

Perancangan dan pembuatan model mesin 3D *scanner*

Design and development of a 3D scanner machine model

SKRIPSI

Oleh:

Nama: Lui Araya Wijaya
NPM: 203030069



**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS PASUNDAN
BANDUNG
2026**

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini,

N a m a : Lui Araya Wijaya

Nomor Pokok Mahasiswa : 203030069

Program Studi : Teknik Mesin FT UNPAS

Dengan ini menyatakan bahwa:

1. Dalam Skripsi yang saya kerjakan ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan/ditulis oleh orang lain untuk memperoleh gelar dari suatu perguruan tinggi,
2. Sepanjang pengetahuan saya, tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis dan diterbitkan oleh orang lain kecuali yang secara tertulis diacu/dikutip/disitasi dalam naskah ini dan disebutkan dalam referensi,
3. Naskah laporan skripsi yang ditulis bukan dilakukan secara *copy paste* dari karya orang lain dan mengganti beberapa kata yang tidak perlu.
4. Naskah laporan skripsi bukan hasil plagiarisme.

Apabila dikemudian hari terbukti bahwa pernyataan ini tidak benar maka saya sanggup menerima hukuman/sanksi apapun sesuai peraturan yang berlaku.

Bandung, 1 Oktober 2025

Penulis,

Materai 10.000

Lui Araya Wijaya

SURAT PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI

Yang bertanda tangan di bawah ini, sebagai sivitas akademik Universitas Pasundan, saya:

N a m a: Lui Araya Wijaya

NPM: 203030069

Program Studi: Teknik Mesin FT UNPAS

Jenis Karya: Skripsi

Menyatakan bahwa sebagai pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi, saya menyetujui memberikan kepada Universitas Pasundan Hak Bebas Royalti Noneksklusif atas karya ilmiah saya yang berjudul:

Perancangan dan pembuatan model mesin 3D *scanner*

Beserta perangkat yang ada (jika ada). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Pasundan berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pakalan data (database), merawat, dan mempublikasikan skripsi saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Bandung, 1 Oktober 2025

Yang menyatakan,

Materai 10.000

Lui Araya Wijaya

LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING

Perancangan dan pembuatan model mesin 3D *scanner*



Nama: Lui Araya Wijaya
NPM: 203030069

Pembimbing Utama

Dr. Ir. H. Rachmad Hartono, M.T.

Pembimbing Pendamping

Dr. Ir. Sugiharto, M.T.

LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI

Perancangan dan pembuatan model mesin 3D *scanner*



Nama: Lui Araya Wijaya
NPM: 203030069

Tanggal sidang skripsi:

Ketua : Dr. Ir. H. Rachmad Hartono, M.T.

Sekretaris : Dr. Ir. Sugiharto, M.T.

Anggota : Mohammad Reza Hermawan, S.T., M.T.

Anggota : Dr. Ir. Syahbardia, M. T

KATA PENGANTAR

Dengan nama Allah Yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang, segala puji serta syukur penulis haturkan kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan karunia dan nikmat-Nya. Salah satu dari nikmat tersebut adalah keberhasilan penulis dalam menyelesaikan skripsi yang berjudul **“Perancangan dan Pembuatan Model Mesin 3D Scanner”**. Skripsi ini merupakan syarat untuk meraih gelar akademik Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Pasundan Bandung.

Laporan skripsi ini dibuat berdasarkan hasil dari penelitian dan pengujian yang telah dilakukan di laboratorium Teknik Mesin Universitas Pasundan. Penulis menyadari penulisan laporan skripsi ini jauh dari kesempurnaan, untuk itu penulis sangat menghargai kritik dan saran yang dapat diberikan untuk perbaikan dalam penulisan laporan skripsi ini.

Dalam kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan skripsi ini. Penghargaan dan terimakasih penulis ucapkan kepada:

1. Allah SWT yang telah memberikan karunia, kekuatan, dan kesaan dalam menyusun laporan skripsi,
2. Ibu dan bapak yang selalu memberikan doa semangat serta dukungan kepada penulis,
3. Dr. Ir. Rachmad Hartono, M.T. sebagai dosen pembimbing utama yang telah membantu dan memberikan banyak saran dan masukan dalam pembuatan laporan skripsi,
4. Dr. Ir. Sugiharto, M.T. sebagai dosen pendamping yang telah membantu dan memberikan banyak saran dan masukan dalam pembuatan laporan skripsi,
5. Seluruh teman laboratorium, seluruh teman teknik mesin angkatan 20, dan teman-teman yang mendukung dan memberi bantuan kepada penulis.

Bandung, 1 Mei 2026

Penulis,

Lui Araya Wijaya

DAFTAR ISI

SURAT PERNYATAAN.....	I
SURAT PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI.....	II
LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING.....	III
LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI.....	IV
KATA PENGANTAR.....	V
DAFTAR ISI.....	VI
DAFTAR GAMBAR.....	IX
DAFTAR TABEL.....	XI
ABSTRAK.....	XII
ABSTRACT	XIII
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1. Latar belakang	1
2. Rumusan masalah	1
3. Tujuan.....	2
4. Manfaat.....	2
5. Lingkup masalah.....	3
6. Sistematika penulisan	3
BAB II STUDI LITERATUR.....	5
1. Kajian pustaka	5
2. 3D scanner.....	7
3. Kajian mesin yang sudah ada.....	8
4. Perangkat kendali 3D scanner.....	9
A. Board Arduino	9
B. Motor stepper.....	10
C. Driver motor stepper.....	13

D. Motor DC	14
E. <i>Driver</i> motor DC	15
5. <i>Software</i> yang digunakan	16
A. Kiri engine	16
B. Meshmixer	17
C. Ultimaker Cura	18
D. Arduino IDE	18
BAB III METODOLOGI	21
1. Tahapan penelitian	21
2. Tempat penelitian	22
3. Tahap awal perancangan dan pembuatan model perangkat mekanik mesin 3D <i>scanner</i>	23
4. Komponen yang diperlukan untuk perancangan dan pembuatan model mesin mesin 3D <i>scanner</i>	23
5. Perakitan model mesin 3D <i>scanner</i> (<i>assembly</i>)	27
A. Perakitan sistem mekanisme penekan tombol kamera	27
B. Perakitan <i>holder handphone</i>	28
C. Perakitan sub rakitan 1 dan sub rakitan 2 dengan mesin 3D <i>scanner</i>	28
6. Perancangan rangkaian perangkat kendali	29
7. Perancangan dan implementasi program arduino	30
BAB IV PENGUJIAN, HASIL, DAN PEMBAHASAN	31
1. Pengujian	31
A. Pengujian perangkat pengambilan gambar	32
B. Pemrosesan gambar hasil <i>scanning</i> menggunakan Kiri Engine	33
C. Pencetakan model 3D menggunakan mesin 3D <i>printing</i>	35
2. Analisa hasil pengujian	37
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	38

1. Kesimpulan.....	38
2. Saran.....	38
DAFTAR PUSTAKA.....	40
LAMPIRAN.....	45
1. Data hasil pengujian model mesin 3D <i>scanner</i>	45
2. Hasil pengujian model mesin 3D <i>scanner</i>	45
3. Gambar teknik	46

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Perangkat <i>scanner</i> hasil penelitian Axel Sacilotto dan Carl Egnas [4].....	5
Gambar 2. Skema Mekanisme 3D Scanner oleh Muhammad Ridho Sofyandi, dkk [5]	6
Gambar 3. Desain 3D <i>Scanner</i> oleh M. Ridho S, dkk [5].....	6
Gambar 4. Desain perancangan 3D <i>scanner</i> [7]	7
Gambar 5. Einscan-SE [13]	9
Gambar 6. Sense 3D <i>scanner</i> [14]	9
Gambar 7. Board Arduino ATmega 328 [19].....	10
Gambar 8. Motor <i>stepper</i> bipolar [21]	11
Gambar 9. Skematis konstruksi motor <i>stepper</i> bipolar [22]	11
Gambar 10. Skematis pengaturan posisi poros motor <i>stepper</i> [24]	12
Gambar 11. Driver motor <i>stepper</i> TB 6600 [30]	14
Gambar 12. Motor DC [34].....	15
Gambar 13. Driver motor DC [36].....	16
Gambar 14. Tampilan awal kiri engine [38].....	17
Gambar 15. Contoh tampilan awal pada Meshmixer [41]	18
Gambar 16. Tampilan awal ultimaker cura.....	19
Gambar 17. Inisialisasi jenis arduino pada arduino IDE [45].....	20
Gambar 18. Tahapan penelitian	21
Gambar 19. Laboratorium Teknik Mesin Universitas Pasundan Bandung	22
Gambar 20. Mesin 3D <i>scanner</i> yang belum dilakukan modifikasi.....	23
Gambar 21. Desain mesin 3D <i>scanner</i> sebelum dilakukan modifikasi	25
Gambar 22. Desain rumah motor, cam penekan tombol, dan <i>holder handphone</i>	25
Gambar 23. Model komponen yang dirakit dan hasil rakitan.....	28
Gambar 24. Model komponen yang dirakit dan hasil rakitan.....	28
Gambar 25. Model yang telah dirakit.....	29
Gambar 26. Diagram wiring	29
Gambar 27. Program 3D <i>scanner</i>	30
Gambar 28. Set-up pengujian.....	31
Gambar 29. Hasil pengujian benda berbentuk limas segi tiga.....	34
Gambar 30. Hasil pengujian benda berbentuk balok	34
Gambar 31. Hasil pengujian benda berbentuk kura – kura.....	35
Gambar 32. Model 3D sebelum dan sesudah diedit menggunakan meshmixer	35

Gambar 33. Proses <i>slicing</i>	36
Gambar 34. Hasil cetakan model 3D	37

DAFTAR TABEL

Table 1. Komponen yang digunakan.....	26
---------------------------------------	----

ABSTRAK

Perkembangan teknologi pemodelan tiga dimensi (3D) mendorong peningkatan kebutuhan akan perangkat 3D *scanner* yang mampu menghasilkan model objek secara akurat. Sebagian besar perangkat 3D *scanner* komersial memiliki harga yang relatif mahal dan kurang fleksibel untuk keperluan pendidikan dan penelitian. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk melakukan perancangan dan pembuatan model mesin 3D *scanner* sebagai pengembangan dari sistem sebelumnya yang masih menggunakan sensor inframerah. Pada penelitian ini, metode pemindaian dimodifikasi dengan memanfaatkan kamera *handphone* sebagai alat pengambil citra objek. Objek difoto sebanyak-banyaknya dalam beberapa sudut pandang yang berbeda. Objek diputar oleh *turn table* kemudian kamera *handphone* mengambil gambar. Proses pengambilan gambar dilakukan secara otomatis menggunakan mekanisme cam yang digerakkan oleh motor DC untuk menekan tombol pada remote bluetooth kamera. Perangkat mekanik disusun menggunakan aluminium profile 20 20, sedangkan pergerakan objek diatur menggunakan motor *stepper* yang dikendalikan oleh *board* Arduino Uno melalui *driver* motor. Hasil pemindaian objek yang berupa kumpulan citra diolah menggunakan KIRI Engine untuk menghasilkan model tiga dimensi. Selanjutnya, model 3D diperbaiki menggunakan Meshmixer dan dikonversi menjadi file G-code dengan Ultimaker Cura sebelum dicetak menggunakan mesin 3D printer. Berdasarkan hasil pengujian, pengembangan sistem 3D scanner melalui penggunaan kamera *handphone* sebagai media pengambilan citra, penambahan holder *handphone*, serta mekanisme penekan tombol remote bluetooth berbasis motor DC berhasil diimplementasikan dan mampu mendukung proses rekonstruksi model 3D hingga tahap pencetakan. Penelitian ini diharapkan dapat menjadi alternatif prototipe 3D *scanner* dengan harga yang relatif terjangkau dibandingkan dengan yang ada dipasaran serta sebagai referensi pengembangan sistem 3D *scanner* selanjutnya.

Kata kunci: 3D Printing, 3D Scanner, Arduino Uno, Fotogrametri, Kamera Handphone.

ABSTRACT

The development of three-dimensional (3D) modeling technology has increased the demand for 3D scanners capable of producing accurate object models. However, most commercial 3D scanners are relatively expensive and less flexible for educational and research purposes. Therefore, this study aims to design and develop a 3D scanner machine model as an improvement over a previous system that utilized infrared sensors. In this research, the scanning method is modified by utilizing a smartphone camera as the image acquisition device. The image capturing process is performed automatically using a cam mechanism driven by a DC motor to press the button of a Bluetooth camera remote. The mechanical structure of the system is built using 20×20 aluminum profiles, while object rotation is controlled by a stepper motor driven by an Arduino Uno microcontroller through motor drivers. The captured images are processed using KIRI Engine to generate a three-dimensional model. The resulting 3D model is then refined using Meshmixer and converted into G-code using Ultimaker Cura before being printed with a 3D printer. Based on the test results, the development of a 3D scanner system through the use of a cellphone camera as an image capture medium, the addition of a cellphone holder, and a DC motor-based Bluetooth remote button pressing mechanism was successfully implemented and was able to support the 3D model reconstruction process up to the printing stage. This research is expected to be an alternative 3D scanner prototype with a relatively affordable price compared to those on the market and as a reference for the development of further 3D scanner systems.

Keywords: 3D Printing, 3D Scanner, Arduino Uno, Photogrammetry, Smartphone Camera.

BAB I PENDAHULUAN

1. Latar belakang

Perkembangan teknologi digital telah mendorong kemajuan dalam bidang pemodelan tiga dimensi (3D), terutama pada proses pemindaian objek (3D *scanning*). Teknologi 3D *scanner* memungkinkan objek nyata diubah menjadi model digital tiga dimensi yang dapat diolah lebih lanjut menggunakan perangkat lunak desain maupun manufaktur digital, seperti 3D printing. Namun, sebagian besar alat 3D *scanner* komersial memiliki harga yang cukup tinggi dan kompleksitas sistem yang tidak sesuai untuk kebutuhan penelitian atau Pendidikan [1].

Berdasarkan detail yang diberikan sebelumnya, muncul konsep untuk mengembangkan prototipe 3D *scanner* yang lebih ringkas, yang memungkinkan mahasiswa untuk menggunakannya dalam memahami dasar-dasar teknologi pemindaian 3D. Diharapkan mahasiswa dapat meningkatkan pemikiran inovatif mereka melalui penggunaan perangkat ini bersama dengan prototipe pemindai 3D. Desain mesin yang ringkas dan harga yang terjangkau merupakan keunggulan dari peralatan yang disarankan [2].

Pada penelitian ini, dikembangkan model 3D *scanner* yang sebelumnya menggunakan sensor infra merah sebagai sensor pemindai. Model tersebut kemudian dimodifikasi menjadi menggunakan kamera *handphone* yang lebih mudah didapat, ekonomis, dan memiliki resolusi tinggi untuk memotret benda yang dipindai. Selain itu, ditambahkan perangkat mekanik penekan tombol remote kamera Bluetooth yang digerakkan oleh motor DC melalui mekanisme cam. Mekanisme ini berfungsi untuk menekan tombol kamera secara otomatis setiap kali pengambilan gambar dilakukan selama proses pemindaian [3].

2. Rumusan masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana merancang dan membuat model 3D *scanner* berbasis kamera *handphone* yang dapat bekerja secara otomatis,

2. Bagaimana merancang mekanisme cam yang digerakkan motor DC untuk menekan tombol remote kamera *Bluetooth* secara tepat dan sinkron dengan proses pemindaian,
3. Bagaimana integrasi antara perangkat keras (*hardware*) dan perangkat lunak (*software*) dalam proses pemindaian hingga hasil pemindaian siap untuk dicetak menggunakan *3D printer*, dan
4. Bagaimana cara membuat alat *3D scanner* dengan harga yang terjangkau dan sistem yang sederhana.

3. Tujuan

Tujuan penelitian ini adalah merancang dan membuat model *3D scanner* berbasis kamera *handphone* yang dikendalikan menggunakan *board* arduino. Penelitian ini juga bertujuan untuk membuat alat dengan biaya yang relatif terjangkau sehingga dapat digunakan oleh pelajar, mahasiswa, dan peneliti. Dengan ditambahkannya perangkat mekanik penekan tombol kamera otomatis dengan menggunakan cam yang digerakkan oleh motor DC agar proses pengambilan gambar dapat berlangsung secara sinkron dengan pergerakan *turntable*.

4. Manfaat

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan beberapa manfaat, baik secara praktis maupun akademis. Secara praktis, hasil penelitian ini dapat menjadi alternatif alat *3D scanner* yang ekonomis dan mudah dikembangkan, sehingga dapat digunakan oleh pelajar, mahasiswa, maupun peneliti dengan biaya yang lebih terjangkau dibandingkan alat komersial. Selain itu, penelitian ini juga bermanfaat sebagai media pembelajaran dalam memahami integrasi antara perangkat mekanik, elektronik, dan perangkat lunak pada bidang rekayasa mekatronika. Dengan adanya alat ini, proses pembelajaran mengenai perangkat otomatisasi dan teknologi *3D scanning* dapat dilakukan secara langsung melalui praktik dan eksperimen. Secara akademis, penelitian ini diharapkan dapat meningkatkan efisiensi dan akurasi proses pemindaian objek 3D menggunakan kamera *handphone* dengan sistem kontrol otomatis, serta menjadi referensi bagi penelitian selanjutnya yang ingin mengembangkan perangkat serupa dengan peningkatan fitur dan kinerja.

5. Lingkup masalah

Agar pembahasan penelitian ini lebih fokus, diperlukan batasan ruang lingkup masalah. Masalah yang dibahas pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Penelitian fokus pada perancangan dan pembuatan model *3D scanner* berbasis kamera handphone yang menggunakan perangkat mekanik penekan tombol kamera otomatis,
2. Mekanisme penekan tombol kamera menggunakan cam yang digerakkan oleh motor DC,
3. Sistem kontrol alat dikendalikan menggunakan *board arduino*,
4. Motor *stepper* digunakan untuk menggerakkan *turntable*, sedangkan motor DC digunakan untuk menggerakkan cam penekan tombol kamera,
5. Rangka utama alat dibuat menggunakan aluminium profile berukuran 20×20 mm,
6. Perangkat lunak yang digunakan adalah arduino IDE, kiri engine, meshmixer, ultimaker cura, dan
7. Fokus utama penelitian adalah pada fungsi kerja perangkat *scanner* otomatis dan integrasi antara perangkat keras dan perangkat lunak dari proses pemindaian hingga model siap dicetak.

6. Sistematika penulisan

Laporan skripsi ini disusun bab demi bab dan terdiri dari lima bab. Beberapa bab yang dibahas pada skripsi ini adalah pendahuluan, studi literatur, metode penelitian, analisis hasil dan pembahasan, kesimpulan dan saran, daftar pustaka, serta lampiran.

BAB I PENDAHULUAN

Pada bab ini dijelaskan tentang latar belakang, rumusan masalah, tujuan, manfaat, lingkup penelitian, dan sistematika penulisan.

BAB II STUDI LITERATUR

Pada bab ini dijelaskan kajian pustaka, model 3D scanner, sistem kendali mesin 3D scanner, dan *software interface*.

BAB III PERANCANGAN DAN PEMBUATAN MODEL 3D SCANNER

Pada bab ini dijelaskan tahapan dan metode penelitian yang digunakan dalam perancangan dan pembuatan model 3D scanner. Pembahasan meliputi rancangan awal model 3D scanner, persiapan alat dan material, perancangan mekanik, perancangan perangkat

elektronik, perancangan perangkat lunak, diagram alir penelitian, serta prosedur kerja model 3D *scanner*.

