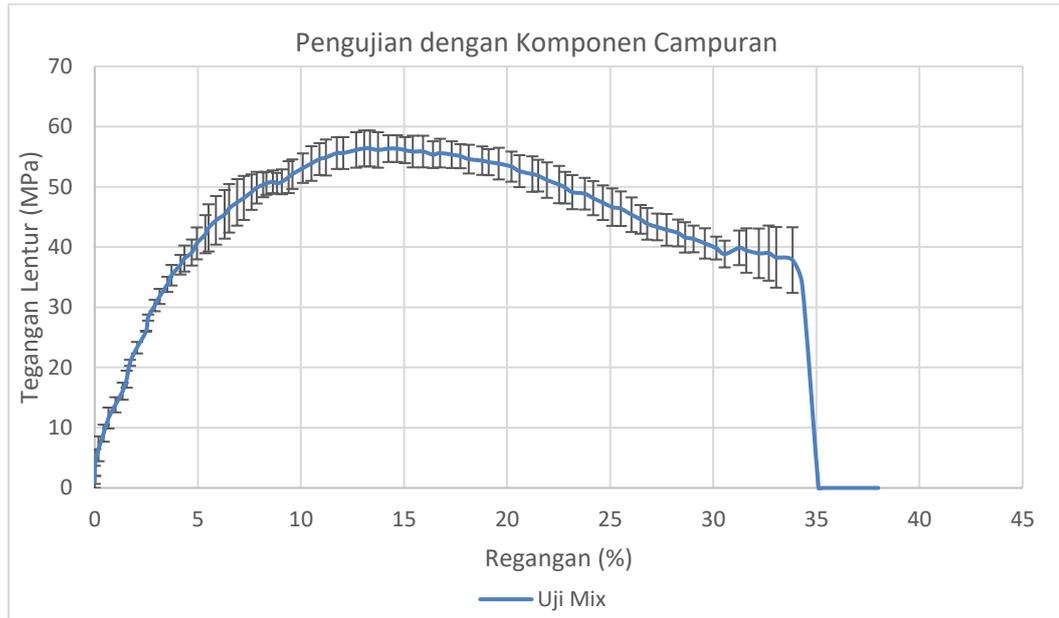
4.3.3 Pengujian Komponen Campuran

Pengujian yang terakhir dilakukan dengan spesimen yang sama, namun dengan komponen yang berbeda materialnya. Pengujian yang terakhir ini dilakukan dengan komponen bermaterial 3D *print filament* PLA+ yang dikombinasikan dengan komponen aluminium. Data hasil pengujian dengan komponen bermaterial campuran dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 4 - 5 Data Pengujian dengan Komponen Campuran

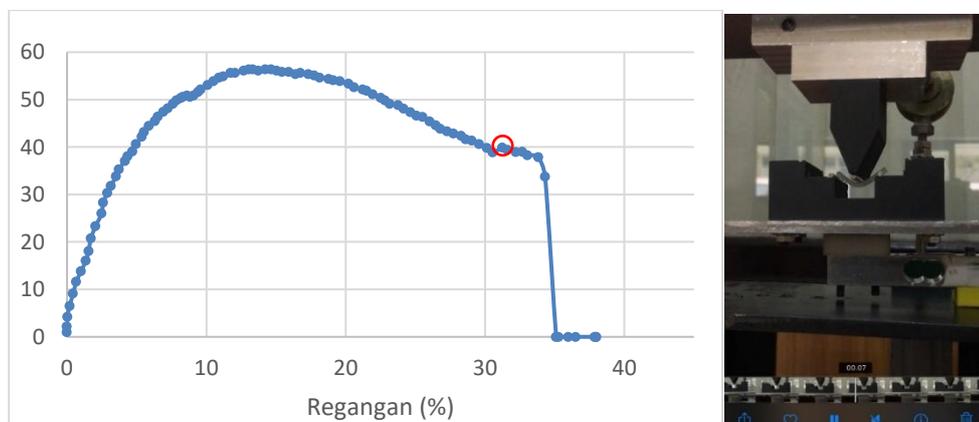
Komponen <i>Loading Nose</i> dan <i>Support Material</i> Campuran		
Nilai Gaya (N)	Nilai Jarak Pada Saat Putus (mm)	Lama Pengujian (s)
15,03	3,33	10

Data pengujian di atas diambil dari hasil ekstraksi data pengujian dengan komponen bermaterial campuran yang berupa file .CSV yang dapat disederhanakan menjadi tabel di atas. Hasil pengujian tersebut dapat ditampilkan dalam bentuk grafik tegangan – regangan yang sudah diolah dalam software Microsoft Excel dapat dilihat pada gambar grafik di bawah ini.



Gambar 4 - 20 Grafik Hasil Pengujian dengan Komponen Bermaterial Campuran

Gambar di atas menunjukkan grafik yang dihasilkan dari 4 kali pengujian dengan menggunakan spesimen sama yang diujikan dengan komponen *loading nose* dan *support* bermaterial kombinasi antara aluminium dan PLA+. Pada gambar di atas juga menunjukkan standar deviasi yang didapatkan dari seluruh data tegangan lentur yang didapatkan pada seluruh pengujian. Spesimen dapat meregang hingga sekitar 34% dari panjang awalnya. Kemudian untuk tegangan lentur spesimen ini dapat terbaca hingga diatas 56 MPa.



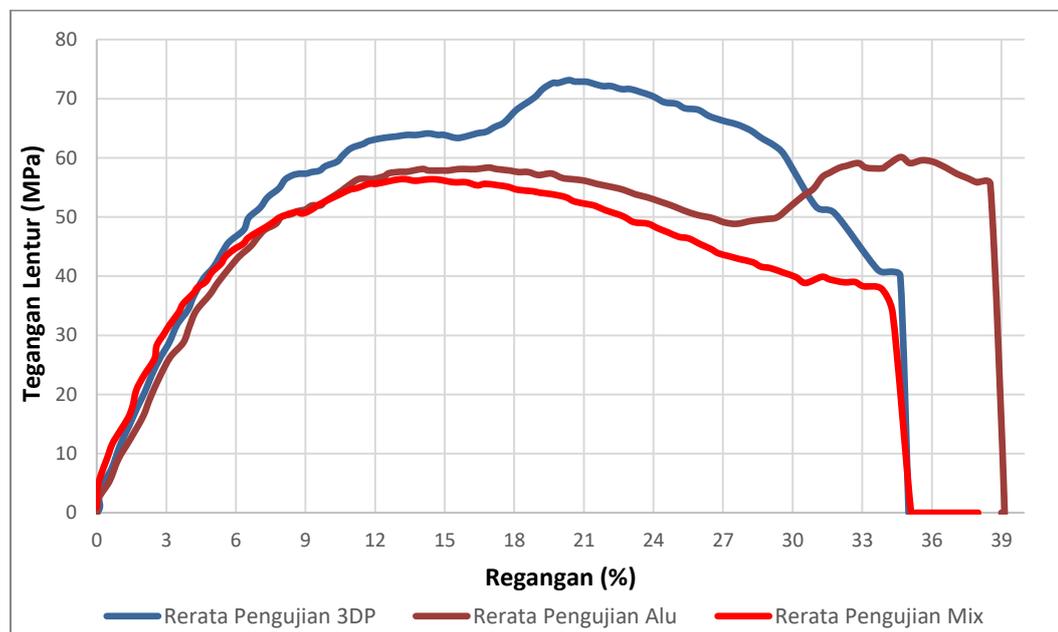
Gambar 4 - 21 Titik Tegangan dan Regangan yang Terjadi pada Video Rekaman

