

**RANCANG BANGUN MEKANISME PEMBUKA PINTU PADA
ROBOT ASISTEN MEDIS**

TUGAS AKHIR

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



Disusun Oleh :

Nama : Muhammad Al Qadim

No. Mahasiswa : 17525050

NIRM : 2017023606

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

2021

PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini,

Nama : Muhammad Al Qadim

NIM : 17525050

Program Studi : S1, Teknik Mesin

Institusi : Universitas Islam Indonesia

Judul Laporan : Rancang Bangun Mekanisme Pembuka Pintu pada *Robot* Asisten Medis

Dengan ini saya menyatakan, semua yang saya tulis pada Tugas Akhir ini adalah hasil karya saya sendiri kecuali kutipan atau ringkasan yang saya ambil sebagai referensi dan telah saya cantumkan sumber-sumbernya. Apabila di kemudian hari pengakuan saya terbukti tidak benar, maka saya bersedia mengikuti hukuman ataupun sanksi yang diberikan sesuai hukum yang berlaku.

Yogyakarta, 19 Agustus 2021



Muhammad Al Qadim
17525050

LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PEMBIMBING

**RANCANG BANGUN MEKANISME PEMBUKA PINTU PADA
ROBOT ASISTEN MEDIS**

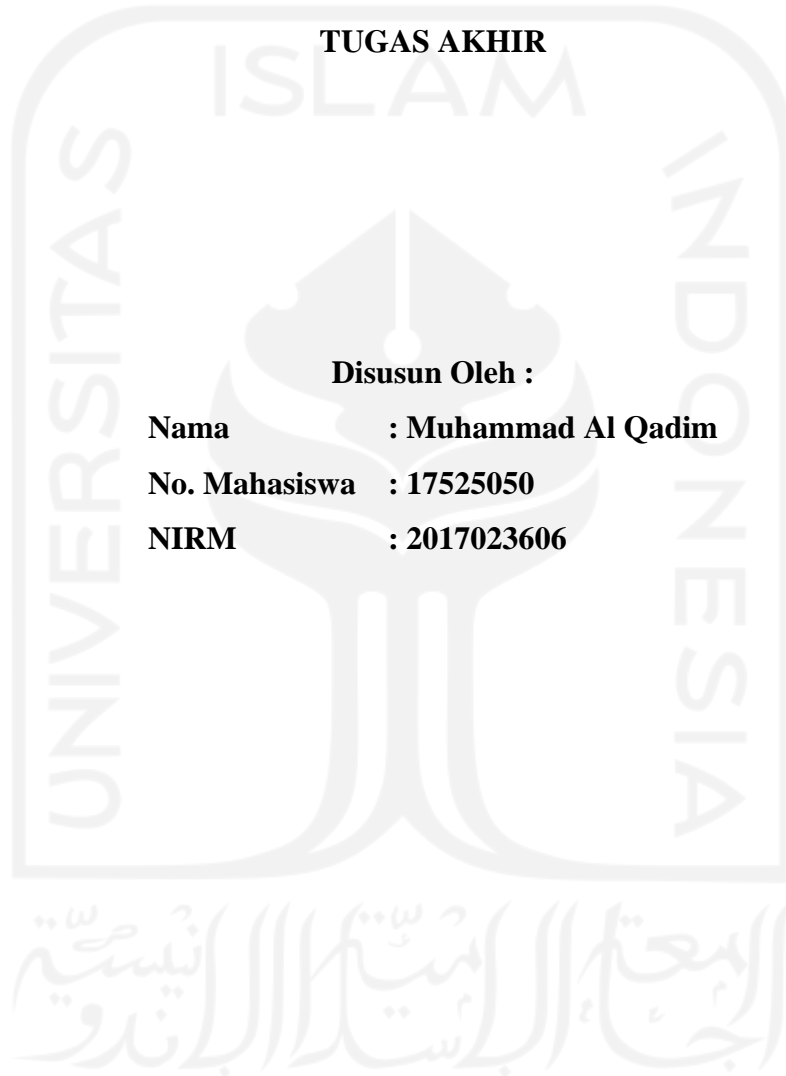
TUGAS AKHIR

Disusun Oleh :

Nama : Muhammad Al Qadim

No. Mahasiswa : 17525050

NIRM : 2017023606



Yogyakarta, 16 Juli 2021

Pembimbing,

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Donny Suryawan', is placed above the printed name.

Donny Suryawan, S.T, M.Eng.

LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PENGUJI

RANCANG BANGUN MEKANISME PEMBUKA PINTU PADA ROBOT ASISTEN MEDIS

TUGAS AKHIR

Disusun Oleh :

Nama : Muhammad Al Qadim

No. Mahasiswa : 17525050

NIRM : 2017023606

Tim Penguji

Donny Suryawan, S.T., M.Eng.

Ketua



Tanggal : 14 Agustus 2021

Purtojo, S.T., M.Sc.

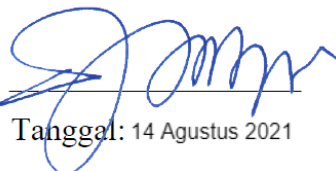
Anggota I



Tanggal : 14 Agustus 2021

Santo Ajie Dhewanto, S.T., M.M.

Anggota II



Tanggal: 14 Agustus 2021

Mengetahui

Ketua Jurusan Teknik Mesin



Dr. Eng. Kisdiono, S.T., M.Eng.

HALAMAN PERSEMBAHAN

*Hari-hari ku jalani dengan penuh rintangan
Masalah demi masalah terus menerus menghalangi
Mencoba membuatku menyerah saja dengan realita kehidupan ini
Namun aku tidak tergoda dengan hal itu
Setiap masalah membuatku menjadi lebih baik
Menjadi pribadi yang paham apa yang salah
Menjadi hamba Allah SWT. yang terus berikhtiar
Menjadi anak yang berbakat dari orang tua yang hebat
Menjadi teman yang terus mendukung sahabat-sahabatnya
Serta menjadi mahasiswa teladan berjiwa KSATRIA di kampus tercinta
Universitas Islam Indonesia
Ku curahkan semua ilmu yang kupelajari di perkuliahan
Dari Pengalaman mengajar
Pengalaman berkompetisi
Pengalaman berorganisasi
Hingga pengalaman kerja praktek
Demi sempurnanya hasil laporan ini
Serta bergunanya hasil perancangan tugas akhir ini
Sebagai bentuk pengabdian ku
Sebagai anak bangsa yang akan memajukan perindustrian dunia
Ku ucapkan terima kasih
Dari lubuk hati yang terdalam
Atas jasa yang mendukung, membimbing dan mendampingi
Kepada Allah SWT., Bapak-Ibu ku, Saudara ku, Teman Seperjuanganku
Dan Dosen pembimbing ku
Dengan penuh penghormatan, ku persembahkan karya ini.
Semoga menjadikannya informasi yang bermanfaat*

Dariku,

Muhammad Al Qadim

HALAMAN MOTTO

“Untuk menjadi sukses, perlu mencintai proses. Proses yang diselingi dengan kegagalan, sebuah pelajaran yang harus diterima.”

- Putri Tanjung.

“Kegagalan termasuk pilihan. Jika sesuatu tidak gagal, berarti kamu belum cukup berinovasi.”

- Elon Musk

“Alasan mengapa banyak orang yang tidak menyadari kesempatan adalah karena kesempatan selalu muncul dalam bentuk kerja keras.”

- Thomas Alva Edison

“Jika ragu saat bertindak, cari tau dengan cermat dahulu dan belajar dari kesalahan orang lain.”

KATA PENGANTAR ATAU UCAPAN TERIMA KASIH

Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.

Alhamdulillah, puji syukur kehadirat Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan inayah-Nya sehingga saya dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir yang berjudul **“Rancang Bangun Mekanisme Pembuka Pintu pada Robot Asisten Medis.”**

Segala dukungan yang saya dapatkan sangat berpengaruh terhadap kelancaran penyusunan laporan tugas akhir dan proses perancangan ini, oleh karena itu saya mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak dan Ibu orangtua saya, yang terus mendukung secara tidak langsung dalam lancarnya perkuliahan saya.
2. Pak Donny Suryawan, ST., M.Eng. selaku dosen pembimbing yang telah membimbing dan membantu saya baik secara moral maupun materi.
3. Rahmat Irvan Rinaldy, selaku rekan kerja dalam proses rancang bangun purwarupa perancangan ini pada bagian sistem kendali.
4. Kakak dan sahabat-sahabat saya, atas waktu yang diluangkan dalam menemani proses penyusunan laporan ini.

Saya menyadari, bahwa laporan tugas akhir yang saya buat ini masih belum sempurna baik dari segi penyusunan, bahasa, maupun penulisannya. Oleh karena itu, saya minta maaf jika masih ada kesalahan dan sangat mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari semua pembaca guna menjadi acuan agar saya bisa menjadi lebih baik lagi di masa mendatang. Semoga laporan tugas akhir ini bisa menambah wawasan para pembaca dan bisa bermanfaat untuk perkembangan dan peningkatan ilmu pengetahuan.

Yogyakarta, 16 Juli 2021

Penulis,



Muhammad Al Qadim

ABSTRAK

Kondisi dunia dari awal tahun 2020 terdampak pandemi virus *COVID-19*. Semua negara terdampak paparannya tidak terkecuali negara Indonesia. Selain alat-alat bantu pernapasan dan ruang isolasi untuk pasien, diperlukan juga alat-alat bantu untuk petugas medis seperti masker, *face shield* dan seragam APD (Alat Pelindung Diri). Jika pandemi virus ini akan berlangsung lama, maka diperlukan ketersediaan alat-alat bantu yang cukup. Untuk membantu petugas medis dalam meminimalisir kontak langsung dengan pasien guna mengurangi pemakaian APD berlebih, maka diperlukan mesin pembantu atau *robot* asisten medis sebagai pengganti petugas medis yang akan mengantarkan barang seperti obat, makanan dan barang-barang lain ke pasien secara langsung. *Robot* asisten medis kendali jarak jauh yang sudah banyak dibuat purwarupanya mayoritas belum bisa membuka pintu. Oleh karena itu pada perancangan ini dibuatnya Mekanisme Pembuka Pintu yang bisa terpasang langsung pada rangka badan UMAR (Unisi *Medical Assistant Robot*). Mekanisme pembuka pintu ini mampu menarik gagang pintu layaknya gerakan lengan manusia. Aktuator pada mekanisme ini terdiri dari motor *DC Mabuchi LC-578VA* yang direduksi dengan roda gigi rasio 8 : 1 berbahan PLA serta motor *Servo TowerPro MG996R* untuk aktuator pengait gagang pintu. Pintu yang terpasang hidrolis/pegas penutup pintunya dapat ditarik oleh mekanisme ini dengan gaya tarik sebesar 53,31 N (5,44 kgf) selama 3 detik pada arus 12 V - 3,5 A.

Kata Kunci : Robot, Asisten Medis, Mekanisme, Pembuka Pintu,

DAFTAR ISI

Halaman Judul	i
Lembar Pengesahan Dosen Pembimbing	ii
Lembar Pengesahan Dosen Penguji	iii
Halaman Persembahan	iv
Halaman Motto	v
Kata Pengantar atau Ucapan Terima Kasih	vi
Abstrak	vii
Daftar Isi	viii
Daftar Tabel	x
Daftar Gambar	xi
Daftar Notasi	xiv
Bab 1 Pendahuluan	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan Penelitian atau Perancangan	3
1.5 Manfaat Penelitian atau Perancangan	3
1.6 Sistematika Penulisan	3
Bab 2 Tinjauan Pustaka	5
2.1 Kajian Pustaka	5
2.2 Dasar Teori	10
2.2.1 Robotika	10
2.2.2 <i>Computer-aided Design</i>	11
2.2.3 Momen Gaya	11
2.2.4 Hukum Newton I	12
2.2.5 Hukum Newton II	12
2.2.6 <i>Spur Gear</i>	13
2.2.7 <i>Virtual Prototyping</i>	14
Bab 3 Metode Penelitian	15
3.1 Alur Penelitian	15

3.2	Kriteria Desain	15
3.3	Peralatan dan Bahan.....	16
3.4	Perancangan	21
3.4.1	Ide Mekanisme	22
3.4.2	Perhitungan dan Pemilihan Aktuator.....	27
3.4.3	Pemodelan CAD	33
3.4.4	Proses Pemesinan	40
3.4.5	Proses Perakitan.....	48
3.4.6	Persiapan Simulasi.....	53
Bab 4	Hasil dan Pembahasan	57
4.1	Hasil Perancangan.....	57
4.2	Hasil Pengujian	60
4.3	Analisis dan Pembahasan.....	62
4.3.1	Analisis Gaya yang Terjadi pada <i>Gear</i>	62
4.3.2	<i>Static Analysis Gears</i>	63
4.3.3	<i>Static Analysis Hook</i>	66
4.3.4	Analisis Kecepatan Akhir dan Torsi Akhir	68
4.3.5	Pembahasan Hasil Simulasi Membuka Pintu	69
4.3.6	Percobaan dan Kesalahan Lain.....	72
4.3.7	Perbandingan UMAR Dengan <i>Robot Lain</i>	73
Bab 5	Penutup.....	74
5.1	Kesimpulan	74
5.2	Saran atau Penelitian Selanjutnya.....	74
	Daftar Pustaka	75
	Lampiran 1 Katalog Motor LC-578VA.....	76
	Lampiran 2 Katalog Motor <i>Servo</i> MG996R.....	77
	Lampiran 3 <i>Bill of Materials</i> dan Gambar Teknik	79

DAFTAR TABEL

Tabel 2-1 Ringkasan Kajian Pustaka.....	9
Tabel 3-1 Kriteria Desain	15
Tabel 3-2 Kelebihan dan Kekurangan Alternatif Desain	26
Tabel 4-1 Hasil Analisis Kekuatan Komponen pada Torsi Motor 3,5 Nm	67
Tabel 4-2 Hasil Analisa Kekuatan Komponen pada Torsi Motor 1,25 Nm	69



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1-1 Grafik Akumulasi Data Kasus COVID-19 di Indonesia.....	1
Gambar 2-1 Lengan <i>Robot</i> Asisten Medis dengan 6 Derajat Kebebasan.....	6
Gambar 2-2 <i>Robot</i> UMAR	7
Gambar 2-3 <i>Robot</i> ATMABOT.....	8
Gambar 3-1 Alur Perancangan	15
Gambar 3-2 <i>Miter Saw</i>	16
Gambar 3-3 Mesin 3D <i>Printer Flashforge</i>	17
Gambar 3-4 Mesin <i>Laser Cutting Metal</i>	17
Gambar 3-5 <i>Benchtop Drill Press</i>	17
Gambar 3-6 Timbangan Tarik	18
Gambar 3-7 Jangka Sorong	18
Gambar 3-8 Mistar	18
Gambar 3-9 Filamen PLA	19
Gambar 3-10 Plat <i>Stainless Steel</i> 2 mm	19
Gambar 3-11 Aluminium <i>Hollow</i> 23x23 mm	20
Gambar 3-12 Motor <i>Servo</i> MG996R.....	20
Gambar 3-13 Motor <i>DC Mabuchi</i> LC-578VA.....	20
Gambar 3-14 Baut M3x50 mm.....	21
Gambar 3-15 <i>Flanged Bearing</i> F963ZZ.....	21
Gambar 3-16 Purwarupa Awal <i>Robot</i> UMAR	22
Gambar 3-17 Sketsa Alternatif Desain-1	23
Gambar 3-18 Sketsa Alternatif Desain-2	24
Gambar 3-19 Sketsa Alternatif Desain-3	25
Gambar 3-20 Pengukuran Gaya Tarik Pintu	27
Gambar 3-21 Sketsa Pengukuran Gaya Tarik Pintu.....	28
Gambar 3-22 Sketsa Penarikan Pintu dengan Mekanisme Lengan.....	28
Gambar 3-23 Sketsa Sudut Jangkauan Gerak Lengan.....	29
Gambar 3-24 Grafik Torsi yang Dibutuhkan Bahu	30
Gambar 3-25 Sketsa Mekanisme Pengait.....	32
Gambar 3-26 Desain Awal <i>Robot</i> UMAR.....	33

Gambar 3-27 Desain <i>Sub-Assembly Hook</i>	34
Gambar 3-28 Desain <i>Spur Gear</i> dan <i>Hook</i>	34
Gambar 3-29 Desain <i>Gear Reducer</i> Tampak Atas Isometris	35
Gambar 3-30 Desain <i>Gear Reducer</i> Tampak Bawah Isometris	35
Gambar 3-31 <i>Spur Gear ISO Module 3 64T</i>	36
Gambar 3-32 Konfigurasi <i>Gear Reducer</i>	37
Gambar 3-33 <i>Sub-Assembly</i> Lengan dengan <i>Hook</i>	37
Gambar 3-34 Desain Lengan dengan Aluminium <i>Hollow</i>	38
Gambar 3-35 Desain Plat Bagian <i>Link</i> Lengan	39
Gambar 3-36 Desain Plat Bagian <i>Hook</i> dan Siku Lengan	39
Gambar 3-37 Desain <i>Full Assembly</i> Lengan Kondisi <i>Standby</i>	40
Gambar 3-38 Desain <i>Full Assembly</i> Lengan Kondisi Menggapai Pintu	40
Gambar 3-39 Pengaturan Cetak <i>Hook</i>	41
Gambar 3-40 Pratinjau Hasil Cetak <i>Hook</i>	41
Gambar 3-41 Proses <i>3D Printing Hook</i>	42
Gambar 3-42 Pengaturan Cetak <i>Gear Middle</i>	42
Gambar 3-43 Pratinjau Hasil Cetak <i>Gear Middle</i>	43
Gambar 3-44 Pengaturan Cetak <i>Gear</i> Lengan	43
Gambar 3-45 Pratinjau Hasil Cetak <i>Gear</i> Lengan	44
Gambar 3-46 Pengaturan Cetak <i>Gear Servo</i> dan <i>Gear Hook</i>	44
Gambar 3-47 Pratinjau Hasil Cetak <i>Gear Servo</i> dan <i>Gear Hook</i>	45
Gambar 3-48 Pratinjau <i>file Lasercutting</i> Plat Siku Lengan.....	46
Gambar 3-49 Pratinjau <i>File Lasercutting</i> Plat <i>Hook</i>	46
Gambar 3-50 Pratinjau <i>File Lasercutting</i> Plat Lengan.....	47
Gambar 3-51 Pratinjau <i>File Lasercutting</i> Plat <i>Gearset</i> dan <i>Bracket Motor</i>	48
Gambar 3-52 <i>Explode View</i> Perakitan Siku Lengan	49
Gambar 3-53 <i>Explode View</i> Perakitan <i>Hook</i>	49
Gambar 3-54 Perakitan Plat Siku Lengan dan Plat Bagian <i>Hook</i>	49
Gambar 3-55 <i>Explode View</i> Perakitan Lengan.....	50
Gambar 3-56 <i>Explode View</i> Perakitan <i>Gearset</i>	50
Gambar 3-57 Pemasangan <i>Gear Middle</i>	51
Gambar 3-58 Ukuran Pintu Laboratorium Mekatronika	52

Gambar 3-59 Pemasangan Rangka Hub Badan-Lengan	52
Gambar 3-60 Hasil Perakitan	53
Gambar 3-61 Pemasangan <i>Limit Switch</i>	53
Gambar 3-62 Perakitan Elektrik Sistem Kendali	54
Gambar 3-63 Pintu Rumah Sakit JIH.....	54
Gambar 3-64 Pintu Laboratorium Mekatronika	55
Gambar 3-65 Desain <i>Custom</i> Gagang Pintu Silinder	55
Gambar 3-66 Pemasangan Gagang Pintu Tambahan	56
Gambar 4-1 <i>Full Assembly</i> dengan Lengan Posisi <i>Standby</i>	57
Gambar 4-2 Tampilan <i>Virtual Robot</i> UMAR Menarik Gagang Pintu	57
Gambar 4-3 Lebar <i>Robot</i> pada Posisi Sudut Gerak Lengan Terjauh	58
Gambar 4-4 Lengan Mekanisme Pembuka Pintu Tampak Atas	58
Gambar 4-5 Lengan Mekanisme Pembuka Pintu Tampak Bawah.....	59
Gambar 4-6 <i>Robot</i> UMAR Tampak Depan.....	59
Gambar 4-7 <i>Robot</i> UMAR Tampak Samping	59
Gambar 4-8 <i>Robot</i> UMAR Tampak Isometris	60
Gambar 4-9 Simulasi Menarik Pintu	60
Gambar 4-10 Percobaan Gerakan Lengan Tanpa Beban.....	61
Gambar 4-11 Urutan Gerak <i>Robot</i> Membuka Pintu.....	61
Gambar 4-12 Sketsa Distribusi Pembebanan <i>Gear</i> pada Torsi Motor 3,5 Nm	63
Gambar 4-13 Sketsa Pembebanan pada <i>Gear Servo</i>	63
Gambar 4-14 <i>Stress Analysis Gear Middle</i>	64
Gambar 4-15 <i>Stress Analysis Gear Lengan</i>	65
Gambar 4-16 <i>Stress Analysis Gear Servo</i>	65
Gambar 4-17 <i>Stress Analysis Gear Hook</i>	66
Gambar 4-18 <i>Stress Analysis Hook</i>	67
Gambar 4-19 Sketsa Distribusi Pembebanan <i>Gear</i> pada Torsi Motor 1,25 Nm ..	69
Gambar 4-20 <i>Robot</i> Membuka Pintu dari Dalam Ruangan.....	70
Gambar 4-21 Desain Awal <i>Prototype Robot</i> UMAR Tampak Bawah Isometris.	70
Gambar 4-22 <i>Gear</i> Lengan Rusak.....	71
Gambar 4-23 Uji Kekuatan <i>Gear</i> Lengan <i>Alloy Steel</i>	72
Gambar 4-24 Motor JGY-370 60 rpm.....	73

DAFTAR NOTASI

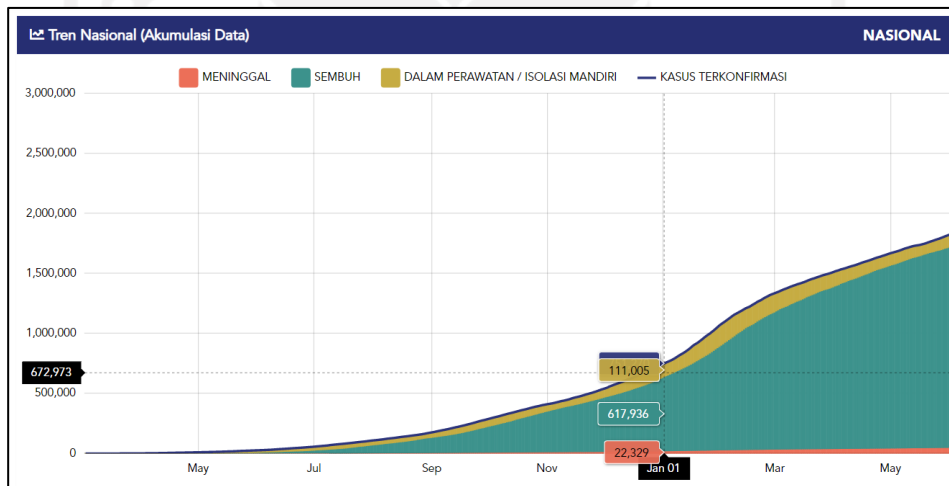
a	=	Percepatan (m/s^2)
d_1	=	Diameter Awal (cm)
d_2	=	Diameter Akhir (cm)
F	=	Gaya (N)
F_n	=	Gaya Normal (N)
i	=	Angka Transmisi
m	=	Massa (kg)
n_1	=	Kecepatan Putar Awal (rpm)
n_2	=	Kecepatan Putar Akhir (rpm)
N_{t1}	=	Jumlah Gigi pada <i>Gear</i> Pertama
N_{t2}	=	Jumlah Gigi pada <i>Gear</i> Kedua
θ	=	Sudut (derajat)
r	=	Panjang (cm)
r_v	=	Perbandingan Kecepatan
τ_1	=	Torsi Awal (Nm) atau (kgf.cm)
τ_2	=	Torsi Akhir (Nm) atau (kgf.cm)
ω_1	=	Kecepatan Sudut Awal (rad/detik)
ω_2	=	Kecepatan Sudut Akhir (rad/detik)

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pada awal tahun 2020, dunia mengalami pandemi wabah *COVID-19* tidak terkecuali Indonesia. Virus ini berbahaya karena dapat dengan cepat menyebar dan menjangkit ratusan ribu orang yang biasanya menyebar melalui kontak fisik antara orang sehat dengan orang yang telah terjangkit virus. Untuk menahan penyebaran virus yang sangat cepat, maka pasien yang terjangkit virus *COVID-19* dan bergejala berat diharuskan melakukan karantina diri di ruang isolasi rumah sakit. Dengan jumlah pasien yang banyak membuat tenaga medis kewalahan dalam menangani pasien virus *COVID-19*. Selain mengurus tenaga, petugas medis juga terancam terpapar virus *COVID-19* karena seringnya berinteraksi dengan pasien yang terjangkit virus.



Gambar 1-1 Grafik Akumulasi Data Kasus COVID-19 di Indonesia

Sumber : covid19.go.id/peta-sebaran

Ditinjau dari Gambar 1-1, pada saat awal penelitian ini dimulai yaitu pada bulan Januari 2021 tercatat kasus terjangkit *COVID-19* di Indonesia sudah melebihi 700 ribu kasus terkonfirmasi dengan jumlah melampaui 111.005 orang sedang dalam perawatan atau isolasi mandiri [1]. Dari data tersebut menunjukkan bahwa agar dapat melayani pasien tersebut, dibutuhkan tenaga medis yang cukup

pula. Untuk membantu petugas medis dalam merawat pasien dan dengan meminimalisir penggunaan Alat Pelindung Diri (APD) yang berlebih, maka dibuatlah *robot* asisten medis yang bertugas untuk mengantarkan barang, makanan dan obat ke pasien yang sedang dirawat di ruang isolasi. Namun *robot* asisten medis yang sudah ada sekarang belum bisa membuka pintu sendiri untuk dapat bisa melewati banyak ruangan. Solusi lain untuk masalah ini yaitu dengan membuat pintu ruangan isolasi tersebut menjadi otomatis terbuka dan tertutup, namun biaya konstruksi mungkin akan besar dan perlu waktu pembangunan yang mengharuskan pasien ditempatkan pada ruangan lain terlebih dahulu. Oleh karena itu, diperlukannya mekanisme pembuka pintu yang akan ditambahkan pada *robot* asisten medis yang sudah ada, sehingga *robot* dapat membuka pintu-pintu ruangan.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang, maka diperlukan mekanisme tambahan pada *robot* untuk membuka pintu dengan rumusan permasalahan meliputi :

1. Mekanisme seperti apa yang memungkinkan *robot* untuk membuka pintu?
2. Aktuator apa yang dapat digunakan untuk menggerakkan mekanisme berdasarkan gaya yang dibutuhkan untuk membuka pintu?

1.3 Batasan Masalah

Pada tugas akhir ini, dilakukan mulai dari perancangan, pembuatan *prototype* hingga melakukan simulasi, namun dalam proses perancangan dan pembuatannya dibatasi oleh :

1. Rancang bangun mekanisme pembuka pintu pada *robot* asisten medis ini terbatas hanya desain dan pembuatan *prototype*, tidak dengan sistem kendali *robot*.
2. Perancangan mekanisme pembuka pintu didesain menyesuaikan desain *robot* UMAR (Unisi Medical Assistant Robot) FTI UII yang telah dibuat.
3. Diasumsikan badan *robot* UMAR pergerakannya stabil dan roda tidak tergelincir terhadap lantai keramik.

4. Pintu yang digunakan sebagai referensi perancangan dan simulasi yaitu pintu dengan gagang silinder terpasang vertikal dan diasumsikan terdapat hidrolik/pegas penutup otomatis (ada gaya tolak maksimal 50 N), serta pintu yang hanya berada di sekitar wilayah Laboratorium Teknik Mesin UII.
5. *Robot* UMAR membuka pintu dari luar ruangan dengan gerakan mendorong dan dengan gerakan menarik jika membuka pintu dari dalam ruangan.
6. Perancangan dilakukan dengan menggunakan *software SolidWorks* 2018.
7. Pembuatan komponen dengan bentuk *custom* diproses dengan mesin 3D *Printer* dan berbahan PLA.

1.4 Tujuan Penelitian atau Perancangan

Tujuan dari perancangan yang dilakukan pada tugas akhir ini yaitu :

1. Mengaplikasikan mekanisme lengan pembuka pintu pada *robot* UMAR.
2. Mengetahui aktuator yang tepat dalam mekanisme pembuka pintu.

1.5 Manfaat Penelitian atau Perancangan

Dengan dirancangnya mekanisme lengan pembuka pintu pada robot UMAR, maka dapat membantu petugas medis atau *operator* dalam mengantarkan barang ke ruang isolasi pasien melalui robot yang dikendalikan dari jarak jauh, meminimalisir kontak langsung antara petugas medis dengan pasien dan meminimalisir penggunaan APD berlebih.

1.6 Sistematika Penulisan

Secara garis besar laporan ini terdiri dari 5 bab, dengan sistematika penulisan sebagai berikut :

1. Bab 1 yaitu pendahuluan, bab ini terdiri dari latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan perancangan, manfaat perancangan dan sistematika penulisan.
2. Bab 2 membahas tentang tinjauan pustaka dari berbagai penelitian yang telah dilakukan dan landasan teori penunjang penelitian.

3. Bab 3 membahas tentang proses penelitian yang mana meliputi alur perancangan, alat dan bahan yang digunakan, penentuan aktuator, desain, proses pemesinan, proses perakitan dan persiapan simulasi.
4. Bab 4 membahas mengenai hasil dari perancangan yang telah dilakukan dan analisis tentang hasil simulasi yang dilakukan serta analisa statis setiap komponen.
5. Bab 5 sebagai penutup, yang berisi tentang kesimpulan hasil perancangan dan saran untuk penelitian selanjutnya.



BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kajian Pustaka

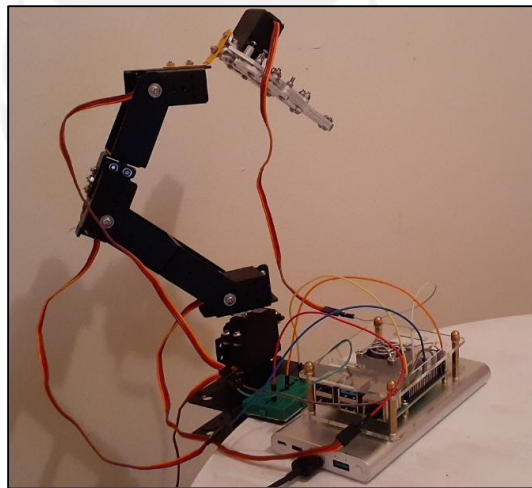
Suatu *robot* dengan sistem mekatronika pastinya terdapat penggerak yang disebut aktuator. Aktuator merupakan motor yang bertanggung jawab untuk pergerakan *robot*. *Robot humanoid* yang dibangun sedemikian rupa sehingga mereka dapat meniru pergerakan tubuh manusia, sehingga mereka menggunakan aktuator yang melakukan seperti otot-otot dan sendi, meskipun dengan struktur yang berbeda. Untuk mencapai efek yang sama seperti gerakan manusia, *robot humanoid* menggunakan aktuator beserta rotari. Sumber daya aktuator dapat berupa listrik, *pneumatic*, *hydraulic*, *piezoelectric* atau *ultrasonic* [2].