BAB IV PENGUJIAN DAN ANALISIS HASIL PENGUJIAN

Pada bab ini dijelaskan hasil perancangan dan pengujian model 3D *scanner* yang telah dibuat. Pembahasan meliputi hasil perakitan perangkat mekanik dan elektronik, hasil pengujian pergerakan motor, proses pemindaian objek, serta kualitas model 3D yang dihasilkan. Selain itu, dilakukan analisis terhadap kinerja model 3D scanner, kelebihan dan kekurangan model 3D scanner, serta pembahasan hasil penelitian berdasarkan tujuan yang telah ditetapkan

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Pada bab ini dijelaskan kesimpulan yang diperoleh dari seluruh rangkaian penelitian berdasarkan hasil dan pembahasan yang telah dilakukan. Selain itu, bab ini juga memuat saran-saran yang dapat digunakan sebagai bahan pertimbangan untuk pengembangan dan penyempurnaan mesin 3D *scanner* di masa yang akan datang.

DAFTAR PUSTAKA

Pada bab ini disebutkan buku, artikel, dan sumber lain yang menjadi acuan skripsi ini.

LAMPIRAN

BAB II STUDI LITERATUR

1. Kajian pustaka

Penelitian ini didasari penelitian terdahulu, baik dari jenis penelitian maupun teori yang digunakan pada penelitian ini. Beberapa penelitian terdahulu yang dijadikan sebagai referensi yaitu penelitian yang dilakukan oleh Axel Sacilotto dan Carl Egnas (2021), penelitian yang dilakukan oleh Muhammad Ridho Sofyandi, Eddy Kurniawan, dan Romario Aldrian Wicaksono (2022), dan penelitian yang dilakukan oleh Akhmad Mustofa Munir (2023).

A. Penelitian Axel Sacilotto dan Carl Egnas (2021)

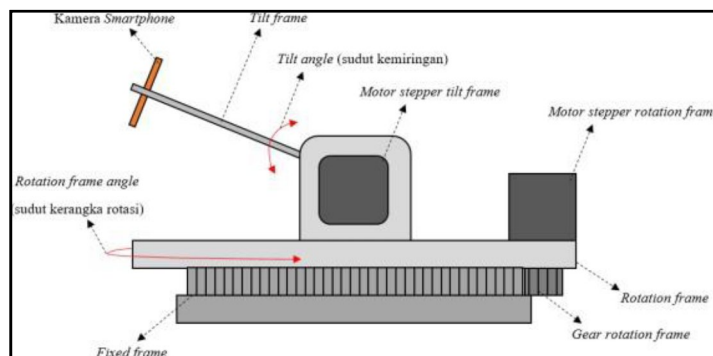
Penelitian yang dilakukan oleh Axel Sacilotto dan Carl Egnas di KTH ROYAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY SCHOOL OF INDUSTRIAL ENGINEERING AND MANAGEMENT, SWEDEN (2021) berjudul “*3D Scanner Small Object and Recreating Them Visually as a Mesh in a Computer*”. Penelitian ini menggunakan metode *Time-of-flight (TOF)*. Penelitian menggunakan sensor VL6180X LIDAR menggunakan pulsa laser atau suara dan menghitung jarak dengan mengukur waktu yang dibutuhkan pulsa untuk kembali. Beberapa artikel yang membuat *3D Scanner* juga menggunakan metode tersebut, di antaranya dimuat oleh SuperMakeSomething, Electonoobs, Sandy, dan Takeda [4]. Dalam kasus sensor laser, kecepatan cahaya digunakan untuk menghitung jarak yang ditempuh oleh sinar laser. Metode Triangulasi, yaitu metode yang dioptimalkan untuk pengukuran jarak pendek yang membutuhkan akurasi tinggi, menggunakan dioda 8 laser dan sensor gambar dan menghitung sudut di mana sinar laser mengenai sensor. Perangkat *scanner* hasil penelitian ini dapat dilihat pada gambar 1.



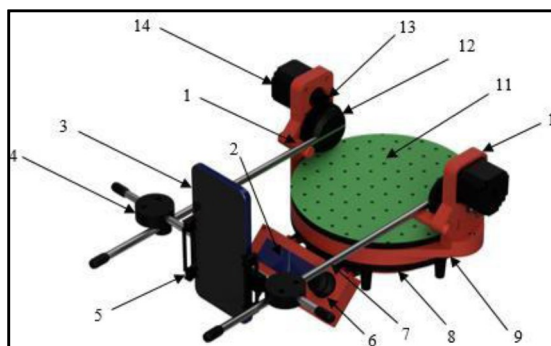
Gambar 1. Perangkat *scanner* hasil penelitian Axel Sacilotto dan Carl Egnas [4]

B. Penelitian Muhammad Ridho Sofyandi, Eddy Kurniawan, dan Romario Aldrian Wicaksono (2022).

Penelitian yang dilakukan oleh Muhammad Ridho Sofyandi, Eddy Kurniawan, dan Romario Aldrian Wicaksono di Universitas Tanjungpura program studi Teknik Mesin (2022) berjudul "Rancang Bangun 3D Scanner Sebagai 3D Metrologi Dengan Metode Fotogrametri Rentang Dekat". Penelitian ini membuat pemindai objek tiga dimensi atau 3D *scanner* dengan memanfaatkan kamera smartphone menggunakan metode fotogrametri rentang dekat. Mekanisme pada 3D *scanner* yang dibuat pada dasarnya adalah proses pengambilan gambar dengan mengontrol sudut kemiringan dan sudut rotasi dengan Arduino uno sebagai pengendali sehingga proses pengambilan gambar otomatis dan lebih stabil [5]. Skema mekanisme dan desain 3D *scanner* dari alat tersebut dapat dilihat pada gambar 2 dan gambar 3.



Gambar 2. Skema Mekanisme 3D Scanner oleh Muhammad Ridho Sofyandi, dkk [5]

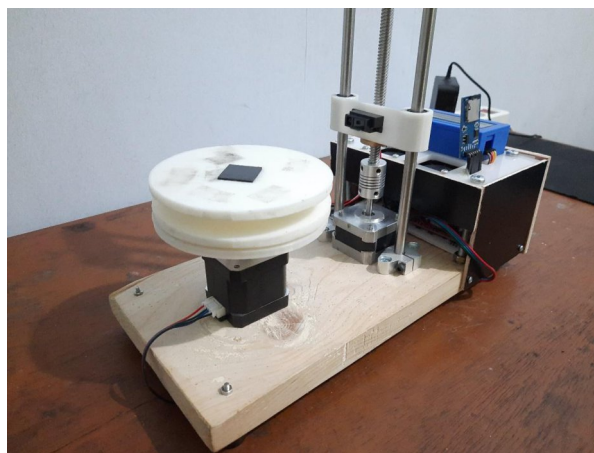


Gambar 3. Desain 3D Scanner oleh M. Ridho S, dkk [5]

C. Penelitian Akhmad Mustofa Munir (2023)

Penelitian Akhmad Mustofa Munir di Universitas Diponegoro program studi Teknologi Rekayasa Otomasi (2023) berjudul “Pemindai benda 3 dimensi menggunakan sensor

Infrared berbasis Arduino dan Matlab”. Penelitian ini membahas tentang pembuatan mesin 3D *scanning* dengan menggunakan sensor optik. Pemindaian benda atau objek dilakukan secara otomatis oleh mesin ketika mesin pemindai diaktifkan. Mesin ini memanfaatkan motor *stepper* sebagai penggerak sensor optik dan papan datar untuk objek. Pada saat memindai stepper motor menggerakkan sensor optik ke arah atas dan memutar papan bidang datar pada objek yang akan dipindai. Hasil pemindaian disimpan pada kartu SD dengan menggunakan SD card modul untuk Arduino. Hasil pemindaian ditransfer ke aplikasi atau *software* meshlab [6]. Desain perancangan 3D *scanner* penelitian Akhmad Mustofa Munir dapat dilihat pada gambar 4.



Gambar 4. Desain perancangan 3D *scanner* [7]

7. 3D *scanner*

3D *scanner* adalah suatu perangkat yang berfungsi untuk merekam bentuk, ukuran, maupun struktur permukaan suatu objek tiga dimensi secara digital. Proses ini dilakukan dengan cara mengumpulkan data koordinat titik-titik pada permukaan objek nyata (*point cloud*), yang kemudian diolah oleh perangkat lunak khusus menjadi model digital tiga dimensi (3D model) [8]. Dengan kata lain, 3D *scanner* berperan sebagai alat untuk mentransformasikan objek fisik menjadi representasi digital yang dapat dilihat, dianalisis, dan dimodifikasi melalui komputer.

Berbeda dengan kamera konvensional yang hanya menangkap gambar dua dimensi berupa warna dan tekstur, 3D *scanner* mampu mendeteksi dimensi geometris objek seperti panjang, lebar, tinggi, serta kedalaman permukaan. Teknologi ini bekerja dengan prinsip pemindaian optik atau pengukuran jarak menggunakan berbagai metode, antara lain laser triangulation, *structured light*, *time of flight*, dan fotogrametri berbasis kamera [9]. Setiap

metode memiliki tingkat akurasi dan kecepatan yang berbeda tergantung pada kebutuhan dan jenis objek yang dipindai [10].

Dalam praktiknya, 3D *scanner* banyak digunakan di berbagai bidang, seperti industri manufaktur, rekayasa peniruan (*reverse engineering*), animasi 3D, arsitektur, kedokteran, arkeologi, maupun pendidikan. Pada aplikasi di bidang manufaktur, 3D *scanner* digunakan untuk membuat ulang model CAD dari komponen fisik yang sudah ada. Sementara dalam bidang medis, alat ini membantu pembuatan prostetik atau implan dengan bentuk yang disesuaikan secara presisi dengan anatomi pasien [11].

Hasil proses pemindaian ini biasanya berupa file digital dalam format STL, OBJ, atau PLY, yang kemudian dapat digunakan untuk desain ulang, simulasi, analisis bentuk, atau proses pencetakan 3D (*3D printing*). Keunggulan utama 3D *scanner* adalah kemampuannya untuk mempercepat proses pengukuran, meningkatkan akurasi data geometris, serta mempermudah dokumentasi objek secara menyeluruh tanpa kontak langsung dengan permukaan benda [12].

Seiring dengan perkembangan teknologi, 3D *scanner* kini tidak hanya berupa perangkat industri yang besar dan mahal. 3D *scanner* juga telah hadir dalam bentuk portable atau bahkan terintegrasi dengan kamera *smartphone*, sehingga 3D *scanner* lebih mudah digunakan untuk keperluan penelitian, desain produk, maupun dokumentasi digital.

8. Kajian mesin yang sudah ada

Saat ini terdapat beberapa jenis perangkat 3D *scanner* yang tersedia di pasaran. Beberapa jenis perangkat 3D *scanner* yang akan dijelaskan pada paragraph selanjutnya adalah Einscan-SE, dan Sense 3D *scanner*.

a) Einscan-SE

Einscan-SE merupakan mesin 3D *scanner* otomatis dengan area kerja 570 x 210 x 210 mm, minimum pindai benda kerja 30 x 30 x 30 mm, dan maksimum pindai benda kerja 700 x 700 x 700 mm. Mesin Einscan-SE tersebut dijual dengan kisaran harga Rp. 19.760.000 – Rp. 24.500.000. Mesin Einscan-SE dapat dilihat pada gambar 5.

b) Sense 3D scanner

Sense 3D scanner merupakan mesin 3D *scanner* otomatis yang digerakkan menggunakan tangan dengan area kerja 63.5 x 84.6 mm, minimum pindai benda kerja 200 x 200 x 200 mm, dan maksimum pindai benda kerja 3000 x 3000 x 3000 mm. Mesin *Sense 3D scanner* tersebut dijual dengan kisaran harga Rp.

17.200.000 – Rp. 25.000.000. Mesin *sense 3D scanner* dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 5. Einscan-SE [13]



Gambar 6. Sense 3D scanner [14]

9. Perangkat kendali 3D scanner

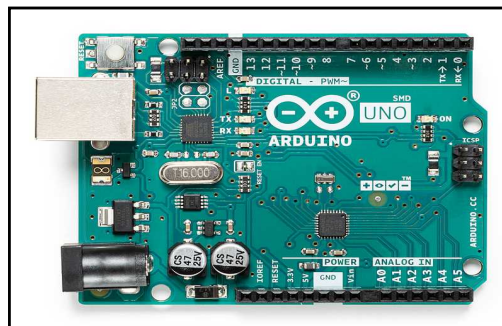
Perangkat kendali mesin 3D scanner merupakan kumpulan berbagai komponen yang dirancang atau dirakit untuk memenuhi kebutuhan *scanning* tiga dimensi. Komponen perangkat kendali yang akan digunakan untuk 3D scanner terdiri *hardware* dan *software*. Untuk *hardware* terdiri dari *board* arduino, motor *stepper*, *driver* motor *stepper*, motor dc, dan *driver* motor dc. untuk *software* yang digunakan terdiri dari Kiri Engine, Meshmixer, Ultimaker Cura, dan Arduino IDE [15].

A. Board Arduino

Board arduino adalah sebuah papan mikrokontroler berbasis *open-source* yang dirancang untuk memudahkan pengguna dalam membuat dan mengembangkan berbagai proyek elektronika, otomasi, dan sistem tertanam (*embedded system*). Board Arduino digunakan sebagai pusat kendali (*controller*) yang dapat memproses data dari berbagai input seperti sensor, tombol, atau sinyal analog, kemudian menghasilkan output berupa aksi tertentu, misalnya menyalakan lampu LED, menggerakkan motor, mengaktifkan buzzer, atau mengirim data ke perangkat lain [16].

Secara umum, board Arduino terdiri dari beberapa komponen utama. Komponen pertama adalah mikrokontroler yang berfungsi sebagai otak dari sistem. Mikrokontroler ini bertugas mengolah data dan menjalankan program yang telah diunggah. Selain itu, terdapat pin input/output (I/O) yang digunakan untuk menghubungkan berbagai sensor dan aktuator. Melalui pin ini, Arduino dapat menerima data dari sensor serta mengendalikan perangkat seperti motor atau lampu. Board Arduino juga dilengkapi dengan port komunikasi, seperti USB [17].

Port ini digunakan untuk mengunggah program dari komputer ke papan Arduino serta sebagai media komunikasi data. Komponen lainnya adalah regulator tegangan. Regulator tegangan berfungsi untuk menjaga kestabilan tegangan yang berasal dari catu daya (power supply), baik dari kabel USB, adaptor, maupun baterai, agar seluruh komponen dapat bekerja dengan baik dan aman. Board arduino dijadikan pilihan yang baik untuk berbagai aplikasi yang memerlukan kendali dan koordinasi perangkat kecil [18]. Board Arduino UNO ATmega 328 yang akan digunakan pada tugas akhir ini dapat dilihat pada gambar 7.

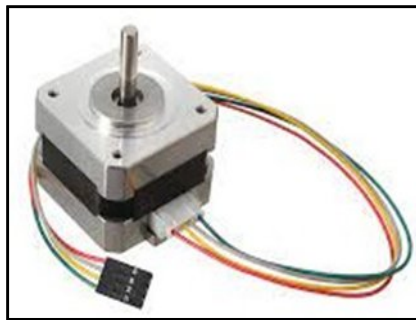


Gambar 7. Board Arduino ATmega 328 [19]

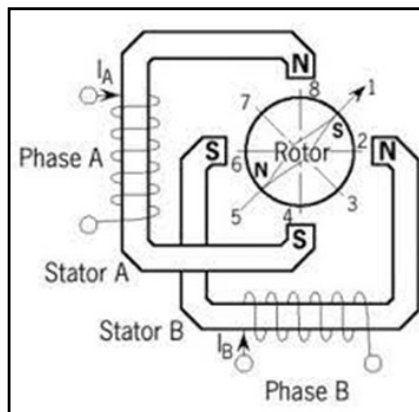
B. Motor *stepper*

Motor stepper adalah jenis motor listrik yang bekerja berdasarkan prinsip pergerakan diskrit (bertingkat) dalam bentuk langkah-langkah tertentu. Tidak seperti motor DC konvensional yang berputar secara kontinu, motor stepper berputar dalam sudut tetap per pulsa (*step*), yang membuatnya sangat cocok digunakan dalam aplikasi yang memerlukan kontrol posisi dan kecepatan yang presisi, seperti mesin CNC, printer 3D, robot lengan, maupun sistem otomatisasi industri. Setiap pulsa listrik yang diberikan ke motor menyebabkan poros motor berputar sejumlah sudut tertentu, biasanya $1,8^\circ$ per langkah untuk motor dengan 200 langkah per putaran penuh [20].

Motor stepper memiliki struktur internal berbasis elektromagnet yang terdiri dari rotor (berupa magnet permanen atau material ferromagnetik) dan stator dengan sejumlah kumparan. Ketika arus listrik dialirkan secara bergantian ke kumparan stator, medan magnet yang dihasilkan menyebabkan rotor bergerak ke posisi tertentu secara berurutan. Hal ini memungkinkan pengendalian posisi secara digital menggunakan driver motor, seperti TB6600, yang menerima sinyal pulsa (PUL) dan arah (DIR) dari mikrokontroler. Motor stepper yang digunakan dapat dilihat pada gambar 8. Skematis motor stepper dapat dilihat pada gambar 9.

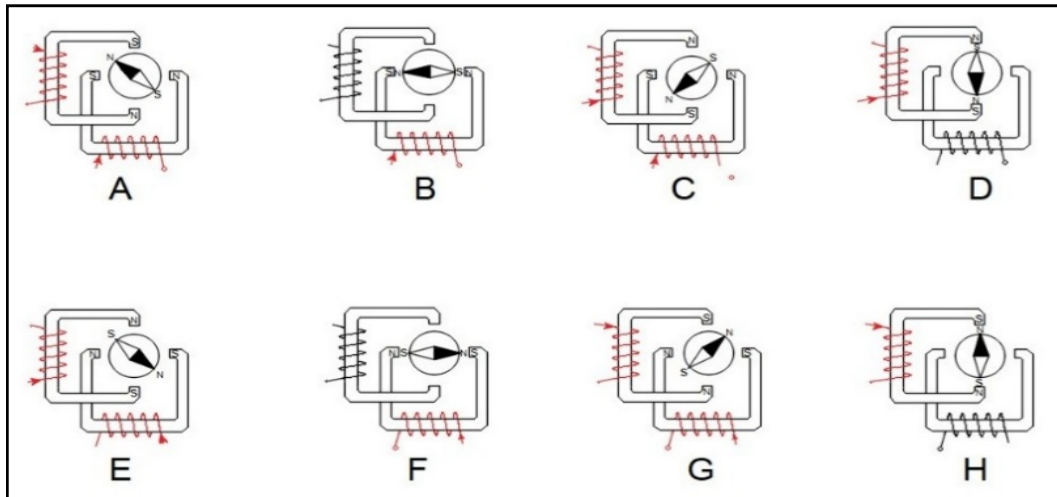


Gambar 8. Motor *stepper* bipolar [21]



Gambar 9. Skematis konstruksi motor *stepper* bipolar [22]

Skematis pengaturan posisi poros motor stepper dapat dilihat pada gambar 10. Pada gambar 10 A, kedua lilitan dialiri arus listrik dengan nilai arus yang sama besar. Lilitan vertikal diberi arus dengan arah aliran dari atas ke bawah, sehingga ujung inti vertikal atas berubah menjadi kutub magnet selatan dan ujung inti vertikal bawah berubah menjadi kutub utara. Lilitan horisontal diberi arus dengan arah aliran dari kiri ke kanan, sehingga ujung inti horisontal kanan berubah menjadi kutub utara magnet dan ujung inti horisontal kiri berubah menjadi kutub selatan magnet. Pada kondisi ini kutub utara magnet poros motor stepper akan tertarik ke arah posisi jam 10.30 (arah barat laut) [23].



Gambar 10. Skematis pengaturan posisi poros motor *stepper* [24]

Pada gambar 10 B, lilitan vertikal tidak dialiri arus tetapi lilitan horizontal dialiri arus dengan arah yang sama dengan arah arus pada kondisi 10 A. Karena lilitan vertikal tidak dialiri arus, ujung-ujung inti vertikal tidak berubah menjadi kutub-kutub magnet. Pada kondisi ini kutub utara magnet poros motor stepper akan tertarik ke arah posisi jam 09.00 (arah barat) [25].