Pada lingkaran merah merupakan titik pengambilan gambar yang ditunjukkan pada grafik pengujian. Gambar di atas menunjukkan ketika spesimen berada di area regangan 31%. Pada area regangan tersebut sudah mendekati titik dimana spesimen akan putus.

4.4 Pembahasan

4.4.1 Pembahasan Grafik Pengujian

Berdasarkan pengujian lentur yang telah dilaksanakan sebanyak 12 kali pada 3 komponen berbeda yaitu pada komponen *loading nose* dan *support* dengan material aluminium 5052, material 3D *print filament* PLA+, dan material campuran, menghasilkan sebuah data pengujian lentur. Grafik gabungan dari seluruh pengujian dapat dilihat di bawah ini.

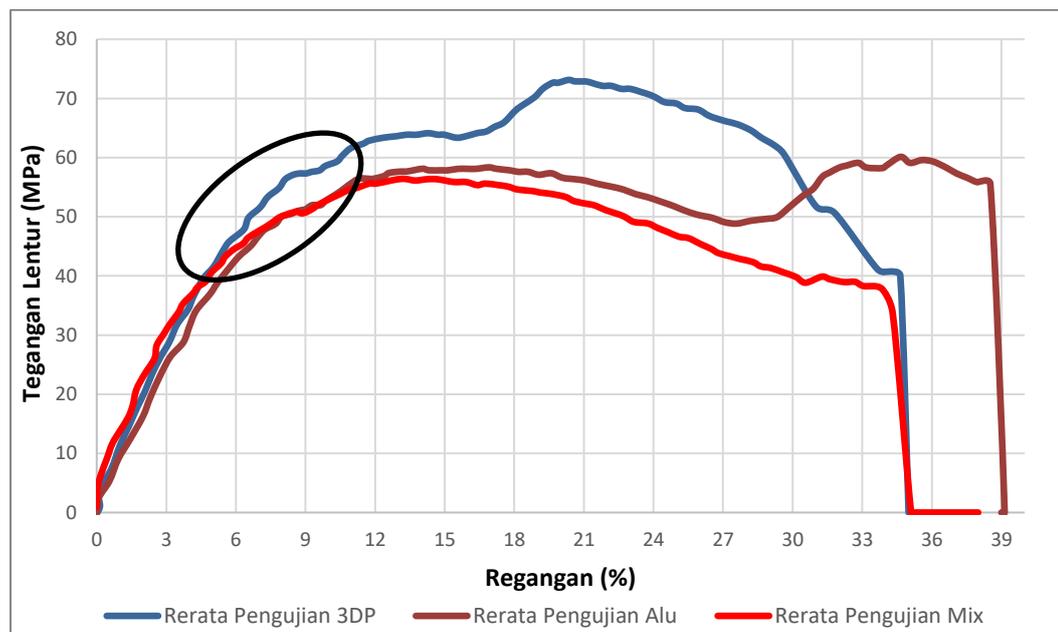


Gambar 4 - 22 Grafik Seluruh Pengujian

Berdasarkan grafik di atas dapat dilihat bahwa pada tiap pengujian memiliki karakter yang berbeda. Hasil pembacaan pada komponen bermaterial PLA+ sendiri menunjukkan yang tertinggi dari seluruh pengujian, yaitu hingga 73,13 MPa. Sedangkan 2 grafik lainnya yaitu pada pengujian dengan komponen aluminium

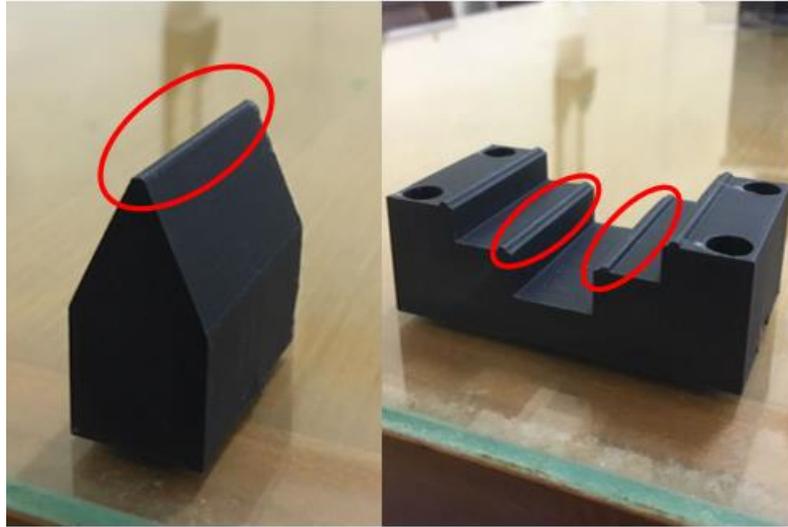
5052 dan komponen campuran memiliki karakter dan hasil pembacaan yang hampir sama, yaitu mendekati angka 60 MPa.

Dapat diperhatikan bahwa berdasarkan TDS (*Technical Data Sheet*) dari material yang digunakan sebagai spesimen uji ini sendiri dinyatakan bahwa material tersebut memiliki kuat lentur atau *flexural strength* antara 25 MPa hingga 61 MPa. Sedangkan hasil pengujian menggunakan komponen bermaterial PLA+ dapat terbaca hingga 73,13 MPa, artinya melonjak terlalu tinggi dari standarnya. Hal tersebut dapat terjadi yaitu karena permukaan dari komponen bermaterial PLA+ tergolong kasar, yang menyebabkan pergerakan dari spesimen ketika terdorong oleh *loading nose* menjadi tidak bebas.