Di perindustrian era sekarang ini, kita melihat pertumbuhan yang cepat dalam perusahaan baik dalam bentuk finansial maupun pada proses produksinya. Agar perusahaan dapat bekerja secara efisien, telah berulang kali diamati bahwa banyak pekerja digunakan untuk pekerjaan yang memilukan seperti mengirimkan dokumen ke berbagai departemen atau pengiriman surat dan pos. Jadi, sudah sering ada usulan tentang *robot* otonom yang mampu mengirim atau menerima barang fisik dalam jumlah skenario yang beragam.

Penggunaan *robot* otonom bukanlah kemajuan baru di bidang pengantaran barang karena perusahaan multinasional seperti Amazon dan DHL telah diketahui menggunakan *robot* semacam itu untuk tujuan menangani paket di gudang mereka. Dengan begitu proses penanganan logistik mereka akan lebih teratur dan efisien waktu kerja [3]. Kebutuhan *robot* otonom tentu membantu kegiatan manusia ketika kurangnya tenaga kerja manusia, serta dapat mengefisienkan waktu kerja. Dengan adanya inovasi-inovasi *robot* otonom yang bervariasi, memungkinkan suatu instansi manapun untuk bisa menggunakan *robot* otonom dalam proses kerjanya. Selain dari perusahaan-perusahaan teknologi, Rumah Sakit kini juga bisa memanfaatkan inovasi dari *robot* otonom untuk membantu pekerjaan mereka dalam melayani pasien. Apalagi saat ini sedang terjadi pandemi *COVID-19* yang dampaknya mengharuskan instansi

kesehatan menambah personel atau petugas medis dalam menangani pasien terjangkit *COVID-19* bergejala sedang-berat di ruangan isolasi.

Berdasarkan kondisi pandemi virus *COVID-19* pada tahun 2020 tentu memunculkan banyak permasalahan, seperti meningkatnya kebutuhan alat-alat pelindung diri bagi petugas medis akibat melonjaknya jumlah pasien yang harus dirawat. Untuk menjaga kesehatan petugas medis agar tidak terpapar virus dari pasien tentunya dengan meminimalisir kontak langsung. Dari masalah tersebut, banyak peneliti atau perancang yang memikirkan solusi dengan penerapan teknologi. Salah satunya seperti pembuatan *Medical Assistant Robot Arm* [4]. Terlihat pada Gambar 2-1, dibuatnya purwarupa lengan *robot* dengan 6 derajat kebebasan (*DoF*) sebagai pengganti tangan perawat yang melakukan kontak langsung dengan pasien terjangkit virus *COVID-19*. Lengan *robot* tersebut dikendalikan dengan *smartphone* melalui konektivitas *bluetooth*.



Gambar 2-1 Lengan *Robot* Asisten Medis dengan 6 Derajat Kebebasan

Sumber : Kanade, Prakash. (2020)

Pemodelan *robot* melibatkan studi tentang gerakan kinematikanya. Model kinematika yang berkaitan dengan gerakan *robot* tidak mempertimbangkan gaya yang menghasilkan gerakan tersebut. Kinematika lengan *robot* berhubungan dengan studi geometri dan terintegrasi waktu dari gerakannya serta bagaimana berbagai *link robot* bergerak berhubungan satu sama lain sekaligus. Hal ini merupakan penjelasan analitis tentang gerakan spasial robot yaitu hubungan antara posisi dan orientasi aktuator *robot* serta variabel sendinya [5].

Penelitian tentang robot medis lainnya seperti penelitian dosen Universitas Islam Indonesia Yogyakarta yang berjudul “Rancang Bangun *Robot Pelayan Medis Untuk Pasien Karantina COVID-19* dengan Kendali Berbasis *Android*” [6]. Terlihat pada Gambar 2-2, dirancang dan dibangun robot semi otomatis bernama UMAR (*Unisi Medical Assistant Robot*) untuk membantu petugas medis dalam melayani pasien karantina. UMAR dapat beroperasi sebagai pengantar barang kebutuhan pasien seperti makanan, obat-obatan dan barang lainnya. UMAR dilengkapi layar LCD, kamera dan *microphone* untuk dapat berkomunikasi antar petugas medis dengan pasien melalui *video call*. Sistem kendali *robot* UMAR berbasis android dapat dioperasikan melalui *smartphone* dengan konektivitas jaringan *Wi-Fi*.



Gambar 2-2 *Robot* UMAR

Sumber : Suryawan, Donny dan R.M.S Adinandra. (2020)

Perancangan serupa dengan *robot* UMAR yaitu *robot* ATMABOT buatan Universitas Katolik Indonesia Atma Jaya Jakarta. ATMABOT juga beroperasi sebagai pengantar barang dan bisa melakukan komunikasi *video call*. Kendali utama ATMABOT menggunakan *remote control* dan bisa juga melalui *keyboard* komputer [7].



Gambar 2-3 *Robot* ATMABOT

Sumber : Wijayanti, Linda, dkk. (2020)

Yang membedakan antara *robot* UMAR dengan ATMABOT ialah pada sistem kendalinya. *Robot* UMAR kendali utamanya dan visual dari kamera menggunakan *smartphone* melalui jaringan *Wi-Fi*, sedangkan *robot* ATMABOT kendali utamanya dengan *remote control* dan visual kamera dengan komputer. Purwarupa *robot-robot* yang telah dibuat tersebut hanya untuk mengantar barang, belum mampu untuk memasuki ruangan-ruangan dengan membuka pintu sendiri sehingga akan mengurangi efektifitas kerja sebagai pengantar barang. Banyaknya pintu yang akan dilewati dari letak penjemputan barang hingga tujuan akan membutuhkan mekanisme pembuka pintu pada *robot* pengantar barang tersebut, jika penggantian pintu ruangan dengan yang otomatis terbuka tentunya tidak efisien waktu dan tempat untuk dilakukan.

Tabel 2-1 Ringkasan Kajian Pustaka

Tahun Penelitian	Peneliti	Judul Pustaka	Deskripsi
2012	Jamshed Iqbal	<i>Modeling and Analysis of a 6 DOF Robotic Arm Manipulator</i>	Pengembangan model kinematik lengan <i>robot 6 DoF</i> dan menganalisis ruang kerjanya. Model yang diusulkan memungkinkan untuk bisa mengendalikan <i>manipulator</i> untuk mencapai posisi yang dapat dijangkau dan orientasi pada lingkungan yang tidak terstruktur.
2020	Devang Dave	<i>Autonomous Delivery Robot</i>	Perancangan sistem kendali <i>robot</i> otonom pengantar barang dengan sistem kendali <i>bluetooth</i> , rak barang dilengkapi sensor ultrasonik untuk mendeteksi keberadaan barang.
2020	Prakash Kanade	<i>Medical Assistant Robot ARM for COVID-19 Patients Treatment</i>	Perancangan purwarupa lengan <i>robot</i> dengan 6 derajat kebebasan (<i>DoF</i>) serta sistem kendali jarak jauh <i>bluetooth</i> yang dikendalikan melalui <i>smartphone</i> .
2020	Donny Suryawan	Pengembangan <i>Robot</i> Semi Otomatis Sebagai Alat Bantu Petugas Kesehatan Melayani Pasien Karantina <i>COVID-19</i>	Perancangan purwarupa <i>Robot</i> semi otomatis pengantar barang dengan rak barang empat tingkat, berpengerak tiga roda <i>omni</i> , sistem kendali <i>smartphone</i> berbasis <i>android</i> melalui jaringan <i>Wi-Fi</i> , dapat melakukan komunikasi dengan pasien melalui <i>video call</i> dari adanya layar LCD, kamera serta <i>microphone</i> .
2020	Linda Wijayanti	Pelatihan Implementasi ATMABOT Sebagai <i>Robot</i> Asisten Dokter dan Perawat di Rumah Sakit Atma Jaya	Pelatihan pengendalian <i>robot</i> ATMABOT menggunakan kendali utama <i>remote control</i> dan bisa dengan komputer. ATMABOT merupakan <i>robot</i> pengantar barang yang juga sebagai asisten dokter, dapat melakukan komunikasi daring melalui <i>video call</i> .

2.2 Dasar Teori

2.2.1 Robotika

Istilah *robot* berasal dari bahasa Ceko Slowakia. Kata *robot* berasal dari kosakata “Robota” yang berarti “kerja cepat”. Istilah ini muncul pada tahun 1920 oleh seorang pengarang sandiwara bernama Karel Capek. Karyanya pada saat itu berjudul “*Rossum’s Universal Robot*” yang artinya *Robot Dunia* milik Rossum. Rossum merancang dan membangun suatu bala tentara yang terdiri dari *robot* industri yang akhirnya menjadi terlalu cerdas dan akhirnya menguasai manusia. Kata Robotika juga berasal dari novel fiksi sains “Runaround” yang ditulis oleh Isaac Asimov pada tahun 1942. Sedangkan pengertian *robot* secara tepat adalah sistem atau alat yang dapat berperilaku atau meniru perilaku manusia dengan tujuan untuk menggantikan dan mempermudah kerja/aktifitas manusia.

Untuk dapat diklasifikasikan sebagai *robot*, maka *robot* harus memiliki dua macam kemampuan yaitu:

1. Bisa mendapatkan informasi dari sekelilingnya.
2. Bisa melakukan sesuatu secara fisik seperti bergerak atau memanipulasi objek.

Untuk dapat dikatakan sebagai *robot* sebuah sistem tidak perlu untuk meniru semua tingkah laku manusia, namun suatu sistem tersebut dapat mengadopsi satu atau dua dari sistem yang ada pada diri manusia saja sudah dapat dikatakan sebagai robot. Sistem yang diadopsi dapat berupa sistem penglihatan (mata), sistem pendengaran (telinga) ataupun sistem gerak. Sebuah *robot* dapat saja dibuat untuk berbagai macam aktifitas, namun sebuah *robot* harus dibuat dengan tujuan untuk kebaikan manusia [2].

Ada beberapa fungsi *robot*, sehingga manusia memerlukan kehadirannya yaitu:

1. Meningkatkan produksi, akurasi dan daya tahan. *Robot* ini banyak digunakan di industri.
2. Untuk tugas-tugas yang berbahaya, kotor dan beresiko. *Robot* ini digunakan ketika manusia tidak mampu masuk ke daerah yang beresiko. Seperti *robot*

Untuk menjelajah planet, *robot* untuk mendeteksi limbah nuklir, *robot* militer dll.

3. Untuk pendidikan. Banyak *robot* yang digunakan untuk menarik pelajar belajar teknologi seperti *robot lego*, dll.
4. Untuk menolong manusia. Seperti di rumah untuk membersihkan rumah pakai penghisap debu otomatis, di rumah sakit untuk menghantar makanan, membantu operasi, dll.

2.2.2 Computer-aided Design

Computer-aided Design (CAD) merupakan satu bentuk otomatisasi yang membantu perancang untuk memperbaiki gambar, spesifikasi, dan elemen-elemen yang berhubungan dengan perancangan yang menggunakan efek grafik khusus dan perhitungan program-program komputer. Teknologi yang digunakan untuk bermacam produk dalam lingkungan dan arsitektur, elektronik, dan aerodinamika (ilmu dinamika udara), teknik otomotif dan desain produk. Walaupun sistem *CAD* biasanya tidak selalu menggambar otomatis, biasanya meliputi pemodelan tiga dimensi dan model operasi simulasi komputer. Sistem *CAD* dijalankan melalui *PC* untuk desain dan pemodelan 2D serta proses *drafting*, kemudian dijalankan dan diintegrasikan dengan sistem *CAM (Computer Aided Manufacture)* yang disesuaikan dengan format mesin *CNC (Computer Numeric Control)* yang akan digunakan [7].

2.2.3 Momen Gaya

Benda yang sedang bergerak akan mengalami perubahan kecepatan ketika pada benda tersebut juga dikenai gaya. Ini merupakan ungkapan hukum II Newton. Hal serupa berlaku pada gerak rotasi. Benda yang diam akan berotasi jika pada benda tersebut bekerja suatu besaran yang namanya momen gaya atau torka. Benda yang sedang berotasi akan mengalami perubahan kecepatan sudut jika pada benda tersebut juga bekerja momen gaya.

Torsi (*Torque*) sebanding dengan gaya (F) dalam satuan Newton, sebanding dengan jarak lokasi gaya bekerja ke sumbu putar (r) dalam satuan meter, dan sebanding dengan sinus sudut antara vektor posisi gaya bekerja dan

vektor gaya sendiri. Dengan demikian kita dapatkan persamaan torsi sebagai berikut [8].

$$\tau = r.F.\sin\theta \quad (2.1)$$

2.2.4 Hukum Newton I

“Jika resultan gaya pada suatu benda sama dengan nol, maka benda yang diam akan tetap diam dan benda yang bergerak akan tetap bergerak dengan kecepatan tetap selama tidak ada gaya eksternal yang mengenainya.”

Hukum I Newton mendefinisikan adanya sifat kelembaman benda, yaitu keberadaan besaran yang dinamai massa. Karena sifat kelembaman ini maka benda cenderung mempertahankan keadaan geraknya. Keadaan gerak direpresentasikan oleh kecepatan. Jadi, sifat kelembaman mengukur kecenderungan benda mempertahankan kecepatannya. Makin besar kelembaman yang dimiliki benda maka makin kuat benda mempertahankan sifat kelembamannya. Atau diperlukan pengganggu yang lebih besar untuk mengubah kecepatan benda. Makin besar massa maka benda makin lambat. Itulah penyebabnya bahwa kita sangat sulit mendorong benda yang memiliki massa lebih besar daripada benda yang memiliki massa lebih kecil. Hukum Newton I dirumuskan dengan persamaan 2.2 berikut [8].

$$\sum F = 0 \quad (2.2)$$

Dengan F menunjukkan besar gaya dalam satuan N, maksud dari rumus tersebut ialah jumlah resultan dari gaya yang bekerja sama dengan nol agar benda dalam kondisi diam

2.2.5 Hukum Newton II

Hukum I Newton baru mendefinisikan besaran yang bernama massa, tetapi belum membahas penyebab benda bergerak atau berhenti. Hukum II Newton menjelaskan perubahan keadaan gerak benda. Hukum ini menyatakan bahwa benda dapat diubah keadaan geraknya jika pada benda bekerja gaya. Gaya yang bekerja berkaitan langsung dengan perubahan keadaan gerak benda. Besarnya perubahan keadaan gerak sama dengan gaya yang diberikan kepada benda.

Besaran apakah yang didefinisikan sebagai keadaan gerak? Yang paling tepat mendefinisikan keadaan gerak adalah perkalian massa dan kecepatan. Alasan pengambilan definisi ini adalah makin besar massa maka makin sulit mengubah keadaan gerak benda dan makin besar gaya yang dibutuhkan untuk menghasilkan perubahan kecepatan yang besar pada benda. Dengan demikian keadaan gerak benda sebanding dengan perkalian massa dan kecepatan. Perkalian massa dan kecepatan kita definisikan sebagai momentum. Akhirnya, secara matematik hukum II Newton dapat ditulis sebagai persamaan 2.3 berikut [8].

$$\sum F = m \cdot a \quad (2.3)$$

F menunjukkan gaya dalam satuan N, m merupakan massa dalam kg dan a merupakan percepatan. Jika yang diamati benda statis, maka menggunakan percepatan gravitasi bumi sebesar $9,8 \text{ m/s}^2$.

2.2.6 *Spur Gear*

Roda gigi lurus (*spur gear*) digunakan bila letak kedua poros-poros penggerak dan poros yang digerakkan berada dalam posisi sejajar, daya yang akan ditransmisikan tidak terlalu besar dan putaran poros tidak melebihi 3600 rpm. *Spur gear* secara umum dipakai untuk putaran-putaran rendah dan pada sistem dimana pengendalian kebisingan tidak menjadi masalahnya. Besarnya perubahan transmisi ditentukan oleh perbandingan putaran serta jumlah roda gigi dari masing-masing roda gigi (*pinion dan gear*).

Faktor Penunjang yang diperlukan dalam perencanaan roda gigi meliputi :

1. Besar daya yang dipindahkan.
2. Jumlah putaran per menit.
3. Jumlah gigi.
4. Jenis roda gigi yang direncanakan.

Untuk menentukan angka transmisi, digunakan persamaan berikut.

$$i = \frac{n_1}{n_2} \quad (2.4)$$

Dengan (i) merupakan angka transmisi, (n_1) putaran poros pertama dan (n_2) putaran poros kedua. Dari hasil perencanaan angka transmisi (i) dapat ditentukan putaran roda gigi pinion, bila putaran kurang dari 3600 Rpm, maka berlaku persamaan :

$$r_v = \frac{\omega_2}{\omega_1} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{Nt_1}{Nt_2} = \frac{d_1}{d_2} \quad (2.5)$$

Pada persamaan (2.3), (r_v) merupakan perbandingan kecepatan, (ω) kecepatan sudut dengan satuan (rad/detik), (n) kecepatan putar (rpm), (Nt) jumlah gigi pada *gear* dan (d) diameter *pitch circle* (cm) [9].

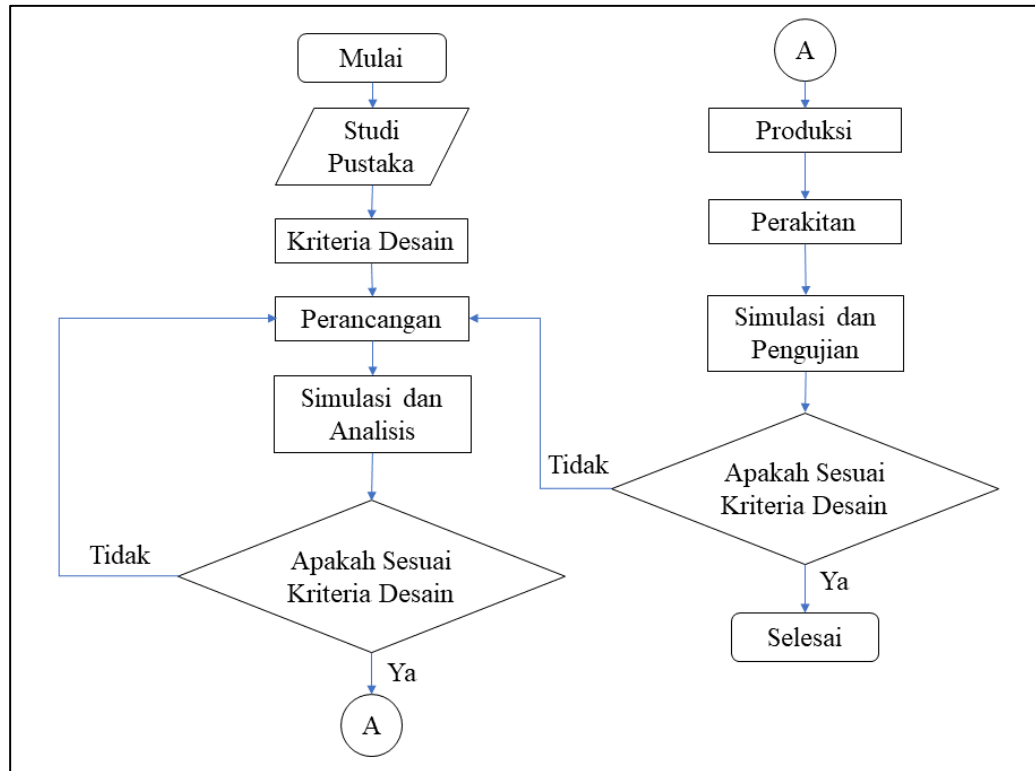
2.2.7 *Virtual Prototyping*

Virtual Prototyping adalah perangkat lunak pembentuk purwarupa yang menggunakan grafis canggih dan *virtual-reality environment* untuk memungkinkan perancang memeriksa suatu bagian (*part*). Teknologi ini termasuk dari perangkat lunak CAD konvensional yang umum untuk membuat bagian (*part*), sehingga perancang dapat mengamati dan mengevaluasinya saat digambar.

Tampilan tiga dimensi memungkinkan perancang mengubah tampilan *part* pada layar komputer. Sehingga membuat purwarupa secara *virtual* memiliki keuntungan dalam memberikan *rendering* komponen secara instan untuk evaluasi. [10]

BAB 3 METODE PENELITIAN

3.1 Alur Penelitian



Gambar 3-1 Alur Perancangan

3.2 Kriteria Desain

Berdasarkan rumusan masalah dan tujuan penelitian serta mempertimbangkan batasan-batasan masalah, maka dari observasi pribadi ditentukannya kriteria-kriteria untuk pembuatan alternatif desain mekanisme pembuka pintu yang terdiri dari empat faktor pada Tabel 3-1.

Tabel 3-1 Kriteria Desain

No.	Faktor Kriteria	Keterangan
1	<i>Must</i>	<ul style="list-style-type: none"> Mekanisme dapat menarik pintu dengan gaya tarik hingga 50 N.

2	<i>Want</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Mekanisme dapat dipasang langsung pada rangka badan <i>robot</i> tanpa perlu rancang ulang <i>robot</i> UMAR.
3	<i>Not Want</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Penambahan mekanisme pembuka pintu dapat menambah lebar total <i>robot</i> menjadi melebihi lebar pintu (> 75 cm) • Bagian pada mekanisme tersangkut saat menggapai dan melepas gagang pintu silinder yang terpasang vertikal.
4	<i>Must Not</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Pergerakan mekanisme dapat merusak atau melukai apapun yang berkontak fisik dengannya (durasi pergerakan cepat atau < 2 detik)

3.3 Peralatan dan Bahan

Peralatan yang digunakan pada perancangan ini terbagi menjadi 2 jenis, yaitu perangkat keras dan perangkat lunak.

1. Perangkat Keras :
 - a. *Miter Saw*



Gambar 3-2 *Miter Saw*

Sumber : Laboratorium Proses Produksi UII

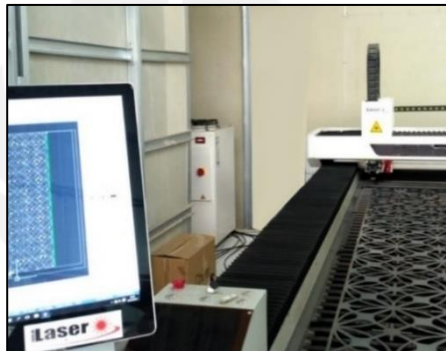
b. *3D Printer*



Gambar 3-3 Mesin 3D *Printer Flashforge*

Sumber : Laboratorium Mekanika UII

c. *Mesin Laser Cutting*



Gambar 3-4 Mesin *Laser Cutting Metal*

Sumber : jogjalaser.com

d. *Benchtop Drill Press*



Gambar 3-5 *Benchtop Drill Press*

Sumber : Laboratorium Proses Produksi UII

e. Timbangan Tarik



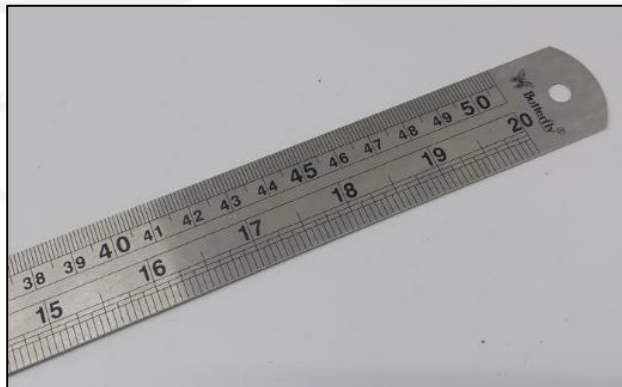
Gambar 3-6 Timbangan Tarik

f. Jangka Sorong



Gambar 3-7 Jangka Sorong

g. Mistar



Gambar 3-8 Mistar

2. Perangkat Lunak

a. *SolidWorks* 2018

b. *Flashprint*

Bahan yang digunakan untuk proses produksi ialah sebagai berikut :

1. *PLA Filament*



Gambar 3-9 Filamen PLA

Sumber : Laboratorium Mekatronika UII

2. *Stainless Steel Sheet*



Gambar 3-10 Plat *Stainless Steel* 2 mm

Sumber : solusibaja.co.id

3. *Aluminium Hollow* Persegi Ukuran 23x23 mm



Gambar 3-11 *Aluminium Hollow* 23x23 mm

Sumber : ptmitajayamandiri.com/hollow-aluminium/

4. Motor *Servo* MG996R



Gambar 3-12 Motor *Servo* MG996R

Sumber : www.towerpro.com.tw

5. Motor *DC Mabuchi* LC-578VA



Gambar 3-13 Motor *DC Mabuchi* LC-578VA

Sumber : mabuchi-motor.com

6. Baut, Mur dan *Washer* (ukuran M2, M3 dan M6)



Gambar 3-14 Baut M3x50 mm

Sumber : jogjarobotika.com

7. *Flanged Bearing* F963ZZ (ukuran 3x8x4 mm)



Gambar 3-15 *Flanged Bearing* F963ZZ

Sumber : jogjarobotika.com

3.4 Perancangan

Perancangan mekanisme lengan *robot* diawali dengan menyesuaikan dimensi atau ukuran dari *robot* semi otomatis yang sudah jadi dibuat purwarupanya. *Robot* yang dimaksud ialah *Robot* UMAR yang purwarupa awalnya dapat dilihat pada Gambar 3-16.



Gambar 3-16 Purwarupa Awal Robot UMAR

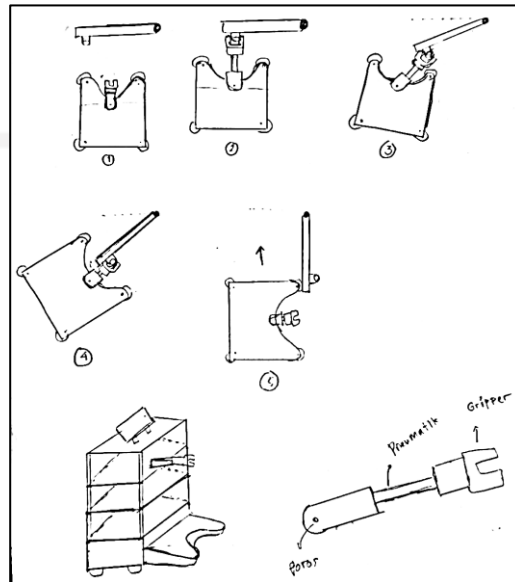
3.4.1 Ide Mekanisme

Perancangan perangkat keras dimulai dari proses pencarian ide mekanisme yang memungkinkan *robot* untuk membuka pintu. Dalam mencari ide desain rancangan mekanisme pembuka pintu, dikumpulkan sebanyak mungkin solusi untuk sub-fungsi untuk menemukan alternatif-alternatif desain berdasarkan kombinasi dari solusi sub-fungsi yang diusulkan. Berikut alternatif - alternatif sub-fungsi yang dapat digunakan :

1. Aktuator :
 - a. Motor
 - b. *Pneumatic*
2. Transfer Energi
 - a. Roda Gigi
 - b. *Ballscrew*
3. Bentuk Penggenggam Gagang Pintu
 - a. *Gripper*
 - b. *Hook*

Dengan mengkombinasikan beberapa alternatif sub-fungsi yang ada, diperoleh beberapa variasi alternatif desain, berikut beberapa sketsa alternatif desain mekanisme pembuka pintu pada *robot* medis:

1. Desain-1: A2 + B1 + C1



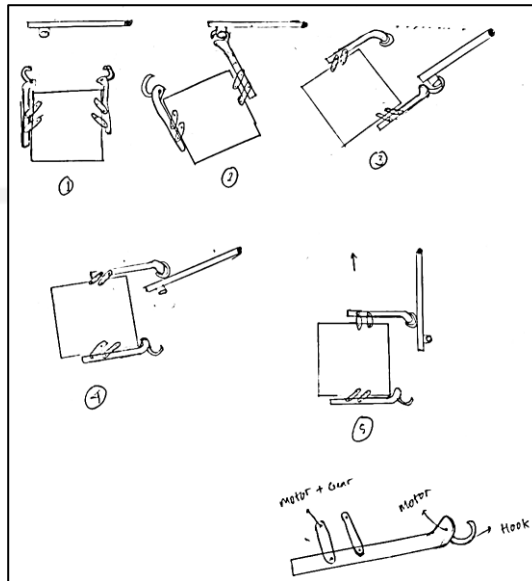
Gambar 3-17 Sketsa Alternatif Desain-1

Gambar 3-17 menunjukkan beberapa urutan gerak dari alternatif desain-1 yang dapat diurutkan dari kiri atas ke kanan mengikuti angka urutan. Desain penggenggam (*gripper*) berbentuk seperti capit berada di tengah badan *Robot*, serta lengan yang dapat memanjang dengan mekanisme silinder *pneumatic*. Urutan gerak dari alternatif desain-1 ialah sebagai berikut :

- Operator Robot* menyesuaikan bagian tengah badan *Robot* untuk tepat berhadapan dengan gagang pintu
- Lengan *gripper* memanjang untuk meraih gagang pintu, lalu *gripper* menggenggam gagang pintu.
- Lengan *gripper* bergerak 45° ke kanan bersamaan dengan gerakan *Robot* yang sedikit mundur lalu berhaluan searah jarum jam.
- Saat badan *Robot* dan pintu sudah bergerak 45° , maka *gripper* melepaskan genggamannya lalu lengannya memendek.
- Badan *Robot* bergerak 45° lagi hingga bagian ujung badan *Robot* mengenai pintu dan menahannya. Setiap bagian ujung badan *Robot* terpasang roda

Roller sehingga *Robot* dapat bergerak masuk ke dalam ruangan melalui pintu dengan hadapan ke samping.

2. Desain-2: A1 + B1 + C2

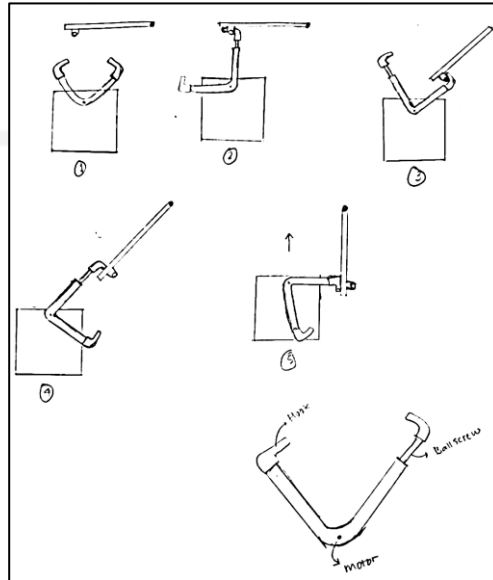


Gambar 3-18 Sketsa Alternatif Desain-2

Gambar 3-18 menunjukkan ada dua lengan yang terpasang di kanan dan kiri badan *Robot*. Gerakan lengan ini serupa dengan gerakan lengan manusia saat membuat pintu. Alternatif desain-2 ini menggunakan *hook* (pengait) seperti mekanisme borgol sebagai penggenggam gagang pintu. Urutan gerakannya ialah sebagai berikut ini :

- Operator* mengarahkan *Robot* mendekati gagang pintu.
- Jika gagang pintu berada di kiri pintu, maka *robot* menggunakan lengan kanan untuk membukanya. Dimulai dengan memajukan lengan bersamaan dengan posisi *hook* yang terbuka. Lalu *operator* menyesuaikan gerak *Robot* agar *hook* dapat meraih gagang pintu. Saat meraih gagang pintu, posisi *hook* tertutup dan gagang pintu terkait.
- Operator* memosisikan badan *Robot* untuk sedikit mundur lalu berputar searah jarum jam hingga pintu terbuka sekitar 45° .
- Hook* kanan yang mengait gagang pintu pada posisi terbuka dan lengan kanan pada posisi mundur bersamaan dengan lengan kiri yang bergerak maju untuk menahan pintu.