Pada gambar 10 C, lilitan vertikal kembali dialiri arus tetapi arah arus berasal dari bawah ke atas sehingga ujung inti vertikal atas berubah menjadi kutub magnet utara dan ujung inti vertikal bawah berubah menjadi kutub magnet selatan. Lilitan horizontal masih dialiri arus dengan kondisi aliran yang sama dengan kondisi sebelumnya sehingga tidak mengubah kondisi ujung-ujung inti horizontal. Pada kondisi ini kutub utara magnet poros motor stepper akan tertarik ke arah posisi jam 07.30 (arah barat daya) [26].

Pada gambar 10 D, lilitan horizontal tidak dialiri arus, sehingga ujung-ujung inti horizontal tidak berubah menjadi magnet. Lilitan vertikal masih dialiri arus dengan kondisi aliran yang sama dengan kondisi sebelumnya sehingga tidak mengubah kondisi ujung-ujung inti vertikal. Pada kondisi ini kutub utara magnet poros motor stepper akan tertarik ke arah posisi jam 06.00 (arah selatan).

Pada gambar 10 E, lilitan horizontal kembali diberi arus tetapi arah arus berasal dari kanan ke kiri, sehingga ujung inti horizontal kiri berubah menjadi kutub utara magnet dan ujung inti horizontal kanan berubah menjadi kutub selatan magnet. Lilitan vertikal masih dialiri arus dengan kondisi aliran yang sama dengan kondisi sebelumnya sehingga tidak mengubah kondisi ujung-ujung inti vertikal. Pada kondisi ini kutub utara magnet poros motor stepper akan tertarik ke arah posisi jam 04.30 (arah tenggara).

Pada gambar 10 F, lilitan vertikal tidak dialiri arus, sehingga ujung-ujung inti vertikal tidak berubah menjadi magnet. Lilitan horisontal masih dialiri arus dengan kondisi aliran yang sama dengan kondisi sebelumnya sehingga tidak mengubah kondisi ujung-ujung inti horisontal. Pada kondisi ini kutub utara magnet poros motor stepper akan tertarik ke arah posisi jam 03.00 (arah timur).

Pada gambar 10 G, lilitan vertikal kembali diberi arus tetapi arah arus berasal dari atas ke bawah, sehingga ujung inti vertikal atas berubah menjadi kutub selatan magnet dan ujung inti vertikal bawah berubah menjadi kutub utara magnet. Lilitan horisontal masih dialiri arus dengan kondisi aliran yang sama dengan kondisi sebelumnya sehingga tidak mengubah kondisi ujung-ujung inti horisontal. Pada kondisi ini kutub utara magnet poros motor stepper akan tertarik ke arah posisi jam 01.30 (arah timur laut).

Pada gambar 10 H, lilitan horisontal tidak dialiri arus, sehingga ujung-ujung inti horisontal tidak berubah menjadi magnet. Lilitan vertikal masih dialiri arus dengan kondisi aliran yang sama dengan kondisi sebelumnya sehingga tidak mengubah kondisi ujung-ujung inti vertikal. Pada kondisi ini kutub utara magnet poros motor *stepper* akan tertarik ke arah posisi jam 12.00 (arah utara).

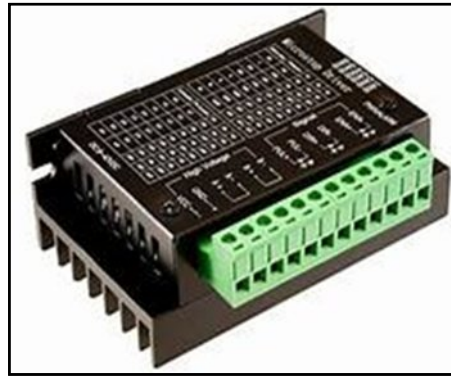
Dengan cara mengatur pemberian arus pada kedua lilitan secara teratur dan berurutan, poros motor *stepper* akan bergerak dengan pola yang tertentu dan setiap perubahan kondisi arus pada kedua kumparan akan mengakibatkan perubahan posisi poros motor stepper sebesar putaran tertentu. Bila pengaturan pemberian arus pada kedua lilitan dilakukan secara manual, maka akan sangat merepotkan. Untuk mengatasi kesulitan tersebut dibuat suatu perangkat untuk mengatur pemberian arus pada kedua lilitan tersebut yang disebut dengan *driver motor stepper* [27].

C. *Driver motor stepper*

Driver motor stepper merupakan perangkat elektronik pengendali yang berfungsi untuk mengatur kerja motor *stepper* berdasarkan sinyal yang diberikan oleh mikrokontroler, seperti Arduino. Secara umum, *driver motor stepper* berfungsi sebagai penghubung antara mikrokontroler dengan motor *stepper*, yang bertugas menerjemahkan sinyal logika digital menjadi sinyal daya berupa arus dan tegangan yang sesuai dengan kebutuhan motor. Mikrokontroler hanya menghasilkan sinyal kecil (*low power*), sehingga tidak mampu langsung menggerakkan motor *stepper* yang membutuhkan arus lebih besar. Oleh karena itu, *driver motor stepper* juga berfungsi sebagai penguat daya (*power amplifier*) sekaligus pengatur distribusi arus ke setiap lilitan motor [28].

Dalam perangkat 3D scanner ini, *driver motor stepper* digunakan untuk mengendalikan pergerakan *turntable*, yaitu memutar objek yang akan dipindai secara bertahap dengan sudut putar tertentu. Putaran yang dihasilkan oleh motor *stepper* dapat diatur melalui program pada Arduino untuk memastikan pengambilan gambar kamera *handphone* terjadi secara sinkron dengan pergerakan meja putar [29].

Beberapa jenis *driver motor stepper* yang umum digunakan antara lain TB6600, A4988, DRV8825, dan ULN2003, yang masing-masing memiliki kemampuan pengaturan arus, mode mikrostep, serta tingkat presisi yang berbeda. Penggunaan *driver motor stepper* memungkinkan sistem bekerja dengan akurat, stabil, dan terkontrol, terutama dalam aplikasi yang membutuhkan pergerakan berulang dengan sudut tetap seperti pada proses 3D scanning. *Driver motor stepper* yang akan digunakan pada tugas akhir ini dapat dilihat pada gambar 11.



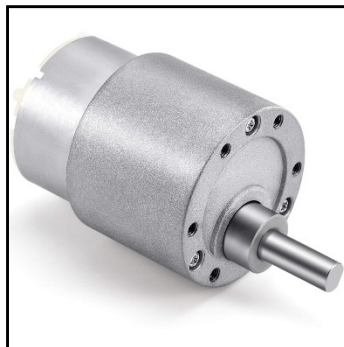
Gambar 11. Driver motor *stepper* TB 6600 [30]

Driver motor stepper TB6600 adalah perangkat yang sangat mudah, efektif, dan profesional yang dapat menggerakkan motor *stepper* 2 fasa. Driver ini kompatibel dengan semua jenis mikrokontroler dan *board* arduino untuk menghasilkan pulsa digital sebesar 0 hingga 5V. Driver TB6600 membutuhkan pasokan tegangan 9-42V dan menghasilkan arus puncak 4A untuk mengaktifkan motor dan dapat memberi daya pada setiap koil motor *stepper* [31].

D. Motor DC

Motor arus searah (*Direct Current* Motor atau motor DC) merupakan aktuator elektromekanis yang berfungsi mengubah energi listrik arus searah menjadi energi gerak berupa putaran mekanik. Prinsip kerja motor DC didasarkan pada interaksi antara medan magnet stator dan arus listrik yang mengalir melalui lilitan pada rotor, sehingga menghasilkan gaya putar (torsi) yang membuat poros motor berputar [32].

Motor DC memiliki keunggulan berupa kemudahan pengaturan arah putaran dengan cara mengubah polaritas tegangan. Karena karakteristiknya yang sederhana dan responsif, motor DC banyak digunakan dalam sistem kendali otomatis dan robotika yang memerlukan gerakan cepat dan fleksibel. Dalam penelitian ini, motor DC digunakan untuk menggerakkan mekanisme cam yang berfungsi menekan tombol remote kamera *Bluetooth* secara otomatis. Dengan memutar cam menggunakan motor DC, sistem dapat melakukan pemotretan berulang secara sinkron dengan pergerakan *turntable* tanpa perlu intervensi manual [33]. Motor DC yang digunakan pada tugas akhir ini dapat dilihat pada gambar 12.



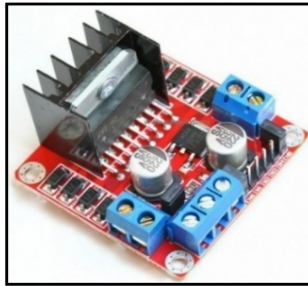
Gambar 12. Motor DC [34]

E. *Driver motor DC*

Driver motor DC merupakan modul pengendali yang berfungsi untuk mengatur arah dan kecepatan putaran motor DC berdasarkan sinyal logika dari mikrokontroler, seperti Arduino Uno. Karena motor DC memerlukan arus yang relatif besar, mikrokontroler tidak dapat langsung menggerakkannya. Oleh karena itu, diperlukan *driver* motor DC yang berperan sebagai perantara (*interface*) antara mikrokontroler dan motor, yang memungkinkan pengendalian arus dan tegangan sesuai kebutuhan motor.

Prinsip kerja *driver* motor DC pada modul L298N adalah dengan mengatur arah aliran arus listrik yang masuk ke motor, sehingga motor dapat berputar ke arah tertentu dan dengan kecepatan yang dapat dikontrol. IC L298N didalam modul ini tersusun dari transistor atau saklar elektronik yang diatur sedemikian rupa. Rangkaian ini memungkinkan arus mengalir melalui motor dalam dua arah yang berbeda. Dalam sistem *3D scanner* ini, *driver* motor DC digunakan untuk mengontrol pergerakan motor yang memutar cam sebagai mekanisme penekan tombol remote kamera *Bluetooth*. Pengaturan arah dan lama putaran motor diatur oleh program pada Arduino, sehingga cam dapat menekan dan melepaskan tombol secara otomatis pada waktu yang tepat selama proses

pemindaian berlangsung [35]. *Driver* motor DC yang digunakan pada tugas akhir ini dapat dilihat pada gambar 13.



Gambar 13. Driver motor DC [36]

10. *Software* yang digunakan

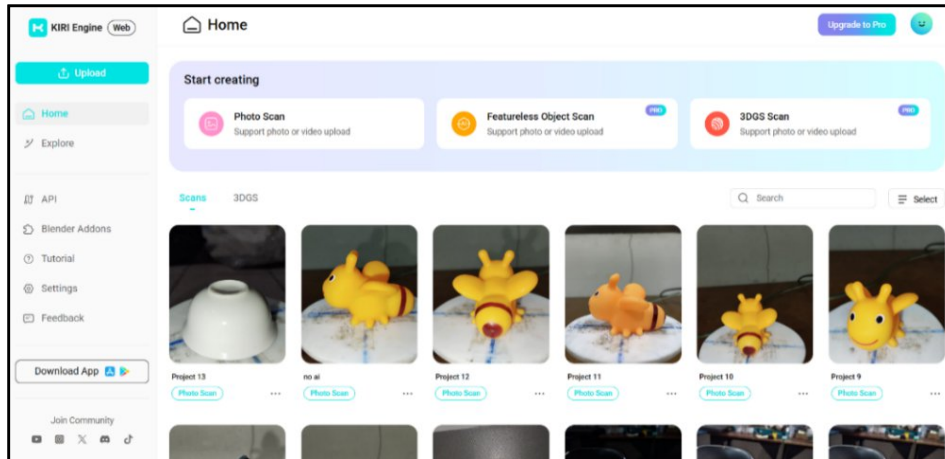
Software merupakan perangkat lunak yang berfungsi sebagai penghubung antara pengguna dengan sistem komputer atau perangkat elektronik. *Software* yang digunakan dalam penelitian ini merupakan perangkat lunak yang berperan penting dalam mendukung proses pengendalian sistem, pemrosesan data hasil pemindaian, hingga tahap akhir pencetakan model tiga dimensi. *Software-software* tersebut bekerja secara terintegrasi untuk menghasilkan sistem 3D *scanner* yang optimal. Pada penelitian ini *software* yang digunakan ialah Kiri engine, Meshmixer, Ultimaker Cura, dan Arduino IDE [37].

A. Kiri engine

Kiri engine merupakan sebuah perangkat lunak berbasis fotogrametri yang digunakan untuk membuat model tiga dimensi (3D) dari serangkaian foto dua dimensi (2D). Aplikasi ini bekerja dengan cara menggabungkan banyak foto dari berbagai sudut objek, kemudian melakukan proses komputasi untuk membentuk model 3D digital yang menyerupai bentuk asli dari objek tersebut.

Kiri engine tersedia dalam bentuk aplikasi web dan *mobile*, serta menggunakan teknologi *cloud computing* untuk memproses data foto. Dengan memanfaatkan kecerdasan buatan (AI) dan algoritma rekonstruksi fotogrametri, Kiri engine mampu menghasilkan model 3D dengan detail tinggi hanya dengan menggunakan kamera *handphone*.

Dalam penelitian ini, Kiri Engine digunakan sebagai perangkat lunak utama untuk proses pemindaian objek 3D. Dengan menggunakan kamera *handphone*, Kiri Engine memungkinkan proses *scanning* dilakukan secara lebih praktis, ekonomis, dan fleksibel dibandingkan metode sebelumnya yang menggunakan sensor inframerah. Tampilan awal Kiri Engine dapat dilihat ada gambar 14.



Gambar 14. Tampilan awal kiri engine [38]

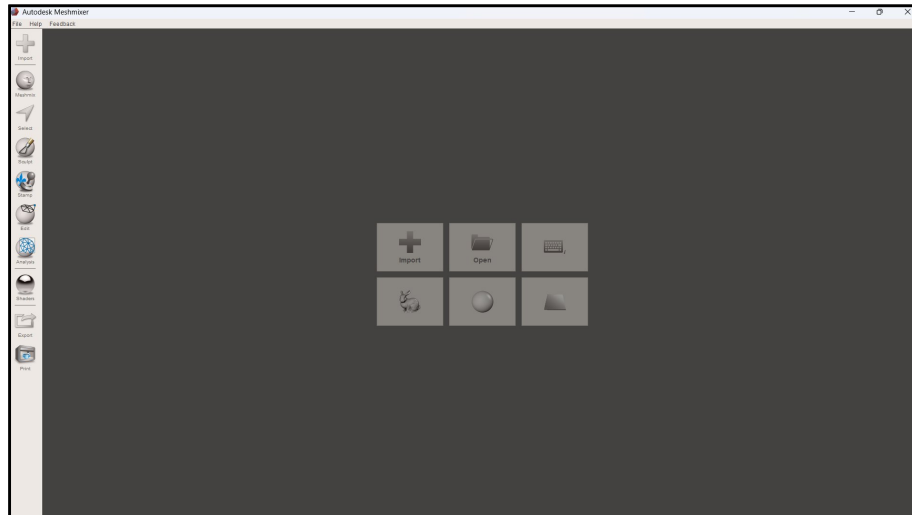
F. Meshmixer

Meshmixer merupakan sebuah perangkat lunak pengolah model tiga dimensi (3D) yang dikembangkan oleh Autodesk. Aplikasi ini digunakan untuk mengedit, memperbaiki, dan memodifikasi model 3D yang biasanya berformat STL, OBJ, atau PLY. Meshmixer dirancang sebagai alat manipulasi bentuk 3D yang ringan namun memiliki fitur yang cukup lengkap untuk keperluan rekayasa, desain, dan pencetakan 3D (*3D printing*) [39].

Fungsi utama Meshmixer adalah untuk melakukan perbaikan (*repair*) dan optimalisasi model hasil pemindaian sebelum dicetak menggunakan 3D printer. Beberapa fitur yang umum digunakan antara lain *smoothing* (merapikan permukaan), *filling holes* (menutup lubang), *sculpting* (membentuk ulang permukaan model), *reducing mesh* (mengurangi jumlah segitiga pada mesh), serta *analyzing printability* untuk memastikan model dapat dicetak dengan baik [40].

Dalam penelitian ini, Meshmixer digunakan untuk mengedit hasil pemindaian objek dari kamera *handphone* yang sebelumnya diproses oleh Kiri Engine. Model 3D yang dihasilkan dari proses fotogrametri sering kali memiliki permukaan yang tidak rata atau terdapat lubang akibat pencahayaan dan sudut pandang kamera. Oleh karena itu, Meshmixer digunakan untuk memperbaiki dan menyempurnakan model agar bentuknya sesuai dengan objek asli sebelum dikonversi menjadi file G-code di Ultimaker Cura.

Dengan kemampuannya yang mudah digunakan dan mendukung berbagai format file 3D, Meshmixer menjadi salah satu *software* pendukung penting dalam alur kerja 3D *scanning* dan 3D *printing*, terutama pada tahap pascapemindaian (*post-processing*). Tampilan awal pada Meshmixer dapat dilihat pada gambar 15.



Gambar 15. Contoh tampilan awal pada Meshmixer [41]

G. Ultimaker Cura

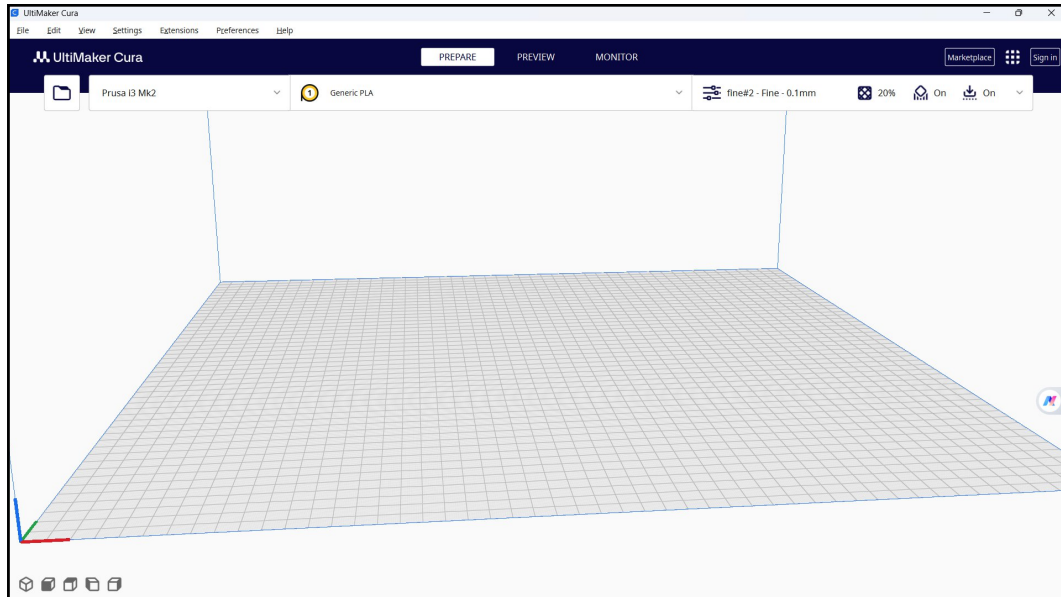
Ultimaker Cura merupakan perangkat lunak *slicing* yang digunakan untuk mempersiapkan file model tiga dimensi sebelum model tersebut dicetak menggunakan mesin 3D *printer*. Perangkat lunak ini berfungsi untuk mengubah file model 3D hasil pemindaian yang telah melalui proses pengeditan menjadi kode perintah mesin atau G-code, yang selanjutnya dibaca oleh mesin 3D *printer*.

Dalam skripsi ini, Ultimaker Cura digunakan untuk mengatur parameter pencetakan seperti tinggi lapisan (*layer height*), kecepatan cetak, temperatur nozzle, kepadatan isi (*infill*), serta pola cetak yang sesuai dengan karakteristik objek hasil pemindaian. Pengaturan parameter tersebut bertujuan untuk memperoleh hasil cetak yang optimal dan mendekati bentuk objek asli. Dengan menggunakan Ultimaker Cura, model 3D hasil pemindaian dapat diproses menjadi G-code yang siap dicetak, sehingga keseluruhan proses penelitian dapat menghasilkan produk fisik berupa objek tiga dimensi yang dapat dianalisis secara langsung [42]. Tampilan awal ultimaker cura dapat dilihat pada gambar 16.