Gambar 4 - 23 Perbedaan Pembacaan pada Daerah Elastis

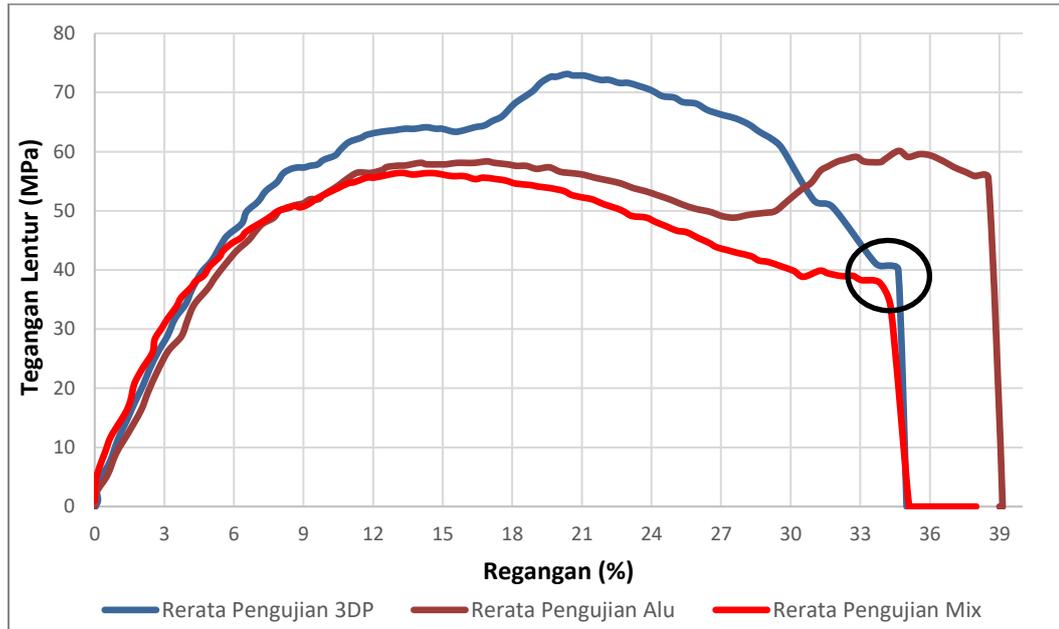
Dapat diperhatikan pada gambar 4-13 bahwa daerah elastis dari pengujian dengan komponen bermaterial 3D *print fillament* PLA+ memiliki nilai yang tinggi dibandingkan dari pengujian lainnya.



Gambar 4 - 24 Area Komponen yang Permukaannya Kasar

Dapat dilihat pada gambar di atas, area yang dilingkari merah pada gambar merupakan area yang bersentuhan langsung dengan spesimen uji. Namun pada area tersebut justru memiliki permukaan yang kasar, yang menyebabkan ketika pengujian berlangsung saat spesimen uji mulai terdorong, spesimen tidak dapat bergerak dengan bebas atau sedikit tertahan karena permukaan komponen yang kasar.

Untuk pengujian dengan 2 komponen lainnya juga menunjukkan perbedaan karakter. Namun pada pembacaannya menunjukkan nilainya sudah mendekati dengan nilai tegangan yang ditentukan pada TDS (*Technical Data Sheet*) yaitu mendekati 60 MPa. Sehingga masih ada kemungkinan bahwa yang terbaca pada 2 pengujian lainnya merupakan data yang sudah benar. Namun karakter grafik pada 2 pengujian tersebut terlihat berbeda, yaitu pada daerah plastisnya. Pada pengujian dengan komponen campuran, titik sebelum spesimen putus justru menunjukkan penurunan, hal tersebut belum diketahui apa penyebabnya.



Gambar 4 - 25 Titik Sebelum Spesimen Putus Mengalami Penurunan

Grafik yang menunjukkan proses pengujian yang relatif bagus yaitu pada pengujian dengan komponen bermaterial aluminium 5052. Berdasarkan grafik yang didapatkan dapat dilihat dengan jelas dimana area elastis, area plastis, dan titik tegangan tertingginya. Oleh karena itu yang mendekati dengan kebenaran pada hasil pengujiannya yaitu pada pengujian yang dilakukan dengan komponen bermaterial aluminium 5052.

4.4.2 Pembahasan Biaya Produksi

Dalam penelitian ini juga dilakukan peninjauan pada biaya produksi dari komponen *loading nose* dan *support*. Pembahasan biaya produksi dilakukan untuk mengetahui perbedaan biaya produksi dari kedua komponen dengan material yang berbeda.

4.4.2.1 Biaya Produksi Komponen Bermaterial Aluminium 5052

Biaya produksi dari komponen *loading nose* dan *support* bermaterial Aluminium 5052 dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 4 - 6 Biaya Produksi Komponen Bermaterial Aluminium 5052

Komponen	Harga Satuan	Harga Total
Plat Aluminium 5052 (200mm x 200mm x 20mm)	Rp. 500.000/pcs	Rp. 500.000,00
<i>Fixture</i> Bawah / <i>Support</i>	Rp. 150.000 /jam	Rp.300.000,00
<i>Fixture</i> Atas / <i>Loading Nose</i>	Rp. 150.000/jam	Rp.225.000,00
Batang Poros (3 buah)	Rp. 5.000,00/pcs	Rp. 15.000,00
Total		Rp.1.040.000,00

Dari tabel diatas didapatkan bahwa harga produksi dari komponen *loading nose* dan *support* dengan material aluminium 5052 yaitu sebesar Rp. 1.040.000,00. Dengan harga yang didapatkan, komponen tersebut memiliki kemampuan untuk melakukan pengujian lentur hingga terbaca beban sebesar 1416,36 gf. Hingga mencapai pembacaan beban 1416,36 gf kedua komponen tidak terjadi masalah apapun seperti pecah atau yang lainnya.