- e. Badan *Robot* berputar 45° lagi untuk menolak gaya dari pintu hingga pintu terbuka maksimal, lalu lengan kiri mundur untuk rapat ke badan *robot*. Setelah itu badan *Robot* dapat masuk ke ruangan.
3. Desain-3: A1 + B2 + C1



Gambar 3-19 Sketsa Alternatif Desain-3

Terlihat pada Gambar 3-19 , alternatif desain-3 berbentuk lengan V dengan dua lengan yang menjadi satu dan terdapat pengait di kedua sisi yang bisa memanjang dengan mekanisme *ballscrew*. Urutan gerak dari alternatif desain 3 tersebut ialah sebagai berikut :

- Operator* mengarahkan *Robot* mendekati gagang pintu.
- Jika gagang pintu berada di sisi kiri pintu, maka lengan V berputar berlawanan arah jarum jam dan lengan pengait memanjang hingga meraih (tersangkut) ke gagang pintu.
- Operator* mengarahkan badan *Robot* sedikit mundur lalu berputar searah jarum jam hingga pintu terbuka 45° .
- Saat kaitan gagang pintu terlepas, maka lengan V berputar searah jarum jam hingga lengan pengait kiri mengenai pintu untuk menahannya.
- Ketika pintu tertahan, bersamaan dengan Bergeraknya badan *Robot* 45° lagi searah jarum jam untuk menolak gaya dari pintu hingga pintu terbuka penuh 90° . Lalu badan *Robot* bisa memasuki ruangan dengan hadap samping.

Tabel 3-2 Kelebihan dan Kekurangan Alternatif Desain

Alternatif Desain	Kelebihan	Kekurangan
1	Satu lengan berada di tengah badan <i>robot</i> sehingga memudahkan <i>operator</i> untuk meraih gagang pintu	Penggunaan aktuator <i>pneumatic</i> memerlukan ruang lebih untuk penempatan tabung udara, serta perlu adanya pengisian <i>supply</i> udara secara berkala.
2	Dua lengan dengan gerakan menyerupai gerakan lengan manusia untuk menarik pintu	Letak lengan di kanan dan kiri badan <i>robot</i> cukup menyulitkan <i>operator</i> saat menyesuaikan badan robot untuk menggapai gagang pintu
3	Proses memegang dan melepas gagang pintu akan lebih instan jika <i>operator</i> pandai mengendalikan	Kemungkinan lengan tersangkut gagang pintu akan lebih sering terjadi, serta lecet pada pintu akan lebih mungkin terjadi.

Setelah mempertimbangkan beberapa ide alternatif desain mekanisme lengan pembuka pintu, maka terpilih alternatif desain-2 yang akan diterapkan pada *robot* UMAR FTI UII, pemilihan dilakukan berdasarkan pertimbangan mengenai kelebihan dan kekurangan pada Tabel 3-2 serta hasil observasi pribadi dengan faktor-faktor penentu berikut :

1. Penambahan mekanisme pembuka pintu pada *robot* UMAR tentunya harus menyesuaikan desain badan *robot* tersebut untuk menempatkan posisi mekanisme tersebut.
2. Terlihat pada Gambar 3-16 bahwa purwarupa *robot* UMAR terdapat tiang rangka di sisi depan badan *robot* dan terletak di tengah sebagai penopang layar *LCD* dan kamera. Sehingga mekanisme pembuka pintu akan lebih sulit terpasang jika diletakkan di tengah badan *robot* tersebut.

3. Berdasarkan alternatif desain-1 dan desain-3, penempatan mekanisme pembuka pintu di posisi tengah badan robot akan mengurangi ruang daya tampung rak *robot* UMAR.
4. Alternatif desain-2 tidak mengurangi ruang daya tampung rak, namun dengan penempatan mekanisme di samping badan *robot* akan menambah lebar total *robot* UMAR. Mekanisme pembuka pintu dengan gerakan menyerupai lengan manusia saat menarik pintu akan cocok diterapkan, karena rangka lengan bisa seperti terlipat ke arah dalam agar tidak terlalu melebihi lebar total *robot*, sehingga diharapkan nantinya masih cukup lancar saat melewati kusen pintu.

3.4.2 Perhitungan dan Pemilihan Aktuator

3.4.2.1 Motor untuk Gerakan Lengan

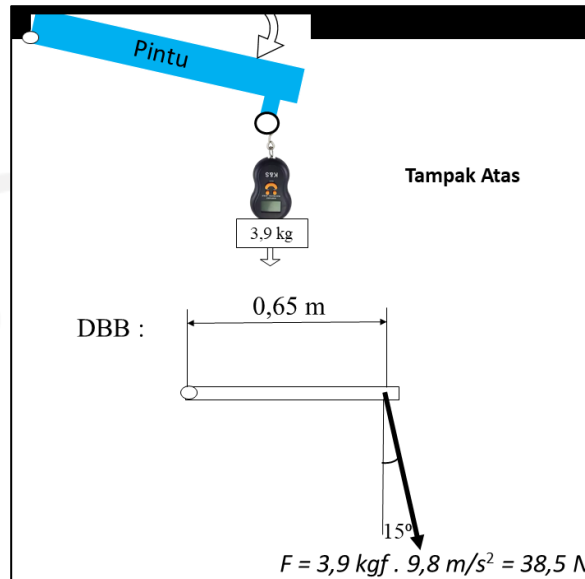
Pemilihan motor untuk gerakan lengan diawali dengan memperhitungkan gaya-gaya yang terjadi ketika menarik pintu. Pintu yang dianalisa diasumsikan terpasang hidrolik atau pegas penutup pintu, sehingga diharapkan mekanisme ini nantinya akan lebih mampu menarik pintu dengan gaya tolak yang cukup berat. Pengukuran gaya tolak pintu dengan timbangan tarik dapat dilihat pada Gambar 3-20.



Gambar 3-20 Pengukuran Gaya Tarik Pintu

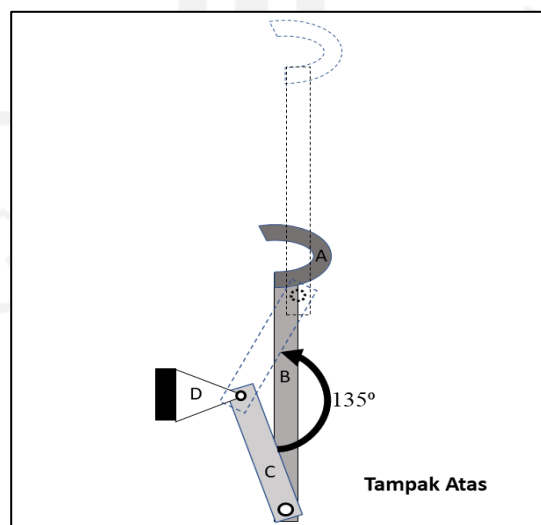
Terlihat pada Gambar 3-20, gaya tolak pintu diukur dari pintu tertutup hingga terbuka sekitar 15° dan posisi timbangan tetap tegak lurus menghadap

dengan dinding. Dari berbagai macam pintu yang diukur, didapatkan gaya terbesar yaitu pada massa sebesar 3,93 kgf atau 38,54 N. Sketsa pengukuran gaya tolak pintu dengan diagram benda bebasnya dapat dilihat pada Gambar 3-21.



Gambar 3-21 Sketsa Pengukuran Gaya Tarik Pintu

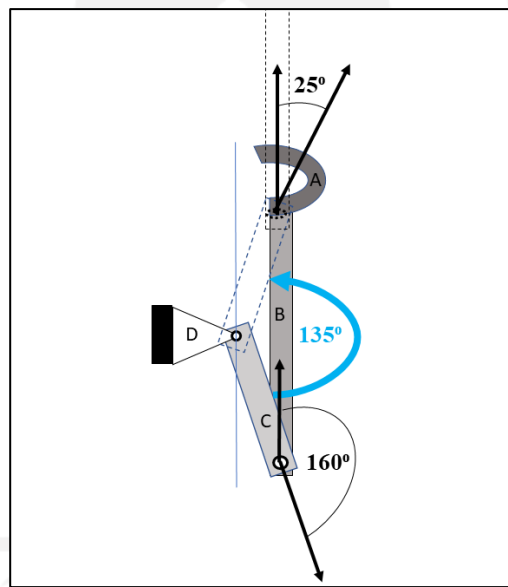
Telah diketahui asumsi gaya tarik yang diperlukan agar dapat menarik pintu yaitu sebesar 38,54 Newton, diambil dari gaya tolak terbesar dari berbagai macam pintu yang telah diukur. Selanjutnya, membuat konsep gerakan mekanisme dengan sketsa yang dapat dilihat pada Gambar 3-22.



Gambar 3-22 Sketsa Penarikan Pintu dengan Mekanisme Lengan

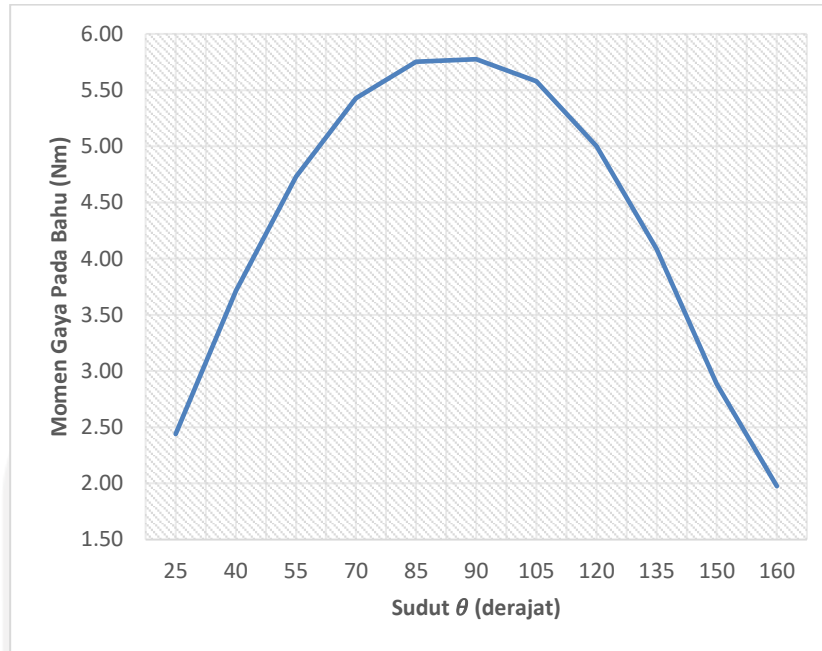
Diibaratkan menyerupai lengan pada manusia, terlihat pada Gambar 3-22 keterangan untuk karakter “A” diasumsikan sebagai pergelangan, “B” sebagai lengan bawah, “C” sebagai lengan atas dan “D” sebagai bahu. Panjang dari lengan atas “C” tersebut akan berpengaruh pada lebar total *robot* UMAR. Lebar awal *robot* UMAR ialah 50 cm, untuk dapat bisa melewati pintu maka lebar *robot* minimal tidak lebih dari rata-rata lebar pintu yaitu 75 cm. Jika diasumsikan panjang setiap lengan dari persendian bahu hingga siku lengan bawah ialah 15 cm dengan asumsi gaya berat lengan diabaikan. Gaya yang dihasilkan motor akan disalurkan dari bagian bahu “D” ke lengan atas “C”, maka torsi yang harus dibebankan aktuator dan terletak pada bahu tersebut dapat dihitung dengan menerapkan teori momen gaya berikut.

$$\tau = r \cdot F_2 \cdot \sin\theta \quad (3.1)$$



Gambar 3-23 Sketsa Sudut Jangkauan Gerak Lengan

Hasil perhitungan dari persamaan 3.1, ketika lengan membentuk sudut 90° dengan sisi samping badan *robot*, terjadi momen gaya (torsi) sebesar 5,78 Nm. Posisi tersebut merupakan posisi dengan kebutuhan torsi terbesar, terbukti dengan hasil perhitungan berbagai posisi sudut pintu terbuka yang dapat dilihat pada Gambar 3-24.



Gambar 3-24 Grafik Torsi yang Dibutuhkan Bahu

Diketahui dari alternatif desain lengan yang terpilih, dapat dilihat pada Gambar 3-23 merupakan sketsa gerkan lengan dari saat posisi lengan merapat kedalam dengan badan hingga posisi lengan maju untuk meraih gagang pintu dapat diketahui sudut radius putar yang akan ditempuh. Diinginkan sudut radius putar lengan untuk pergerakan mendorong/menarik sebesar 135° . Agar saat lengan bergerak nanti tidak membahayakan sekitarnya (terlalu cepat), maka diasumsikan waktu minimal pergerakannya selama 3 detik. Nilai revolusi per menit (rpm) motor yang diinginkan dapat dilihat pada perhitungan berikut :

$$\frac{135^\circ}{3 \text{ s}} = 45^\circ/\text{s}$$

$$1 \text{ minute} = 60 \text{ s}$$

$$45^\circ/\text{s} \times 60 \text{ s} = 2.700^\circ/\text{min}$$

$$1 \text{ revolution} = 360^\circ$$

$$\frac{2.700^\circ/\text{min}}{360^\circ} = 7,5 \text{ rpm}$$

Terhitung dengan kecepatan putar motor sebesar 7,5 rpm dapat memutarakan lengan sejauh 135° selama 3 detik. Selanjutnya mencari aktuator motor di pasaran dengan torsi yang cukup agar mampu menarik pintu tersebut, harga yang terjangkau dan bentuk yang minimalis agar efisien dipasangkan pada

mekanisme. Didapatlah motor DC jenis *power window-lift motor* merk *Mabuchi* tipe LC-578VA atau motor *power window universal* yang dapat dilihat pada Gambar 3-13, dari spesifikasinya diketahui dapat menghasilkan torsi 3,5 Nm dan kecepatan putar 60 rpm pada daya 24 W.

Untuk menyesuaikan torsi dan kecepatan putarnya dengan gerakan lengan yang diinginkan, digunakan pereduksi roda gigi untuk meningkatkan torsi motor serta menurunkan kecepatan putarnya, dengan asumsi kekuatan bahan roda gigi tidak diperhitungkan terlebih dahulu. Perbandingan atau rasio kecepatan putar dapat dilihat pada perhitungan berikut :

$$i = \frac{\tau_1}{\tau_2} \quad (3.3)$$

$$i = \frac{5,78 \text{ Nm}}{3,5 \text{ Nm}}$$

$$i = 1,65$$

$$i = \frac{n_1}{n_2} \quad (3.4)$$

$$i = \frac{60 \text{ rpm}}{7,5 \text{ rpm}}$$

$$i = 8$$

Perbandingan kecepatan putar dan torsi pada Persamaan 3.3 didapat rasio perbandingan senilai 1,65 : 1 agar torsi motor mampu menarik pintu. Rasio perbandingan torsi senilai 8 : 1 agar kecepatan putarnya menjadi 7,5 rpm. Pada akhirnya, digunakan rasio 8 : 1 pada pereduksi roda gigi agar kebutuhan kecepatan putar terpenuhi pada PWM (*Pulse Width Modulation*) motor maksimal serta torsi akhir melebihi kebutuhannya, sehingga hasil akhir perhitungan sebagai berikut :

$$i = \frac{n_1}{n_2} = \frac{\tau_2}{\tau_1} \quad (3.5)$$

$$\frac{8}{1} = \frac{60 \text{ rpm}}{n_2} = \frac{\tau_2}{3,5 \text{ Nm}}$$

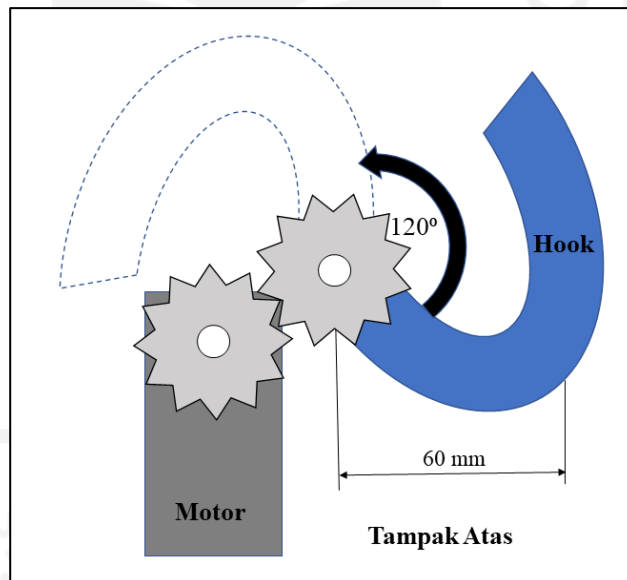
$$n_2 = 7,5 \text{ rpm}$$

$$\tau_2 = 28 \text{ Nm} \quad \text{atau} \quad \tau_2 = 285,71 \text{ kgf.cm}$$

Hasil perhitungan berdasarkan Persamaan 3.5 tersebut dengan perbandingan *gear* rasio 8 : 1 menjadikan asumsi torsi akhir yang dihasilkan sebesar 28 Nm. Torsi akhir tersebut lebih dari cukup untuk kebutuhan torsi pada bahu (5,78 Nm). Kecepatan putar akhirnya sebesar 7,5 rpm dengan PWM maksimal, maka untuk menempuh 135° diperlukan waktu tempuh selama 3 detik untuk menggerakkan lengan dari posisi lengan merapat kedalam (160°) hingga lengan maju kedepan (25°) maupun gerakan sebaliknya.

3.4.2.2 Motor untuk Gerakan *Hook*

Hook adalah bagian yang mengait gagang pintu, ketika pintu akan ditarik maka *hook* harus terkait dengan silinder gagang pintu. Dengan jarak titik pusat rotasi ke titik terjauh terjadinya momen gaya pada *hook* diasumsikan 60 mm (dapat dilihat pada Gambar 3-25). Jarak tersebut menyesuaikan rongga jari-jari dari silinder gagang pintu ke permukaan pintu sehingga diharapkan tidak tersangkut saat mengait gagang pintu.



Gambar 3-25 Sketsa Mekanisme Pengait

Hook hanya diperlukan berputar 120° terlihat pada Gambar 2-26 dengan motor yang sesuai dan ada di pasaran ialah motor berjenis *servo* merk *TowerPro* tipe MG996R, dengan *stall torque* 9,4 kgf.cm (0,92 Nm) serta *operating speed* 0,17s/60° pada tegangan 4,8 V. Torsi dari spesifikasi motor sudah cukup untuk menggerakkan *hook* berbahan PLA dengan estimasi berat *hook* kurang dari 100

gram, maka penyaluran momen gaya tidak memerlukan reduksi dari roda gigi (rasio 1 : 1). Perhitungan torsi diabaikan karena tidak ada gaya yg berpengaruh pada arah horizontal selain rugi-rugi gesekan yang terjadi pada poros *Hook*. Durasi kecepatan gerak rotasi *hook* (t_2) sejauh 120° dapat diperhitungkan sebagai berikut :

$$\frac{0,17s}{60^\circ} = \frac{t_2}{120^\circ}$$
$$t_2 = 0,34 s$$

3.4.3 Pemodelan CAD

Awal dari proses desain mekanisme lengan perlu menyesuaikan dimensi dari desain *Robot UMAR* yang sudah ada, terlihat pada Gambar 3-26 *robot* tersebut memilik 4 tingkat rak barang dengan kerangka dari *Stainless Steel Hollow* persegi ukuran 20 x 20 mm.

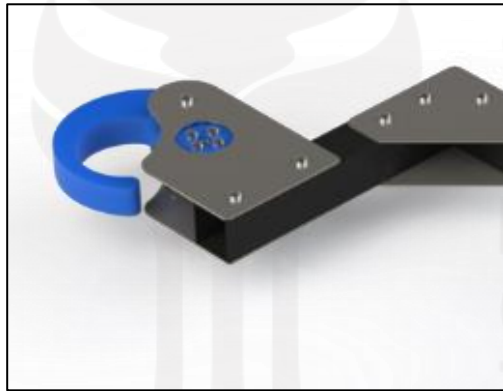


Gambar 3-26 Desain Awal *Robot UMAR*

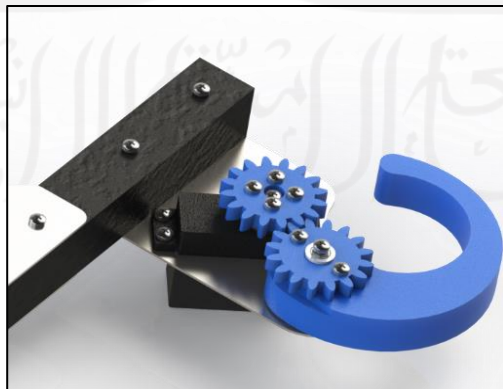
3.4.3.1 Desain Pengait dan Motor Servo MG996R

Mekanisme untuk meraih dan menggenggam gagang pintu yaitu menggunakan mekanisme pergerakan yang menyerupai borgol, dapat dilihat pada Gambar 3-28. Alasan menggunakan mekanisme tersebut berdasarkan pertimbangan faktor-faktor berikut :

1. Bentuk dari gagang pintu ialah batang silinder yang terpasang vertikal dan tanpa mekanisme khusus untuk membukanya atau terpasang *fix* dengan pintu. Bentuk gagang tersebut akan lebih mudah digenggam apabila dengan bentuk penggenggam yang melingkar silinder pula, guna memaksimalkan luas permukaan yang bersinggungan antara penggenggam dengan gagang pintu.
2. Mekanisme dari gerak borgol memiliki pergerakan satu arah putaran yang memungkinkan ujung dari pengaitnya berhaluan dengan radius putar tertentu. Hal ini akan membuat jangkauannya lebih luas dalam meraih target. Jangkauan luas tersebut yang akan memudahkan *operator* saat menjangkau gagang pintu yang terlihat pada tampilan dari kamera robot.
3. Gerakan borgol tidak memerlukan mekanisme yang kompleks, karena hanya mekanisme perputaran dari roda gigi saja. Roda gigi akan meneruskan gaya putar yang dihasilkan oleh *Motor Servo MG996R*.



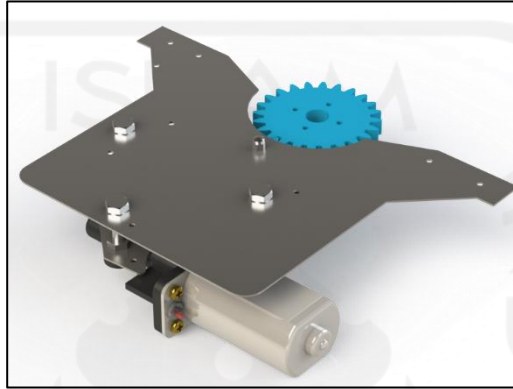
Gambar 3-27 Desain *Sub-Assembly Hook*



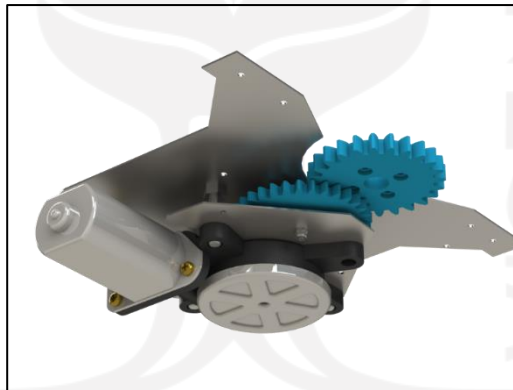
Gambar 3-28 Desain *Spur Gear dan Hook*

3.4.3.2 Desain Reduksi Roda Gigi dan Motor LC-578VA

Pemilihan motor pada yang telah diperhitungkan sebelumnya menunjukkan bahwa spesifikasi dari Motor LC-578VA belum sesuai dengan yang dibutuhkan. Maka diperlukan pereduksi roda gigi yang akan mereduksi gaya yang dihasilkan Motor LC-578VA. Gambar 3-30 berikut ini menampilkan gabungan dari berbagai *part* komponen dalam suatu pereduksi roda gigi.



Gambar 3-29 Desain *Gear Reducer* Tampak Atas Isometris



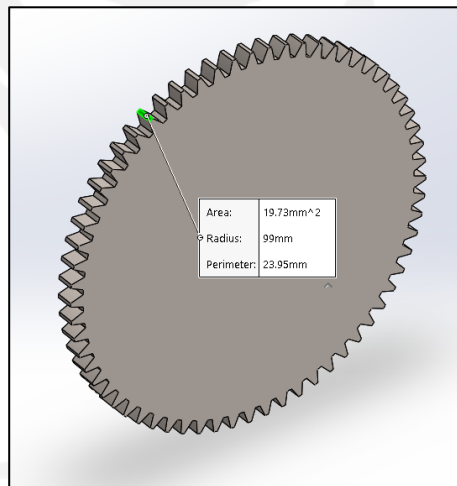
Gambar 3-30 Desain *Gear Reducer* Tampak Bawah Isometris

Faktor-faktor yang mendasari desain dari pereduksi roda gigi ini ialah :

1. Perancangan ini terbatas pada proses produksi dengan menggunakan 3D *Printer* dan dengan *filament PLA*. Maka desain roda gigi harus menyesuaikan batas kemampuan produksi tersebut.
2. *Module Spur Gear* yang dipilih harus cukup dalam hal dimensi dan kekuatannya. Berdasarkan sifat bahan *polylactide (PLA)* ternyata kekuatannya cenderung tidak cukup kuat. Untuk meminimalisir terjadinya patah pada gigi-gigi roda gigi yang terbuat dari PLA tersebut, maka dipilih *Module*

Spur Gear yang memiliki *pitch* dan bentuk gigi lebih besar, yaitu *Module 2* dan *Module 3* pada *Toolbox Spur Gear* dari *ISO*. Pemilihan ini terbatas dalam hal pembuatan purwarupa saja, dan akan berbeda lagi jika untuk produksi umum.

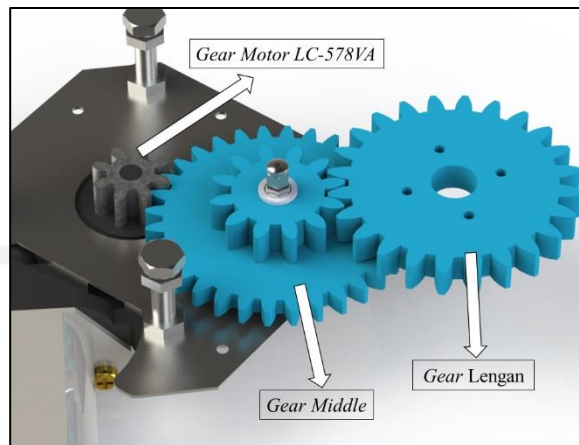
3. Perbandingan rasio gigi sebesar 8:1 menjadi pertimbangan dalam menentukan jumlah gigi pada setiap roda gigi. Jumlah gigi pada *Module Spur Gear* yang terpilih perlu disesuaikan dengan keterbatasan dimensi. Semakin banyak jumlah gigi maka semakin besar diameter roda gigi. Jumlah gigi dari roda gigi bawaan *Motor LC-578VA* berjumlah 8 gigi dan dimensinya menyerupai *Module Spur Gear 3* dari *Toolbox ISO*, jika rasionya 8:1 maka roda gigi lainnya harus 8 kali lebih banyak yaitu sebanyak 64 gigi. Roda gigi dengan *Module Spur Gear 3* serta 64 gigi ternyata diameternya terlalu besar yaitu 198 mm yang dapat dilihat pada Gambar 3-31 berikut.



Gambar 3-31 *Spur Gear ISO Module 3 64T*

Ukuran roda gigi pada Gambar 3-31 ini membuatnya tidak efisien dalam hal penempatannya pada badan *robot*. Oleh karena itu, maka rasionya perlu dibagi lagi menjadi dua kali reduksi yaitu rasio 2 : 1 lalu ke rasio 4 : 1 atau bisa juga dalam jumlah gigi seperti gigi 24 : 12 lalu gigi 32 : 8. Dengan seperti itu maka hasilnya tetap akan menjadi rasio 8 : 1. Jadi terbentuk 4 roda gigi yang berbeda jumlah gigi, jika diurutkan dari kiri ke kanan diantaranya ialah roda 8 gigi yang bersinggungan dengan roda 32 gigi, roda 32 gigi tersebut menyatu dengan roda 12 gigi lalu bersinggungan dengan roda 24

gigi, susunan atau konfigurasi dari roda-roda gigi tersebut dapat dilihat pada Gambar 3-32.



Gambar 3-32 Konfigurasi *Gear Reducer*

Tenaga dari motor LC-578VA disalurkan melalui *Gear Motor* tersebut menuju ke *Gear Middle* dengan hasil rasio 4 : 1, lalu daya disalurkan lagi menuju *Gear Lengan* dengan rasio 2 : 1. Hasil akhir rasio menjadi 8 : 1 yang akan dihubungkan ke rangka lengan mekanisme pembuka pintu.

3.4.3.3 Desain Lengan dan Badan *Robot*

Pergerakan lengan untuk membuka pintu dari dalam ruangan dilakukan dengan penarikan gagang pintu. Gerakan tarik ini menggunakan mekanisme lengan yang menyerupai gerakan lengan manusia. Sedangkan untuk mendorong pintu hanya dengan memanfaatkan badan dari *Robot UMAR*. Pada desain Gambar 3-33 terlihat bahwa terdapat beberapa *link* yang berhubungan dengan jarak dan titik tumpu tertentu.



Gambar 3-33 *Sub-Assembly* Lengan dengan *Hook*

Faktor-faktor alasan dibuatnya desain lengan tersebut ialah sebagai berikut :

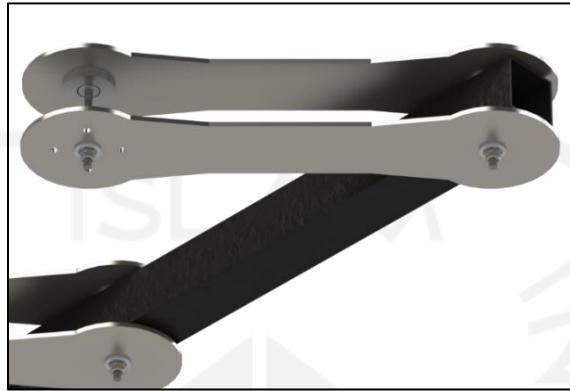
1. Dikarenakan gerakan menarik pintu bagi manusia ialah dengan gerakan tarik menyamping (siku berhaluan), maka diperlukan mekanisme yang gerakannya serupa pula. Beberapa *link* tersebut akan menghasilkan gerakan menarik yang berhaluan atau menyamping. Mekanisme ini juga menjadikan desain lengan menjadi efisien dalam hal dimensi karena posisi lengan bisa merapat ke arah dalam, jadi tidak memerlukan banyak ruang penempatan pada badan *robot* UMAR. Perlu diketahui bahwa penambahan lengan pembuka pintu pada badan *robot* UMAR akan menambah ukuran lebarnya, ukuran lebar *robot* ini yang akan diperhatikan saat akan melewati bingkai pintu.
2. Bahan yang digunakan ialah bahan yang mudah didapatkan dan cukup kuat yaitu batang aluminium *hollow* ukuran 23x23 mm. Tanpa proses las, penghubungan antara kedua batang aluminium menggunakan plat *stainless steel* tebal 1 mm yang diproses dengan mesin *laser cutting*. Bagian plat pada pengait (*Hook*) juga dengan plat *stainless steel* tebal 1mm, sedangkan untuk bagian lengan *link* menggunakan plat *stainless steel* yang lebih tebal yaitu 2 mm yang juga diproses dengan *laser cutting*.