H. Arduino IDE

Arduino IDE (*Integrated Development Environment*) merupakan perangkat lunak pemrograman yang digunakan untuk menulis, mengompilasi, dan mengunggah kode program (*sketch*) ke papan Arduino. Arduino IDE dikembangkan oleh tim Arduino sebagai platform terbuka (*open-source*) yang mudah digunakan oleh pemula maupun pengembang sistem elektronika. Arduino IDE menyediakan antarmuka pengguna yang sederhana dan

mendukung bahasa pemrograman berbasis C/C++ dengan beberapa penyederhanaan sintaks agar mudah dipahami. Program yang ditulis di dalam Arduino IDE disebut *sketch*, yang kemudian dikompilasi menjadi kode biner dan diunggah ke mikrokontroler melalui koneksi USB [43].



Gambar 16. Tampilan awal ultimaker cura

Perangkat lunak ini juga dilengkapi dengan library dan fungsi bawaan yang memudahkan pengguna dalam mengakses berbagai komponen seperti sensor, motor, maupun modul komunikasi tanpa harus menulis kode dari awal. Selain itu, Arduino IDE memiliki fitur Serial Monitor yang berguna untuk menampilkan data keluaran dari mikrokontroler secara *real-time* selama proses pengujian dan *debugging*.

Dalam penelitian ini, Arduino IDE digunakan untuk membuat program untuk mengendalikan motor stepper dan motor DC. Motor stepper berfungsi untuk memutar *turn table* sedangkan motor DC berfungsi untuk menggerakkan cam penekan tombol *remote* kamera pada perangkat 3D *scanner*. Melalui program yang dibuat pada Arduino IDE, seluruh komponen dapat bekerja secara sinkron dan otomatis selama proses pemindaian objek berlangsung [44]. Program yang diinisialisasi dapat dilihat pada gambar 17.

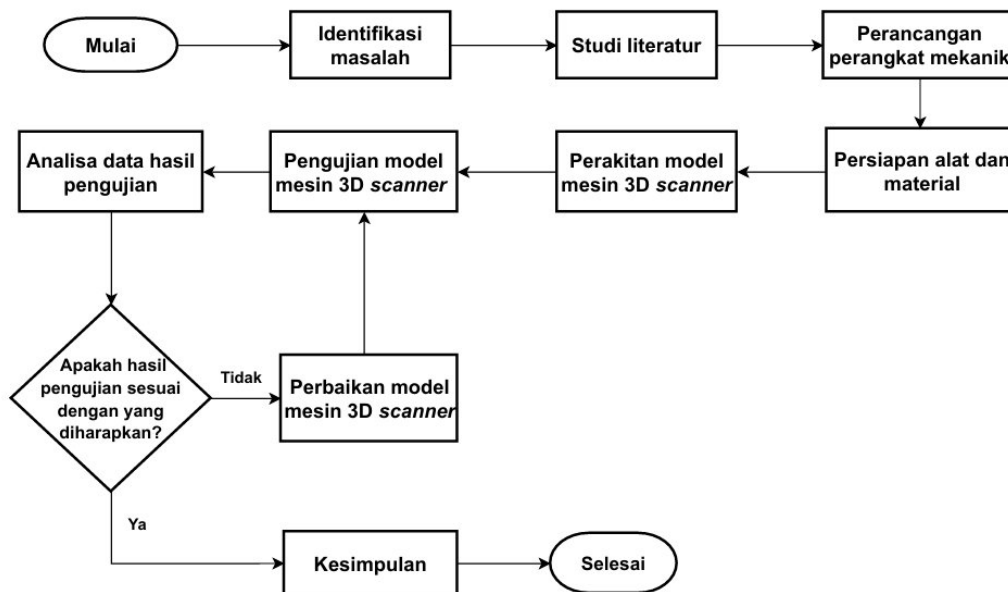
```
1 #define limitswitch 2
2 #define dir 10
3 #define clock 11
4
5
6 int nilai;p
7
8 void setup(){
9   pinMode(limitswitch, INPUT_PULLUP);
10  pinMode (3, INPUT_PULLUP);
11  pinMode(dir, OUTPUT);
12  pinMode(clock, OUTPUT);
13 }
14
15 void cw(int ulang, int waktu){
16   digitalWrite(dir, HIGH);
17   for (int a=0; a<ulang; a++){
18     digitalWrite(clock, LOW);
19     delay(waktu);
20     digitalWrite(clock, HIGH);
21     delay(waktu);
22   }
23 }
24
25 void limit(){
26   digitalWrite(s, HIGH); // motor ON
27
28   delay(1000); // delay secukupnya (bisa disesuaikan)
29
30   // baca sensor LSM
31   int lsm = digitalRead(3);
32   while (lsm == HIGH) {
33     lsm = digitalRead(3);
34   }
35 }
```

Gambar 17. Inisialisasi jenis arduino pada arduino IDE [45]

BAB III METODOLOGI

1. Tahapan penelitian

Tahapan perancangan dan pembuatan model mesin 3D *scanner* digambarkan dengan diagram alir. Diagram alir tahapan perancangan dan perakitan sistem kendali pada mesin 3D *scanner* dapat dilihat pada gambar 18.



Gambar 18. Tahapan penelitian

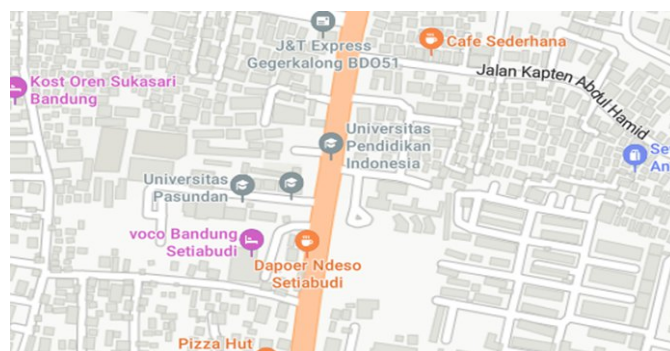
Tahapan penelitian yang digambarkan menggunakan diagram alir di atas, dijelaskan dalam poin-poin berikut:

1. Identifikasi masalah merupakan sebuah proses mengidentifikasi permasalahan dari topik yang akan diangkat atau dijadikan tugas akhir penelitian;
2. Studi literatur merupakan proses pengkajian teori yang relevan dengan masalah yang dikaji, teori tersebut dapat berupa hasil penelitian pribadi atau orang lain, jurnal ilmiah, hasil seminar, diskusi, survei lapangan, majalah ilmiah, studi kepustakaan termasuk situs dari internet, maupun pengkajian pernyataan pemegang otoritas bidang ilmu berdasarkan kepakaran dari peneliti itu sendiri;
3. Perancangan perangkat mekanik merupakan proses merancang model 3D *scanner*, seperti mekanisme cam penekan tombol, dan penyangga kamera *handphone*;

4. Persiapan alat dan material merupakan proses yang bertujuan untuk memastikan seluruh peralatan dan material yang dibutuhkan telah tersedia, sesuai dengan spesifikasi, dan siap digunakan; Tahap ini dilakukan sebelum proses perakitan dan pengujian perangkat agar penelitian dapat berjalan secara efektif dan terencana;
5. Perakitan model mesin 3D *scanner* merupakan proses pemasangan dan penggabungan komponen secara tepat dan akurat sesuai dengan rancangan yang telah dibuat sebelumnya;
6. Pengujian model mesin 3D *scanner* merupakan proses menguji model mesin 3D *scanner* pada perangkat yang telah dirakit untuk memastikan bahwa semua komponen berfungsi dengan baik; Pengujian dilakukan untuk menilai apakah mesin 3D *scanner* bekerja sesuai dengan yang diinginkan;
7. Analisis data hasil pengujian adalah proses mengolah, mengevaluasi, dan menafsirkan data yang diperoleh dari hasil pengujian alat untuk mengetahui apakah sistem yang dibuat telah bekerja sesuai dengan tujuan penelitian;
8. Setelah dilakukan analisis data hasil pengujian, jika hasil pengujian jika tidak sesuai dengan yang diharapkan maka model mesin 3D *scanner* diperbaiki dan dilakukan pengujian ulang jika hasil pengujian sudah sesuai dengan yang diharapkan, maka dilanjutkan dengan penyusunan kesimpulan, dan
9. Kesimpulan merupakan proses menemukan jawaban dari tujuan yang ingin dicapai, khususnya dalam perancangan dan pembuatan model mesin 3D *scanner*.

11. Tempat penelitian

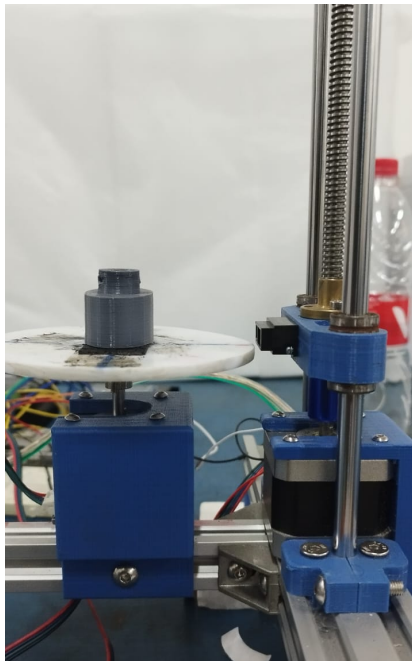
Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Pasundan jalan Dr. Setiabudi No. 193, Gegerkalong, Kec. Sukasari, Kota Bandung, Jawa Barat 40153. Lokasi Laboratorium Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Pasundan dapat dilihat pada gambar 19.



Gambar 19. Laboratorium Teknik Mesin Universitas Pasundan Bandung

12. Tahap awal perancangan dan pembuatan model perangkat mekanik mesin 3D scanner

Rancangan awal perangkat mesin 3D *scanner* mengacu pada mesin 3D *scanner* sebelumnya yang masih menggunakan sensor inframerah sebagai media pemindaian. Pada perangkat tersebut, proses *scanning* dilakukan dengan membaca jarak objek menggunakan sensor, yang kemudian diolah menjadi bentuk tiga dimensi. Namun, sistem tersebut memiliki keterbatasan dalam menghasilkan detail objek, sehingga dilakukan pengembangan dengan mengganti metode *scanning* menggunakan kamera *handphone*. Rancangan awal ini digunakan sebagai acuan dalam pengembangan perangkat yang lebih optimal. Model mesin 3D *scanner* yang belum dilakukan modifikasi dapat dilihat pada gambar 20.



Gambar 20. Mesin 3D *scanner* yang belum dilakukan modifikasi

13. Komponen yang diperlukan untuk perancangan dan pembuatan model mesin 3D scanner

Komponen yang diperlukan dalam modifikasi mesin 3D *scanner* merupakan bagian tambahan yang dirancang untuk meningkatkan fungsi dan kinerja, khususnya pada proses pengambilan gambar secara otomatis. Beberapa komponen dibuat menggunakan 3D *printer*, sementara komponen yang lainnya diperoleh di pasaran. Modifikasi yang dilakukan dalam penelitian ini berfokus pada penggantian metode pemindaian

menggunakan kamera *handphone* serta penambahan mekanisme penekan tombol kamera berbasis motor DC.

Salah satu komponen utama yang ditambahkan adalah *holder handphone* (penjepit atauudukan HP) yang berfungsi untuk menopang dan menahan posisi kamera *handphone* selama proses pemindaian berlangsung. *Holder* ini dapat menyesuaikan berbagai ukuran *handphone* serta menjaga posisi kamera tetap stabil dan tidak berubah, sehingga hasil pengambilan gambar lebih konsisten dan akurat.

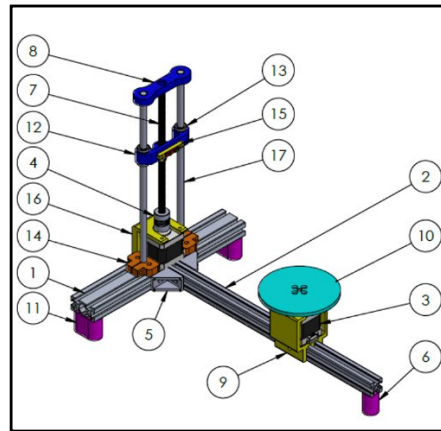
Selain itu, ditambahkan rumah motor DC yang berfungsi sebagaiudukan motor DC agar terpasang dengan kuat dan presisi pada rangka mesin. Motor DC yang ditempatkan pada rumah motor ini digunakan untuk menggerakkan mekanisme cam, yang berfungsi sebagai penekan tombol pada *remote bluetooth* kamera. *Remote bluetooth* kamera ditempatkan pada posisi yang sejajar dengan cam, sehingga ketika motor DC berputar, cam akan menekan tombol *remote* tersebut secara otomatis. Hal ini memungkinkan proses pengambilan gambar dilakukan tanpa intervensi manual, sehingga meningkatkan efisiensi dan konsistensi proses *scanning*.

Untuk mengontrol batas gerakan mekanisme cam, digunakan *micro limit switch*. *Micro limit switch* bekerja dengan mendeteksi posisi cam saat mencapai titik tertentu. Ketika cam menekan *micro limit switch*, sistem akan memberikan sinyal untuk menghentikan putaran motor DC, sehingga mencegah terjadinya gerakan berlebih yang dapat merusak komponen mekanik.

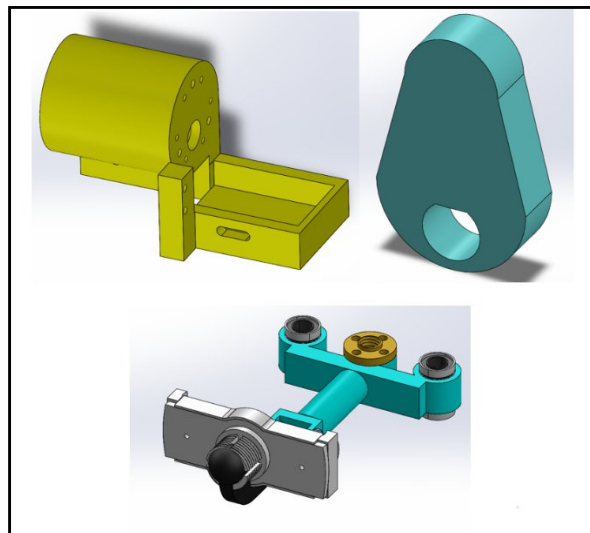
Dengan adanya integrasi antara *holder handphone*, rumah motor DC, motor DC, cam, *remote bluetooth* kamera, dan *micro limit switch*, sistem pemindaian dapat bekerja secara otomatis, stabil, dan terkontrol. Penambahan komponen ini menjadi bagian penting dalam meningkatkan performa dan keandalan mesin 3D *scanner* yang dikembangkan dalam penelitian ini. Desain mesin 3D *scanner* sebelum dilakukan modifikasi dapat dilihat pada gambar 21.

Penambahan rumah motor DC, mekanisme cam penekan tombol, serta *holder handphone* dilakukan sebagai bagian dari pengembangan sistem untuk meningkatkan otomatisasi dan kestabilan proses pemindaian. Komponen-komponen tersebut dirancang agar mampu bekerja secara terintegrasi dalam mendukung proses pengambilan gambar secara berulang dan konsisten tanpa intervensi manual. Selain itu, penambahan ini juga bertujuan untuk meningkatkan efisiensi kerja alat serta meminimalkan kesalahan yang dapat terjadi selama proses *scanning* berlangsung. Beberapa komponen dapat dilihat pada

table 1. Desain rumah motor, cam penekan tombol, dan *holder handphone* dapat dilihat pada gambar 22, dan komponen komponen dapat dilihat pada tabel 1.

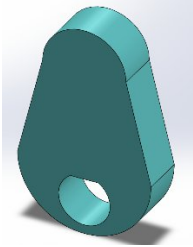
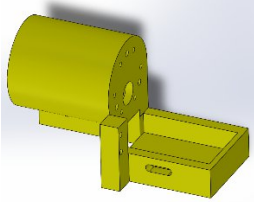
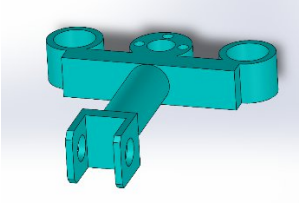
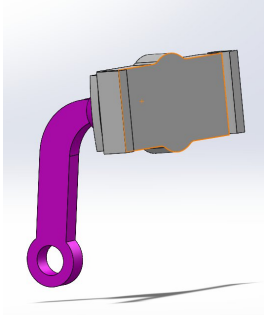


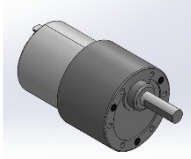
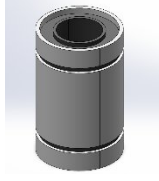
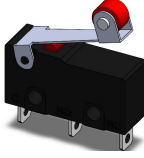
Gambar 21. Desain mesin 3D *scanner* sebelum dilakukan modifikasi



Gambar 22. Desain rumah motor, cam penekan tombol, dan *holder handphone*

Table 1. Komponen yang digunakan

No	Nama komponen	Gambar komponen	Spesifikasi	Jumlah
1	Cam penekan tombol		Dimensi: 21mm x 16mm x 5mm	1
2	Rumah motor DC		Dimensi: 105,5 mm x 42,50 mm x 65,6 mm	1
3	<i>Adjustable slider bracket</i>		Dimensi 92 mm x 83 mm x 15mm	1
4	<i>Holder handphone</i>		Dimensi: 80mm x 25mm x 85mm	1
No	Nama komponen	Gambar komponen	Spesifikasi	Jumlah

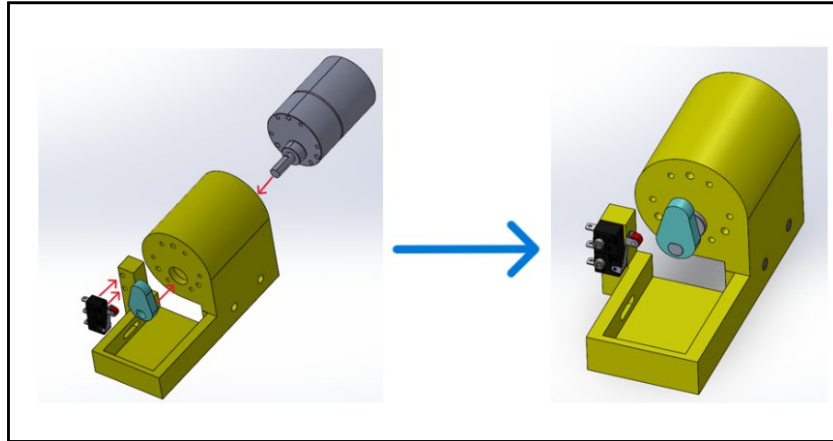
5	Motor DC		Dimensi: 37mm x 37mm x 80mm	1
6	<i>Linear bearing</i>		Dimensi: Diameter dalam 8 mm x diameter luar 15 mm x tinggi 24 mm	2
7	<i>Micro limit switch</i>		Dimensi: 27 mm x 10 mm x 15 mm	1

14. Perakitan model mesin 3D scanner (*assembly*)

Setelah tahap perancangan selesai, proses selanjutnya adalah pembuatan komponen menggunakan mesin 3D *printing*. Komponen-komponen yang dihasilkan kemudian dirakit bersama dengan komponen lain yang diperoleh dari pasar. Proses perakitan struktur mekanik terdiri atas beberapa tahapan yang perlu dilakukan secara terstruktur untuk menjamin fungsi dan kestabilan perangkat secara keseluruhan. Tahapan-tahapan perakitan tersebut akan dijelaskan secara rinci pada paragraf-paragraf berikut.