4.4.2.2 Biaya Produksi Komponen Bermaterial PLA+

Biaya produksi dari komponen *loading nose* dan *support* bermaterial 3D *Print Fillament* PLA+ dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 4 - 7 Biaya Produksi Komponen Bermaterial PLA+

Komponen	Harga Satuan	Banyak Barang	Harga Total
<i>Fixture</i> Bawah / <i>Support</i>	Rp. 1.000,00/gram	49gram	Rp. 49.000,00
<i>Fixture</i> Atas / <i>Loading Nose</i>	Rp. 1.000,00/gram	23gram	Rp. 23.000,00
Total			Rp. 72.000,00

Dari tabel di atas didapatkan bahwa harga produksi dari komponen *loading nose* dan *support* dengan material PLA+ yaitu sebesar Rp. 72.000,00. Harga satuan yang tercantum dalam tabel merupakan harga pasaran dari proses 3D *print* dengan material PLA+ yang berada di sekitar Yogyakarta. Dengan harga yang didapatkan, komponen tersebut memiliki kemampuan untuk melakukan pengujian lentur

hingga terbaca beban sebesar 1988,65 gf. Hingga mencapai pembacaan beban 1988,65 gf kedua komponen tidak terjadi masalah apapun seperti pecah atau yang lainnya.

4.4.2.3 Biaya Produksi Komponen Bermaterial Campuran

Biaya produksi dari komponen *loading nose* dan *support* bermaterial campuran antara aluminium dan 3D *Print Fillament* PLA+ dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 4 - 8 Biaya Produksi Komponen Bermaterial Campuran

Komponen	Harga Satuan	Banyak Barang	Harga Total
<i>Fixture Bawah / Support</i>	Rp. 1.000,00/gram	46gram	Rp. 46.000,00
<i>Fixture Atas / Loading Nose</i>	Rp. 1.000,00/gram	22gram	Rp. 22.000,00
Batang Poros	Rp. 5.000,00/pcs	3 batang	Rp. 15.000,00
Total			Rp. 83.000,00

Dari tabel diatas didapatkan bahwa harga produksi dari komponen *loading nose* dan *support* dengan material PLA+ yaitu sebesar Rp. 83.000,00. Harga satuan yang tercantum dalam tabel merupakan harga pasaran dari proses 3D *print* dengan material PLA+ yang berada di sekitar Yogyakarta. Dengan harga yang didapatkan, komponen tersebut memiliki kemampuan untuk melakukan pengujian lentur hingga terbaca beban sebesar 1533,04 gf. Hingga mencapai pembacaan beban 1533,04 gf kedua komponen tidak terjadi masalah apapun seperti pecah atau yang lainnya.

BAB 5

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian serta hasil dan analisis yang telah dilakukan maka terdapat beberapa kesimpulan, yaitu:

1. Perancangan dan proses manufaktur untuk komponen mekanik mesin uji lentur skala kecil berhasil dilakukan dengan hasil akhir mesin uji lentur skala kecil dapat dioperasikan dengan baik.
2. Mesin uji lentur skala kecil dapat melakukan pengujian lentur dengan spesimen berstandar ISO 4049.
3. Terdapat perbedaan pembacaan data hasil pengujian dengan penggunaan komponen bermaterial aluminium dan kombinasi *3D print filament*.

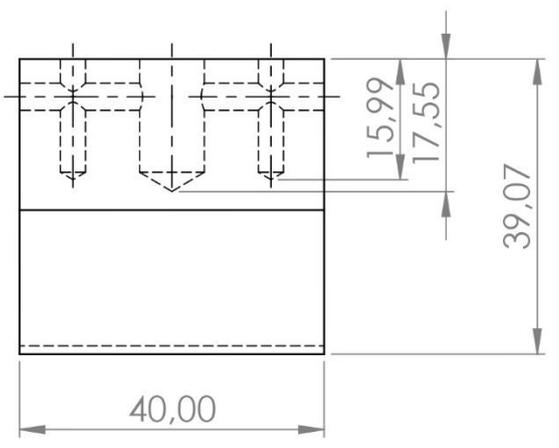
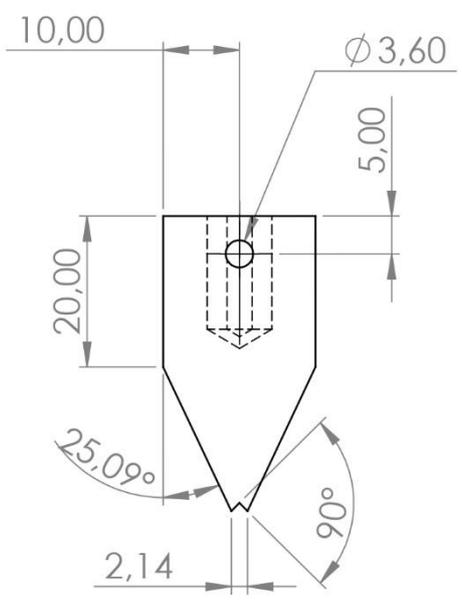
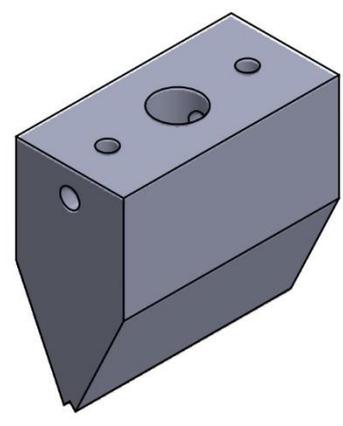
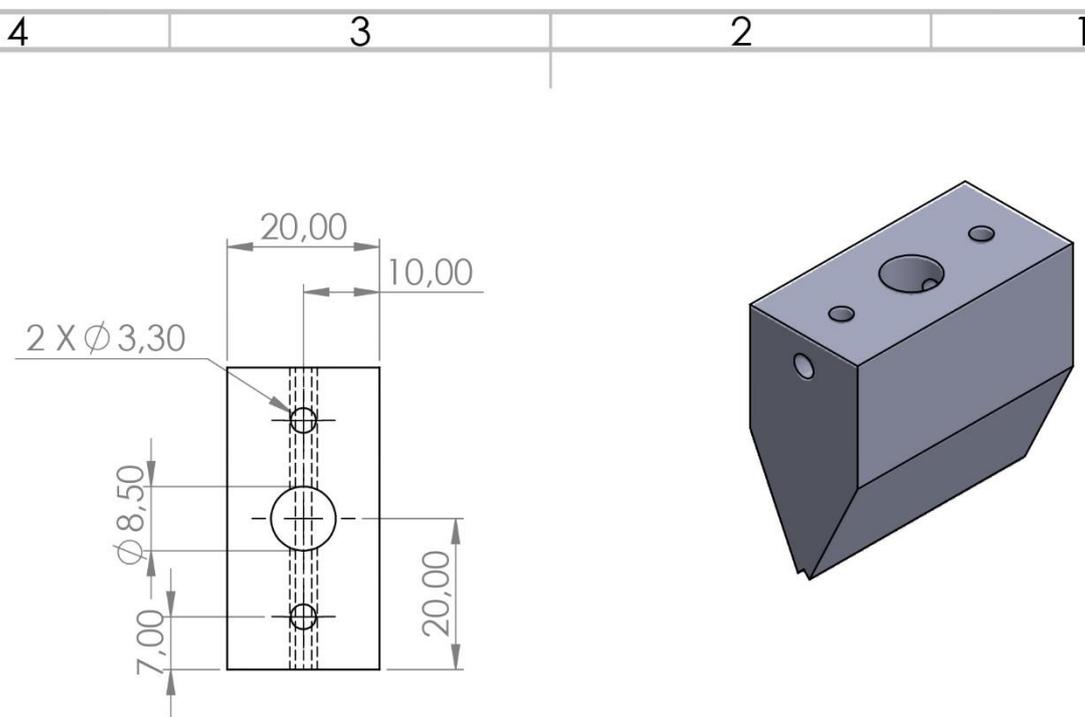
5.2 Saran