Gambar 3-34 Desain Lengan dengan Aluminium *Hollow*

3. Penentuan ketebalan plat *stainless steel* didasari dari terbatasnya ketersediaan stok di pasaran dan kemampuan proses *laser cutting*. Ketebalan 1 mm digunakan pada bagian penghubung antar batang aluminium dan bagian pengait. Sedangkan untuk bagian *link* lengan diperlukan ketebalan maksimum yang dapat diproses mesin *laser cutting* yaitu setebal 2 mm. Dengan desain melebar ke arah horizontal maka plat akan sedikit melengkung kebawah

akibat dari gaya normal terhadap gravitasi. Terlihat pada Gambar 3-35, desain plat *link* lengan yang melebar pada bagian titik tumpu menjadikannya cukup dalam mengurangi lengkungan yang terjadi karena bagian permukaan yang bersinggungan lebih luas menapak.



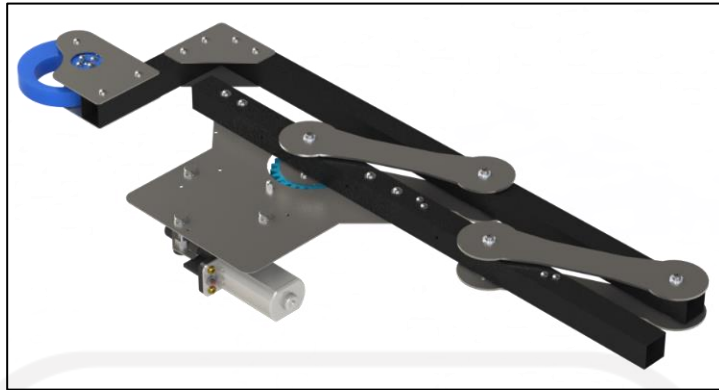
Gambar 3-35 Desain Plat Bagian *Link* Lengan

4. Pemasangan antara batang aluminium dengan plat *stainless steel* menggunakan baut dan mur M3. Terdapat *ball bearing* di setiap titik tumpu antara Plat Lengan dengan baut M3 namun dikunci dengan *lock nut* yang sedikit longgar agar lebih bisa bergerak leluasa dengan minim gesekan (tidak terkunci).

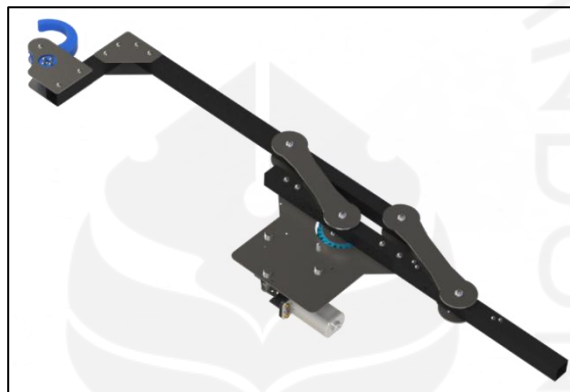


Gambar 3-36 Desain Plat Bagian *Hook* dan Siku Lengan

Setelah semua bagian komponen lengan terpasang, selanjutnya menggabungkan bagian *hook*, motor *servo* MG996R dan *gearset* motor LC-578VA. Terdapat batang aluminium tambahan yang nantinya akan dipasang ke badan *Robot* UMAR, keseluruhan komponen terpasang dapat dilihat pada Gambar 3-37.



Gambar 3-37 Desain *Full Assembly* Lengan Kondisi *Standby*



Gambar 3-38 Desain *Full Assembly* Lengan Kondisi Menggapai Pintu

3.4.4 Proses Pemesinan

Setelah proses desain selesai dilakukan dengan mempertimbangkan kemampuan produksi yang dapat dilakukan, maka dilanjutkan dengan proses pemesinan rancang bangunnya. Proses pemesinan mayoritas dilakukan di Laboratorium Teknik Mesin UII dan untuk proses *CNC laser cutting* dilakukan di luar kampus karena mesin *laser cutting* di Laboratorium CNC Teknik Mesin Universitas Islam Indonesia tidak cukup kuat untuk memotong plat logam dengan ketebalan 2 mm.

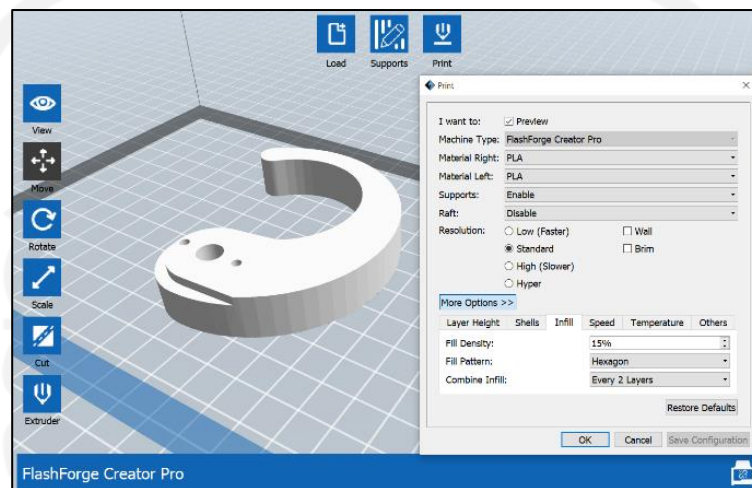
3.4.4.1 Proses Pemesinan 3D Printing

Bagian-bagian yang sulit diproduksi secara kerja bangku dari bahan mentah ke bentuk yang sesuai desain akan diproses dengan mesin *3D Printer*. Bahan yang diproses merupakan bahan yang tersedia di Laboratorium Teknik

Mesin yaitu *filament* PLA. Bagian-bagian komponen lengan *robot* yang diproses di mesin 3D *Printer* ialah :

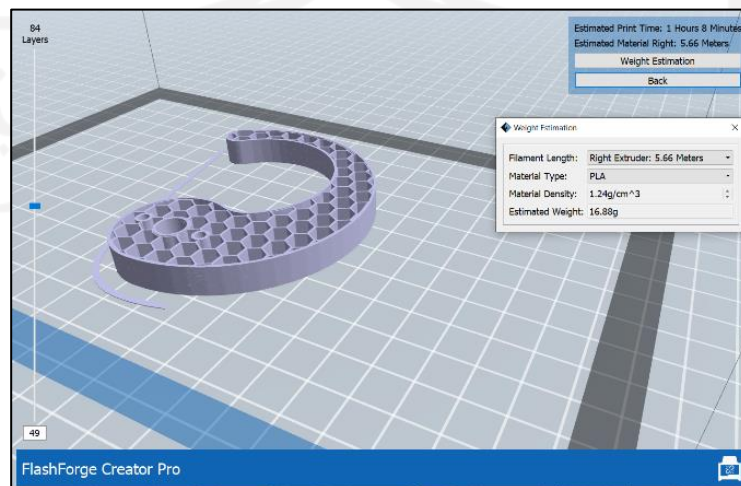
1. Pengait (*Hook*)

Bagian mekanisme pembuka pintu pada *Robot* UMAR yang berperan sebagai pemegang gagang pintu atau yang melakukan kontak dengan gagang pintu ialah bagian pengait atau *Hook*. Bagian ini dibuat menggunakan mesin 3D *Printer* dengan pengaturan cetak terlihat pada Gambar 3-39.



Gambar 3-39 Pengaturan Cetak *Hook*

Dengan pengaturan cetak tersebut dipilihlah *Fill Density* sebesar 15%, resolusi standar dan berbahan PLA. Pada Gambar 3-39 terlihat *Fill Density* 15% akan membuat bagian dalamnya lebih berongga sehingga menjadi lebih ringan dan hemat bahan.



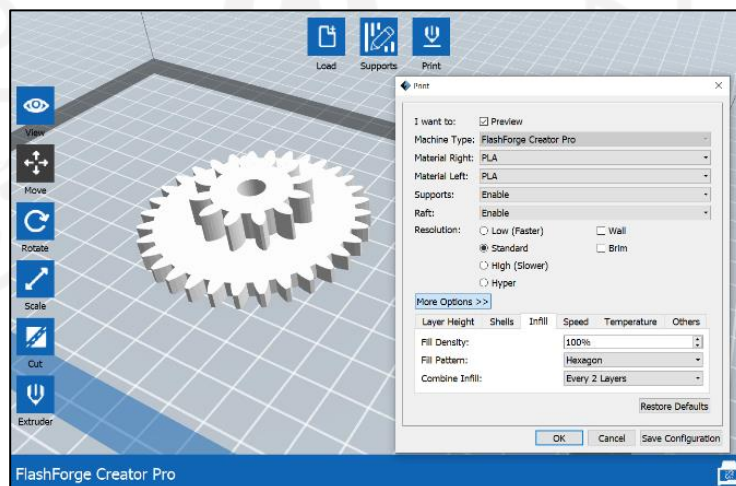
Gambar 3-40 Pratinjau Hasil Cetak *Hook*



Gambar 3-41 Proses 3D Printing Hook

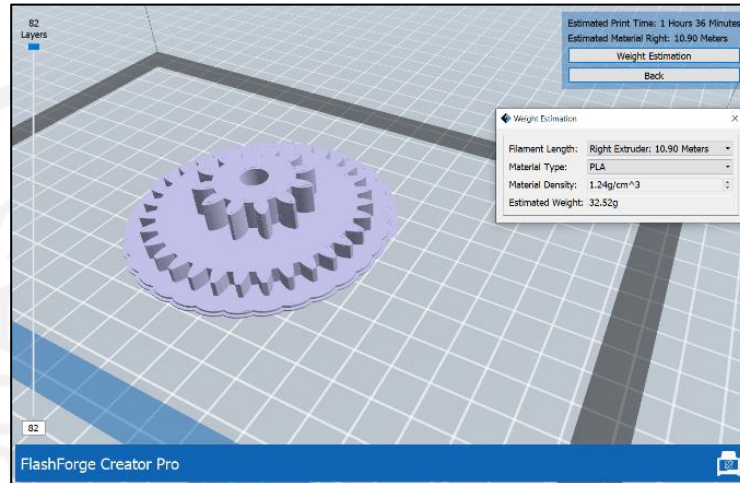
2. Roda Gigi (*Gears*)

Proses cetak roda gigi pada mekanisme ini terdiri dalam 3 macam bentuk roda gigi. Yang pertama ialah mencetak *Gear Middle*, yaitu roda gigi yang berada di tengah antara *Gear Motor* dan *Gear Lengan*. Pengaturan cetaknya dapat dilihat pada Gambar 3-42, *Fill Density* 100%, resolusi standar dan menggunakan *Raft*. *Raft* atau rakit cetak 3D ialah bagian pendukung diatas *bed* mesin 3D *Printer* yang bertujuan untuk memudahkan proses pengangkatan cetakan dan meminimalisir kerusakan seperti melengkung atau bahkan patah akibat pengangkatan dengan tangan. Roda gigi yang melengkung akan menjadi faktor yang sangat berpengaruh pada pergerakan mekanismenya.



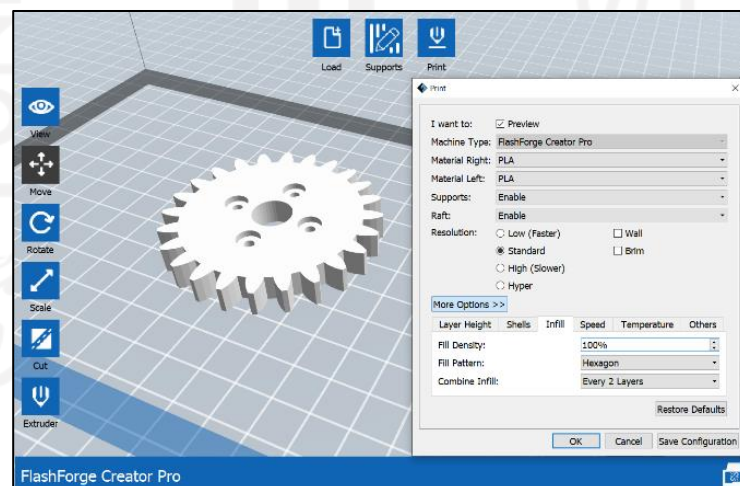
Gambar 3-42 Pengaturan Cetak *Gear Middle*

Pratinjau cetakannya ditunjukkan pada Gambar 3-43, *Gear Middle* ini membutuhkan 10,9 meter bahan dengan waktu cetak 1 jam 36 menit. Estimasi berat dengan bahan PLA ialah 32,52 gram, berat ini termasuk bentuk hasil yang pejal atau *Fill Density* 100%. Karena pada mekanisme pembuka pintu ini ada dua lengan, maka *Gear Middle* ini dicetak dua kali.



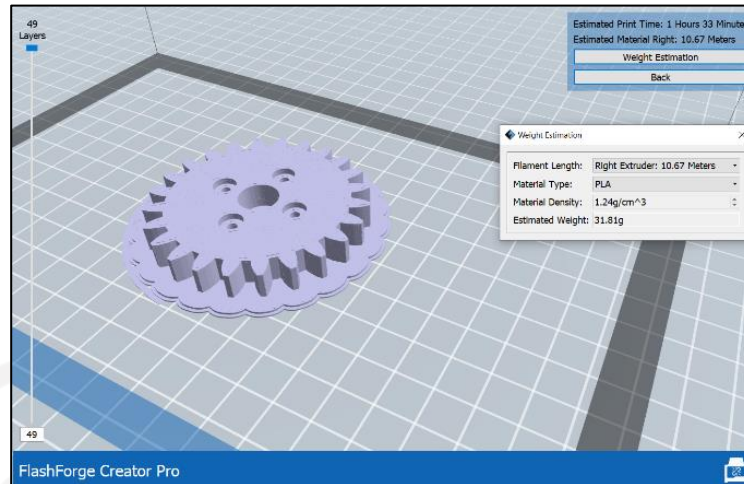
Gambar 3-43 Pratinjau Hasil Cetak *Gear Middle*

Cetakan roda gigi kedua ialah bagian *Gear Lengan*, pengaturan cetaknya sama dengan *Gear Middle* yang dapat dilihat pada Gambar 3-44 . *Fill Density* 100%, resolusi standar dan menggunakan *Raft*.



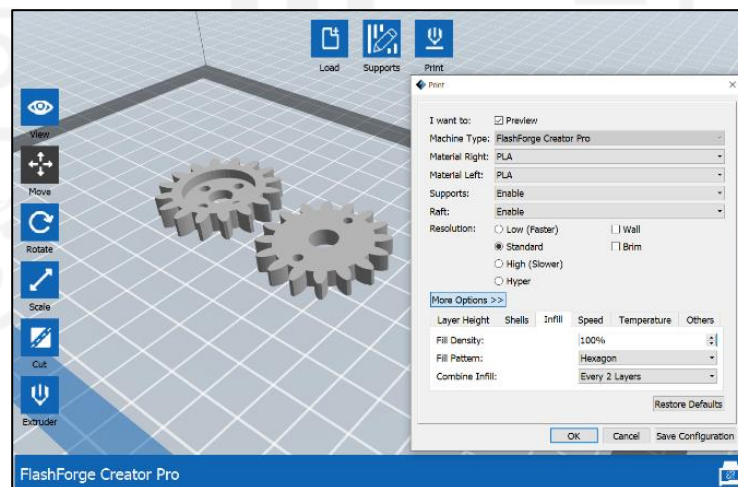
Gambar 3-44 Pengaturan Cetak *Gear Lengan*

Hasil cetakan *Gear Lengan* diestimasikan seberat 31,81 gram, memerlukan bahan cetak sepanjang 10,67 meter dan waktu cetak selama 1 jam 33 menit. Pratinjau hasil cetakan *Gear* lengan dapat dilihat pada Gambar 3-45.



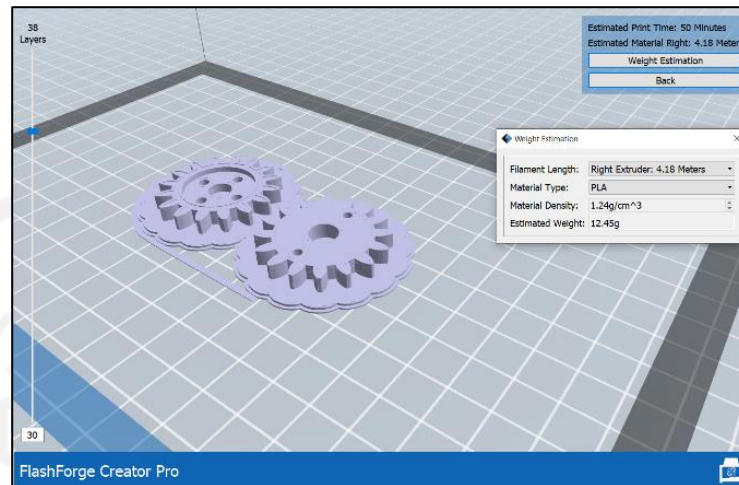
Gambar 3-45 Pratinjau Hasil Cetak *Gear Lengan*

Untuk menggerakkan pengait (*Hook*) dari motor *servo* diperlukan mekanisme *spur gear* dan dibuat juga dengan proses *3D Printing*. Ada dua roda gigi kecil yang diproses sekaligus pada proses cetak selanjutnya, yaitu *Gear Hook* dan *Gear Servo*. *Gear Hook* akan terpasang pada *Hook* dan akan ikut berputar, sedangkan *Gear Servo* terpasang dengan *Horn Servo* yang berbentuk khusus menyesuaikan Motor *Servo*. Dalam kata lain, *Gear Servo* ialah *Horn Servo custom* berbentuk roda gigi. Pengaturan cetaknya yang dapat dilihat pada Gambar 3-46 menunjukkan bahwa cetaknya menggunakan *Raft*, resolusi standar dan *Fill Density* 100%.



Gambar 3-46 Pengaturan Cetak *Gear Servo* dan *Gear Hook*

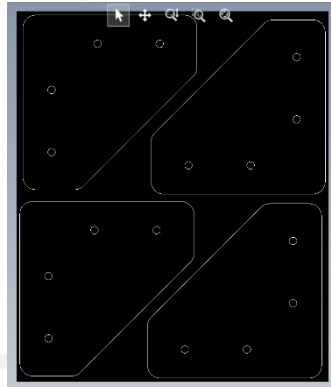
Pratinjau hasil cetakan kedua roda gigi tersebut dapat dilihat pada Gambar 3-47, estimasi total beratnya ialah 12,45 gram dengan waktu cetak 50 menit serta membutuhkan bahan cetak sepanjang 4,18 meter.



Gambar 3-47 Pratinjau Hasil Cetak *Gear Servo* dan *Gear Hook*

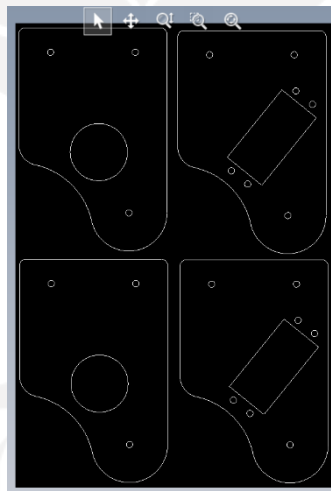
3.4.4.2 Proses Pemesinan Laser Cutting

Rangka lengan terbuat dari batang Aluminium *hollow* persegi dan desain dari rangka lengan tersebut berbentuk siku dari dua batang yang berhubungan. Oleh karena itu dibutuhkan penghubung yang *fix* untuk kedua batang tersebut. Jika dengan proses pengelasan, batang Aluminium *hollow* dengan ketebalan sangat tipis akan sulit dilakukan. Pengelasan juga tidak dapat melepas pasang kedua batang lagi jika akan ada perbaikan ukuran. Sehingga digunakan plat dari lembaran logam *stainless steel* untuk penghubung kedua batang rangka lengan tersebut, dikarenakan proses perakitanya dapat dilepas pasang dan lebih bisa dengan aneka ragam bentuk menyesuaikan desain yang diinginkan. Proses pembentukan bagian penghubung ini ialah dengan memotong plat logam tersebut menggunakan mesin *laser*. Bagian penghubung yang dimaksud ialah Plat Siku Lengan dari *stainless steel* ketebalan 1 mm, pratinjau desain yang terbaca pada mesin *laser* dapat dilihat pada Gambar 3-48 Desain *Drawing* yang mencakup ukuran-ukurannya dapat dilihat pada Lampiran 3.



Gambar 3-48 Pratinjau *file Lasercutting* Plat Siku Lengan

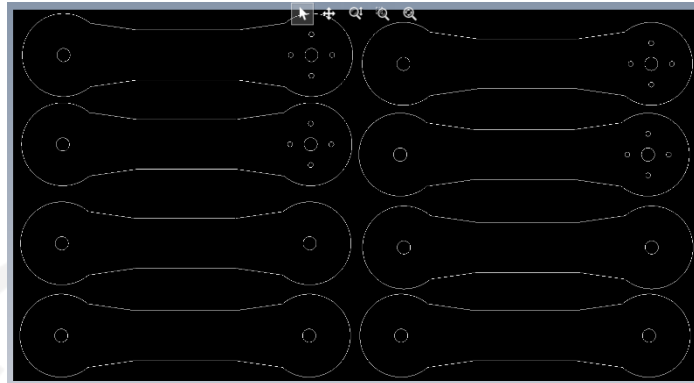
Untuk merakit pengait (*Hook*) menyatu dengan motor *servo* serta roda giginya, dibuatkan dudukan dari lembaran plat *stainless steel* tebal 1 mm dan diproses pada mesin CNC *lasercutting*. Dudukan yang dimaksud ialah *part* Plat *Hook* Atas dan *part* Plat *Hook* bawah. Sebelum dipotong dengan mesin *laser*, pratinjaunya dapat dilihat pada Gambar 3-49 dan desain *Drawing* yang mencakup ukuran-ukuran lengkapnya dapat dilihat pada Lampiran 3.



Gambar 3-49 Pratinjau *File Lasercutting* Plat *Hook*

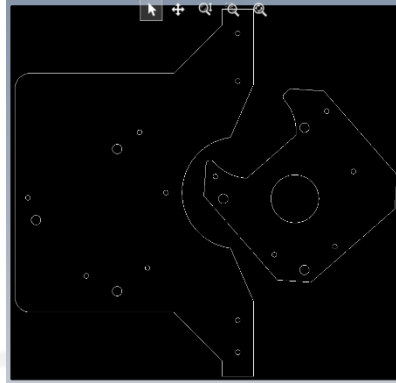
Bagian penting pada mekanisme pembuka pintu yang pasti ialah bagian lengan. Rangka lengan harus dapat terhubung dengan rangka badan. Penghubung tersebut bisa juga disebut *link* yang mempengaruhi pergerakan lengan dari ukuran panjangnya. Penghubung ini dibuat dengan desain *part* Plat Lengan yang sepasang yaitu Plat Lengan Atas dan Plat Lengan Bawah. Bahannya dengan lembar logam *stainless steel* tebal 2 mm yang dipotong dengan mesin *laser*.

Pratinjau *file* format (.dxf) yang dapat terbaca mesin *laser* dapat dilihat pada Gambar 3-50.



Gambar 3-50 Pratinjau *File Lasercutting* Plat Lengan

Perancangan roda-roda gigi yang saling terhubung memerlukan dudukan yang presisi pada ukuran lubang-lubangnya, seperti lubang yang menjadi dudukan poros roda gigi. Poros tersebut harus pula dengan jarak presisi dengan poros roda gigi lainnya atau disebut jarak antar poros roda gigi. Jika terlalu dekat akan menghambat pergerakan roda gigi karena terlalu berdekatan atau akan macet, dan jika terlalu jauh akan terjadi *miss* atau gigi yang terlewat. Oleh karena itu diperlukan dudukan yang presisi, dudukan ini tentu akan lebih presisi jika diproses dari mesin CNC seperti mesin *laser cutting* dibanding dibuat manual dengan tangan manusia yang. Dudukan roda gigi yang dibuat ialah *part* Plat *Gearset* yang dirakit bersamaan dengan *part* Plat *Bracket Motor*. *Part-part* ini menjadi *sub-assembly gearset* yang berisi *Gear Middle*, Motor LC-578VA, *Bearing* dan baut-bautnya. Plat *Gearset* dan Plat *Bracket Motor* berbahan plat *stainless steel* ketebalan 1 mm. Pratinjau *file* (.dxf) bagian tersebut dapat dilihat pada Gambar 3-51.



Gambar 3-51 Pratinjau *File Lasercutting* Plat *Gearset* dan *Bracket Motor*

3.4.4.3 Proses Pemotongan

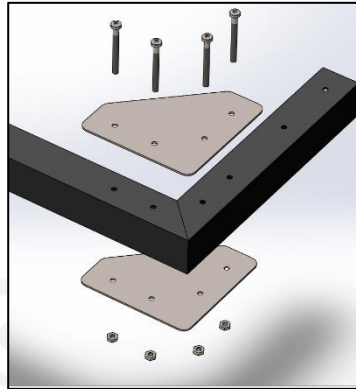
Batang aluminium *hollow* yang didapat dari pasaran berukuran panjang 6 meter. Untuk memotongnya, digunakan mesin *miter saw* yang ada di Laboratorium Proses Produksi Teknik Mesin UII. Pemotongan berdasarkan ukuran-ukuran lengan yang telah didesain, gambar tekniknya dapat ditinjau pada Lampiran 3.

3.4.4.4 Proses *Drilling*

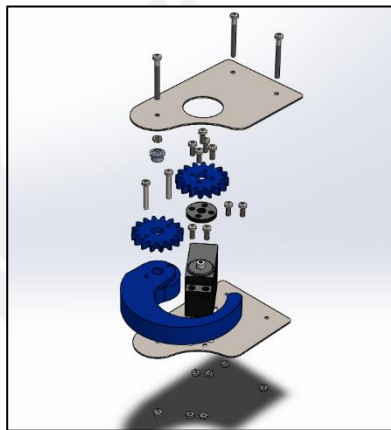
Proses melubangi atau *drilling* menggunakan mesin *Benchtop Drill Press* yang ada di Laboratorium Proses Produksi Teknik Mesin UII, dapat dilihat pada Gambar 3-5. Mata bor yang digunakan ialah mata bor HSS berukuran 3 mm, 5 mm dan 8 mm. Jarak-jarak setiap posisi lubang dapat ditinjau pada Lampiran 3.

3.4.5 Proses Perakitan

Setelah bagian-bagian yang diproses selesai diproduksi, dilanjutkan dengan tahap perakitan. Proses perakitan ini memerlukan alat seperti obeng, tang dan pinset. Pemasangan aluminium *hollow* (rangka lengan) dengan plat siku lengan dihubungkan dengan baut ukuran M3 dengan panjang 30 mm, tampilan *explode* dapat dilihat pada Gambar 3-52.



Gambar 3-52 *Explode View* Perakitan Siku Lengan



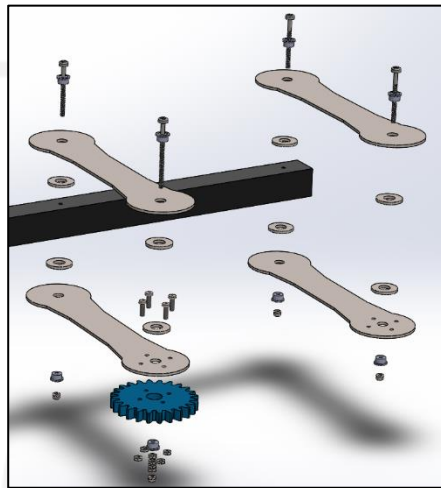
Gambar 3-53 *Explode View* Perakitan *Hook*

Perakitan komponen seperti motor *Servo* MG996R, *Hook*, Plat *Hook* beserta roda-roda giginya dapat ditinjau dari tampilan *explode* pada Gambar 3-53. Hasil perakitannya dapat dilihat pada Gambar 3-54.



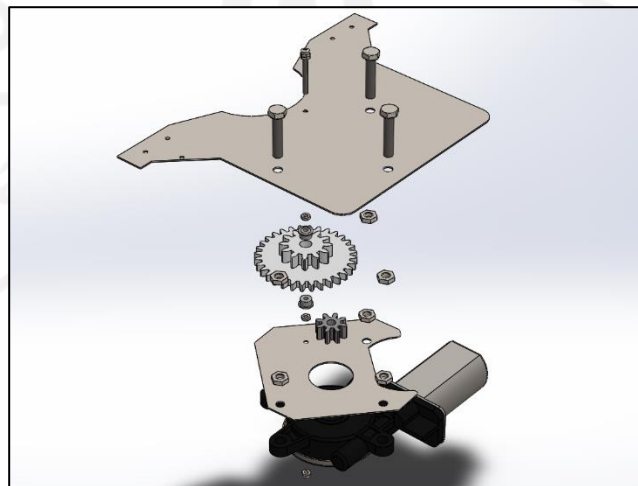
Gambar 3-54 Perakitan Plat Siku Lengan dan Plat Bagian *Hook*

Perakitan lengan terdiri dari *parts* seperti Rangka Lengan, Plat Lengan, yang dihubungkan dengan baut dan *lock nut* ukuran M3. Untuk meminimalisir gesekan antara baut (poros) dengan rangka lengan, terpasang *flanged bearing* tipe F963ZZ di lubang pada Plat Lengan Atas dan Plat Lengan Bawah. Tampilan *explode* perakitannya dapat dilihat pada Gambar 3-55.



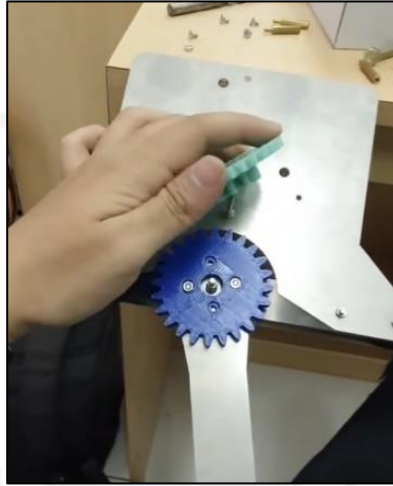
Gambar 3-55 *Explode View* Perakitan Lengan

Proses selanjutnya yaitu perakitan pereduksi roda gigi yang dapat dilihat pada Gambar 3-56, dari dipasangnya *part* seperti Plat Gearset, roda-roda gigi, *bearing*, motor LC-578VA hingga semua *parts* itu terpasang pada batang aluminium *part* Rangka Hub Badan-Lengan.