A. Perakitan sistem mekanisme penekan tombol kamera

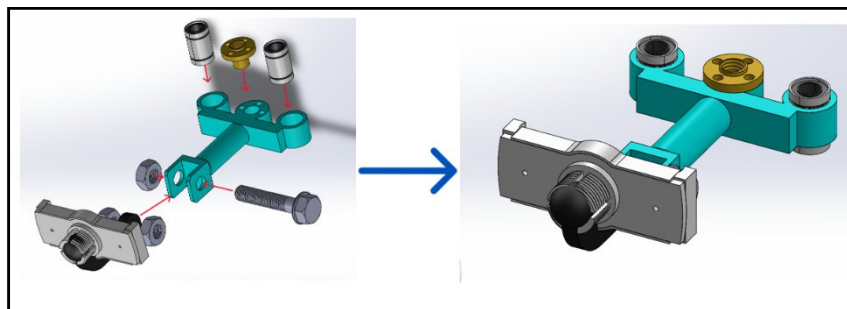
Tahap awal yang dilakukan adalah perakitan perangkat mekanisme penekan tombol kamera. Komponen utama untuk merakit mekanisme penekan tombol kamera adalah rumah motor dc. Komponen yang dipasang pada rumah motor dc adalah cam penekan tombol, motor dc, dan *micro limit switch*. Hasil perakitan ini dinamakan sub rakitan 1. Model komponen yang dirakit dan hasil rakitan dapat dilihat pada gambar 23.



Gambar 23. Model komponen yang dirakit dan hasil rakitan

I. Perakitan *holder handphone*

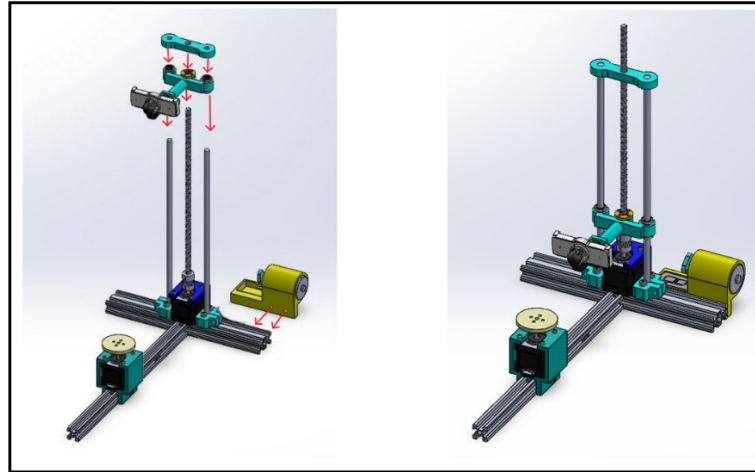
Tahap kedua adalah menggabungkan *holder handphone*, *lead screw*, mur, *adjustable slider bracket*, baut dan *linear bearing*. Hasil perakitan ini disebut sub rakitan 2. Model komponen yang dirakit dan sub rakitan 3 dapat dilihat pada gambar 24.



Gambar 24. Model komponen yang dirakit dan hasil rakitan

J. Perakitan sub rakitan 1 dan sub rakitan 2 dengan mesin 3D scanner

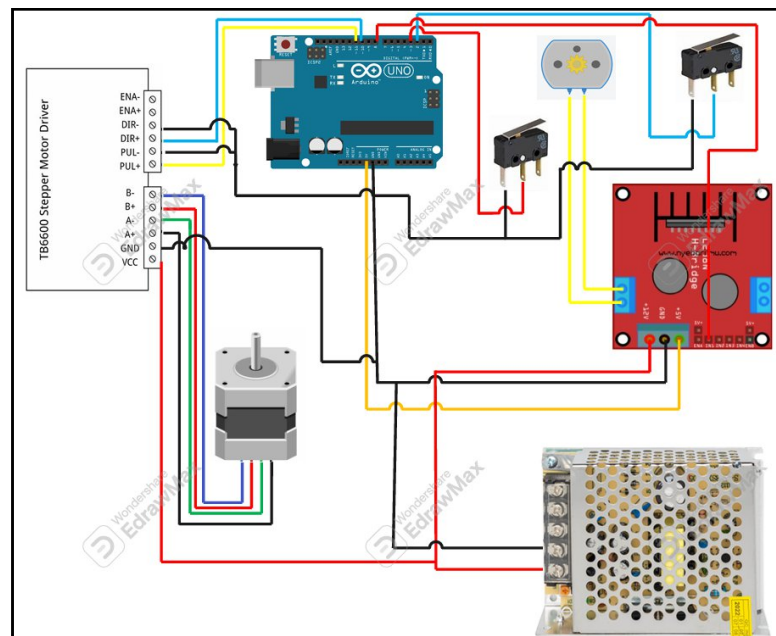
Tahap ketiga adalah menggabungkan sub rakitan 1 dan sub rakitan 2 pada mesin 3D scanner. Model komponen yang telah dirakit dan hasil rakitan dapat dilihat pada gambar 25.



Gambar 25. Model yang telah dirakit

15. Perancangan rangkaian perangkat kendali

Perancangan rangkaian perangkat kendali merupakan tahap penyusunan dan penghubungan seluruh komponen elektronik yang digunakan dalam mesin 3D *scanner* agar dapat bekerja secara terintegrasi sesuai dengan fungsi yang diinginkan. Rangkaian ini dirancang untuk menghubungkan *board* arduino sebagai pusat kendali dengan berbagai komponen input dan output, seperti motor, driver motor, power supply serta sensor. Rangkaian perangkat kendali dapat dilihat pada gambar 26.



Gambar 26. Diagram wiring

16. Perancangan dan implementasi program arduino

Perancangan dan implementasi program arduino merupakan tahap penyusunan logika kerja alat yang digunakan untuk mengendalikan seluruh komponen pada mesin 3D *scanner* agar dapat bekerja secara otomatis dan terintegrasi. Program ini dibuat menggunakan Arduino IDE dan diimplementasikan pada *board* arduino sebagai pusat pengendali perangkat. Program yang telah dibuat dapat dilihat pada gambar 27.

```
1  #define limitswitch 2
2  #define dir 10
3  #define clock 11
4
5
6  int nilai;p
7
8  void setup(){
9      pinMode(limitswitch, INPUT_PULLUP);
10     pinMode (3, INPUT_PULLUP);
11     pinMode(dir, OUTPUT);
12     pinMode(clock, OUTPUT);
13 }
14
15 void cw(int ulang, int waktu){
16     digitalWrite(dir, HIGH);
17     for (int a=0; a<ulang; a++){
18         digitalWrite(clock, LOW);
19         delay(waktu);
20         digitalWrite(clock, HIGH);
21         delay(waktu);
22     }
23 }
24
25 void limit(){
26     digitalWrite(8, HIGH);    // motor ON
27
28     delay(1000);              // delay secukupnya (bisa disesuaikan)
29
30     // baca sensor LSM
31     int lsm = digitalRead(3);
32     while (lsm == HIGH) {
33         lsm = digitalRead(3);
34     }
35
36     // jika sensor LSM sudah LOW
37     digitalWrite(8, LOW);    // motor OFF
38 }
39
40
41 void loop(){
42     nilai=digitalRead(limitswitch);
43     if(nilai==LOW) {
44         for (int i=0; i<50; i++){
45             cw(4, 250);
46             limit();
47         }
48     }
49 }
```

Gambar 27. Program 3D *scanner*

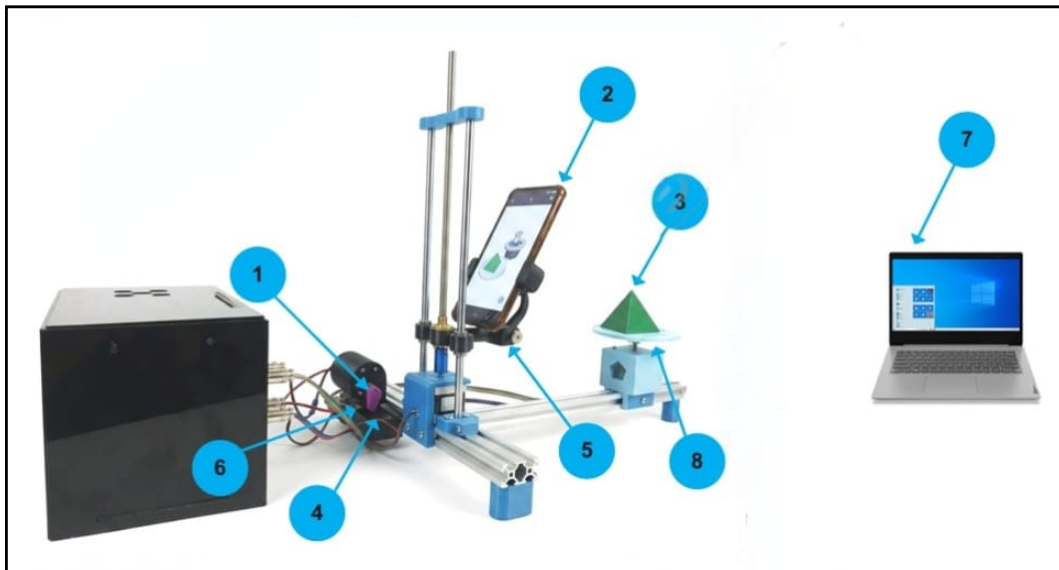
BAB IV PENGUJIAN, HASIL, DAN PEMBAHASAN

1. Pengujian

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui kesesuaian bentuk benda yang di-*scan* dengan hasil *scanning*, dan kesesuaian benda yang diprint menggunakan mesin 3D *printer*. Pengujian ini terdiri dari beberapa tahap pengujian yaitu set up pengujian alat, pengujian perangkat pengambilan gambar, pemrosesan gambar hasil *scanning* menggunakan Kiri Engine, pencetakan model 3D menggunakan mesin 3D *printing*, dan hasil rancangan.

A. Set-up pengujian

Pada penelitian ini dijelaskan mengenai *setup* pengujian yang digunakan untuk melakukan proses pemindaian objek menggunakan model mesin 3D *scanner* berbasis kamera handphone. *Setup* pengujian meliputi penempatan handphone pada *holder*, pemasangan objek uji di atas *turntable*, serta konfigurasi sistem kendali yang terdiri atas Arduino Uno, driver motor, motor *stepper*, motor DC, *remote bluetooth*, *micro limit switch*, dan *power supply*. Seluruh komponen dirangkai dan diatur sesuai dengan rancangan agar proses pengambilan gambar dapat berlangsung secara otomatis dan sinkron. *Setup* pengujian ini bertujuan untuk memastikan bahwa seluruh sistem bekerja dengan baik sehingga proses pemindaian menghasilkan citra yang konsisten dan siap diproses menjadi model tiga dimensi. Konfigurasi *setup* pengujian dapat dilihat pada Gambar 28.



Gambar 28. Set-up pengujian

Pada instalasi pengujian ini, sistem pengujian pengambilan gambar terdiri dari beberapa komponen utama, yaitu:

1. Cam penekan tombol: Berfungsi mengubah gerak putar motor DC menjadi gerak tekan sehingga dapat menekan tombol *remote bluetooth* secara otomatis pada setiap siklus pengambilan gambar.
2. Handphone: Berfungsi sebagai kamera untuk mengambil citra objek dari berbagai sudut pandang yang selanjutnya diproses menggunakan metode fotogrametri pada KIRI Engine untuk menghasilkan model 3D.
3. Limas segitiga: Berfungsi sebagai salah satu objek uji untuk mengevaluasi kemampuan sistem dalam merekonstruksi objek yang memiliki bidang datar dan sudut-sudut tegas.
4. *Remote Bluetooth*: berfungsi sebagai pemicu (*trigger*) pengambilan gambar pada kamera handphone tanpa menyentuh layar secara langsung.
5. *Holder handphone*: Berfungsi menopang dan menjaga posisi handphone agar tetap stabil selama proses pengambilan gambar sehingga mengurangi getaran dan perubahan posisi kamera.
6. Micro limit switch: berfungsi sebagai sensor batas yang mendeteksi saat cam telah mencapai posisi tertentu. Ketika cam menekan *micro limit switch*, motor DC dihentikan sehingga cam kembali pada posisi awal dan siap untuk siklus pengambilan gambar berikutnya.
7. Laptop: Berfungsi untuk mengunggah program ke Arduino Uno, mengolah hasil pemindaian menggunakan KIRI Engine dan Meshmixer, melakukan proses *slicing* menggunakan Ultimaker Cura, serta menyimpan data hasil pengujian.
8. *Turntable*: Berfungsi sebagai tempat meletakkan objek uji dan memutar objek secara bertahap menggunakan motor stepper sehingga kamera dapat memperoleh citra objek dari berbagai sudut secara otomatis.

B. Pengujian perangkat pengambilan gambar

Pengujian pengambilan gambar merupakan tahap pengujian yang dilakukan untuk mengetahui kemampuan perangkat dalam mengambil gambar objek secara otomatis selama proses pemindaian berlangsung. Pengujian ini bertujuan untuk memastikan bahwa kamera *handphone*, mekanisme penekan tombol kamera, serta sistem pergerakan alat dapat bekerja secara sinkron dan menghasilkan gambar yang sesuai untuk proses rekonstruksi model tiga dimensi.

Pada penelitian ini, pengujian dilakukan dengan cara menempatkan objek pada meja putar (*turntable*), kemudian mesin 3D akan menjalankan proses pemindaian secara

otomatis. Motor *stepper* berfungsi memutar objek secara bertahap, sedangkan motor DC menggerakkan mekanisme cam untuk menekan tombol *remote bluetooth* sehingga kamera *handphone* dapat mengambil gambar secara otomatis.

Hasil dari pengujian ini dianalisis berdasarkan beberapa aspek, seperti jumlah gambar yang berhasil diambil, kestabilan posisi kamera, kejelasan hasil foto, serta sinkronisasi antara pergerakan objek dan proses pengambilan gambar. Pengujian ini penting dilakukan karena kualitas gambar yang dihasilkan akan sangat memengaruhi hasil rekonstruksi model 3D pada *software* KIRI Engine. Langkah-langkah pengujian tersebut adalah sebagai berikut:

1. Objek uji diletakkan pada *turn table*;
2. *Handphone* dipasang pada *holder*;
3. *Handphone* dihubungkan pada *remote bluetooth*;
4. Tombol ditekan untuk menjalankan model mesin 3D *scanner*;
5. Foto diupload untuk mengubah gambar 2D menjadi model 3D menggunakan Kiri Engine;
6. Pengujian selesai.

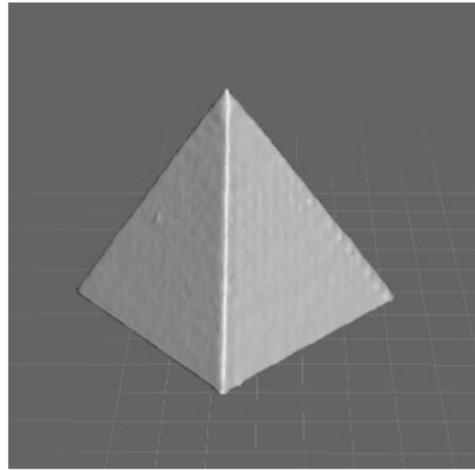
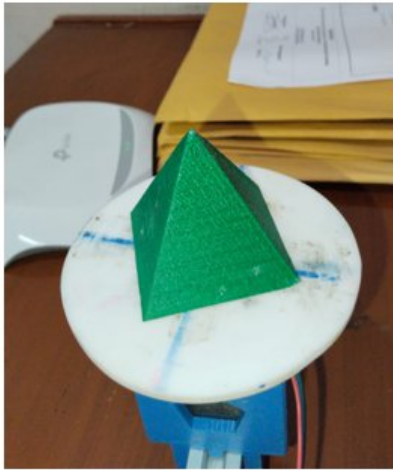
Benda kerja yang akan *discan* terdiri dari benda berbentuk limas segi empat, balok, dan boneka berbentuk kura-kura.

K. Pemrosesan gambar hasil *scanning* menggunakan Kiri Engine

Setelah tahap pengujian pengambilan gambar, tahap selanjutnya yaitu tahap pemrosesan gambar hasil *scanning*. Pengujian ini bertujuan untuk mengubah kumpulan gambar hasil pengambilan objek dari berbagai sudut menjadi model tiga dimensi (3D model) yang menyerupai bentuk objek asli. Selain itu, proses ini bertujuan untuk menghasilkan model 3D yang dapat digunakan pada tahap selanjutnya, seperti proses perbaikan model menggunakan Meshmixer, proses *slicing* menggunakan Ultimaker Cura, hingga proses pencetakan menggunakan mesin 3D *printing*.

***Scanning* benda berbentuk limas segi empat**

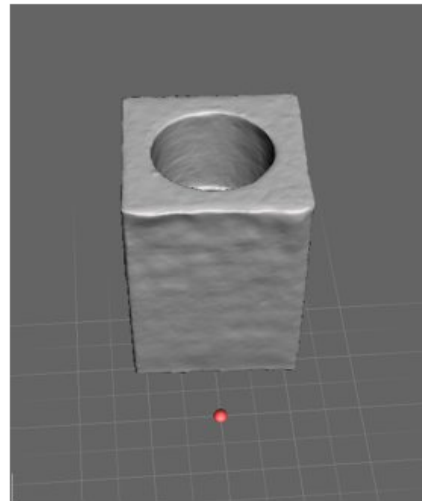
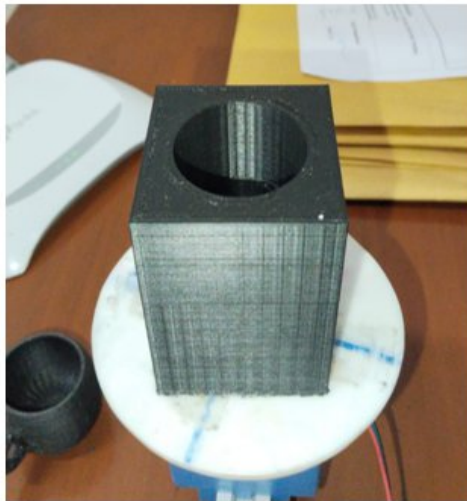
Benda berbentuk limas segi empat yang dipindai mempunyai panjang 50 mm, lebar 50 mm, dan tinggi 49 mm. Benda yang *discan* dan hasil *scanning* yang telah diolah menggunakan Kiri Engine dapat dilihat pada gambar 29.



Gambar 29. Hasil pengujian benda berbentuk limas segi tiga

***Scanning* benda berbentuk balok**

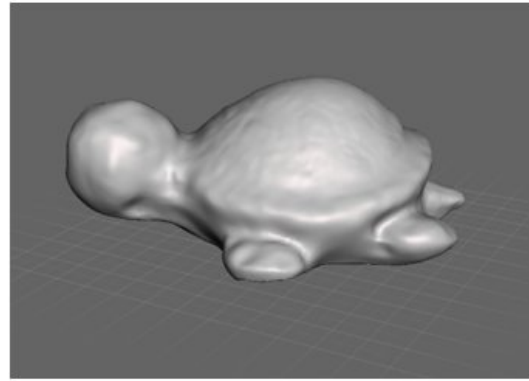
Benda berbentuk balok yang dipindai mempunyai panjang 50 mm, lebar 50 mm, dan tinggi 75 mm. Benda yang discan dan hasil *scanning* yang telah diolah menggunakan kiri engine dapat dilihat pada gambar 30.



Gambar 30. Hasil pengujian benda berbentuk balok

***Scanning* benda berbentuk kura – kura**

Benda berbentuk kura - kura yang dipindai mempunyai panjang 64 mm, lebar 43 mm, dan tinggi 24 mm. Benda yang discan dan hasil *scanning* yang telah diolah menggunakan kiri engine dapat dilihat pada gambar 31.