Dari hasil penelitian yang dilakukan, masih terdapat kekurangan dan dapat dilakukan penyempurnaan dan pengembangan lanjutan, yang diantaranya yaitu:

1. Melakukan perbaikan pada sensor jarak dan sensor beban agar data yang dimunculkan menjadi lebih akurat.
2. Melakukan pengembangan terhadap kemampuan operasi mesin uji lentur hingga mampu melakukan pengujian dengan standar yang lainnya.
3. Meningkatkan tingkat presisi dan kelurusan pada setiap komponen mekanik mesin uji lentur skala kecil.
4. Melakukan produksi ulang pada komponen meja peninggi agar memiliki permukaan yang lebih rata.
5. Merancang tampilan luar mesin uji lentur skala kecil agar lebih rapi dan mudah dalam pengoperasiannya.

DAFTAR PUSTAKA

- Aminullah. (2022). *COMPUTER AIDED DESIGN (CAD) Dengan Bantuan Aplikasi SketchUp*.
- Apriliansyah, A., Suryawan, A., Kastiawan, I. M., & Supardi. (2020). Rancang Bangun Mesin Uji Bending Untuk Pengujian. *Publikasi Online Mahasiswa Teknik Mesin*, 3(1), 1–10. <http://repository.untag-sby.ac.id/4654/>
- Beliu, H. N., Pell, Y. M., & Jasron, J. U. (2016). *Analisa Kekuatan Tarik dan Bending pada Komposit Widuri - Polyester*. 03(02), 11–20.
- Eko P.U., R., Hanafi, A. F., & Finali, A. (2020). Pengaruh Prosentase Infill pada Proses 3D printing FDM terhadap Sifat Mekanik. *J-Proteksion*, 4(13), 1–6.
- Gerson, Kismanti, S. T., & Nurdin, M. F. (2023). *Rancang Bangun Mesin Uji Tarik , Tekan Dan Tekuk (Bending) Menggunakan Tenaga Hidrolik*. 1–14.
- Hakim, A. R. (2022). *Pengembangan Lanjut Mesin Uji Tarik Skala Kecil : Ekstraksi Data dan Cengkaman Gripper*.
- Hidayat, W. (2019). *KLASIFIKASI DAN SIFAT MATERIAL TEKNIK SERTA PENGUJIAN MATERIAL*. 1–19.
- Kolbasin, A., & Husu, O. (2018). *Computer-aided design and Computer-aided engineering*. 01115, 1–6.
- Nabilah, V. Z., Hidayati, L., & Sumono, A. (2016). *Flexural Strength of Microhybrid Composite Resin with Polyethylene Fiber's Layer Addition*. 276–284.
- Putra, K. S., & Sari, U. R. (2018). Pemanfaatan Teknologi 3D Printing Dalam Proses Desain Produk Gaya Hidup. *Seminar Nasional Sistem Informasi Dan Teknologi Informasi 2018*, 1–6.
- Sadrehaghighi, I. (2022). *Computer Aided Design (CAD)*.
- Setyoadi, Y., & Latifah, K. (2015). *Integrasi Software CAD-CAM dalam Sistem Operasi Mesin Bubut CNC*. 149–159.
- Syamsudin, A. A. N. (2021). *Perancangan Struktur Mekanik Mesin Uji Tarik Dengan Kapasitas 150 Kgf*.



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:			FINISH:	DEBURR AND BREAK SHARP EDGES	DO NOT SCALE DRAWING	REVISION																								
<table border="1"> <thead> <tr> <th>NAME</th> <th>SIGNATURE</th> <th>DATE</th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>DRAWN</td> <td>M. Anggl N.</td> <td>18/09/23</td> <td></td> </tr> <tr> <td>CHK'D</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>APPV'D</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>MFG</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Q.A</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>				NAME	SIGNATURE	DATE		DRAWN	M. Anggl N.	18/09/23		CHK'D				APPV'D				MFG				Q.A				TITLE: Loading Nose CNC		
NAME	SIGNATURE	DATE																												
DRAWN	M. Anggl N.	18/09/23																												
CHK'D																														
APPV'D																														
MFG																														
Q.A																														
MATERIAL: Aluminium 5052				DWG NO. 1		A4																								
WEIGHT:				SCALE:1:1		SHEET 1 OF 1																								