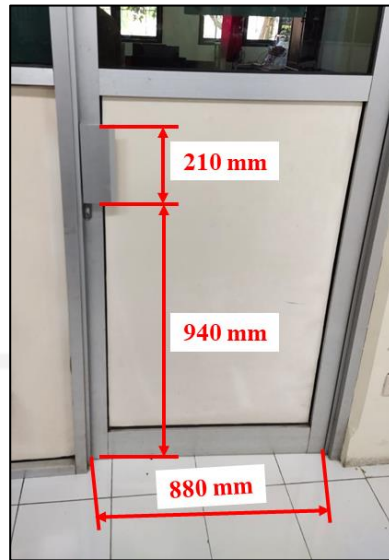
Gambar 3-56 *Explode View* Perakitan Gearset

Pada *Gear Middle* terdapat juga sepasang *Bearing F963ZZ* pada lubangnya. Sehingga saat terpasang dengan baut sebagai poros, pergerakan rotasinya akan lebih lancar. Pemasangan *Gear Middle* dapat dilihat pada Gambar 3-57.



Gambar 3-57 Pemasangan *Gear Middle*

Setelah semua *sub-assembly* sudah dirakit, proses perakitan terakhir yaitu pemasangan *sub-assembly* ke Rangka Hub Badan-Lengan melalui Plat Lengan Atas dan Bawah. Pemasangannya juga terdapat baut M3 serta dikunci dengan *lock nut* yang tidak terpasang dengan *fix* agar pergerakan lengan lebih leluasa. Diketahui tinggi rak tingkat ketiga pada *robot UMAR* yaitu 960 mm dan pada Gambar 3-58 terlihat rentang ketinggian untuk bisa meraih gagang pintu ialah 940 - 1.150 mm dari lantai, maka mekanisme pembuka pintu ini dipasang sejajar dengan rangka rak tingkat ketiga tersebut.



Gambar 3-58 Ukuran Pintu Laboratorium Mekatronika

Untuk mempermudah proses simulasi gerak dan proses perakitan, maka bagian rangka rak teratas (tingkat 4) dipotong sehingga *Robot* UMAR menjadi 3 tingkat rak barang. Dipasangkan tambahan batang aluminium *hollow* berwarna hitam disamping rangka rak tersebut yang dapat dilihat pada Gambar 3-59. Tambahan batang aluminium *hollow* (*part* Rangka Hub Badan-Lengan) ini dilakukan agar rangka rak yang terbuat dari *stainless steel* tidak perlu dibuat lubang dudukan baru. Pada rangka rak sudah terdapat lubang dari awal terbentuknya *prototype* tersebut, jadi penambahan mekanisme lengan nantinya akan bersifat *PnP* (*Plug and Play*) sehingga hasil akhir (*Full Assembly*) dapat dilihat pada Gambar 3-60.



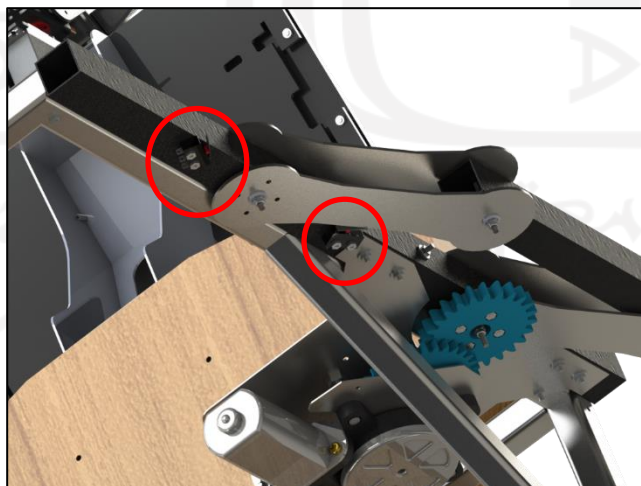
Gambar 3-59 Pemasangan Rangka Hub Badan-Lengan



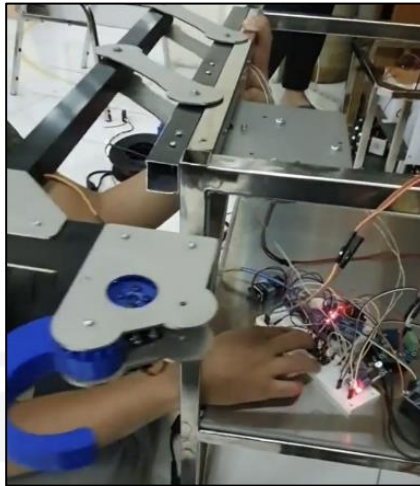
Gambar 3-60 Hasil Perakitan

3.4.6 Persiapan Simulasi

Semua bagian mekanik sudah terpasang, proses selanjutnya ialah merangkai sistem kendalinya. Kabel-kabel dari motor LC-578VA dan motor *Servo* MG996R dirangkai pada rangkaian elektrik sementara dengan *breadboard* yang prosesnya dapat dilihat pada Gambar 3-62. Komponen mekatronika lain yang ditambahkan ialah *limit switch* sebagai pengirim sinyal bahwa lengan sudah berada di sudut tertentu. Sepasang *limit switch* terpasang di bawah Rangka Hub Batang-Lengan yang dapat ditinjau melalui Gambar 3-61.



Gambar 3-61 Pemasangan *Limit Switch*



Gambar 3-62 Perakitan Elektrik Sistem Kendali

Selain mengerjakan rancang bangun mekanisme pembuka pintu, diperlukan tempat simulasi berupa pintu dengan gagang yang sesuai dengan desain, yaitu pintu di Rumah Sakit JIH. Gagang pintu di Rumah Sakit JIH berbentuk batang silinder yang terpasang vertikal, contohnya ada pada Gambar 3-63.



Gambar 3-63 Pintu Rumah Sakit JIH

Sumber : Youtube, RS JIH.

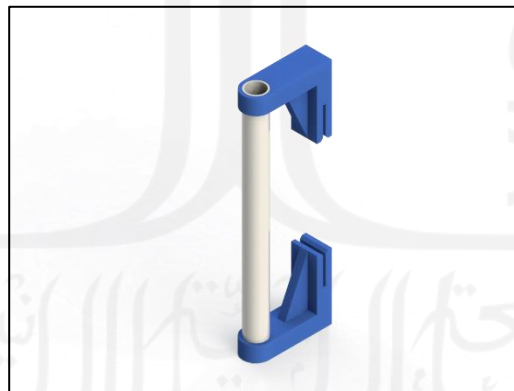
Akibat dari kondisi saat ini sedang pandemi *COVID-19* dan PPKM (Pemberlakuan Pembatasan Kegiatan Masyarakat), maka dari itu tidak memungkinkan untuk melakukan simulasi langsung di Rumah Sakit JIH tersebut. Jadi, dilakukan simulasi di sekitar lingkungan Laboratorium Teknik Mesin UII dengan tetap mengikuti protokol kesehatan. Pada Labarotarium Mekatronika terdapat pintu yang juga terpasang hidrolik penutup pintu, namun pada Gambar

3-64 terlihat bahwa gagang pintunya tidak sama dengan yang ada di Rumah Sakit JIH.



Gambar 3-64 Pintu Laboratorium Mekanika

Agar simulasi membuka dan menutup pintu dengan *Robot* UMAR tetap bisa dilakukan, maka dibuatkan gagang pintu tambahan berbentuk silinder yang juga bisa terpasang vertikal di gagang pintu yang ada. Gagang pintu tambahan ini terbuat dari pipa PVC $\frac{3}{4}$ inci dan sepasangudukan dari hasil *3D Printing* yang desainnya dapat dilihat pada Gambar 3-65.

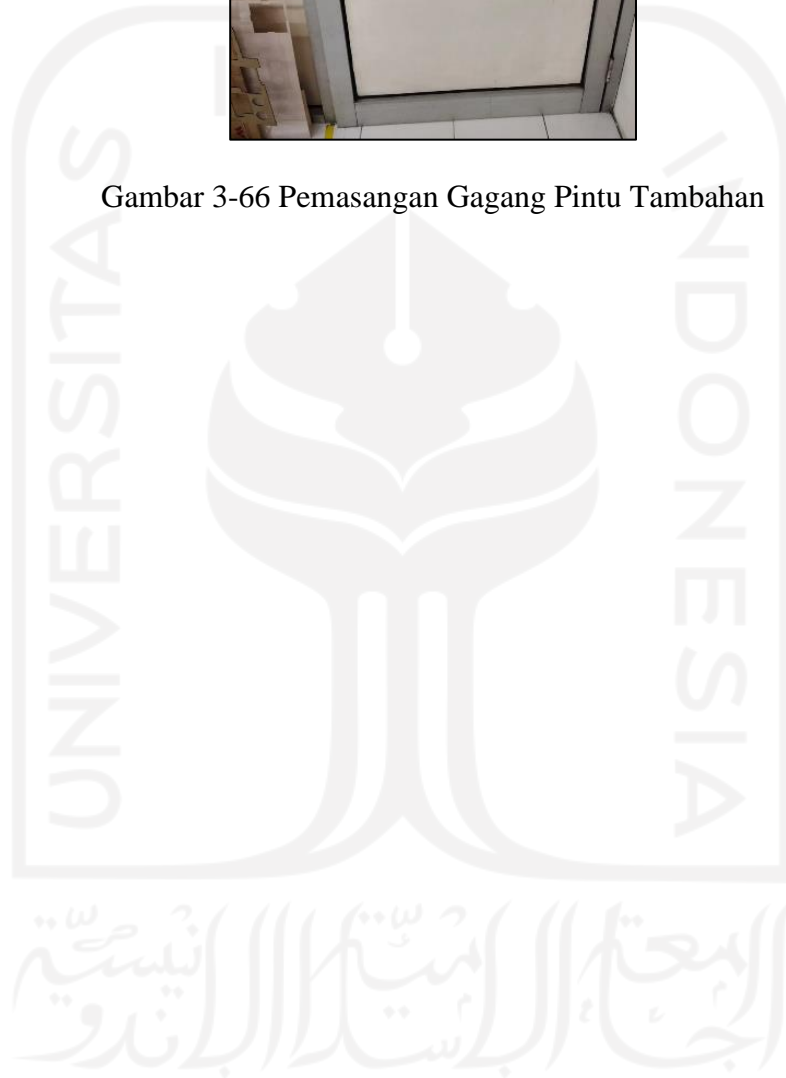


Gambar 3-65 Desain *Custom* Gagang Pintu Silinder

Setelah selesai dibuat pada mesin *3D Printing* dengan bahan PLA, gagang pintu tambahan langsung dipasang pada gagang pintu yang ada di pintu Laboratorium Mekanika UII, hasil pemasangan dapat dilihat pada Gambar 3-66.



Gambar 3-66 Pemasangan Gagang Pintu Tambahan



BAB 4

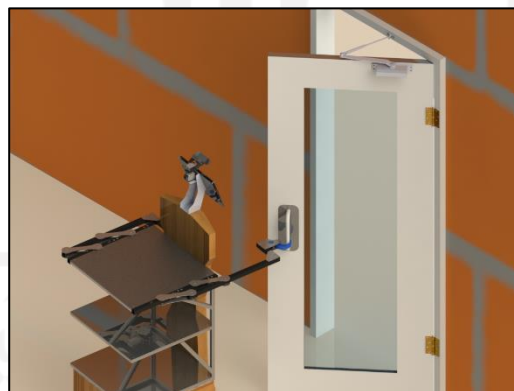
HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Perancangan

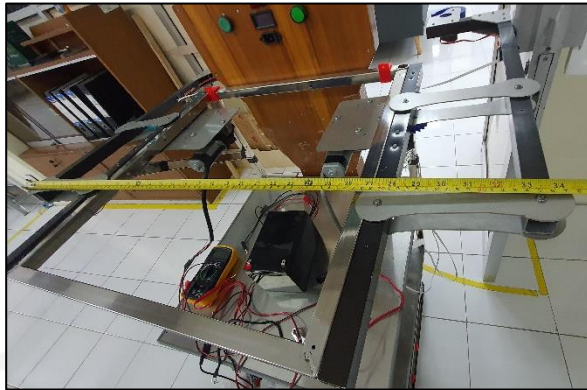
Hasil desain *Assembly* Lengan mekanisme pembuka pintu digabungkan ke *Complete Assembly* purwarupa robot UMAR dengan hasil *render* dapat dilihat pada Gambar 4-1. Secara *virtual*, mekanisme lengan sedang menarik pintu yang dapat dilihat pada Gambar 4-2.



Gambar 4-1 *Full Assembly* dengan Lengan Posisi *Standby*



Gambar 4-2 Tampilan *Virtual Robot* UMAR Menarik Gagang Pintu



Gambar 4-3 Lebar *Robot* pada Posisi Sudut Gerak Lengan Terjauh

Gambar 4-3 menunjukkan penambahan mekanisme pembuka pintu tentunya akan menambah lebar *robot* sepanjang 372 mm, sehingga total lebarnya menjadi 872 mm ketika kedua lengan direntangkan pada sudut siku 90° . Namun untuk melawati bingkai pintu tentu lengan akan kembali ke posisi merapat ke sisi dalam, jadi total lebarnya hanya menjadi 700 mm terlihat pada Gambar 4-4. Selain tampilan hasil *render* dari *software SOLIDWORKS*, tampilan sesungguhnya dari rancang bangun mekanisme pembuka pintu dapat dilihat pada Gambar 4-8.



Gambar 4-4 Lengan Mekanisme Pembuka Pintu Tampak Atas



Gambar 4-5 Lengan Mekanisme Pembuka Pintu Tampak Bawah



Gambar 4-6 Robot UMAR Tampak Depan



Gambar 4-7 Robot UMAR Tampak Samping



Gambar 4-8 *Robot* UMAR Tampak Isometris



Gambar 4-9 Simulasi Menarik Pintu

Terlihat dari rancang bangun yang telah dibuat pada Gambar 4-8, mekanisme pembuka pintu dapat terpasang ke badan *robot* UMAR sesuai desain yang dibuat. Pada Gambar 4-9 terlihat bahwa *Robot* UMAR dengan mekanisme pembuka pintu sudah berhasil membuka pintu dengan gaya menarik dari dalam ruangan.

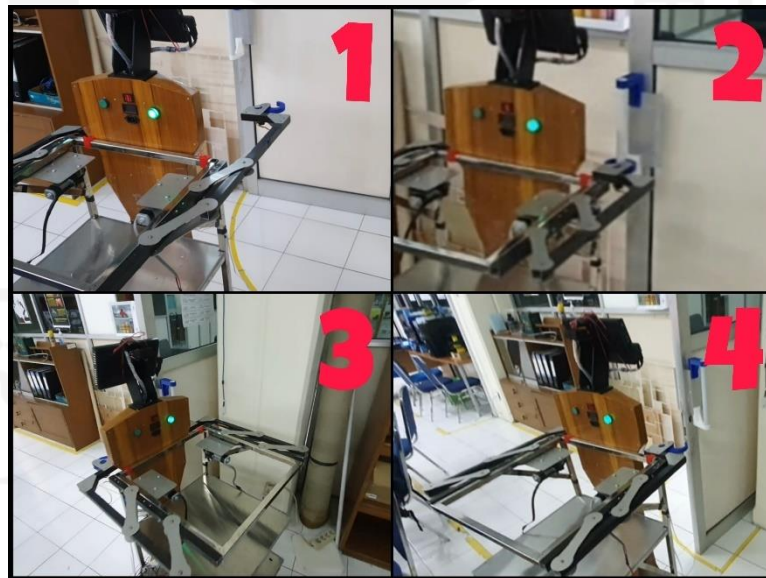
4.2 Hasil Pengujian

Pengujian mekanisme dilakukan secara kendali *wireless* dengan uji awal tanpa beban untuk ditarik atau belum menarik pintu, simulasinya dapat dilihat pada Gambar 4-10.



Gambar 4-10 Percobaan Gerakan Lengan Tanpa Beban

Dengan pemantauan gerakan lengan menggunakan rekaman video, uji awal tanpa beban tersebut menghasilkan gerakan mekanisme dengan durasi waktu lengan selama 2,5 detik untuk menempuh gerakan sejauh 135° serta lengan maju kedepan sejauh 28 cm. Untuk gerakan *Hook* membuka atau menutup ditempuh selama 0,8 detik. Selanjutnya diuji untuk menarik pintu Laboratorium Mekatronika yang dapat dilihat pada Gambar 4-11. Pengujian menarik pintu tersebut membuat *robot* memerlukan waktu 3,0 detik untuk bisa menggerakkan mekanisme pembuka pintu sejauh 135° .



Gambar 4-11 Urutan Gerak *Robot* Membuka Pintu

Urutan gerak pada Gambar 4-11 menunjukkan pada gerakan pertama yaitu menyesuaikan posisi *robot* dengan gagang pintu serta merentangkan lengan kedepan dan membuka *hook*, gerakan kedua yaitu *hook* mengait gagang pintu

serta lengan menarik pintu melalui mekanisme pembuka pintu dan dilanjutkan pada gerakan ketiga yaitu menarik pintu dengan memundurkan *robot* hingga pintu terbuka maksimal. Gerakan terakhir yaitu *hook* bergerak membuka untuk melepaskan kaitan gagang pintu lalu *robot* bergeser memposisikan badan sejajar dengan bingkai pintu agar dapat jalan maju melewatinya.

4.3 Analisis dan Pembahasan

Bagian ini membahas tentang analisis kekuatan dari berbagai macam komponen yang rentan rusak saat dikenakan sejumlah gaya. Terdiri dari analisis gaya yang terjadi pada *gear*, analisis statis dari komponen-komponen pada mekanisme pembuka pintu, analisis kecepatan putar dan torsi akhir serta pembahasan tentang pengujian atau simulasi *robot* ketika membuka pintu.

4.3.1 Analisis Gaya yang Terjadi pada *Gear*

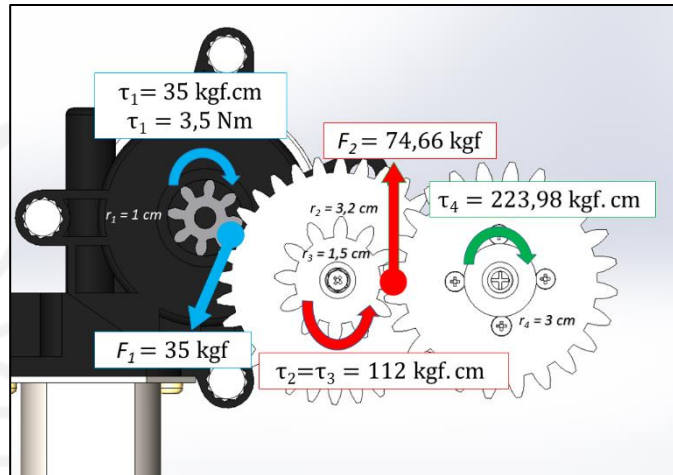
Bagian-bagian (*parts*) yang terdapat pada mekanisme pembuka pintu terdiri dari roda gigi (*gears*) dan *hook* yang terbuat dari hasil cetak mesin 3D *Printer* berbahan PLA. *Parts* tersebut merupakan komponen yang perlu dianalisis kekuatannya agar hasil perancangan dapat diketahui batasan-batasannya seperti gaya maksimal yang dapat dibebankan. Sebelum melakukan simulasi, terlebih dahulu mencari besar nilai gaya yang akan dibebankan di setiap *part*. Telah diketahui bahwa torsi motor LC-578VA ialah sebesar 3,5 Nm. Lalu gaya tersebut mengalir mengikuti transmisi pereduksi roda gigi, dengan sketsa distribusi gaya beban di setiap *part* dapat dilihat pada Gambar 4-12 dan diperhitungkan pada perhitungan berikut :

$$\begin{aligned} \tau_2 &= r_2 \cdot F_1 \cdot \sin(90^\circ) & (4.1) \\ \tau_2 &= 3,2 \text{ cm} \times 35 \text{ kgf} \times 1 = 112 \text{ kgf.cm} \\ F_2 &= \frac{\tau_2}{r_3 \cdot \sin(90^\circ)} = \frac{112 \text{ kgf.cm}}{1,5 \text{ cm} \times 1} = 74,66 \text{ kgf} \\ \tau_3 &= 3 \text{ cm} \times 74,66 \text{ kgf} \times 1 = 223,98 \text{ kgf.cm} \end{aligned}$$

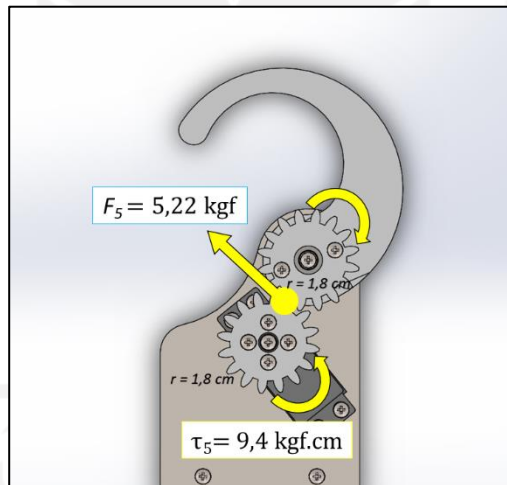
Pada Gambar 4-13, bagian *Gear Servo* sebagai awal gaya terjadi karena *part* tersebut terpasang dengan motor *Servo* MG996R dengan torsi yang

dihasilkan sebesar 9,4 kgf.cm. Dari torsi tersebut menghasilkan gaya F_5 dengan perhitungan berikut :

$$F_{servo} = \frac{\tau_5}{r \cdot \sin(90^\circ)} = \frac{9,4 \text{ kgf.cm}}{1,8 \text{ cm} \times 1} = 5,22 \text{ kgf} \quad (4.2)$$



Gambar 4-12 Sketsa Distribusi Pembebanan Gear pada Torsi Motor 3,5 Nm



Gambar 4-13 Sketsa Pembebanan pada Gear Servo

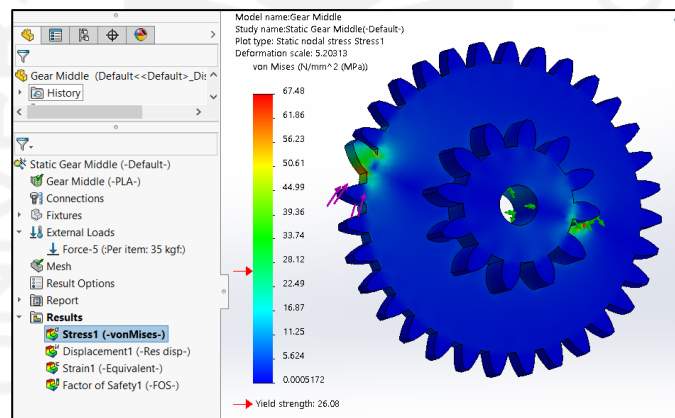
4.3.2 Static Analysis Gears

Analisis statis roda gigi terdiri dari *parts* yang dicetak melalui mesin 3D Printer dengan bahan PLA. Analisis dilakukan menggunakan *software SolidWorks 2018* dengan asumsi setiap *parts* yang di analisis berbentuk pejal atau hasil dari pemodelan CAD pada *SolidWorks 2018 (.sldprt)*, bukan *file* hasil

pengaturan cetak *software Flashprint (.x3g)*. Kecuali pada *part Hook* yang didesain ulang menyesuaikan hasil cetak 3D dengan *infill* 15% berbentuk *hexagon*.

4.3.1.1 Gear Middle

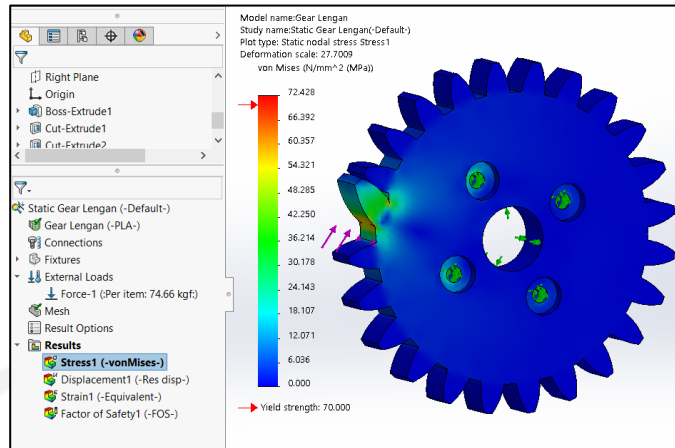
Roda gigi yang kontak pertama dengan *gear* pada motor LC-578VA ialah *Gear Middle*. Ditinjau dari Gambar 4-14, sisi yang *fixed* ditunjukkan dengan panah berwarna hijau dan sisi yang terdapat pembebanan ditunjukkan dengan panah berwarna merah muda. Alasan sisi tersebut menjadi *fixed* ialah karena diasumsikan lengan juga *fixed* dan diasumsikan motor berputar dengan torsi 3,5 Nm. Sehingga gaya beban berasal dari motor LC-578VA sebesar 35 kgf. Hasil *stress analysis* pada Gambar 4-14 menunjukkan *von Mises Stress* sebesar 67,48 MPa, nilai tersebut melebihi kekuatan luluh material yaitu sebesar 26 MPa, sehingga nilai *Factor of Safety* pada *Gear Middle* sebesar 0,39. *Gear Middle* akan rusak ketika besar beban mencapai 13,65 kgf.



Gambar 4-14 *Stress Analysis Gear Middle*

4.3.1.2 Gear Lengan

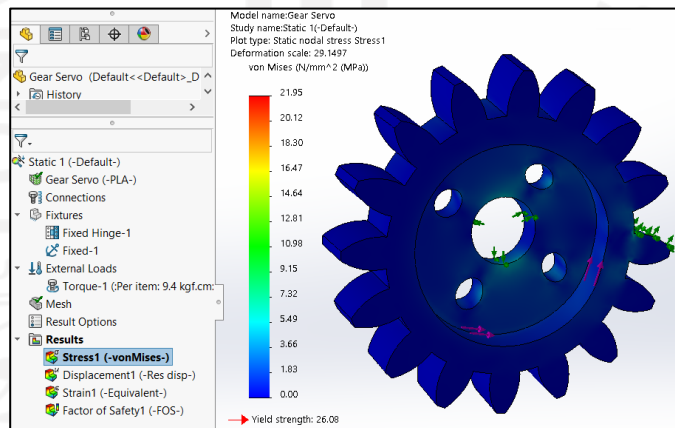
Terlihat pada Gambar 4-15, pembebanan sebesar 74,66 kgf berada di sisi gigi yang ditunjukkan dengan panah berwarna merah muda serta sisi *fixed* terdapat pada lubang baut. Hasilnya didapat nilai *von Mises Stress* sebesar 72,43 MPa, nilai tersebut kurang dari nilai kekuatan luluhnya (26 MPa) sehingga sudah pasti rawan rusak karena nilai *Factor of Safety* sebesar 0,36. *Gear Lengan* diketahui sudah akan rusak jika bebannya sebesar 26,87 kgf.



Gambar 4-15 *Stress Analysis Gear Lengan*

4.3.1.3 *Gear Servo*

Berdasarkan sketsa pembebanan pada Gambar 4-12, besar momen gaya yang dibebankan yaitu 9,4 kgf.cm diasumsikan terletak pada sisi permukaan *horn servo*. Bagian yang *fixed* ada pada salah satu gigi, sehingga diasumsikan analisis tersebut terjadi saat motor *Servo MG996R* bergerak dan *Gear Hook* dalam posisi *fixed*. Pada Gambar 4-16, didapatkan nilai *von Mises Stress* sebesar 21,95 MPa. Nilai tersebut membuat nilai *Factor of Safety* menjadi 1,19. *Gear Servo* ini diketahui akan rusak jika beban menjadi 11,18 kgf.

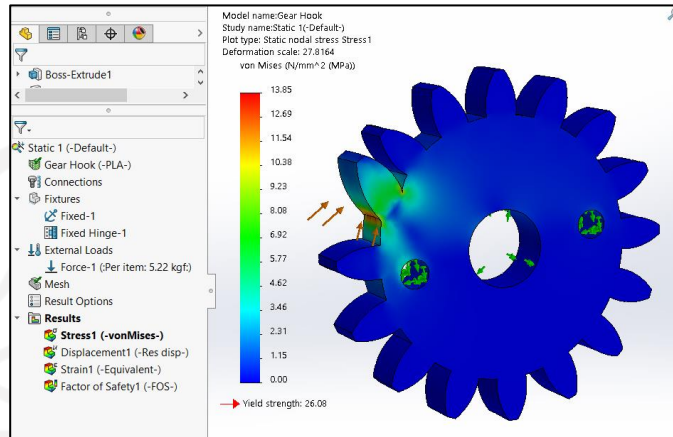


Gambar 4-16 *Stress Analysis Gear Servo*

4.3.1.4 *Gear Hook*

Lanjutan dari transmisi daya pada motor *Servo MG996R* yaitu *Gear Hook* yang salah satu giginya dibebankan oleh gaya sebesar 5,22 kgf berdasarkan hasil perhitungan pada Gambar 4-13. Bagian yang *fixed* terdapat pada lubang baut

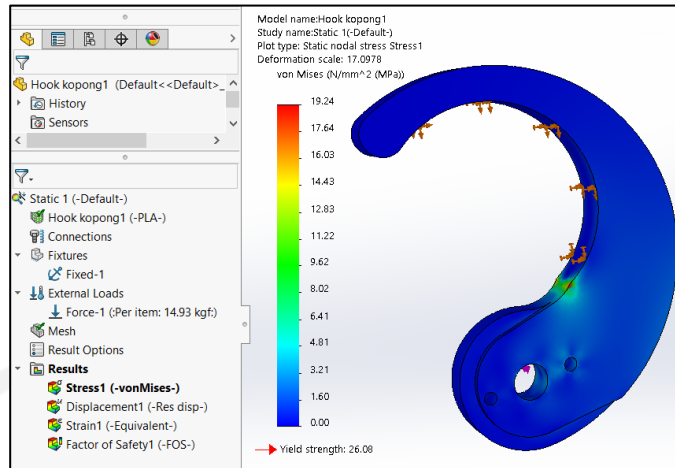
karena diasumsikan saat motor *Servo* MG996R bergerak, *Hook* diasumsikan *fixed*. Pada Gambar 4-17, didapat nilai *von Mises Stress* sebesar 13,85 MPa dengan *Factor of Safety* sebesar 1,88 membuatnya akan rusak jika besar beban menjadi 9,92 kgf.



Gambar 4-17 *Stress Analysis Gear Hook*

4.3.3 *Static Analysis Hook*

Bagian yang banyak berkontak dengan sesuatu ketika *robot* dioperasikan yaitu *part Hook*. Pengait ini akan berkontak dengan gagang pintu yang sedang menariknya. Oleh karena itu, pada analisis statis *Hook* diasumsikan ada gaya tarik lengan sebesar 14,93 kgf, didapat dari distribusi gaya pada Gambar 4-12 membuat mekanisme mampu menarik pintu dengan gaya 147,31 N atau 14,93 kgf jika panjang lengan dari siku ke bahu sejauh 15 cm. Letak gaya tersebut tentu pada sisi lubang poros, yaitu pada panah berwarna merah muda yang dapat dilihat pada Gambar 4-18.