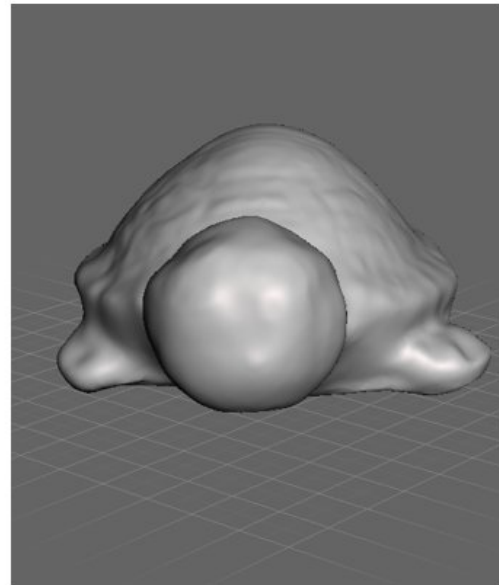
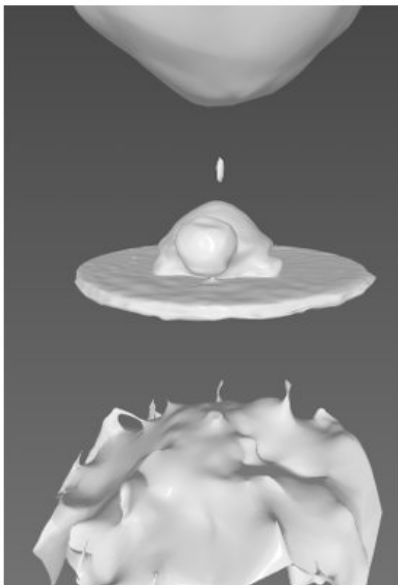
Gambar 31. Hasil pengujian benda berbentuk kura – kura

L. Pencetakan model 3D menggunakan mesin 3D *printing*

Pencetakan model 3D merupakan tahap akhir dalam penelitian ini, di mana model hasil pemindaian yang telah diolah selanjutnya dicetak menggunakan mesin 3D *printing* untuk menghasilkan bentuk fisik dari objek yang telah dipindai. Tahapan-tahapan pencetakan model 3D tersebut akan dijelaskan secara rinci pada paragraf-paragraf berikut.

Persiapan file model 3D

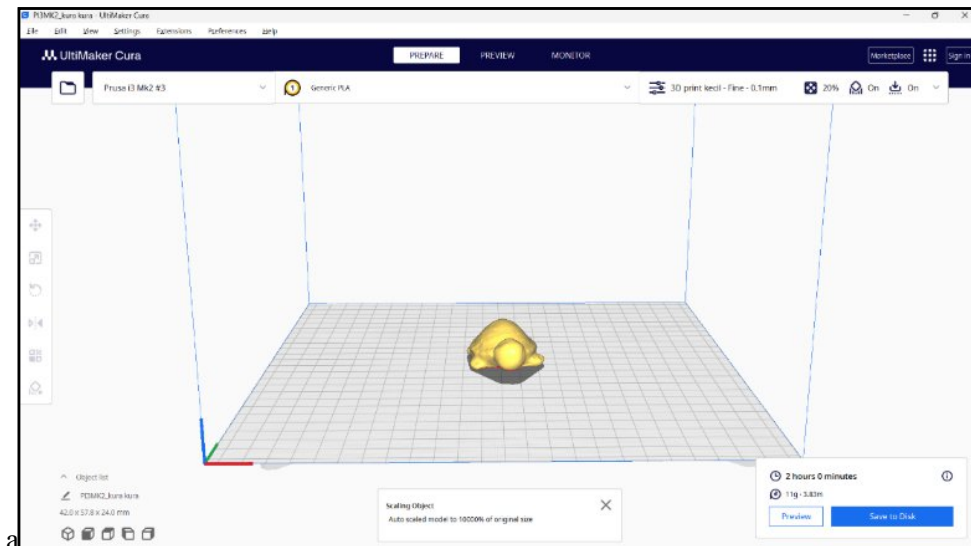
Model yang akan dicetak adalah model kura-kura hasil dari *scanning* boneka kura-kura. Sebelum dilakukan pencetakan model diedit menggunakan Meshmixer untuk membuang bagian yang tidak diperlukan dan untuk menutup bagian yang berlubang. Model 3D sebelum dan sesudah diedit menggunakan Meshmixer dapat dilihat pada gambar 32.



Gambar 32. Model 3D sebelum dan sesudah diedit menggunakan meshmixer

Proses slicing

Proses slicing adalah proses mengubah model tiga dimensi (3D model) menjadi serangkaian lapisan-lapisan tipis dan menghasilkan file G-code yang berisi instruksi pergerakan *nozzle*, kecepatan pencetakan, temperatur, serta parameter lainnya yang dibutuhkan oleh mesin 3D *printer* untuk mencetak objek. Proses *slicing* dapat dilihat pada gambar 33.



Gambar 33. Proses *slicing*

Proses pencetakan

Proses pencetakan (*3D printing*) merupakan tahap akhir dalam pembuatan model tiga dimensi, yaitu proses mengubah model digital menjadi objek fisik menggunakan mesin 3D printer. Pada proses ini, mesin 3D *printer* membentuk objek secara bertahap lapis demi lapis (*layer by layer*) berdasarkan instruksi yang terdapat pada file G-code hasil proses slicing. Hasil cetakan model 3D dapat dilihat pada gambar 34.



Gambar 34. Hasil cetakan model 3D

17. Analisa hasil pengujian

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan, sistem 3D *scanner* yang dikembangkan masih memiliki beberapa keterbatasan. Hal ini disebabkan karena proses pemindaian masih menggunakan kamera *handphone*, sehingga kualitas hasil *scanning* sangat dipengaruhi oleh spesifikasi kamera dan kondisi pencahayaan pada saat proses pengambilan gambar berlangsung. Selain itu, objek dengan permukaan mengkilap masih sulit dipindai secara optimal karena dapat memengaruhi proses pembacaan detail objek oleh sistem fotogrametri. Tingkat detail model hasil *scanning* juga dipengaruhi oleh jumlah sudut pengambilan gambar yang diperoleh selama proses pemindaian.

Meskipun demikian, hasil pengujian menunjukkan bahwa perangkat mampu menghasilkan model 3D yang cukup baik pada beberapa jenis objek, seperti benda berbentuk limas segitiga, balok yang memiliki lubang, serta boneka kura-kura. Model hasil pemindaian pada objek-objek tersebut memiliki bentuk yang cukup menyerupai objek asli dan dapat diproses lebih lanjut hingga tahap pencetakan menggunakan mesin 3D printing.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil perancangan, pembuatan, dan pengujian model mesin 3D *scanner* yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa penelitian ini berhasil menghasilkan sebuah model mesin 3D *scanner* berbasis kamera *handphone* yang dapat bekerja secara otomatis menggunakan perangkat kendali Arduino Uno. Perangkat mekanisme penekan tombol kamera yang menggunakan motor DC dan mekanisme cam mampu bekerja dengan baik untuk melakukan pengambilan gambar secara otomatis selama proses pemindaian berlangsung. Selain itu, motor *stepper* yang dikendalikan menggunakan driver motor *stepper* TB6600 juga mampu memutar *turntable* secara bertahap sehingga proses pengambilan gambar objek dapat dilakukan dari berbagai sudut secara lebih stabil dan teratur.

Integrasi antara perangkat keras (*hardware*) dan perangkat lunak (*software*) seperti Arduino IDE, KIRI Engine, Meshmixer, dan Ultimaker Cura dapat berjalan dengan baik mulai dari proses pengambilan gambar, pembentukan model 3D, perbaikan model, hingga proses pencetakan menggunakan mesin 3D *printing*. Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan, perangkat mampu menghasilkan model 3D yang cukup baik pada beberapa objek, seperti limas segitiga, balok berlubang, dan boneka kura-kura.

Meskipun demikian, hasil pemindaian masih memiliki beberapa keterbatasan, terutama pada bagian bawah objek yang sulit dipindai karena tidak dapat dijangkau kamera selama proses *scanning* berlangsung. Oleh karena itu, diperlukan proses perbaikan model menggunakan Meshmixer sebelum model dicetak menggunakan mesin 3D *printing*. Selain itu, kualitas hasil *scanning* juga dipengaruhi oleh kondisi pencahayaan, jumlah sudut pengambilan gambar, serta karakteristik permukaan objek yang dipindai.

18. Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, terdapat beberapa saran yang dapat digunakan untuk pengembangan penelitian selanjutnya. Penggunaan kamera dengan resolusi yang lebih tinggi disarankan agar hasil pemindaian memiliki detail yang lebih baik dan lebih akurat. Selain itu, penambahan perangkat pencahayaan tambahan juga perlu dilakukan untuk membantu proses pengambilan gambar sehingga bayangan pada objek dapat dikurangi dan kualitas hasil *scanning* menjadi lebih optimal.

Mekanisme pengambilan gambar pada penelitian ini masih menggunakan sistem mekanik berupa cam penekan tombol *remote bluetooth*, sehingga pada penelitian selanjutnya dapat dikembangkan menggunakan sistem komunikasi langsung antara Arduino dan kamera *handphone* tanpa mekanisme penekan tombol. Penelitian selanjutnya juga diharapkan mampu mengembangkan perangkat 3D *scanner* dengan metode pemindaian yang lebih cepat, lebih akurat, serta mampu memindai objek dengan bentuk yang lebih kompleks.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. Radomir and S. Jiri, "Accuracy Comparison of the Optical 3D Scanner and CT Scanner," *Manuf. Technol.*, vol. 20, no. 6, pp. 791–801, 2020, doi: 10.21062/mft.2020.120.
- [2] K. F. Bizjak, "Determining the surface roughness coefficient by 3D Scanner Določitev," vol. 53, pp. 147–152, 2010, doi: <https://doi.org/10.5474/geologija.2010.012>.
- [3] M. Gawade *et al.*, "3D Scanner," vol. 11, no. November, p. 2575, 2023, doi: <https://doi.org/10.22214/ijraset.2023.57000>.
- [4] C. Egenäs and A. Sacilotto, "3D Scanner Scanning Small Objects and Recreating Them Visually as a Mesh in a Computer," *KTH R. Inst. Technol.*, p. 4, 2021, [Online]. Available: <https://www.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2%3A1558495&dswid=4871>
- [5] M. R. Sofyandi, E. Kurniawan, and R. A. Wicaksono, "Rancang Bangun 3D Scanner sebagai 3D Metrologi dengan Metode Fotogrametri Rentang Dekat," *J. Teknol. Rekayasa Tek. Mesin*, vol. 3, no. 1, pp. 56–61, 2022.
- [6] A. R. H. Exoskeleton, "A Robotic Hip Exoskeleton," pp. 18–21, 2019, doi: 10.3390/s19040963.
- [7] J. Straub, B. Kading, A. Mohammad, and S. Kerlin, "Characterization of a Large, Low-Cost 3D Scanner," *Technologies*, vol. 3, no. 1, pp. 19–36, 2015, doi: 10.3390/technologies3010019.
- [8] N. Zhang, X. Mi, X. Feng, X. Wang, Y. Tian, and F. Qian, "Dangerous Skills : Understanding and Mitigating Security Risks of Voice-Controlled Third-Party Functions on Virtual Personal Assistant Systems," *2019 IEEE Symp. Secur. Priv.*, pp. 1381–1396, 2019, doi: 10.1109/SP.2019.00016.
- [9] C. B. Drive, "PARAMETRIC MODELLING (BIM) FOR THE DOCUMENTATION OF VERNACULAR CONSTRUCTION METHODS : A BIM MODEL FOR THE COMMISSARIAT BUILDING ," vol. II, no. September, pp. 2–6, 2013, doi: 10.5194/isprsannals-II-5-W1-115-201.
- [10] T. Gesslein and D. Scherer, "BodyDigitizer : An Open Source Photogrammetry-based 3D Body Scanner," 2017, doi: <https://doi.org/10.48550/arXiv.1710.01370>.

- [11] M. Paneva, P. Panev, N. Stoimenov, and S. Gyoshev, "Methodology for 3D Scanning of Objects 2 Application of a 3D Scanning," vol. 18, pp. 216–220, 2023, doi: 10.37394/232011.2023.18.20.
- [12] A. Haleem, P. Gupta, S. Bahl, M. Javaid, and L. Kumar, "Materials Today : Proceedings 3D scanning of a carburetor body using COMET 3D scanner supported by COLIN 3D software : Issues and solutions," *Mater. Today Proc.*, vol. 39, pp. 331–337, 2021, doi: 10.1016/j.matpr.2020.07.427.
- [13] N. Tangthaweesuk, "The accuracy of three-dimensional facial scan obtained from three different 3d scanners," pp. 1–21, 2025, doi: 10.1371/journal.pone.0322358.
- [14] A. Somero, "3D-Scanner for Hochschule Esslingen," no. April, 2017, [Online]. Available: <https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2017101716113>
- [15] P. Son and E. Susianti, "Uji Kinerja Surface Scanner 3D Menggunakan Sensor VL53L0X dan Mikrokontroler," vol. 11, no. 1, 2019, [Online]. Available: <https://journal.unnes.ac.id/nju/jte/article/view/18821/9288>
- [16] P. Romano, M. Ippolito, and F. Vegli, "Chemical Characterization of an ARDUINO ® Board and Its Economic Value," vol. 11, no. 1, p. 12, 2023, doi: <https://doi.org/10.3390/pr11071911> Academic.
- [17] N. K. Prabowo and I. Irwanto, "The Implementation of Arduino Microcontroller Boards in Science : A Bibliometric Analysis from 2008 to 2022," vol. 37, no. 2, p. 121, 2023, doi: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2312.10840>.
- [18] C. Series, "An Arduino board with ultrasonic sensor investigation of simple harmonic motion An Arduino board with ultrasonic sensor investigation of simple harmonic motion," p. 5, 2019, doi: 10.1088/1742-6596/1380/1/012098.
- [19] S. Tselegkaridis and T. Sapounidis, "Learning Circuits and Coding with Arduino Board in Higher Education Using Tangible and Graphical User Interfaces," pp. 1–16, 2024, doi: <https://doi.org/10.3390/info15050245> Academic.
- [20] F. A. Silaban, S. Budiyo, and W. K. Raharja, "Stepper motor movement design based on FPGA," vol. 10, no. 1, pp. 151–159, 2020, doi: 10.11591/ijece.v10i1.pp151-159.
- [21] N. A. Iqteit, K. Yahya, F. M. Makahleh, H. Attar, and A. Amer, "Simple Mathematical and Simulink Model of Stepper Motor," vol. 15, pp. 1–14, 2022, doi: <https://doi.org/10.3390/en15176159>.

- [22] E. Science, "Speed Control of the Direct Current Servomotor and the Stepper Motor with Arduino UNO Platform Speed Control of the Direct Current Servomotor and the Stepper Motor with Arduino UNO Platform," vol. 17, pp. 1–10, 2021, doi: 10.1088/1755-1315/664/1/012055.
- [23] A. H. Patonra, S. Masita, N. R. Wibowo, and A. Fitriati, "Rancang Bangun Media Pembelajaran Praktik Motor Stepper," vol. 2, pp. 7–11, 2020, doi: <https://doi.org/10.61141/maple.v2i1.272>.
- [24] V. Mei *et al.*, "Pengisi Munisi Pada Magazen Senjata SS2-V4 Berbasis Reload Bullet In SS2-V4 Weapon Magazen Based On," vol. 3, pp. 29–34, 2022, doi: <https://doi.org/10.54317/elka.v3iMei>.
- [25] A. M. Karadeniz and P. T. Szemes, "Modelling and Simulation of Stepper Motor For Position Control Using LabVIEW," vol. 5, no. 1, pp. 5–9, 2018, doi: 10.17667/riim.2018.1/7.
- [26] C. Lai, B. Lin, H. Lai, and G. Chen, "FPGA-Based Hybrid Stepper Motor Drive System Design by Variable Structure Control," vol. 10, no. 6, pp. 1–18, 2021, doi: <https://doi.org/10.3390/act10060113> Academic.
- [27] S. Motor, M. Habil, F. Anayi, Y. Xue, and K. Alnagasa, "Analyzing the Design and Performance of a DC Linear," vol. 11, no. 8, pp. 1–13, 2023, doi: <https://doi.org/10.3390/machines11080785> Academic.
- [28] H. W. Handani, S. R. Sulistiyanti, and Y. Yulianti, "Rancang Bangun Mesin CNC Laser 4 Axis menggunakan Motor Stepper Tipe Nema 23 Terintegrasi Mach3 USB untuk Aplikasi Mesin Cutting Otomatis," vol. 13, no. 02, pp. 13–22, 2025, doi: <https://doi.org/10.23960/jtaf.v13i02>.
- [29] P. Wibowo, "Design and Construction of Computer Numeric Control (CNC) Machines Based on Microcontrollers," vol. 1, no. 3, pp. 1–12, 2024, doi: 10.30596/jitcse.
- [30] Y. Satriawan, "Sistem Kontrol Penggerak Motor Stepper Molding Microplastic Metode Fuzzy Logic Berbasis Myrio," vol. 9, pp. 1–8, 2022, doi: <http://dx.doi.org/10.33795/elkolind.v9i1/256>.
- [31] R. Aprianur, A. H. Kurniawan, and S. Pradana, "Rancang Bangun Alat Automatic Seeding Untuk Kebun Hidroponik Berbasis Arduino," vol. 06, no. 02, pp. 63–74, 2025, doi: <https://doi.org/10.46964/poligrid.v6i2.161>.

- [32] V. H. Pinto, J. Gonçalves, and P. Costa, “Modeling and Control of a DC Motor Coupled to a Non-Rigid Joint,” vol. 3, no. 2, pp. 1–19, 2020, doi: 10.3390/asi3020024.
- [33] M. Optimization, E. Motor, and G. Istenes, “Investigating the Effect of Gear Ratio in the Case of Joint,” vol. 17, no. 5, pp. 1–18, 2024, doi: 10.3390/en17051203.
- [34] A. I. Abouseda, “Experimental Investigation of Energy Efficiency , SOC Estimation , and Real-Time Speed Control of a 2 . 2 kW BLDC Motor with Planetary Gearbox Under Variable Load Conditions,” vol. 19, no. 1, pp. 1–29, 2026, doi: 10.3390/en19010036.
- [35] A. Latif, A. Z. Arfianto, H. A. Widodo, R. Rahim, and E. T. Helmy, “Motor DC PID System Regulator for Mini Conveyor Drive Based-on Matlab,” vol. 1, no. 6, pp. 185–190, 2020, doi: 10.18196/jrc.1636.
- [36] M. M. Imam, M. S. Al Misbah, and R. Setiawan, “Pengaruh Kendali Kecepatan Motor DC Pada Chopper Drive,” vol. 8, no. 150, pp. 1–5, 2021, doi: <https://doi.org/10.21107/triac.v8i2.11277>.
- [37] A. Fuggetta, E. Di Nitto, and P. Milano, “Software Process,” vol. 1, pp. 1–12, 2014, doi: <https://doi.org/10.1145/2593882.2593883>.
- [38] N. Mahmood, N. F. Troje, G. Pons-moll, and M. J. Black, “AMASS: Archive of Motion Capture as Surface Shapes,” vol. 1, pp. 1–12, 2019, doi: <https://doi.org/10.48550/arXiv.1904.03278> Focus to learn more.
- [39] M. De Ara, A. Ferro, M. Nunes, R. Almeida, and C. M. Guedes, “A New Full Digital Workflow for Fixed Prosthetic Rehabilitation of Full-Arch Edentulism Using the All-on-4 Concept,” vol. 60, no. 5, pp. 1–12, 2024, doi: <https://doi.org/10.3390/medicina60050720>.
- [40] C. Abad-coronel, L. Hidalgo, and J. L. Loyola, “Comparative Analysis between 3D-Printed Models Designed with Generic and Dental-Specific Software,” vol. 11, no. 9, pp. 1–13, 2023, doi: 10.3390/dj11090216.
- [41] F. F. Canova, G. Oliva, M. Beretta, and D. Dalessandri, “applied sciences Digital (R) Evolution : Open-Source Softwares for Orthodontics,” vol. 11, no. 13, pp. 1–11, 2021, doi: 10.3390/app11136033.
- [42] F. Hong, S. Hodges, and C. Myant, *Open5x : Accessible 5-axis 3D printing and conformal slicing*, vol. 1, no. 1. Association for Computing Machinery, 2022. doi:

doi.org/10.1145/3491101.3519782 Focus to learn more.