F
E
D
C
B
A

F
E
D
C
B
A

4 3 2 1

4 3 2 1

F

F

E

E

D

D

C

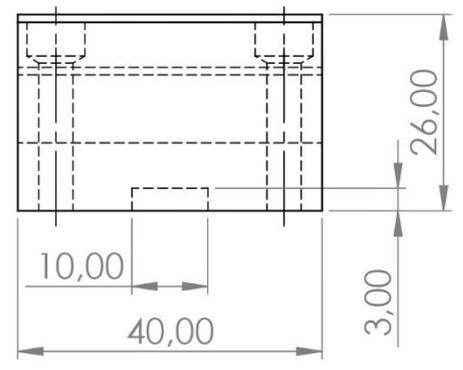
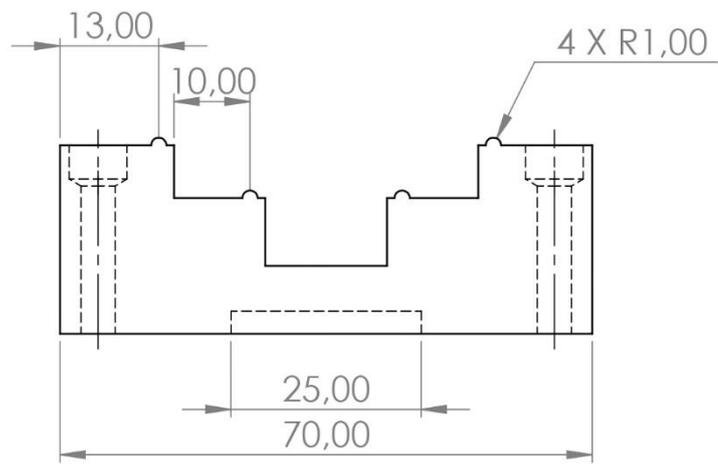
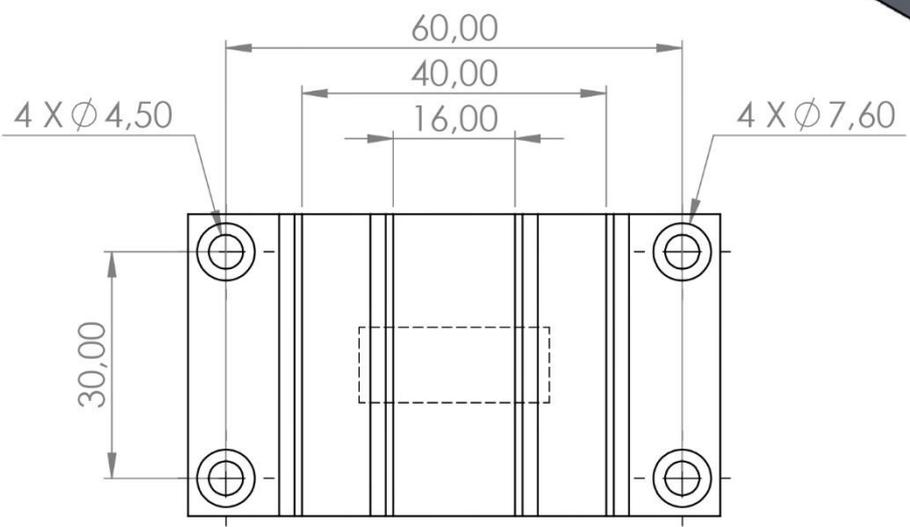
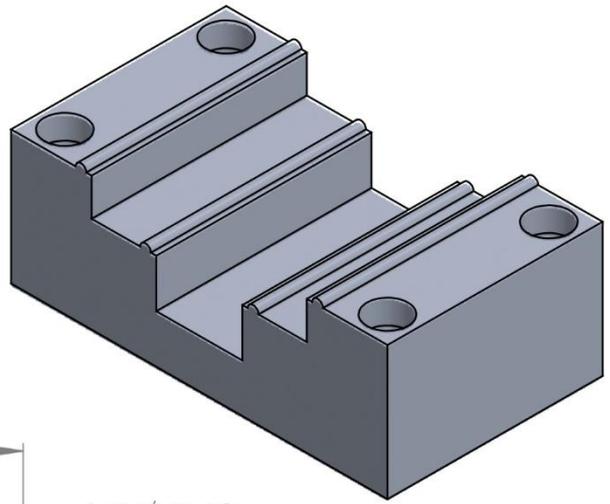
C

B

B

A

A



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
SURFACE FINISH:
TOLERANCES:
LINEAR:
ANGULAR:

FINISH:

DEBURR AND
BREAK SHARP
EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

	NAME	SIGNATURE	DATE
DRAWN	M. Anggl N.		20/10/23
CHK'D			
APPV'D			
MFG			
Q.A			

TITLE:
**Support
3D Print**

DWG NO. **2**

MATERIAL:
PLA+

SCALE: 1:1

SHEET 1 OF 1

A4

4 3 2 1

4 3 2 1

F

F

E

E

D

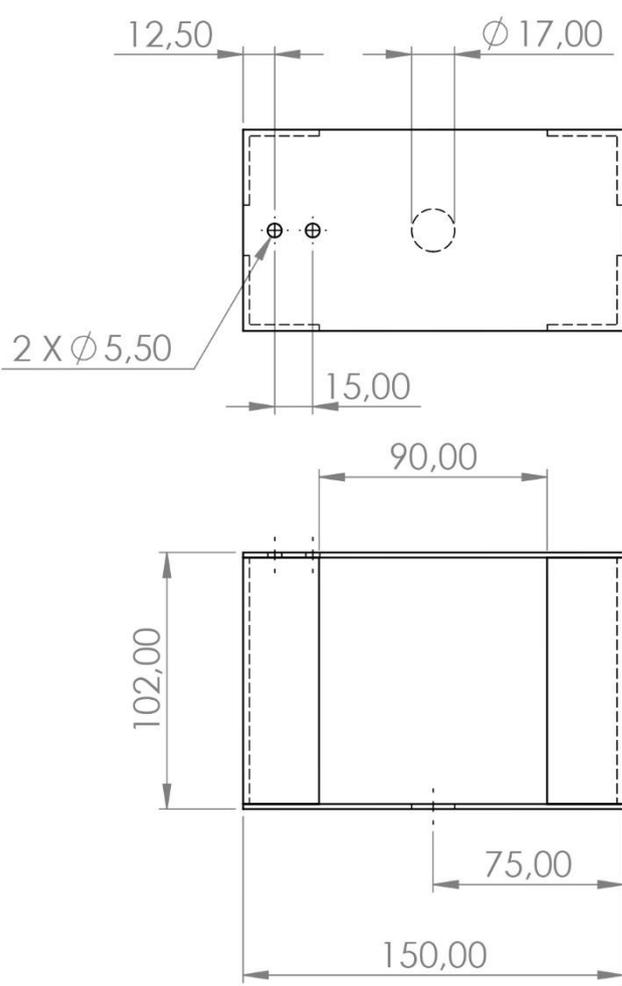
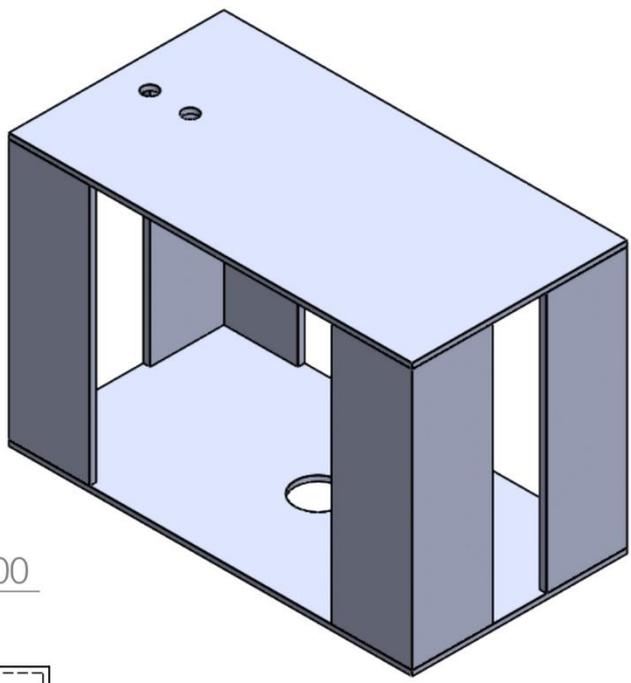
D