Gambar 4-18 Stress Analysis Hook

Letak sisi yang *fixed* ialah pada sisi dalam *hook* yang kontak dengan gagang pintu, karena diasumsikan pintu diam (*fix*) saat *robot* sedang menariknya. Hasil analisis pada Gambar 4-18 menunjukkan nilai *von Mises Stress* sebesar 19,24 MPa dengan *Factor of Safety* sebesar 1,36. Mengingat *part Hook* ini dicetak dengan *infill* sebesar 15% membuatnya masih mampu untuk menahan beban dari gaya tarik pintu tersebut. Diketahui, *part Hook* ini akan rusak jika beban dari gaya tarik pintu sebesar 20,30 kgf. Seluruh hasil analisis statis terhadap kekuatan komponen atau *part* mekanisme pembuka pintu disimpulkan dalam Tabel 4-1.

Tabel 4-1 Hasil Analisis Kekuatan Komponen pada Torsi Motor 3,5 Nm

<i>Part</i>	<i>Infill</i> (%)	Beban (kgf)	<i>Von Mises</i> (MPa)	<i>Displacement</i> (mm)	<i>Factor of Safety</i>	Pembebanan Maksimal (kgf)
<i>Gear Middle</i>	100	35	67,48	1,54	0,39	13,65
<i>Gear Lengan</i>	100	74,66	72,43	1,25	0,36	26,87
<i>Gear Servo</i>	100	9,4	21,95	0,13	1,19	11,18
<i>Gear Hook</i>	100	5,22	13,85	0,15	1,88	9,81
<i>Hook</i>	15	14,93	19,24	0,54	1,36	20,30

4.3.4 Analisis Kecepatan Akhir dan Torsi Akhir

Suatu aktuator belum tentu bekerja sesuai spesifikasinya secara efisien 100 %. Kemungkinan besar dari gaya-gaya yang dihasilkannya akan terpengaruh rugi-rugi yang terjadi setelah dipasangkan dengan suatu mekanisme. Maka untuk mengoptimalkan perhitungan kebutuhan gaya dengan pemilihan aktuator, perlu diasumsikan terdapat rugi-rugi yang terjadi. Dari awal pemilihan aktuator, diperhitungkan estimasi kecepatan putar dan torsi akhir dengan rasio 8 : 1 menghasilkan kecepatan putar akhir sebesar 7,5 rpm dan torsi akhir 28 Nm. Data tersebut diekspektasikan dapat menggerakkan lengan mekanisme pembuka pintu sejauh 135° selama 3 detik. Realitanya, setelah melalui uji simulasi gerak didapatkan waktu tempuh selama 3,0 detik pula. Dari hasil simulasi tersebut bisa diketahui koefisien rugi-rugi yang dikenakan mekanisme pembuka pintu pada motor LC-578VA dari perhitungan berikut ini :

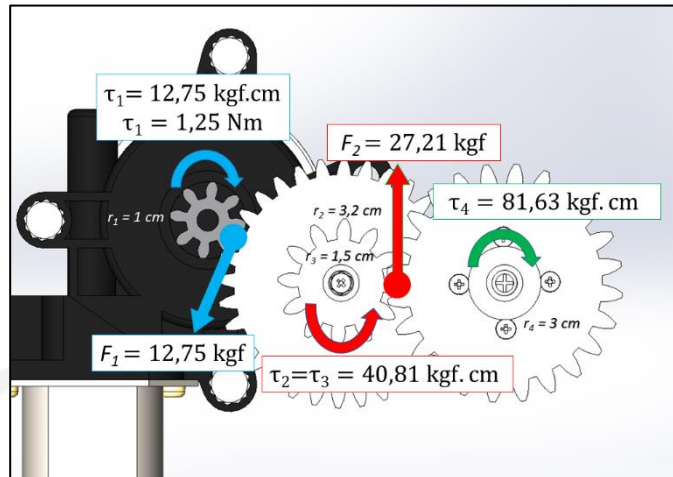
$$n_1 = i \times n_2 \quad (4.3)$$

$$n_1 = 8 \times 7,5 \text{ rpm} = 60 \text{ rpm}$$

$$\text{Koefisien Rugi} = \frac{n-n_1}{n} = \frac{90 \text{ rpm}-72 \text{ rpm}}{90 \text{ rpm}} = 0,33 \quad (4.4)$$

Koefisien rugi bisa diketahui setelah melakukan simulasi dengan membandingkan waktu durasi gerakan dengan spesifikasi aktuator, sudah terbukti bahwa dengan koefisien rugi 0,33 dapat membuat motor LC-578VA yang awalnya diketahui dapat berputar 90 rpm pada akhirnya hanya berputar 60 rpm jika terpasang dengan mekanisme pembuka pintu pada rancangan ini.

Setelah dilakukan beberapa kali pengukuran kuat arus yang mengalir ke motor LC-578VA ketika menarik pintu Laboratorium Mekatronika, didapat nilai kuat arus sebesar 3,5 A. Ditinjau pada Lampiran 1, nilai kuat arus tersebut menunjukkan torsi berada di 1,25 Nm atau 12,75 kgf.cm. Sehingga dapat dihitung torsi akhir setelah melalui reduksi gigi menjadi 81,60 kgf.cm yang mampu menarik pintu dengan gaya sebesar 5,44 kgf jika panjang lengan dari siku ke bahu sejauh 15 cm. Dari perbedaan besar torsi akhir pada tinjauan kuat arusnya, maka analisa pada kekuatan komponen *gear* berbeda pula. Perubahan distribusi pembebanan *gear* dapat dilihat pada sketsa Gambar 4-19.



Gambar 4-19 Sketsa Distribusi Pembebanan Gear pada Torsi Motor 1,25 Nm

Jika torsi akhir motor LC-578VA ialah 1,25 Nm maka analisa statis *part-part* yang dicetak dengan 3D Printer distribusinya pembebannya dapat ditinjau pada Gambar 4-19. Sehingga hasil analisa statis kekuatannya dapat dilihat pada Tabel 4-2.

Tabel 4-2 Hasil Analisa Kekuatan Komponen pada Torsi Motor 1,25 Nm

<i>Part</i>	<i>Infill (%)</i>	Beban (kgf)	<i>Von Mises (MPa)</i>	<i>Displacement (mm)</i>	<i>Factor of Safety</i>	Pembebanan Maksimal (kgf)
<i>Gear Middle</i>	100	12,75	24,56	0,53	1,06	13,65
<i>Gear Lengan</i>	100	27,21	26,40	0,45	0,99	26,87
<i>Hook</i>	15	5,44	7,05	0,19	3,70	20,30

4.3.5 Pembahasan Hasil Simulasi Membuka Pintu

Dari simulasi yang telah dilakukan, dapat diketahui faktor-faktor yang mempengaruhi efisiensi kerja dari suatu mekanisme. Setelah diamati dengan waktu rekaman video, terbukti bahwa *robot* dapat berpindah ruangan dengan membuka pintu hingga terbuka sepenuhnya dan ditutup kembali dengan durasi waktu paling singkat selama 40 detik dan paling lama selama 59 detik. Setelah ditinjau penyebab lamanya durasi tersebut ternyata disebabkan dari tiga faktor berikut :

1. Kepandaian *operator* yang mengendalikan *robot*.

2. Keseimbangan badan *robot*.
3. Jenis penggerak (roda) dan licinnya lantai ruang simulasi.



Gambar 4-20 *Robot* Membuka Pintu dari Dalam Ruangan

Dari beberapa faktor penghambat gerakan *robot* yang terjadi, masalah yang terjadi adalah terangkatnya badan *robot* (dapat dilihat pada Gambar 4-20). Hal tersebut terjadi karena letak roda yang cukup tinggi cukup memberikan *ground clearance* lebih tinggi dan susunannya seperti pada Gambar 4-21, sehingga saat *robot* menerima gaya tarik dari arah depan, maka badan *robot* akan ikut kedepan searah dengan arah gaya tarik. Letak roda tersebut akan menjadi titik tumpu *robot* saat miring jatuh ke arah depan.



Gambar 4-21 Desain Awal *Prototype Robot* UMAR Tampak Bawah Isometris

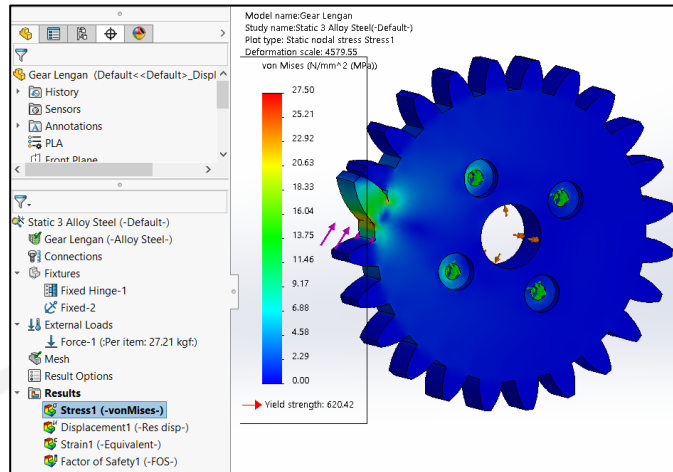
Masalah yang terjadi lainnya ialah rusaknya *part* hasil cetak dari mesin 3D *Printer* berbahan PLA. Ditinjau dari Tabel 4-2, nilai *Factor of Safety Gear*

Lengan ialah 0,99. Nilai tersebut membuatnya akan rusak saat besar beban 26,87 kgf. Ketika dilakukannya simulasi menarik pintu Laboratorium Mekatronika terbukti rusaknya gigi pada *Gear Lengan* dapat dilihat pada Gambar 4-22.



Gambar 4-22 *Gear Lengan Rusak*

Hasil analisis yang menunjukkan *Gear Lengan* tersebut rusak ialah jika diasumsikan lengan diam (*fixed*) saat motor LC-578VA bergerak. Sedangkan realita pada saat simulasi berlangsung, rusaknya *Gear Lengan* tersebut karena *operator* terus menerus mengoperasikan lengan hingga melebihi batas sudut geraknya. Atau dalam kata lain, bagian batang aluminium Rangka Lengan sudah menabrak Rangka Hub Badan-Lengan sehingga membuatnya *stuck and fixed*. Simulasi tersebut dilakukan sebelum terpasangnya *limit switch* pembatas posisi sudut lengan maksimal dan rangkaian sistem kendali mekanisme hanya sekedar perintah untuk menggerakkan motor saat saklar ditekan. Sehingga faktor *human error* menjadi penyebab lain rusaknya *Gear Lengan* tersebut. Masalah ini bisa diatasi dengan memasang *limit switch* sebagai pembatas gerakan dan bisa juga mengganti *part* tersebut dengan bahan yang kekuatannya lebih dari cukup ketika dikenakan sejumlah gaya. Contohnya pada Gambar 4-23 jika bahan *part* tersebut dari *Alloy Steel*, maka *Factor of Safety* menjadi 22,6 dan akan rusak ketika bebannya sebesar 614,95 kgf.



Gambar 4-23 Uji Kekuatan *Gear Lengan Alloy Steel*

Dari pembuktian hasil analisis statis melalui software CAE dengan pengujian langsung hingga *part* yang dianalisis rusak, maka dapat divalidasi bahwa hasil analisis *software CAE* dapat menjadi pertimbangan yang sesuai ekspektasi dalam merancang komponen (*part*). Untuk masalah lain seperti kepandaian *operator* ketika mengendalikan *robot* itu tidak melibatkan rancangan teknis mekanisme pembuka pintu di penelitian ini, melainkan bisa dijelaskan lebih lanjut pada bagian sistem kendali *robot* tersebut.

4.3.6 Percobaan dan Kesalahan Lain

Suatu proses perancangan pasti terdapat kesalahan-kesalahan yang terjadi, baik dari bagian desain, perhitungan, hingga pemilihan komponen. Di awal perancangan, terdapat pemilihan aktuator penggerak lengan mekanisme pembuka pintu yang belum tepat. Hal tersebut dikarenakan pemilihan aktuator yang belum dengan matang diperhitungkan kebutuhannya untuk dapat menarik pintu dengan gaya tarik hingga 50 N (yang terpasang hidrolis). Terlihat pada Gambar 4-24, motor JGY-370 dengan *gearbox* berkecepatan putar 60 rpm. Motor tersebut diketahui memiliki torsi *stall* 8 kg.cm dan kuat arus *stall* 1,3 A. Dari reduksi rugi-rugi yang terjadi dan dipengaruhi kuat arus yang mengalir diasumsikan torsi akan *stall* pada 5 kg.cm, awal diasumsikan jika motor direduksi dengan roda gigi rasio 6 : 1 torsi akhirnya menjadi 30 kg.cm.



Gambar 4-24 Motor JGY-370 60 rpm

Dari grafik kebutuhan torsi pada gambar 3-24 menunjukkan kebutuhan torsi maksimal yaitu sebesar 5,78 Nm atau 58,97 kg.cm. Pehitungan tersebut menunjukkan bahwa motor JGY-370 pada Gambar 4-24 tersebut setelah dirancang dengan pereduksi roda gigi rasio 6 : 1 torsi akhirnya belum mencukupi untuk dapat menarik pintu yang terpasang hidrolik penutup pintu. Saat simulasi dan pengujian setelah perakitan, ternyata motor benar akan *stall* (diam) ketika sedang menarik pintu karena dari beban yang ditarik dan kuat arus *stall* membuat motor menjadi *stall* pula. Pintu akan bisa ditarik jika rasio reduksi roda gigi menjadi 12 : 1, torsi akhirnya diasumsikan menjadi 60 kg.cm namun kecepatan putarnya menjadi 3,5 rpm jika koefisien reduksi rugi-rugi diasumsikan sebesar 0,3. Kecepatan putar akhir tersebut akan menggerakkan lengan sejauh 135° dengan durasi 6,42 detik, durasi tersebut memakan waktu lama sehingga tidak efisien waktu untuk diterapkan pada *robot* asisten medis.

4.3.7 Perbandingan UMAR Dengan *Robot* Lain

Penambahan mekanisme pembuka pintu pada badan *robot* UMAR menjadikannya mampu melewati ruangan-ruangan yang tertutup pintu bergagang silinder vertikal. Sedangkan *robot* asisten medis lain hanya bisa mengantarkan barang namun belum bisa membuka pintu secara mandiri. Dengan hasil perancangan Mekanisme Pembuka Pintu ini diharapkan bisa diterapkan pada *robot* asisten medis lainnya karena mekanisme pada perancangan ini mudah dirakit dan sesuai jika dipasang pada rak *robot* asisten medis pembawa barang.

BAB 5

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Hasil dari rancang bangun mekanisme pembuka pintu pada *robot* asisten medis dapat disimpulkan pada poin-poin berikut ini :

1. Gerakan membuka pintu pada mekanisme pembuka pintu *robot* UMAR yang menyerupai gerakan lengan manusia saat menarik gagang pintu telah berhasil diaplikasikan dan beroperasi dengan lancar sesuai perhitungan kebutuhan aktuator.
2. Penggunaan aktuator berupa motor *Mabuchi* LC-578VA dan *Servo TowerPro* MG996R termasuk aktuator yang tepat. Pada transmisi daya yang disalurkan aktuator motor *Mabuchi* LC-578VA terdapat pereduksi roda gigi 8 : 1 untuk mengurangi kecepatan putar dan menaikkan torsi. Dengan kecepatan putar akhir sebesar 7,5 rpm dan torsi akhir sebesar 81,63 kgf.cm mampu menarik pintu Laboratorium Mekatronika UII selama 3 detik dengan gaya sebesar 53,31 N atau 5,44 kgf pada arus 12 V-3,5 A.

5.2 Saran atau Penelitian Selanjutnya

Batasan-batasan masalah pada penelitian ini menjadikan proses perancangan menjadi kurang optimal, mengingat terbatas pula kemampuan proses produksi di Laboratorium Teknik Mesin UII. Salah satu yang mungkin perlu dirancang lebih lanjut ialah penggunaan jenis bahan setiap roda gigi, tentunya bahan yang kekuatan luluhnya lebih besar seperti logam. *Robot* UMAR yang telah dibuat akan lebih lancar beroperasi saat membuka pintu jika sudah dilakukan perbaikan pada penggerakannya, terutama pada keseimbangan badan *robot*. Disarankan pula bagian yang memegang gagang pintu tidak hanya diperuntukkan pada gagang pintu berbentuk silinder yang terpasang vertikal, mungkin bisa juga untuk gagang pintu bentuk lain.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] COVID-19, G.T.P.P. Situasi Virus *Corona*. 2021; Available from: covid19.go.id/peta-sebaran (Diakses pada 3 Juni 2021).
- [2] Supriyanto, Raden, Hustinawati, Ary Bima K, Rigathi. W. N, Yogi Permadi, Abdurachman Sa'ad. (2010). Robotika. Universitas Gunadarma, Jakarta.
- [3] Dave, Devang, Parth Parsana, Aarjav Atmera. (2020). *Autonomous Delivery Robot*.
- [4] Kanade, Prakash, Sunay Kanade. (2020). *Medical Assistant Robot ARM for COVID-19 Patients Treatment*.
- [5] Iqbal, Jamshed, Raza ul Islam dan Hamza Khan. *Modeling and Analysis of a 6 DOF Robotic Arm Manipulator*. 2012.
- [6] Suryawan, D., & Adinandra, R. (2021). Rancang Bangun Robot Pelayan Medis Untuk Pasien Karantina *COVID-19* dengan Kendali Berbasis *Android*. JTT (Jurnal Teknologi Terapan), 7(1), 68-76. Doi : <https://doi.org/10.31884/jtt.v7i1.312>
- [7] Wijayanti, Linda, Nova Eka Budiyanata, Widodo Widjaja Basuki dan Harlianto Tanudjaja. (2020). Pelatihan Implementasi Atmabot sebagai Robot Asisten Dokter dan Perawat di Rumah Sakit Atma Jaya.
- [8] Ningsih, Dewi Handayani. (2005). *Computer Aided Design / Computer Aided Manufaktur (CAD/CAM)*. Fakultas Teknologi Informasi, Universitas Stikubank Semarang.
- [9] Abdullah, Mikrajuddin. (2016). Fisika Dasar I. Institut Teknologi Bandung.
- [10] Yamin, Mohamad dan Widyo Purwoko. Perancangan *Gearbox* dan Analisis Statik Rangka *Conveyor* Menggunakan *Software CATIA V5*.
- [11] Kalpakjian, Serope, Steven R. Schmid. *Manufacturing Engineering and Technology (Sixth Edition)*. Prentice Hall. 2009.

LAMPIRAN 1 KATALOG MOTOR LC-578VA

**MABUCHI
MOTOR**

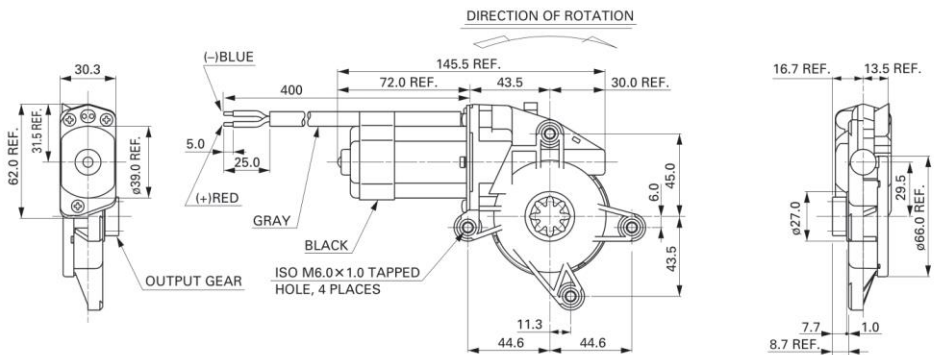
JC/LC-578VA (Powerwindow-lift motors)

Typical Applications Automotive Products : Power Window Lifter



Distinctive Features

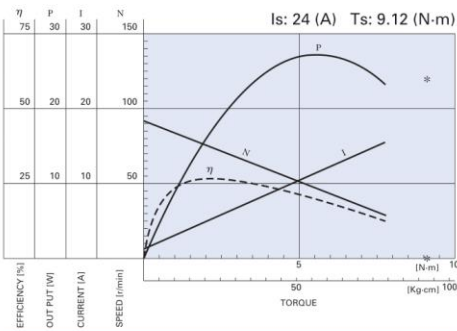
- The drive motor is designed to be the compact sized motor offered for power window applications, measuring 29mm thick and 39mm across the diameter.
- This motor is designed with water proof construction.



WEIGHT: 520g (APPROX)

JC/LC-578VA-4720

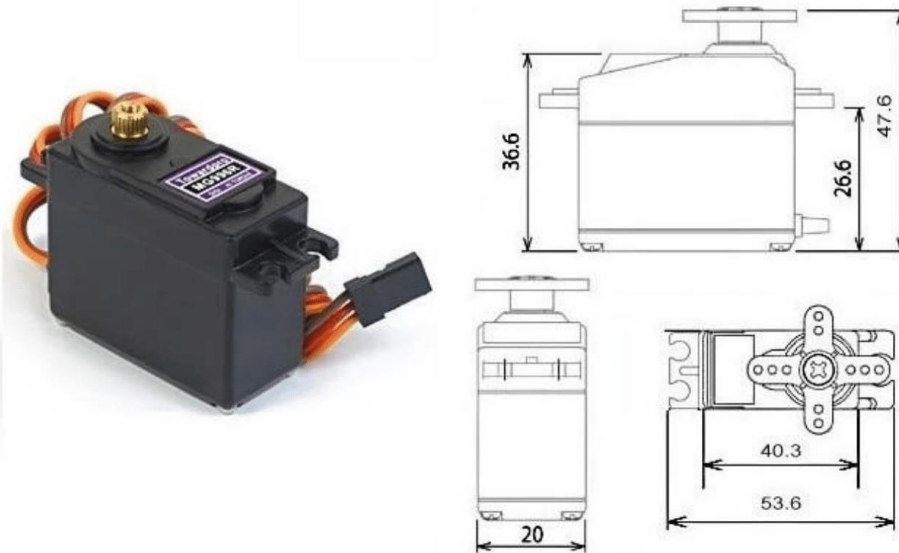
12.0V



MABUCHI MOTOR CO., LTD. Headquarters 430 Matsuhidai, Matsudo-shi, Chiba-ken, 270-2280 Japan Tel:81-47-384-9523 Fax:81-47-385-2026 (Sales Dept.)

LAMPIRAN 2 KATALOG MOTOR *SERVO* MG996R

MG996R High Torque Metal Gear Dual Ball Bearing Servo



This High-Torque MG996R Digital Servo features metal gearing resulting in extra high 10kg stalling torque in a tiny package. The MG996R is essentially an upgraded version of the famous MG995 servo, and features upgraded shock-proofing and a redesigned PCB and IC control system that make it much more accurate than its predecessor. The gearing and motor have also been upgraded to improve dead bandwidth and centering. The unit comes complete with 30cm wire and 3 pin 'S' type female header connector that fits most receivers, including Futaba, JR, GWS, Cirrus, Blue Bird, Blue Arrow, Corona, Berg, Spektrum and Hitec.

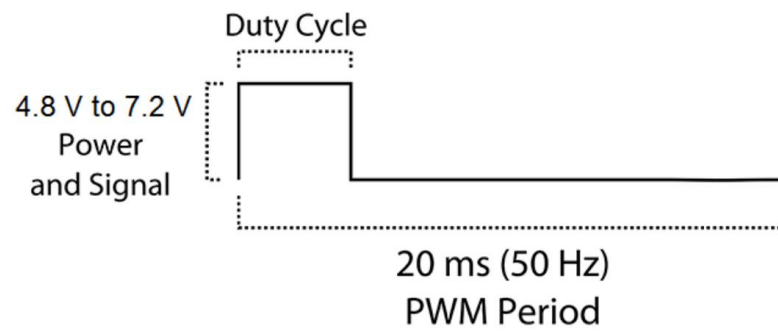
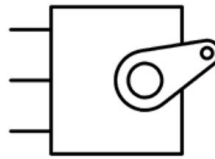
This high-torque standard servo can rotate approximately 120 degrees (60 in each direction). You can use any servo code, hardware or library to control these servos, so it's great for beginners who want to make stuff move without building a motor controller with feedback & gear box, especially since it will fit in small places. The MG996R Metal Gear Servo also comes with a selection of arms and hardware to get you set up nice and fast!

Specifications

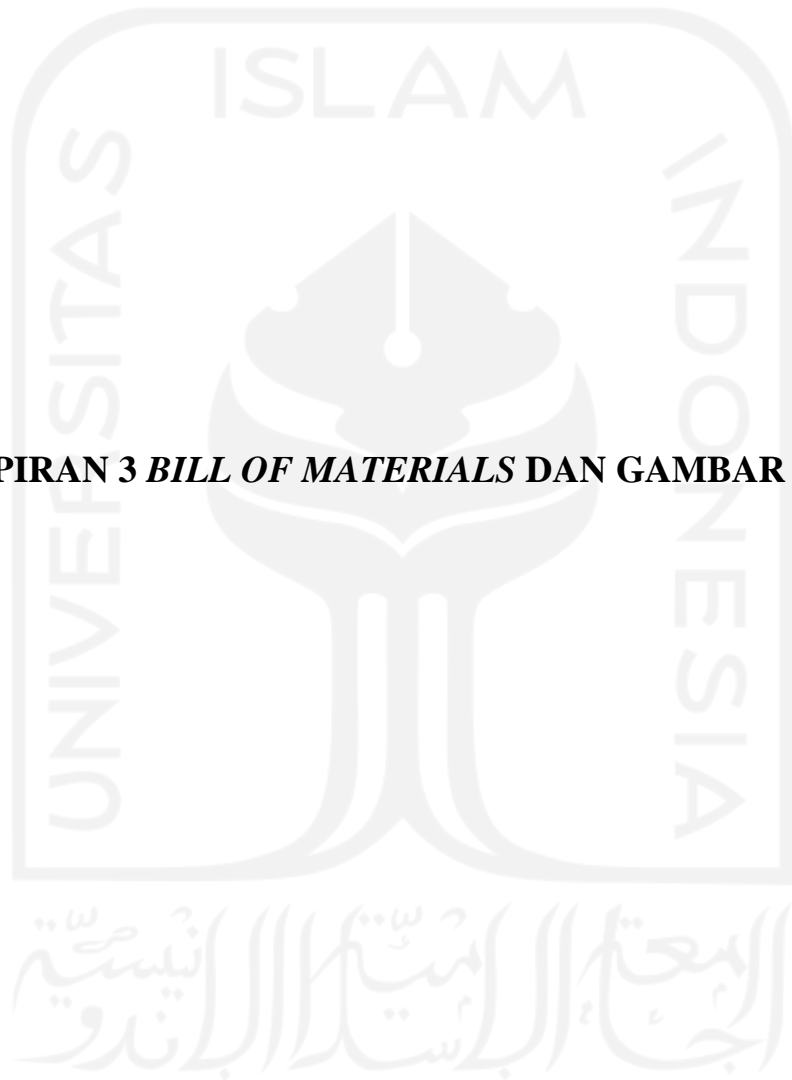
- Weight: 55 g
- Dimension: 40.7 x 19.7 x 42.9 mm approx.
- Stall torque: 9.4 kgf·cm (4.8 V), 11 kgf·cm (6 V)
- Operating speed: 0.17 s/60° (4.8 V), 0.14 s/60° (6 V)

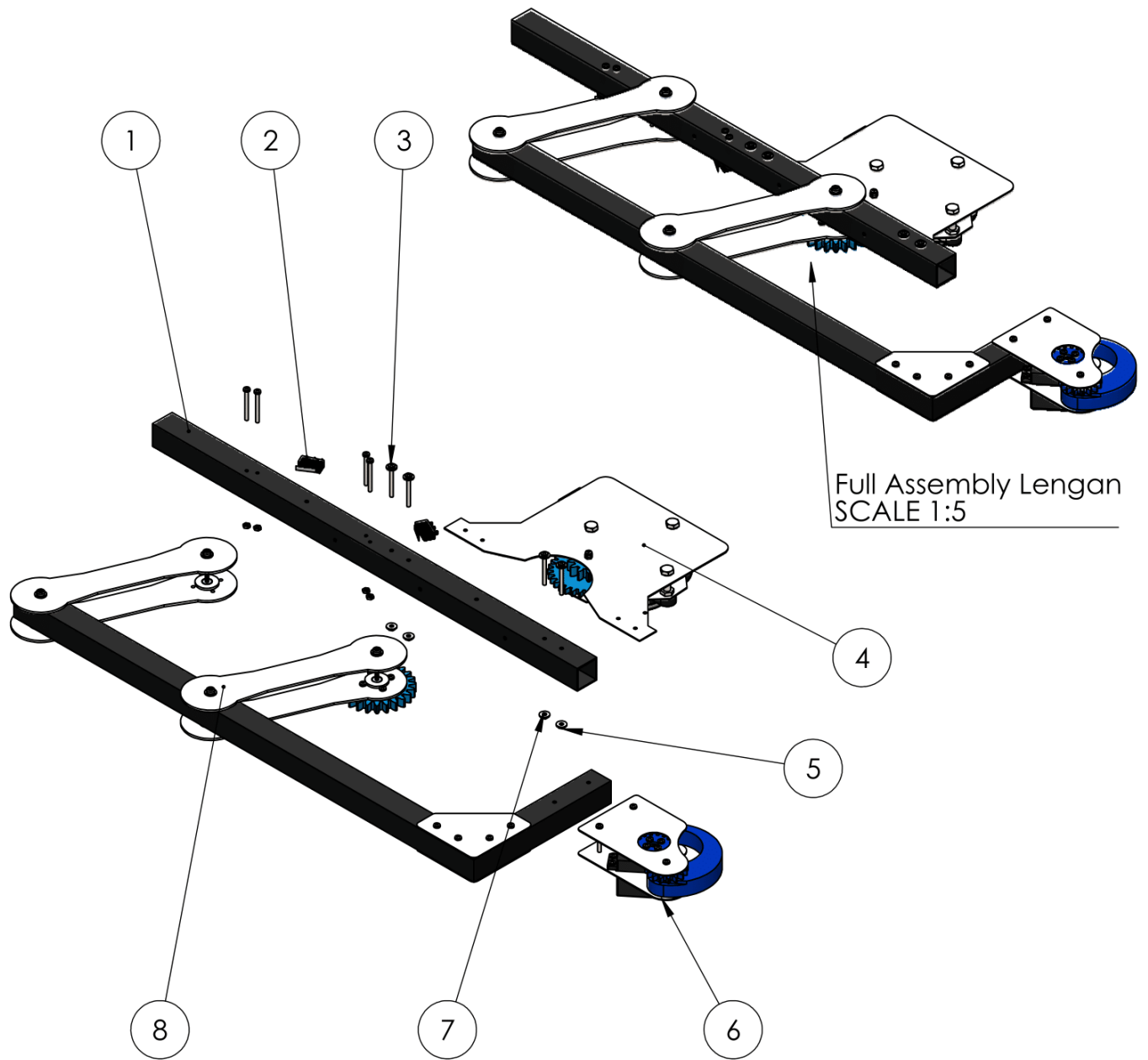
- Operating voltage: 4.8 V a 7.2 V
- Running Current 500 mA – 900 mA (6V)
- Stall Current 2.5 A (6V)
- Dead band width: 5 μ s
- Stable and shock proof double ball bearing design
- Temperature range: 0 $^{\circ}$ C – 55 $^{\circ}$ C