- [43] M. I. Hakiki, U. Darusalam, and N. D. Nathasia, “Konfigurasi Arduino IDE Untuk Monitoring Pendeteksi Suhu dan Kelembapan Pada Ruang Data Center Menggunakan Sensor DHT11,” vol. 4, pp. 150–156, 2020, doi: 10.30865/mib.v4i1.1876.
- [44] U. M. Setiabudi, J. Pangeran, and D. No, “IMPLEMENTASI SISTEM MONITORING SUHU DAN PH AIR KOLAM BUDIDAYA IKAN LELE MENGGUNAKAN ARDUINO ESP8266 DAN ARDUINO IDE,” vol. 12, no. 3, pp. 1–10, 2024, doi: <https://doi.org/10.23960/jitet.v12i3S1.5355>.
- [45] F. E. Maulana, L. Nurpulaela, T. Elektro, U. S. Karawang, P. Jaya, and T. Timur, “Konfigurasi Mikrokontroler STM32 Untuk Membaca Push Butoon Dengan Arduino IDE Pada Prototipe Smart Charger DI PT . PASIFIK SATELIT NUSANTARA,” vol. 8, no. 4, pp. 7278–7284, 2024, doi: <https://doi.org/10.36040/jati.v8i4.10184>.

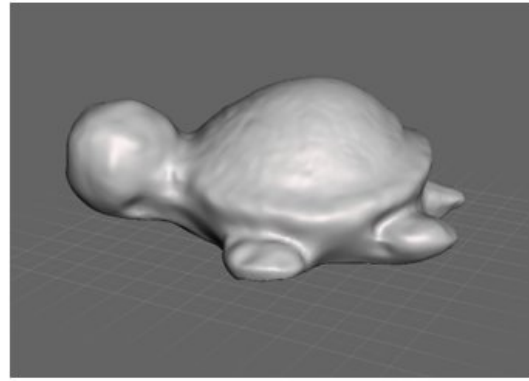
LAMPIRAN

1. Data hasil pengujian model mesin 3D *scanner*

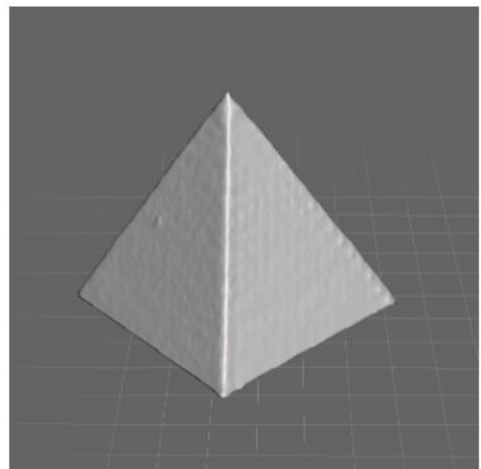
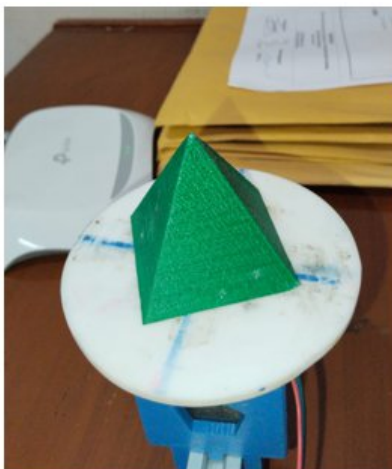
Lampiran ini memuat data hasil pengujian yang diperoleh selama penelitian berlangsung. Data yang disajikan digunakan sebagai pendukung analisis terhadap kinerja model mesin 3D *scanner*, mulai dari proses pemindaian objek, pengolahan model 3D, hingga proses pencetakan menggunakan mesin 3D *printing*. Penyajian data hasil pengujian ini diharapkan dapat memperjelas hasil penelitian yang telah dilakukan.

19. Hasil pengujian model mesin 3D *scanner*

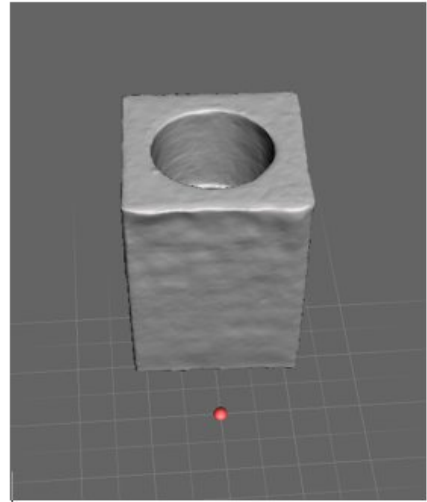
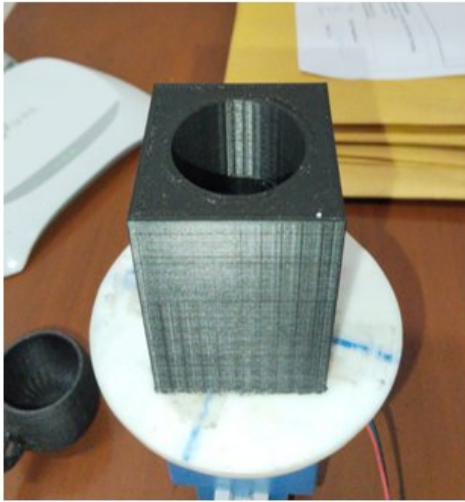
Kura kura



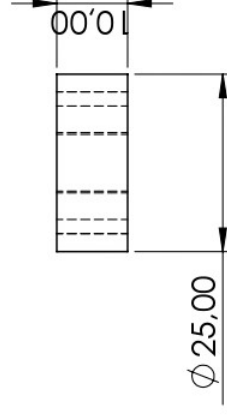
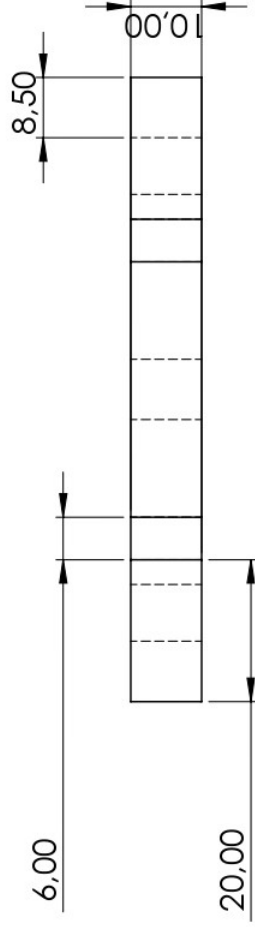
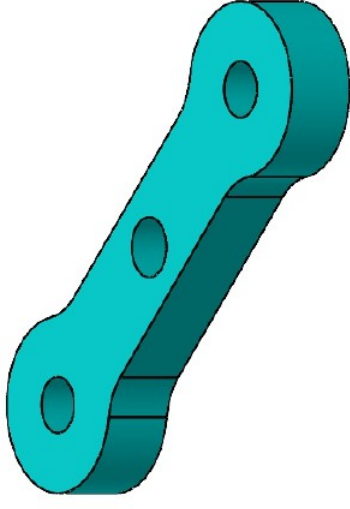
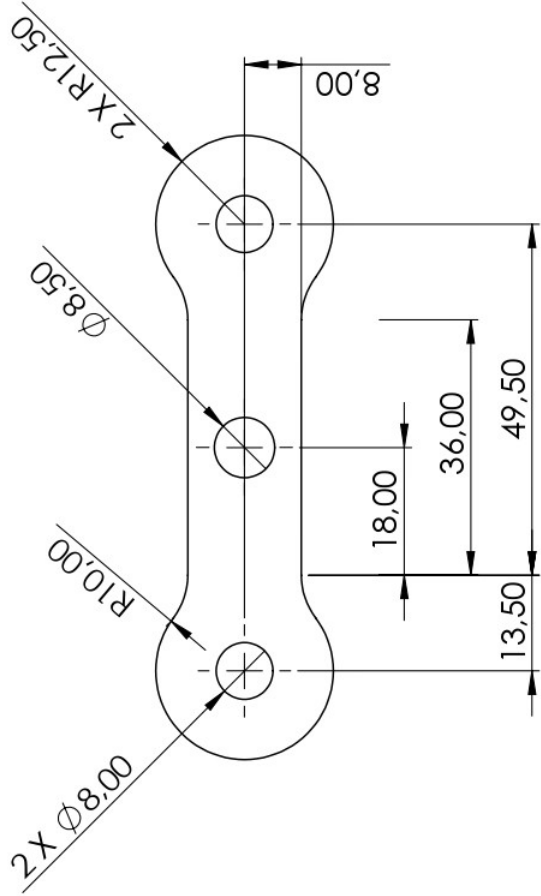
Limas segitiga

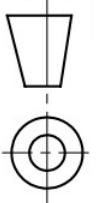


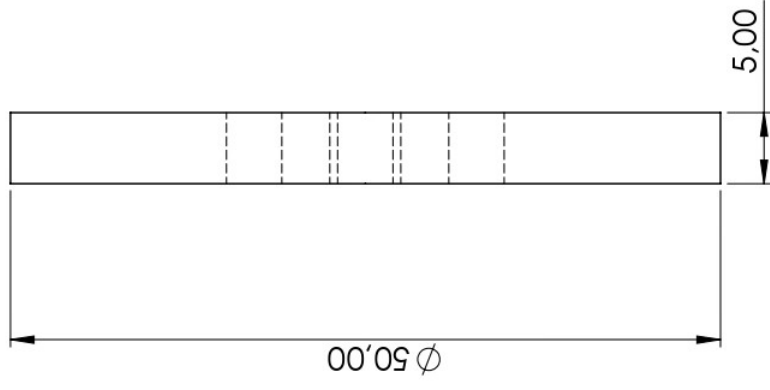
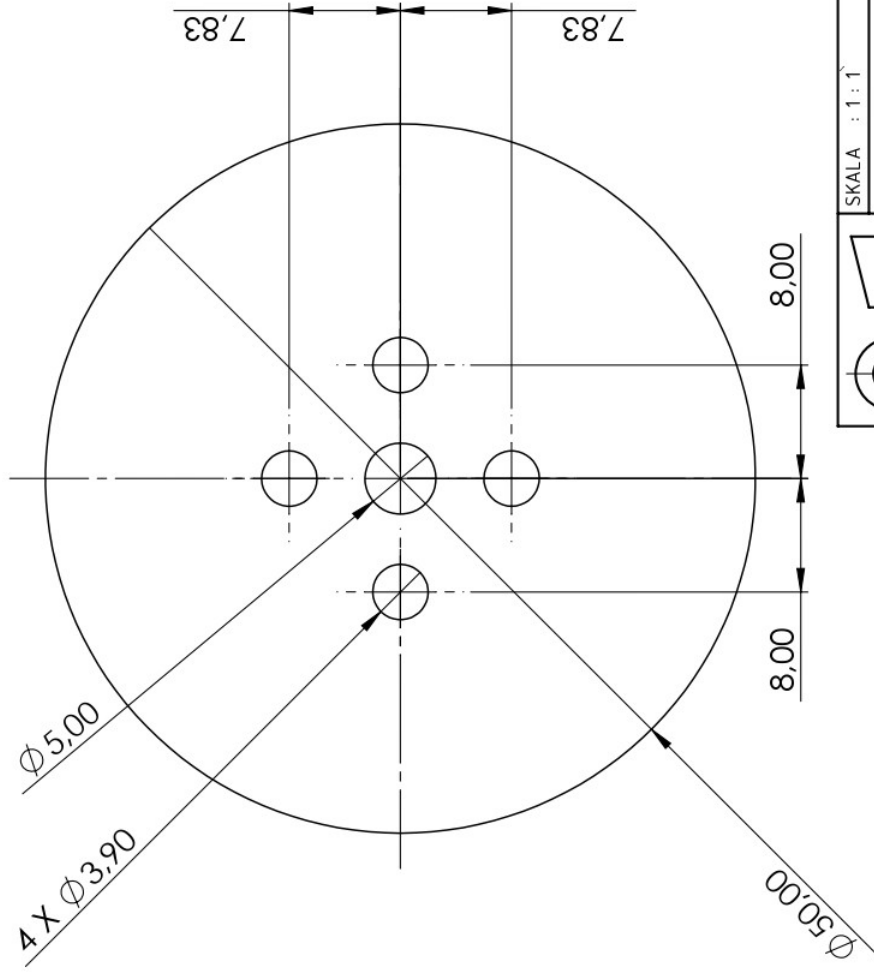
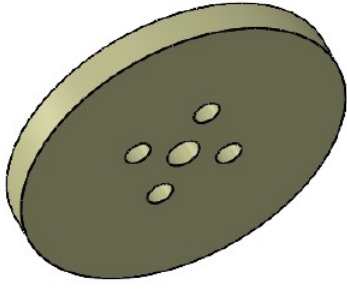
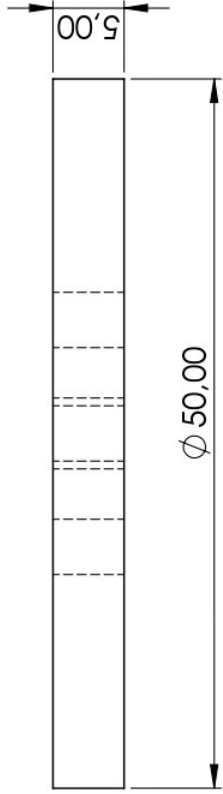
Balok



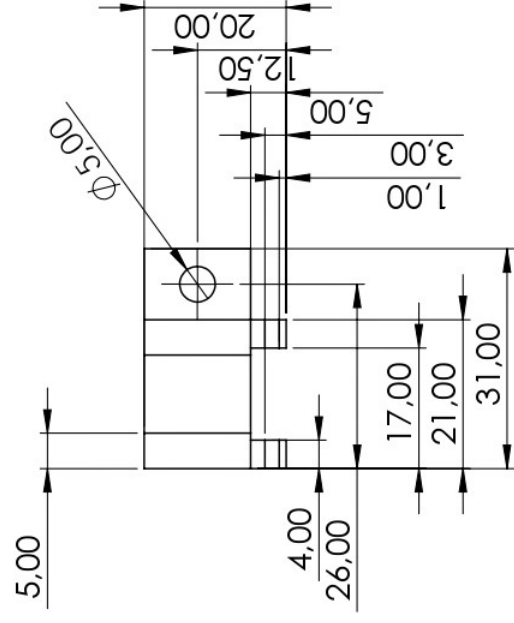
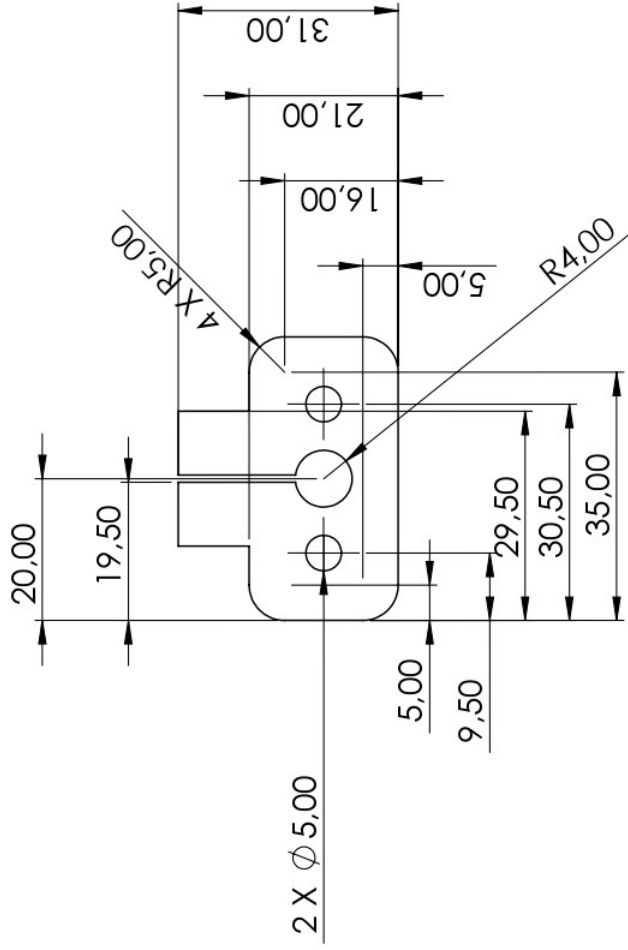
20. Gambar teknik



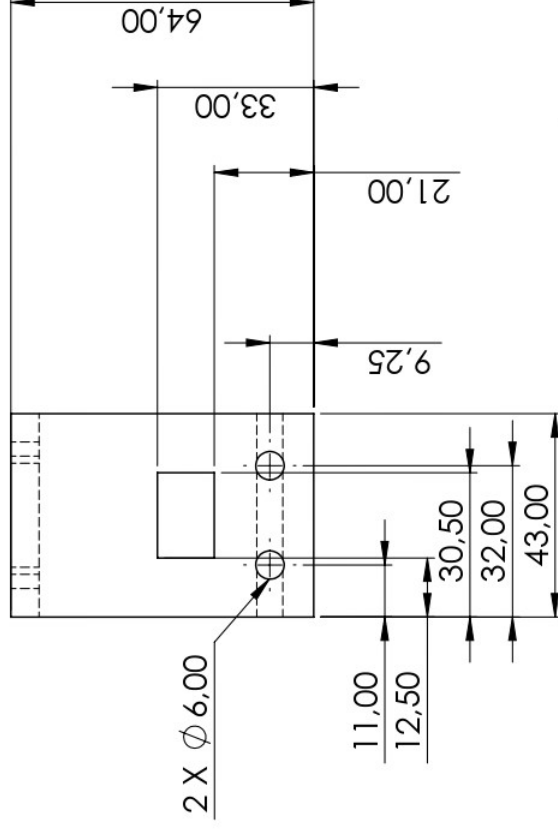
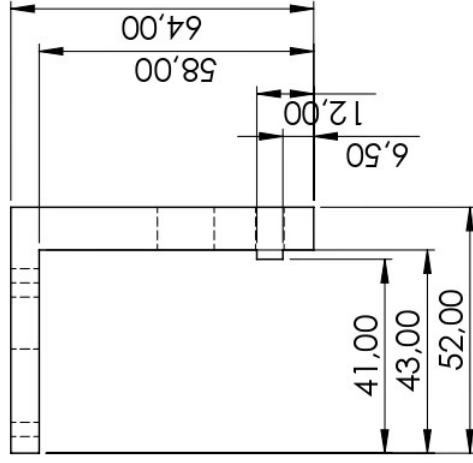
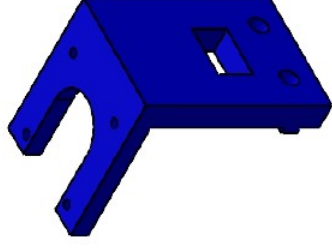
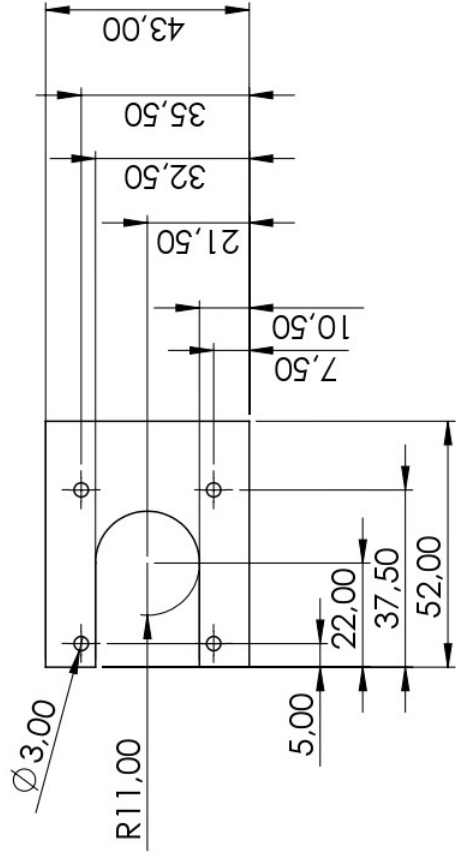
	SKALA : 1 : 1	DIGAMBAR : LUI ARAYA WIJAYA	KETERANGAN :	
	SATUAN : mm	NPM : 203030069		
	TANGGAL : 21-05-2025	DILIHAT : Dr. Ir. RACHMAD HARTONO, M. T.		
FT-UNPAS			PENYANGGA LINEAR SHAFT	NO.1
				A4