C

C

B

B



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
SURFACE FINISH:
TOLERANCES:
LINEAR:
ANGULAR:

FINISH:

DEBURR AND
BREAK SHARP
EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

	NAME	SIGNATURE	DATE
DRAWN	M. Anggl N.		
CHK'D			
APPV'D			
MFG			
Q.A			

TITLE: **Meja Peninggi**

DWG NO. **3**

MATERIAL: **Steel Alloy**

SCALE: 1:2

SHEET 1 OF 1

A4

4 3 2 1

A

A

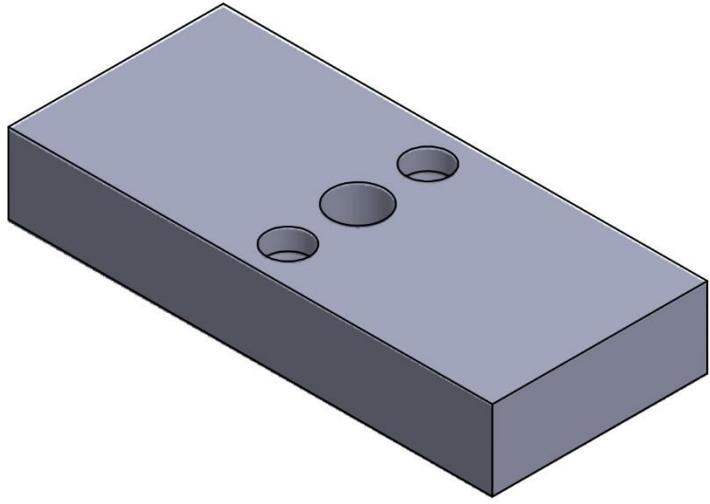
4 3 2 1

F

F

E

E

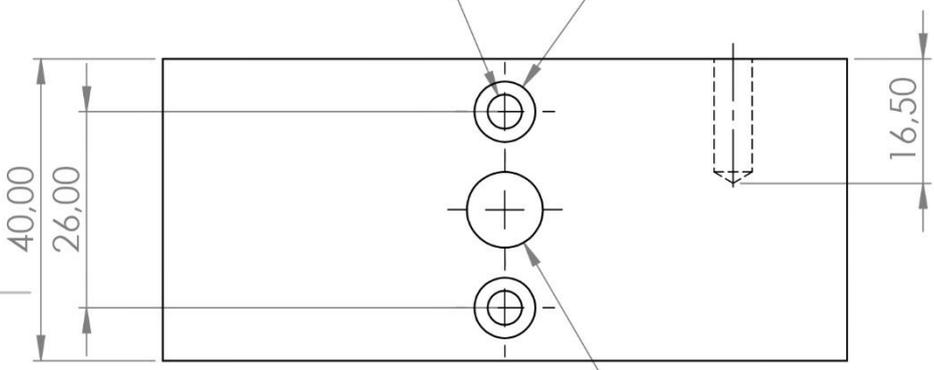


2 X ϕ 4,50

2 X ϕ 8,00

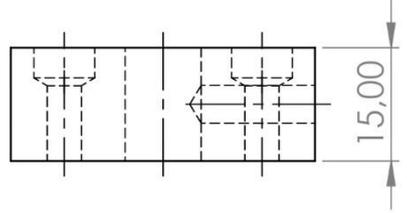
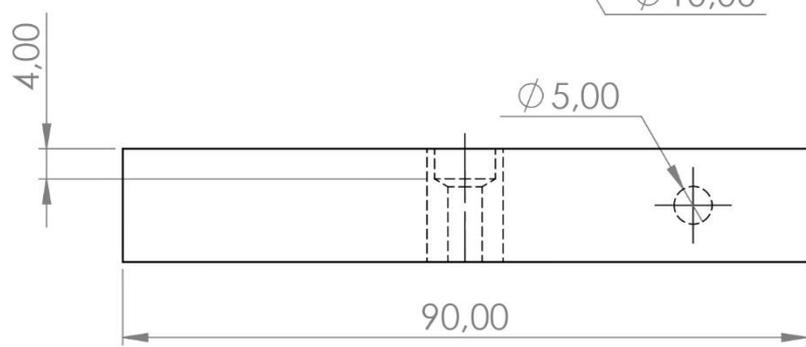
D

D



C

C



B

B

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
 DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
 SURFACE FINISH:
 TOLERANCES:
 LINEAR:
 ANGULAR:

FINISH:

DEBURR AND BREAK SHARP EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

A

A

	NAME	SIGNATURE	DATE
DRAWN	M. Anggl N.		
CHK'D			
APPV'D			
MFG			
Q.A			

TITLE:		Dudukan Sensor Jarak	
MATERIAL:			
Aluminium 5052		DWG NO.	4
WEIGHT:		SCALE: 1:2	SHEET 1 OF 1