PWM=Orange (\square)
Vcc = Red (+)
Ground=Brown (-)



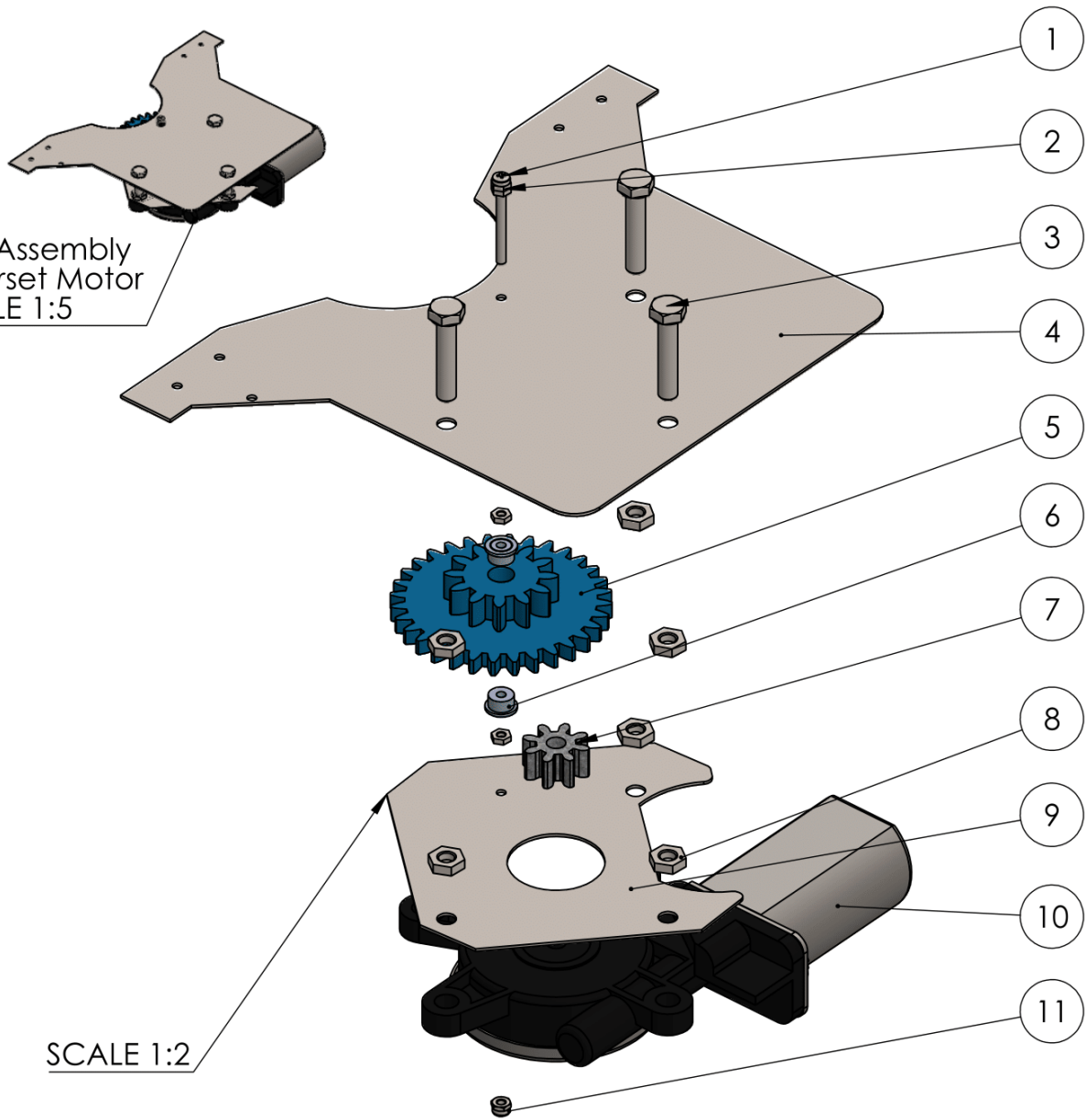
LAMPIRAN 3 *BILL OF MATERIALS* DAN GAMBAR TEKNIK





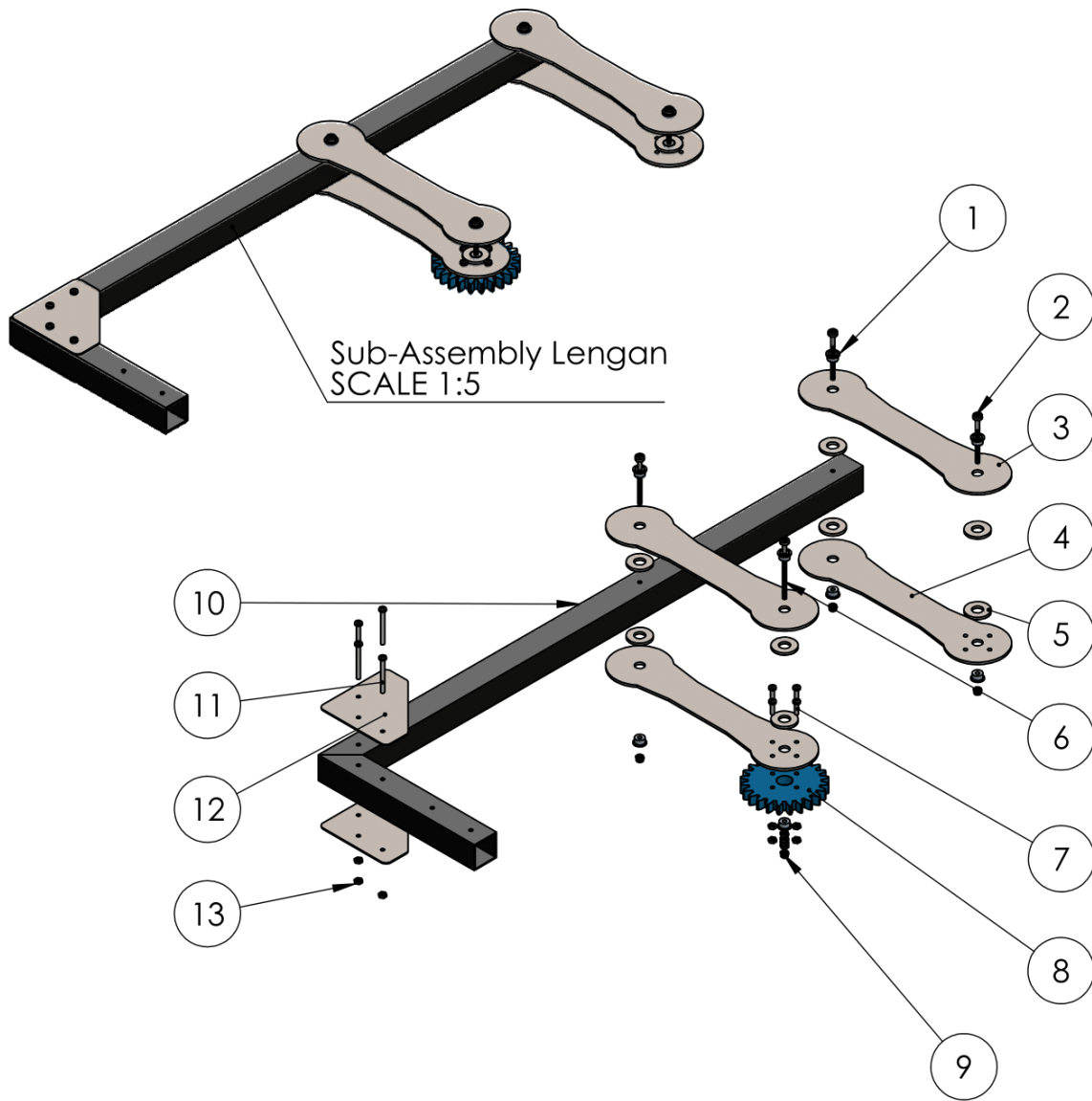
ITEM NO.	PART NUMBER	DESCRIPTION	QTY.
1	Rangka Hub Badan-Lengan	Aluminium Hollow	1
2	Limit switch KW11-3Z	Komponen Elektrik	2
3	ISO 7045 - M3 x 30 - Z - 25N	Alloy Steel	8
4	Sub_Assembly Gearset Motor	Sub-Assembly	1
5	ISO - 4036 - M3 - N	Alloy Steel	8
6	Sub-Assembly Hook	Sub-Assembly	1
7	ISO 10669-3.55-N	Stainless Steel	8
8	Sub-Assembly Lengan	Sub-Assembly	1

Sub-Assembly
Gearset Motor
SCALE 1:5

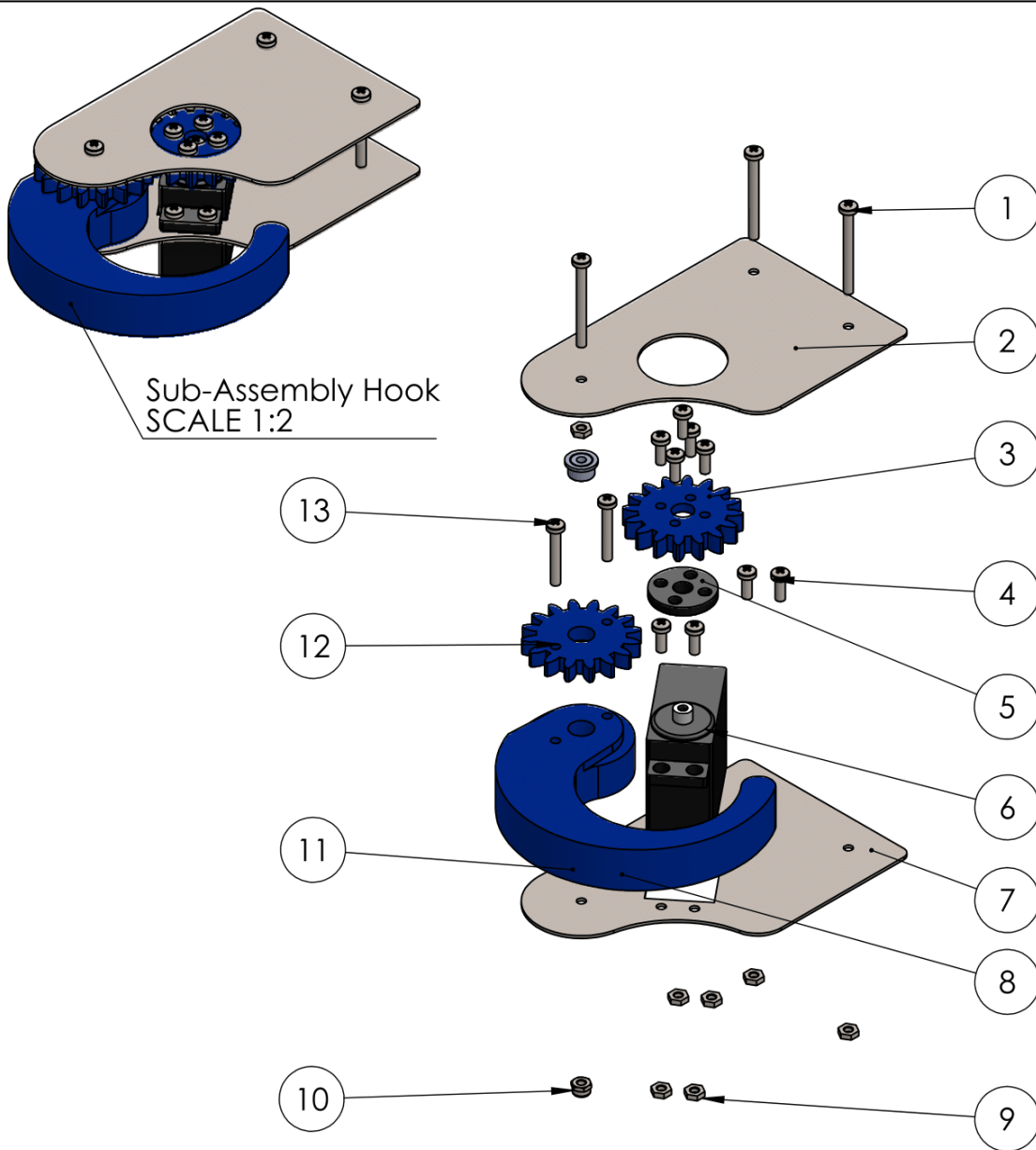


SCALE 1:2

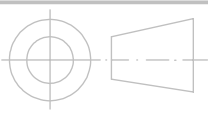
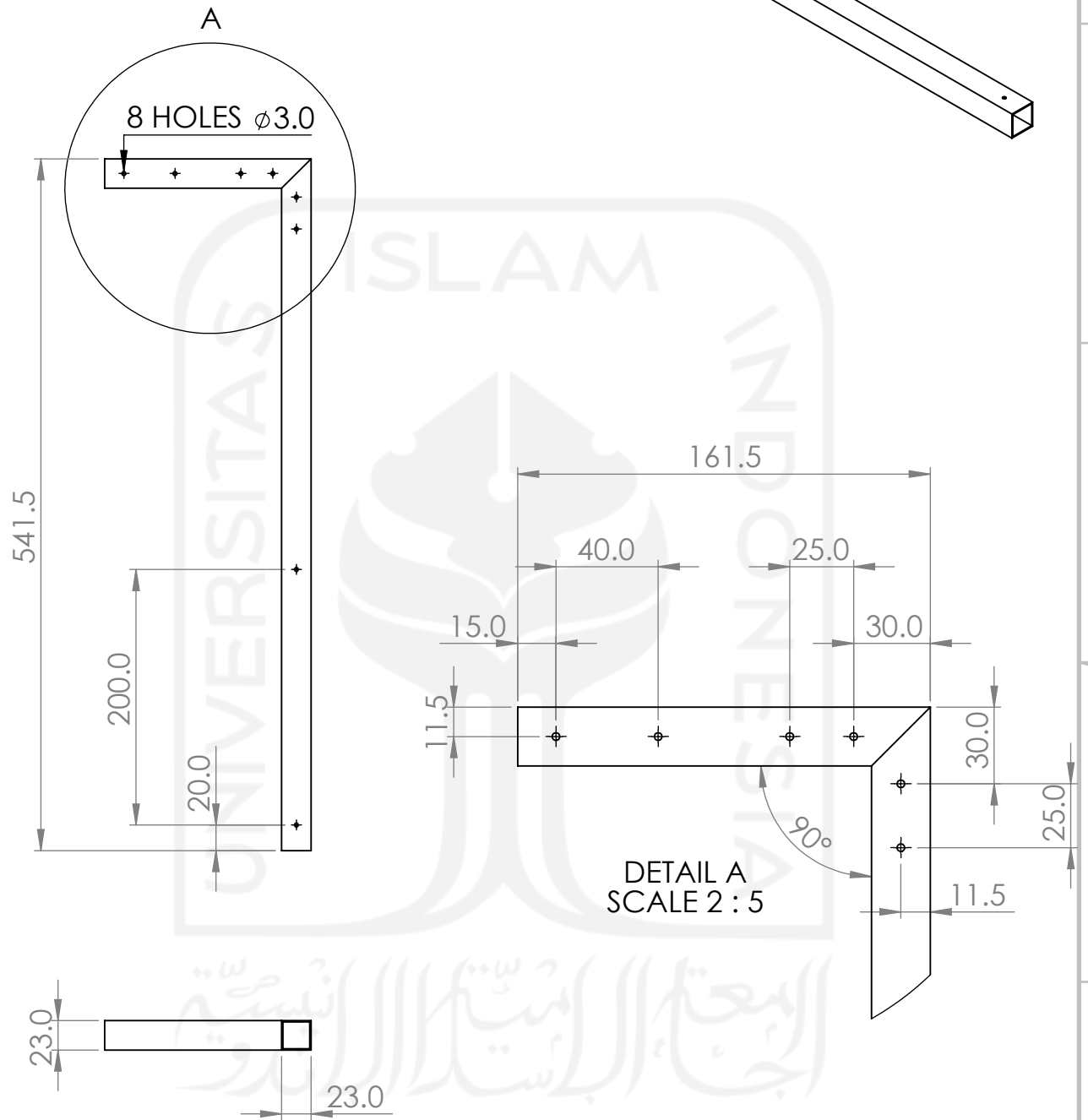
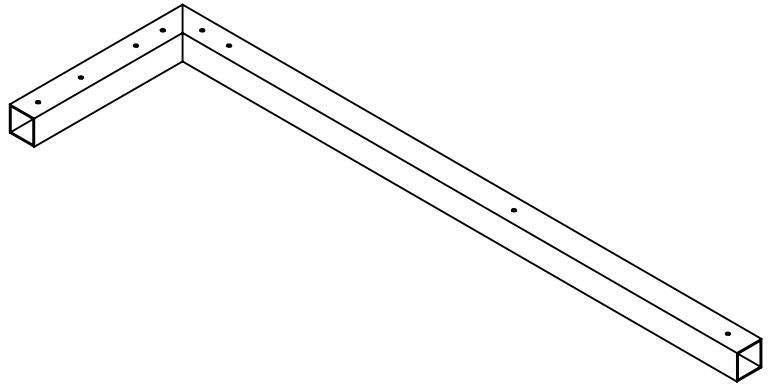
ITEM NO.	PART NUMBER	DESCRIPTION	QTY.
1	ISO 7045 - M3 x 30 - Z - 25C	Alloy Steel	1
2	ISO - 4036 - M3 - N	Alloy Steel	4
3	ISO 4014 - M6 x 30 x 30-C	Alloy Steel	3
4	Plat Gearset	Stainless Steel	1
5	Gear Middle	PLA	1
6	Bearing Flanged M3	Stainless Steel	2
7	Gear Motor	Steel	1
8	ISO - 4036 - M6 - N	Alloy Steel	6
9	Plat Bracket Motor	Stainless Steel	1
10	Motor mabuchi LC-578VA-RH	Komponen Elektrik	1
11	ISO 10511-M3-N	Alloy Steel	1



ITEM NO.	PART NUMBER	DESCRIPTION	QTY.
1	Bearing Flanged M3	Stainless Steel	8
2	Custom Bolt M3 40mm	Alloy Steel	3
3	Plat Lengan Atas	Stainless Steel	2
4	Plat Lengan Bawah	Stainless Steel	2
5	ISO 10669-8.8-N	Stainless Steel	8
6	Custom Bolt M3 50mm	Alloy Steel	1
7	ISO 7045 - M3 x 10 - Z - 10C	Alloy Steel	4
8	Gear Lengan	PLA	1
9	ISO 10511-M3-N	Stainless Steel	4
10	Rangka Lengan	Aluminium Hollow	1
11	ISO 7045 - M3 x 30 - Z - 25C	Alloy Steel	4
12	Plat Siku Lengan	Stainless Steel	2
13	ISO - 4036 - M3 - N	Alloy Steel	12



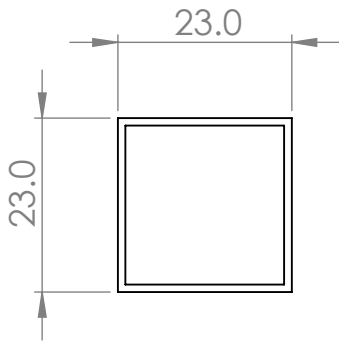
ITEM NO.	PART NUMBER	DESCRIPTION	QTY.
1	ISO 7045 - M3 x 30 - Z - 25C	Alloy Steel	3
2	Plat Hook Atas	Stainless Steel	1
3	Gear Servo	PLA	1
4	ISO 7045 - M3 x 8 - Z - 8N	Alloy Steel	9
5	Horn Servo	Aluminium	1
6	Motor Servo MG996R	Komponen Elektrik	1
7	Plat Hook Bawah	Stainless Steel	1
8	Hook	PLA	1
9	ISO - 4036 - M3 - N	Alloy Steel	7
10	ISO 10511-M3-N	Alloy Steel	1
11	Bearing Flanged M3	Stainless Steel	2
12	Gear Hook	PLA	1
13	ISO 7045 - M3 x 20 - Z - 20N	Alloy Steel	2



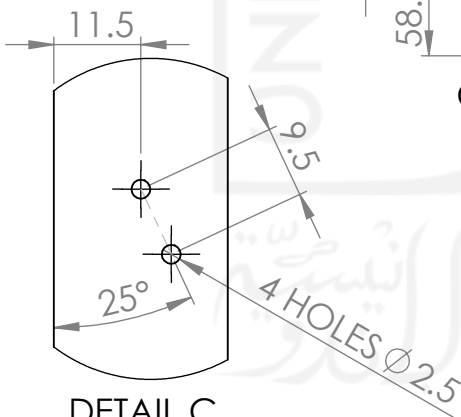
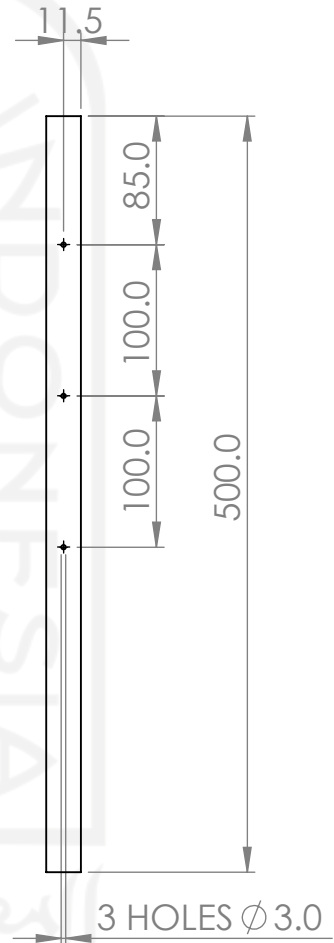
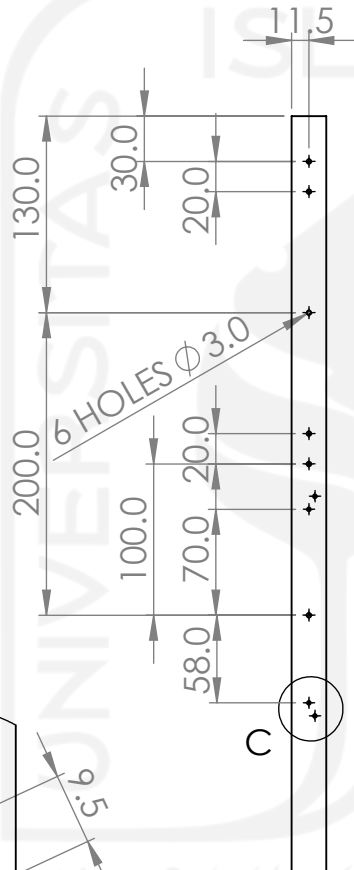
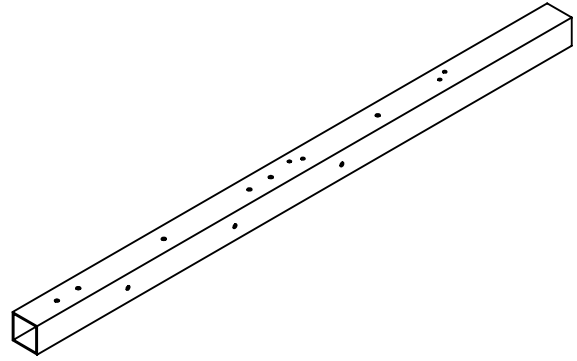
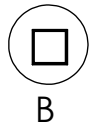
Skala : 1:5
 Satuan Ukuran : MM
 Tanggal : 8/10/2021

Digambar : Muhammad Al Qadim
 NIM : 17525050
 Diperiksa : Donny Suryawan, S.T., M.Eng.

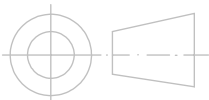
Keterangan :



DETAIL B
SCALE 1 : 1



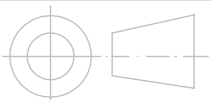
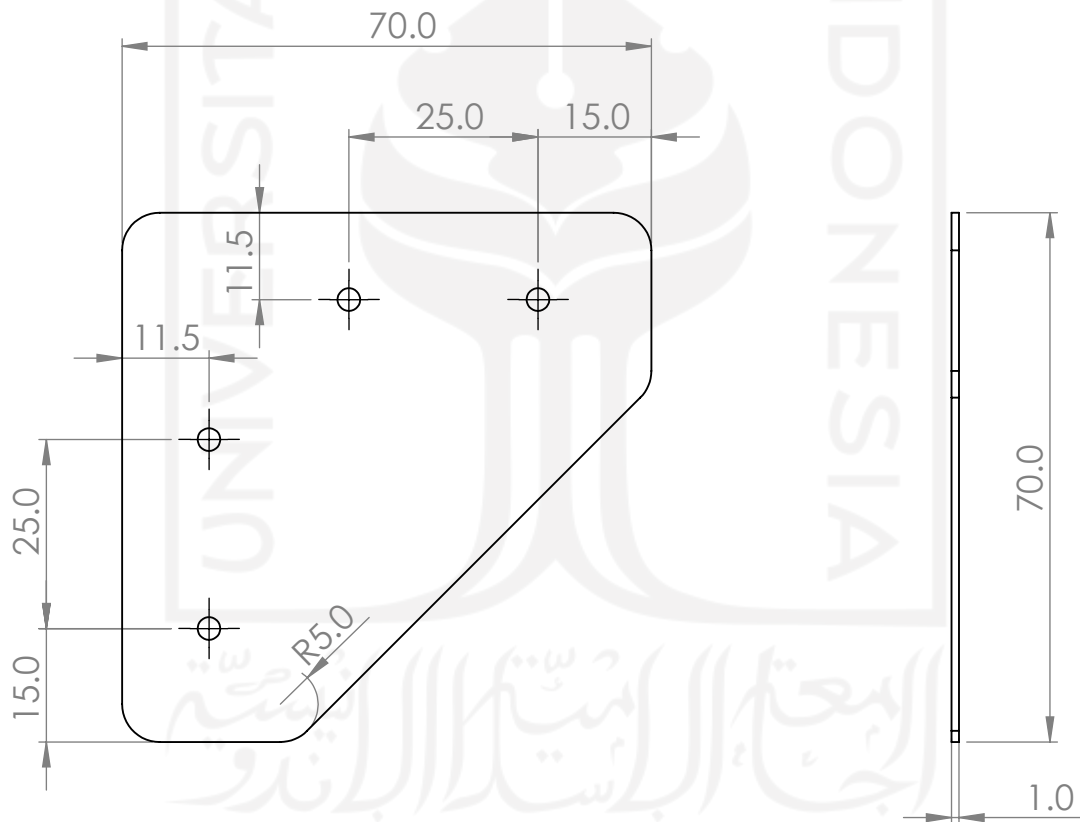
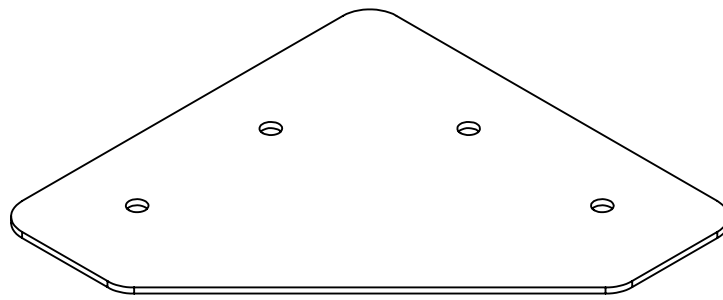
DETAIL C
SCALE 1 : 1



Skala : 1:5
Satuan Ukuran : MM
Tanggal : 8/10/2021

Digambar : Muhammad Al Qadim
NIM : 17525050
Diperiksa : Donny Suryawan, S.T., M.Eng.