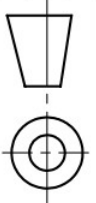


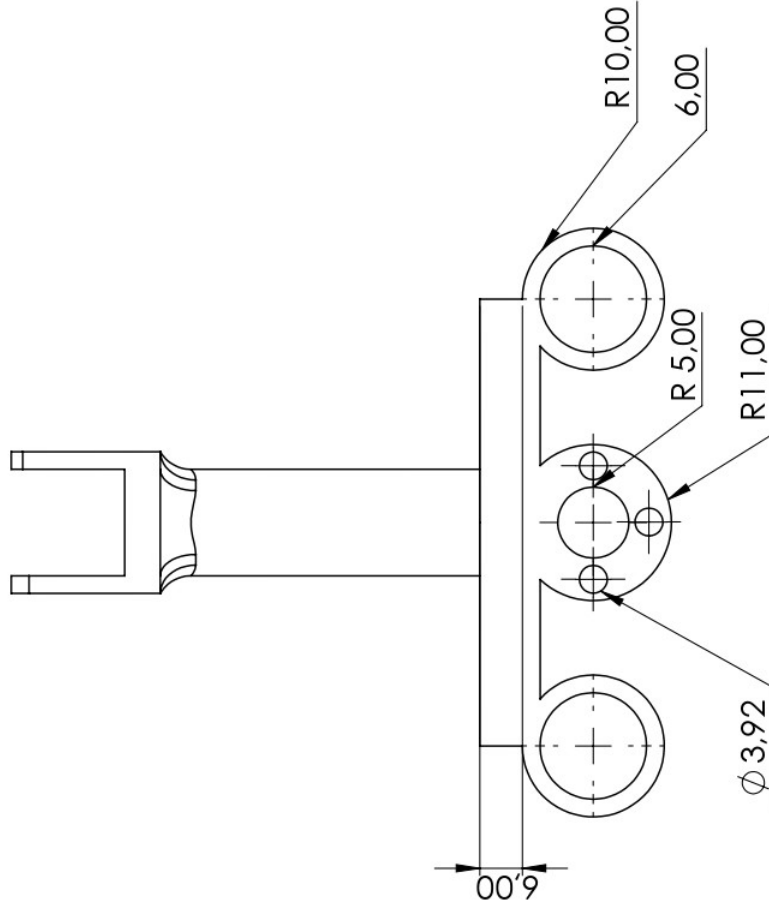
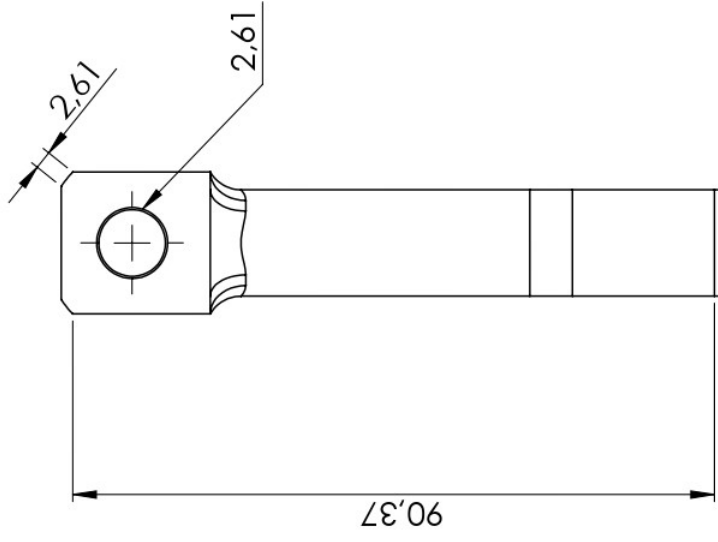
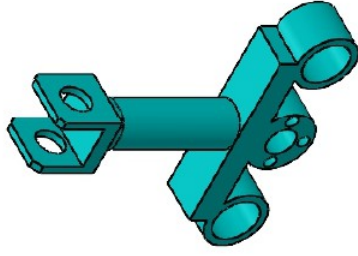
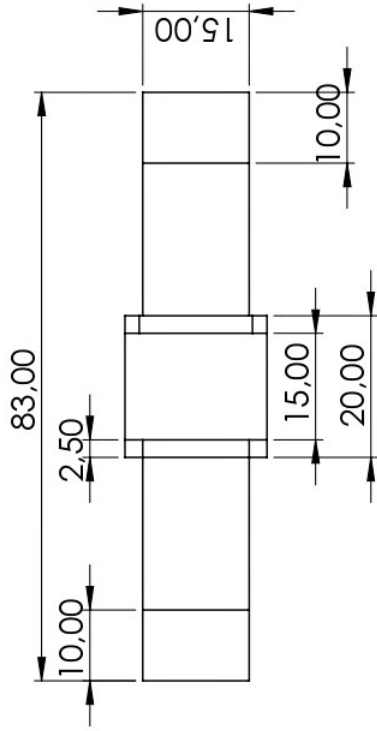
	SKALA : 1 : 1	DIGAMBAR : LUI ARAYA WIJAYA	KETERANGAN :	
	SATUAN : mm	NPM : 203030069		
	TANGGAL : 21-05-2025	DILIHAT : Dr. Ir. RACHMAD HARTONO, M. T.		
FT-UNPAS			TURN TABLE	N0.2
				A4

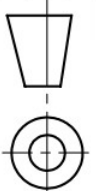


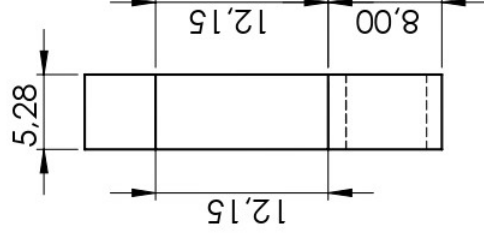
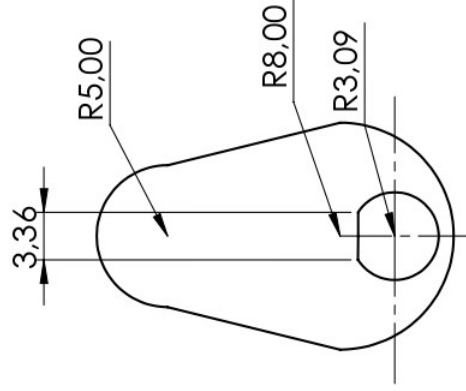
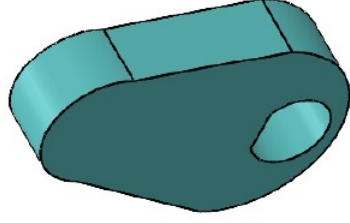
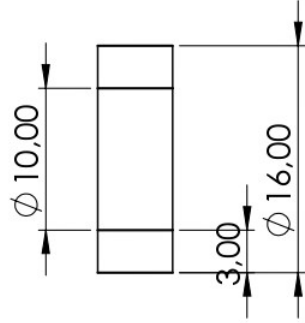
	SKALA : 1 : 1	DIGAMBAR : LUI ARAYA WIJAYA	KETERANGAN :	
	SATUAN : mm	NPM : 203030069		
	TANGGAL : 25-05-2025	DILIHAT : Dr. Ir. RACHMAD HARTONO, M. T.		
FT - UNPAS		PENGUNCI LINEAR SHAFT	N0.3	A4



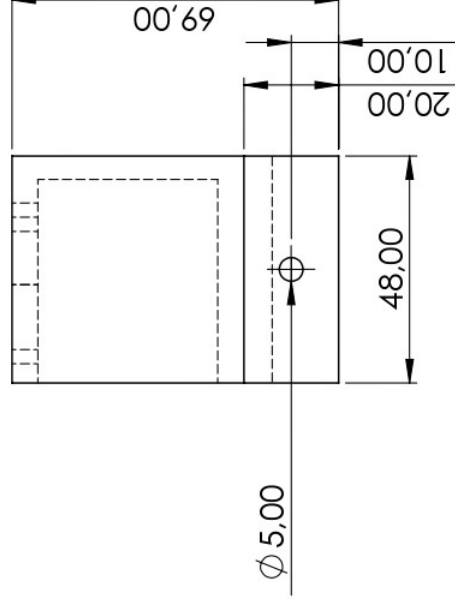
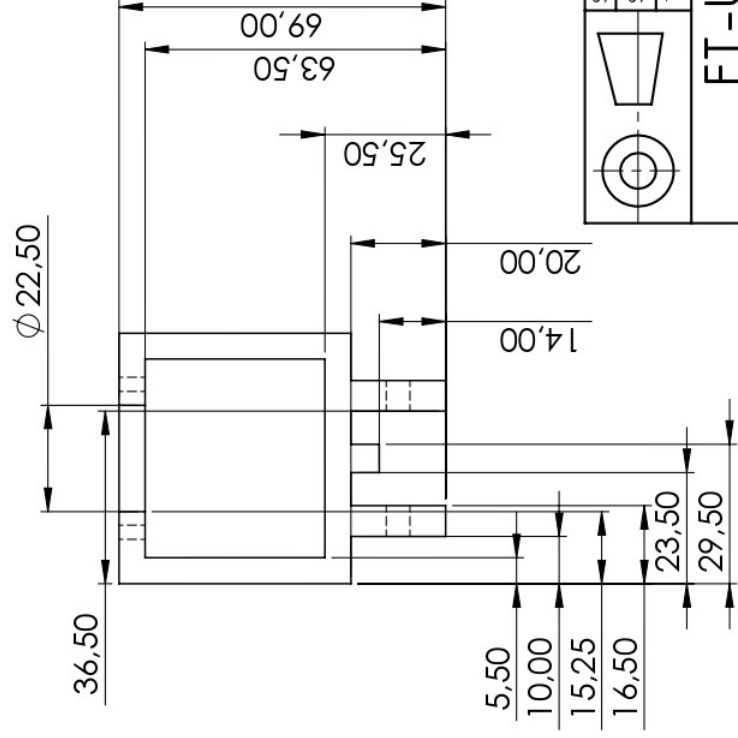
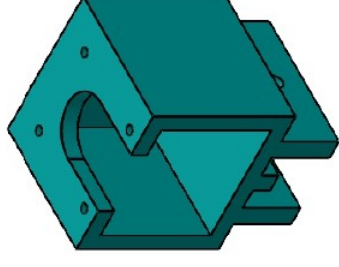
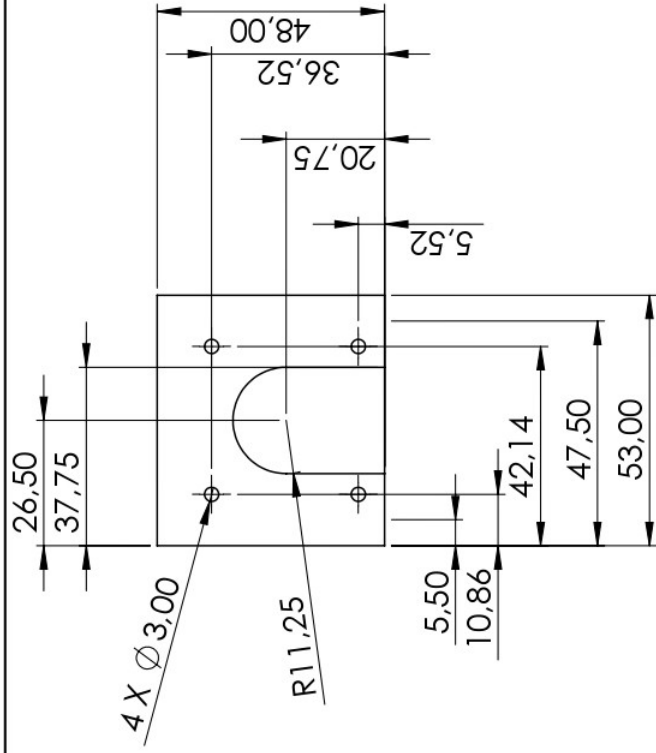
	SKALA : 1 : 1	DIGAMBAR : LUI ARAYA WIJAYA	KETERANGAN :	
	SATUAN : mm	NPM : 203030069		
	TANGGAL : 25-05-2025	DILIHAT : Dr. Ir. RACHMAD HARTONO, M. T.		
	FT-UNPAS	MOUNTING MOTOR STEPPER SUMBU Z	NO.4	A4



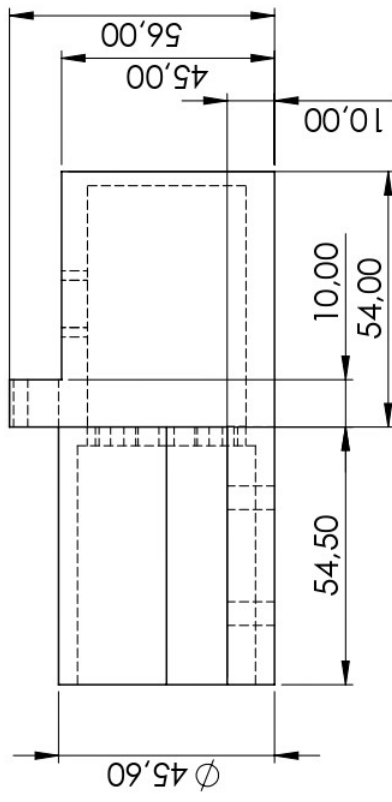
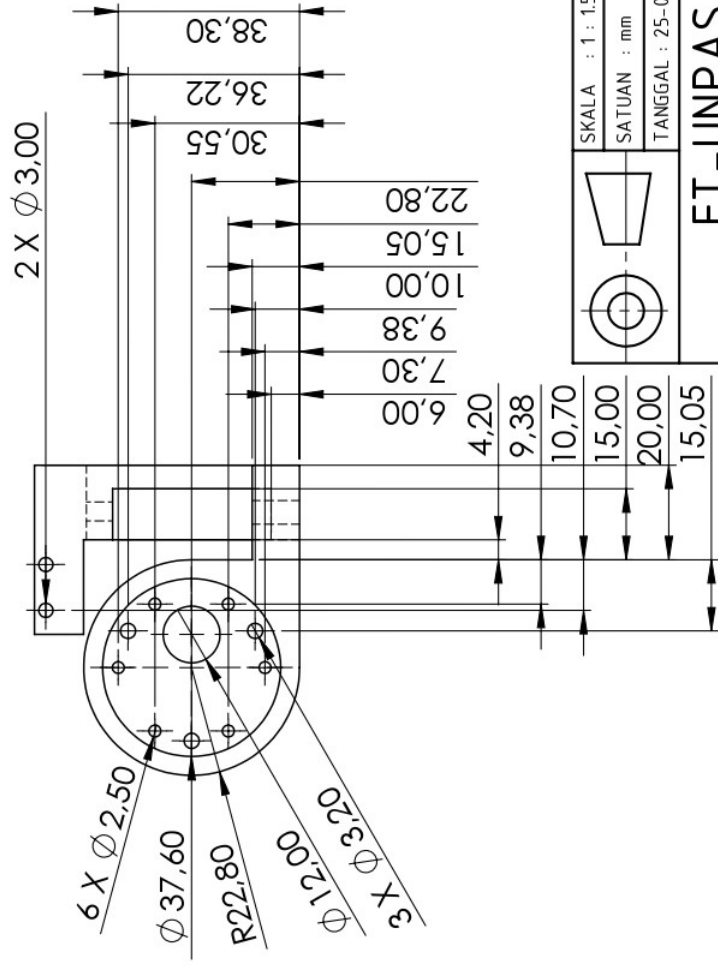
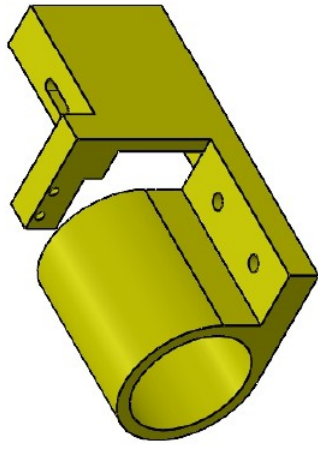
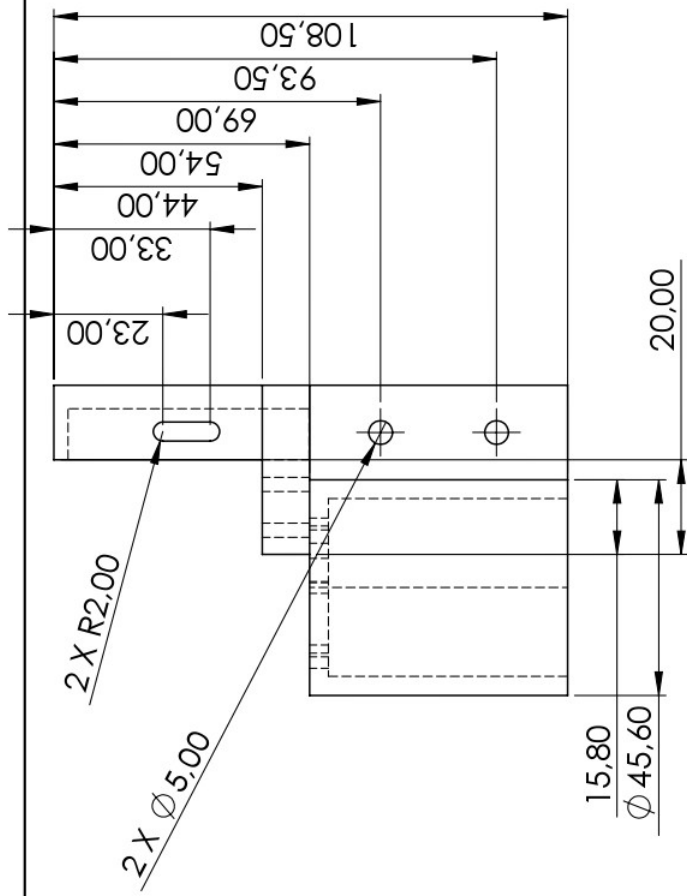
	SKALA : 1:1	DIGAMBAR : LUI ARAYA WIJAYA	KETERANGAN :	
	SATUAN : mm	NPM : 203030069		
	TANGGAL : 22-05-2026	DILIHAT : Dr. Ir. RACHMAD HARTONO, M. T.		
FT-UNPAS			Adjustable slider bracket	N0.5
				A4



	SKALA : 2 : 1	DIGAMBAR : LUI ARAYA WIJAYA	KETERANGAN :
	SATUAN : mm	NPM : 203030069	
	TANGGAL : 21-05-2025	DILIHAT : Dr. Ir. RACHMAD HARTONO, M. T.	
FT-UNPAS		CAM PENEKAN TOMBOL	NO.6
			A4



	SKALA : 1 : 1.5	DIGAMBAR : LUI ARAYA WIJAYA	KETERANGAN :	
	SATUAN : mm	NPM : 203030069		
	TANGGAL : 25-05-2025	DILIHAT : Dr. Ir. RACHMAD HARTONO, M. T.		
FT - UNPAS		RUMAH MOTOR STEPPER	NO.7	A4



	SKALA : 1 : 1,5	DIGAMBAR : LUI ARAYA WIJAYA	KETERANGAN :
	SATUAN : mm	NPM : 203030069	
	TANGGAL : 25-05-2025	DILIHAT : Dr. Ir. RACHMAD HARTONO, M. T.	

FT-UNPAS

COVER MOTOR DC

N0.8

A4