4 3 2 1

4 3 2 1

F

F

E

E

D

D

C

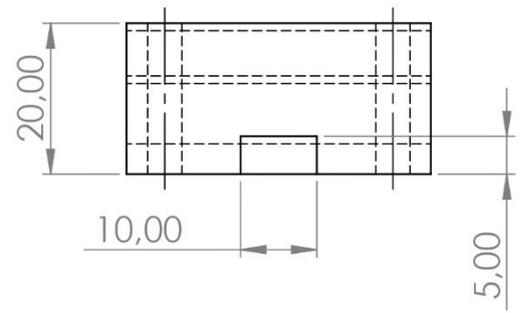
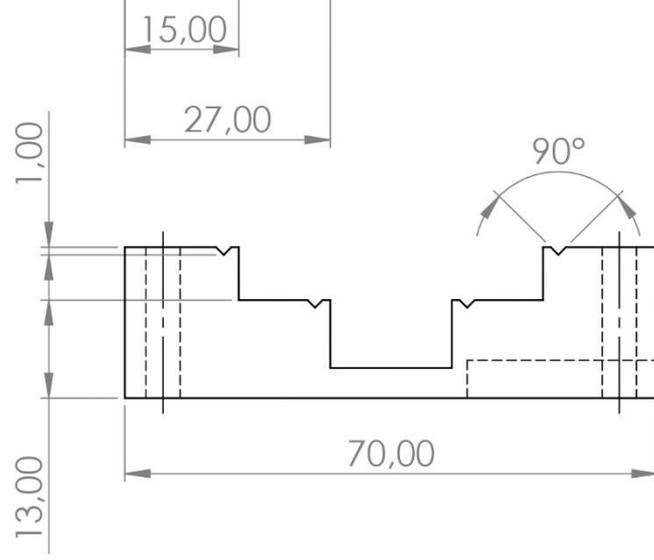
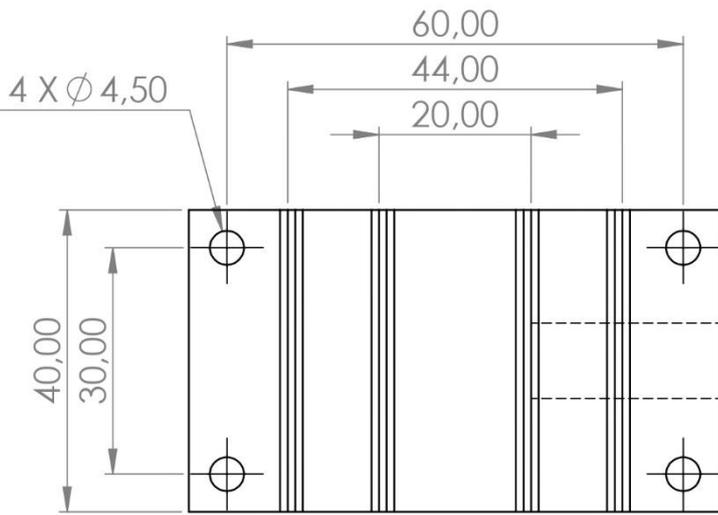
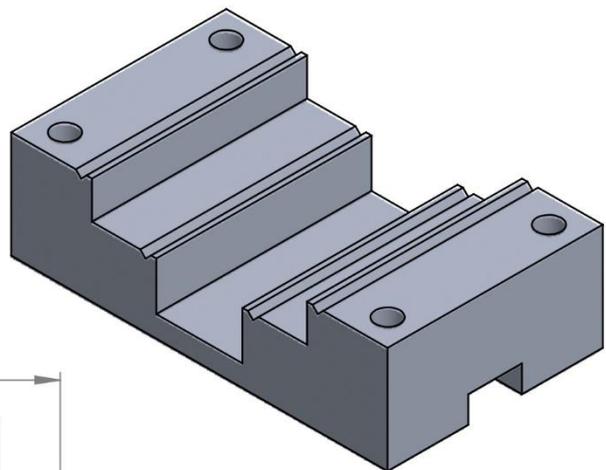
C

B

B

A

A



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
SURFACE FINISH:
TOLERANCES:
LINEAR:
ANGULAR:

FINISH:

DEBURR AND
BREAK SHARP
EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

	NAME	SIGNATURE	DATE
DRAWN	M. Anggl N.		
CHK'D			
APPV'D			
MFG			
Q.A			

TITLE: **Support CNC**

DWG NO. **5**

MATERIAL: **Aluminium 5052**

SCALE: 1:1

SHEET 1 OF 1

A4

4 3 2 1

4

3

2

1

F

F

E

E

D

D

C

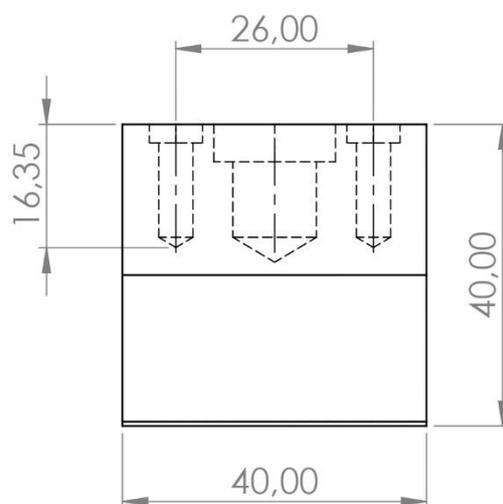
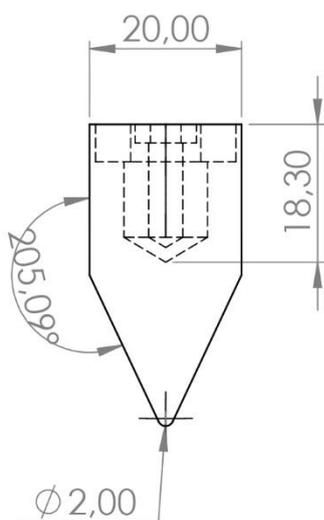
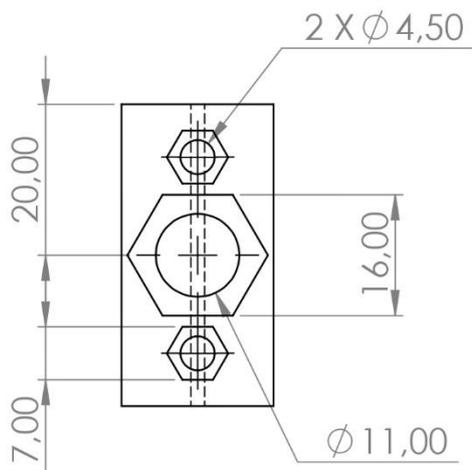
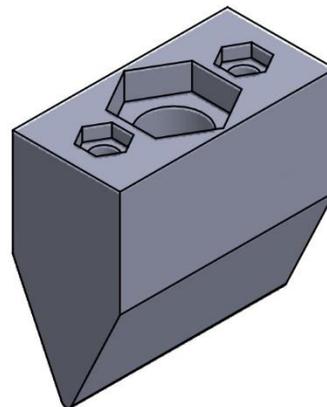
C

B

B

A

A



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
 DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
 SURFACE FINISH:
 TOLERANCES:
 LINEAR:
 ANGULAR:

FINISH:

DEBURR AND
 BREAK SHARP
 EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

	NAME	SIGNATURE	DATE
DRAWN	M. Anggl N.		
CHK'D			
APPV'D			
MFG			
Q.A			

TITLE:

Loading Nose
 3D Print

MATERIAL:

PLA+

DWG NO.

6

A4

WEIGHT:

SCALE:1:1

SHEET 1 OF 1

4

3

2

1