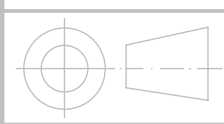
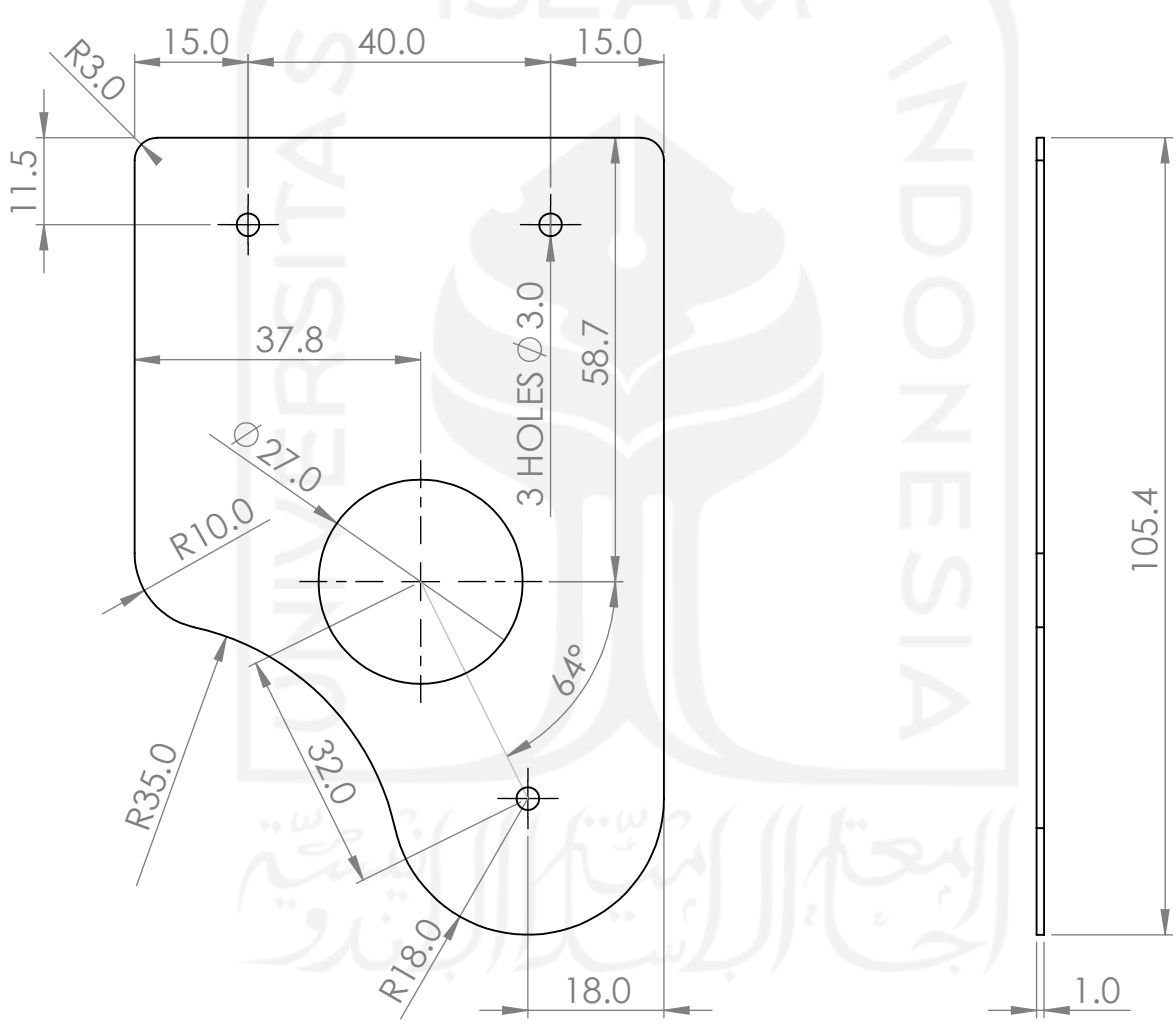
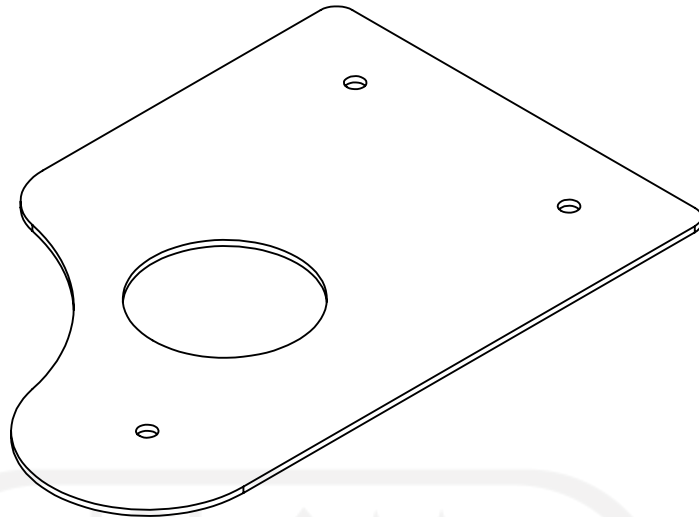
Keterangan :



Skala : 1:1
 Satuan Ukuran : MM
 Tanggal : 8/10/2021

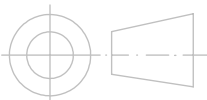
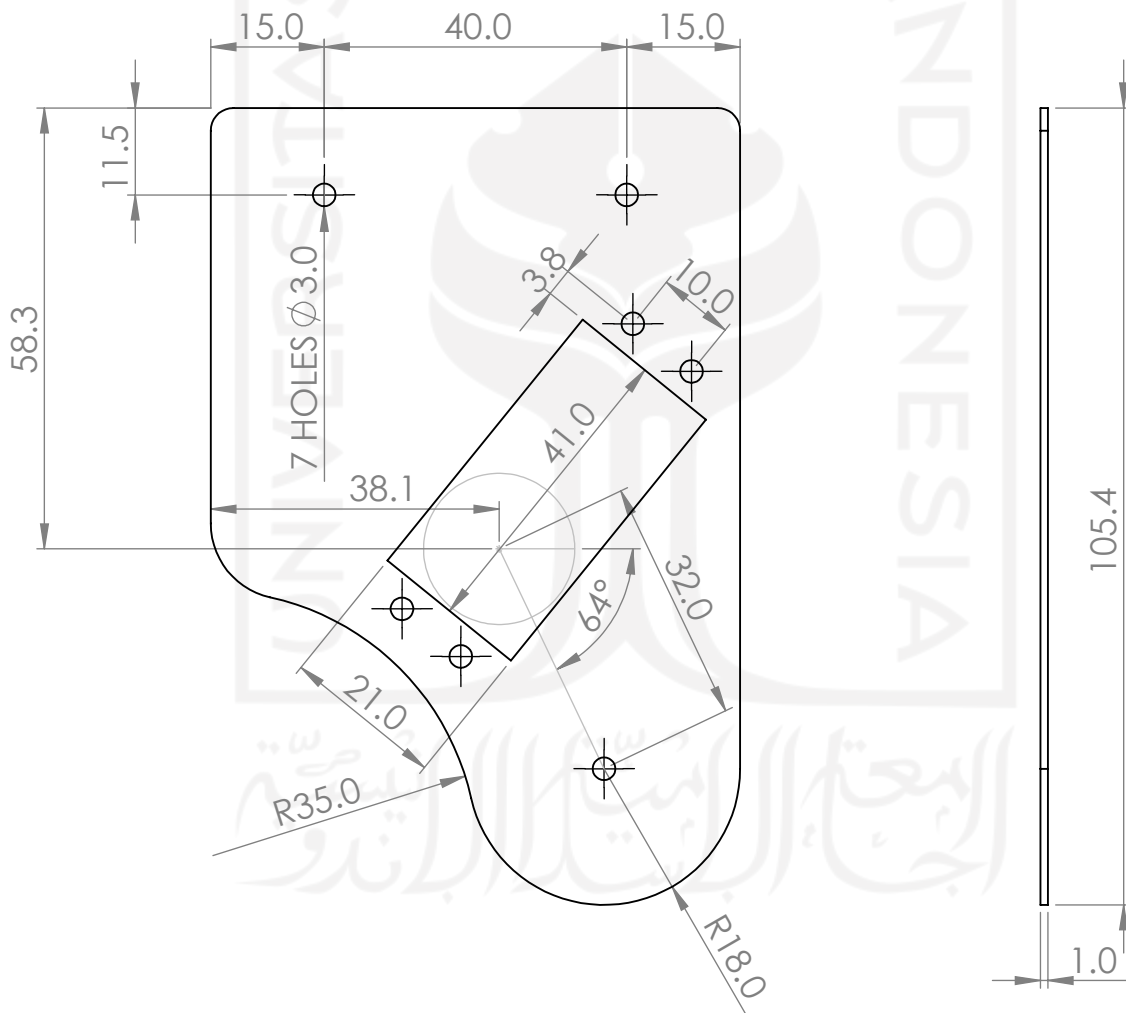
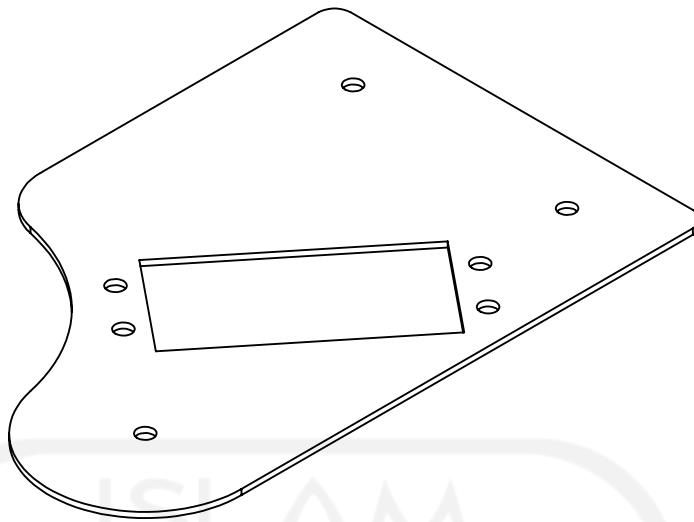
Digambar : Muhammad Al Qadim
 NIM : 17525050
 Diperiksa : Donny Suryawan, S.T., M.Eng.

Keterangan :



Skala : 1:1	Digambar : Muhammad Al Qadim
Satuan Ukuran : MM	NIM : 17525050
Tanggal : 8/10/2021	Diperiksa : Donny Suryawan, S.T., M.Eng.

Keterangan :



Skala : 1:1
 Satuan Ukuran : MM
 Tanggal : 8/10/2021

Digambar : Muhammad Al Qadim
 NIM : 17525050
 Diperiksa : Donny Suryawan, S.T., M.Eng.

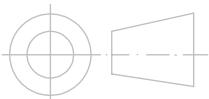
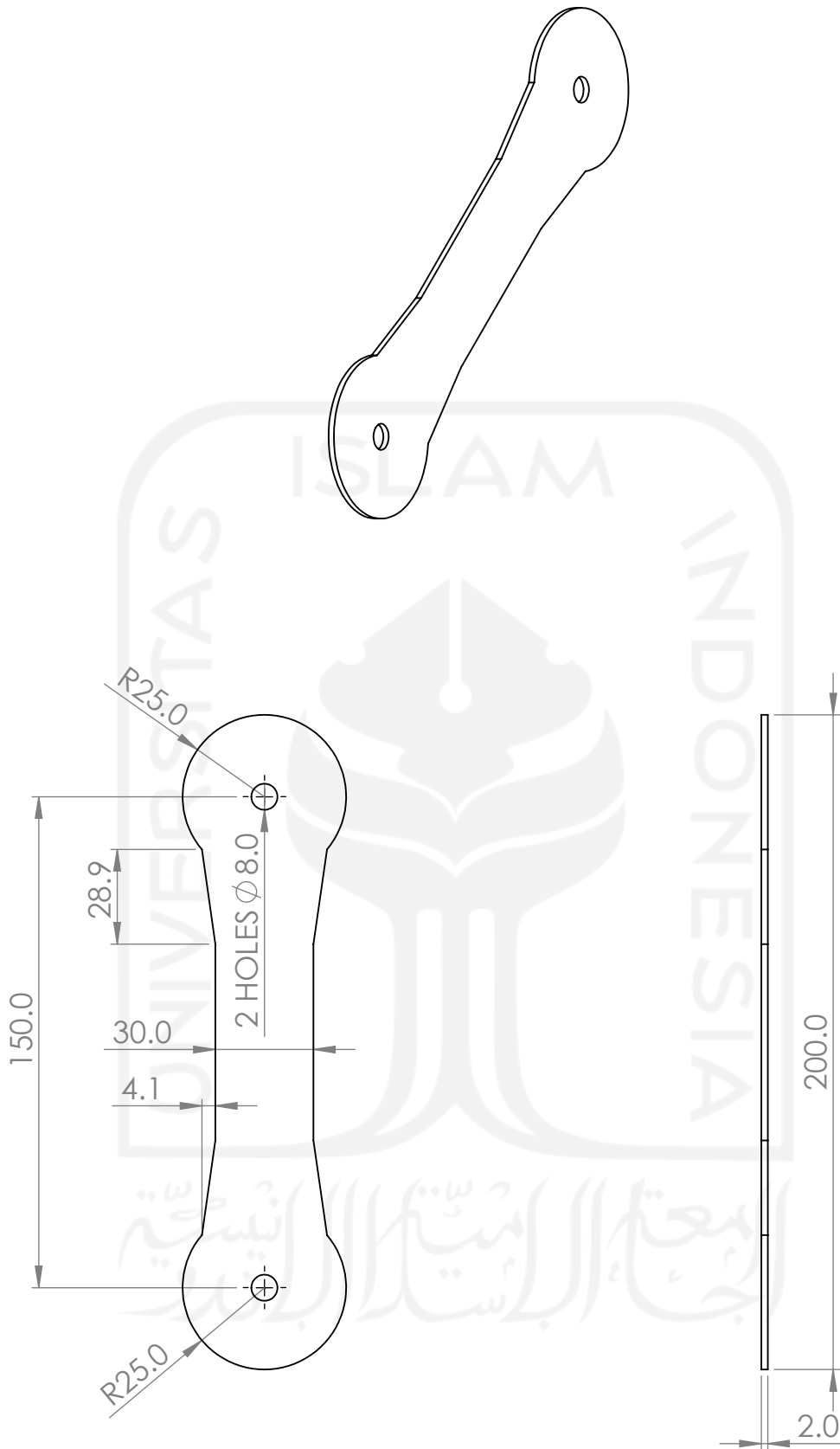
Keterangan :

TEKNIK MESIN-FTI UII

Plat Hook Bawah

No. 5

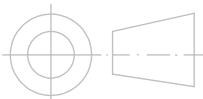
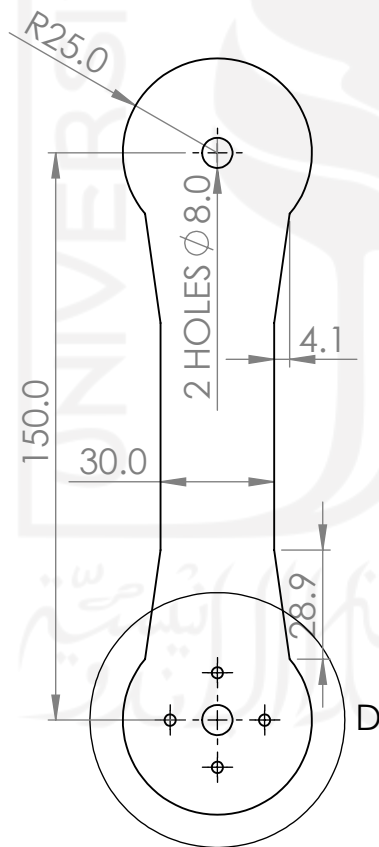
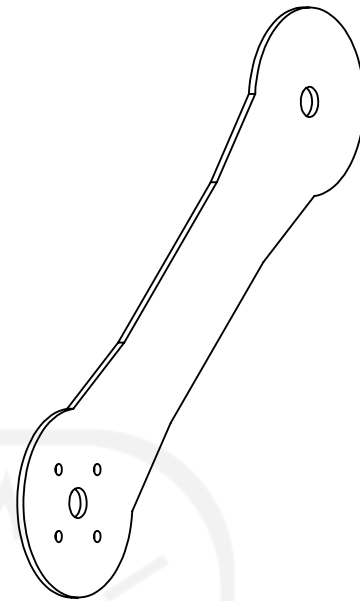
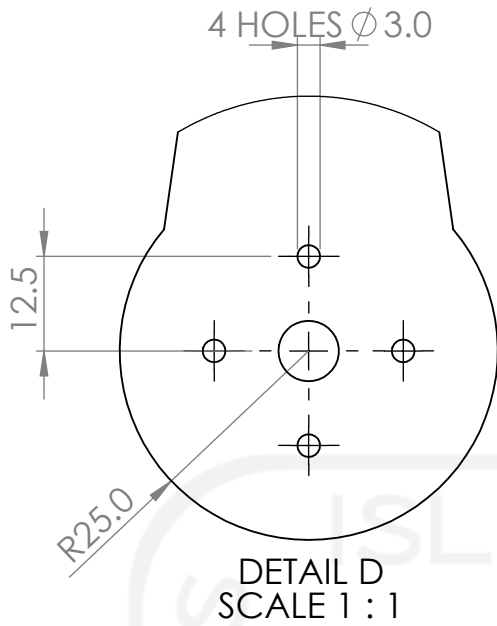
A4



Skala : 1:2
 Satuan Ukuran : MM
 Tanggal : 8/10/2021

Digambar : Muhammad Al Qadim
 NIM : 17525050
 Diperiksa : Donny Suryawan, S.T., M.Eng.

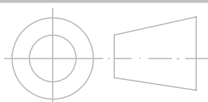
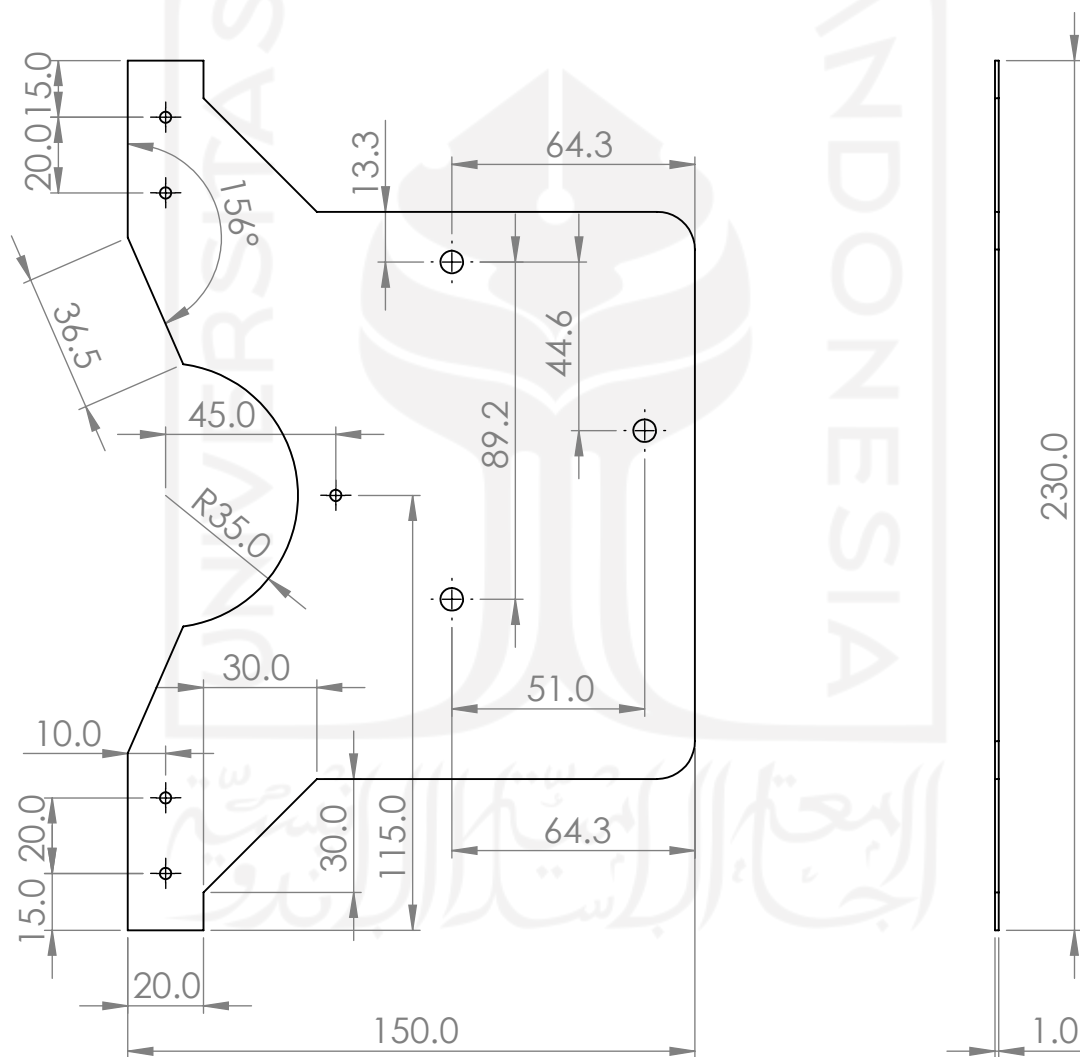
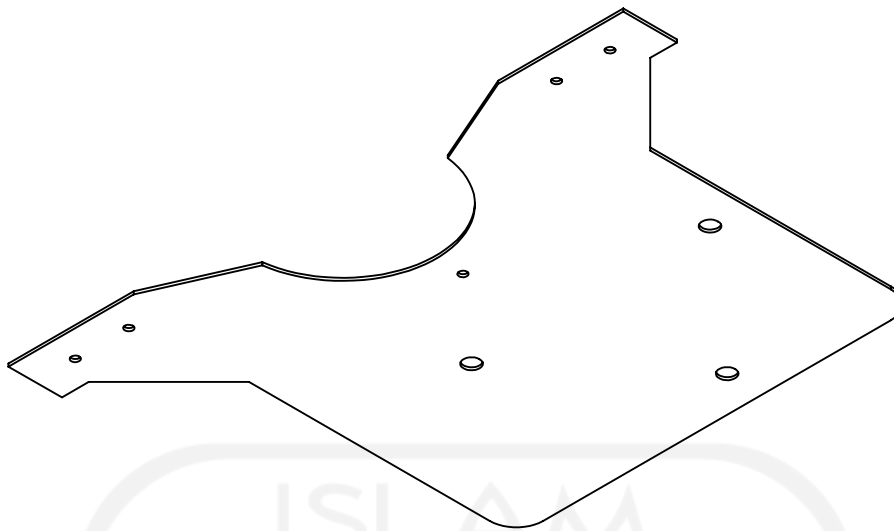
Keterangan :



Skala : 1:2
 Satuan Ukuran : MM
 Tanggal : 8/10/2021

Digambar : Muhammad Al Qadim
 NIM : 17525050
 Diperiksa : Donny Suryawan, S.T., M.Eng.

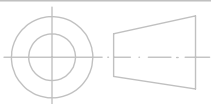
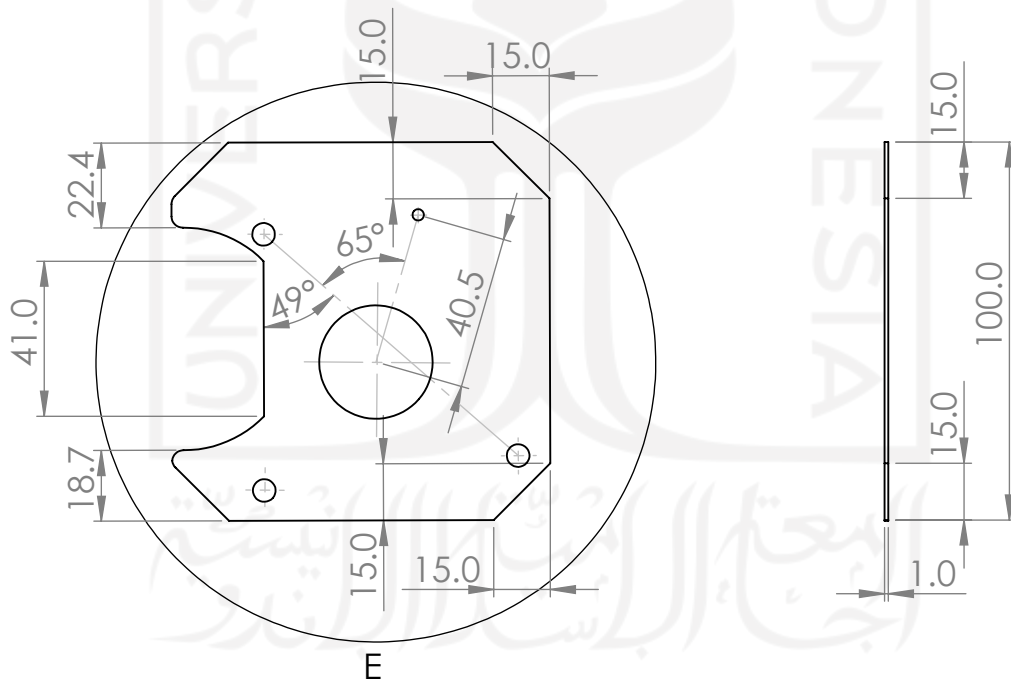
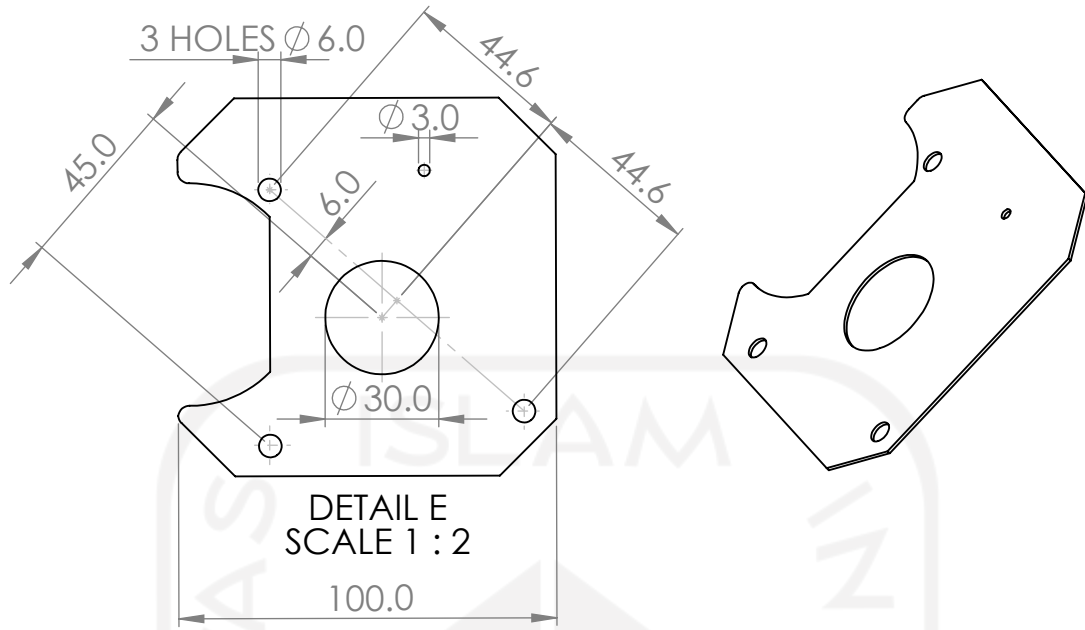
Keterangan :



Skala : 1:2
 Satuan Ukuran : MM
 Tanggal : 8/10/2021

Digambar : Muhammad Al Qadim
 NIM : 17525050
 Diperiksa : Donny Suryawan, S.T., M.Eng.

Keterangan :



Skala : 1:2

Satuan Ukuran : MM

Tanggal : 8/10/2021

Digambar : Muhammad Al Qadim

NIM : 17525050

Diperiksa : Donny Suryawan, S.T., M.Eng.

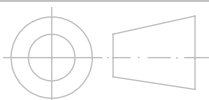
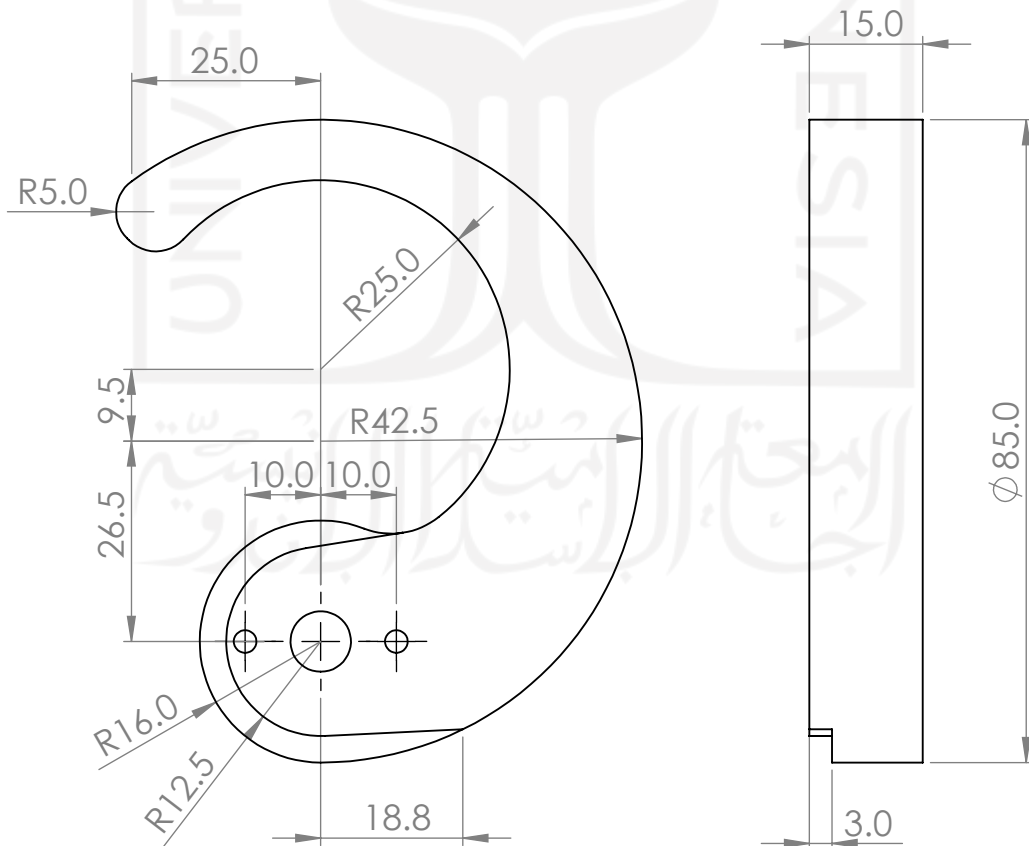
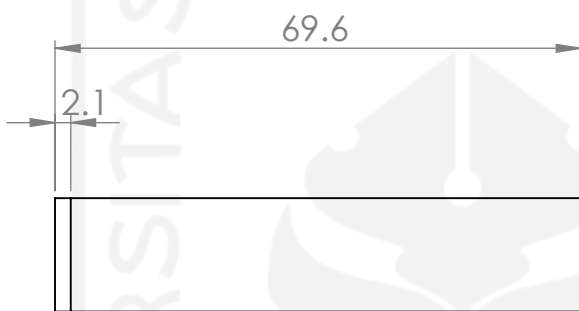
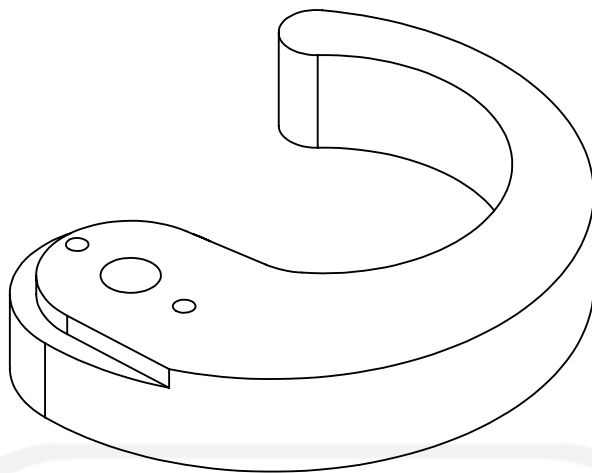
Keterangan :

TEKNIK MESIN-FTI UII

Plat Bracket Motor

No. 9

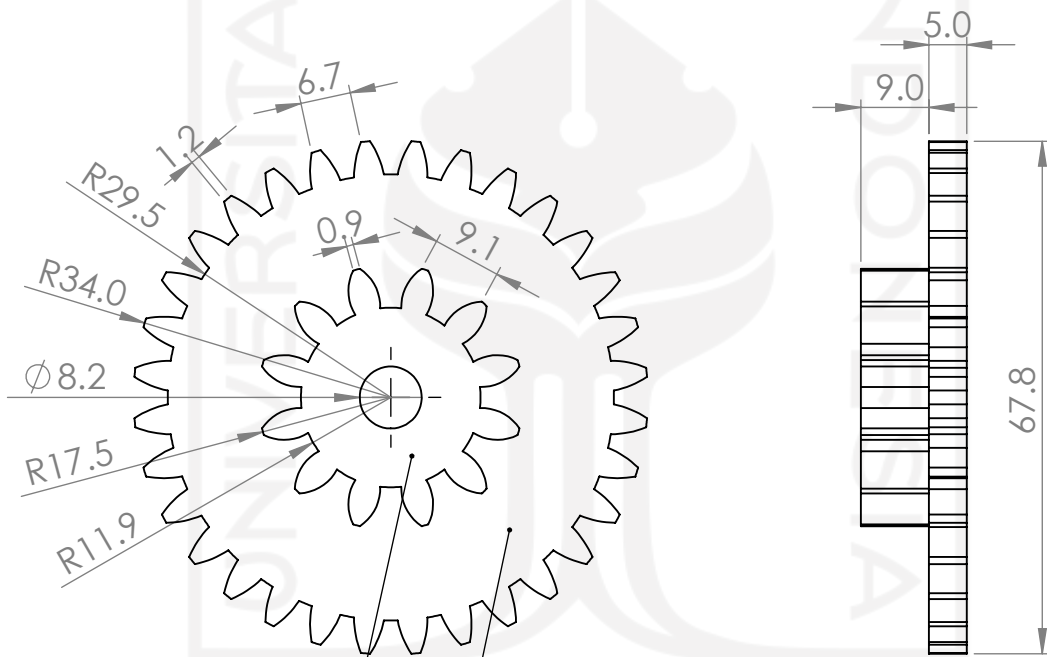
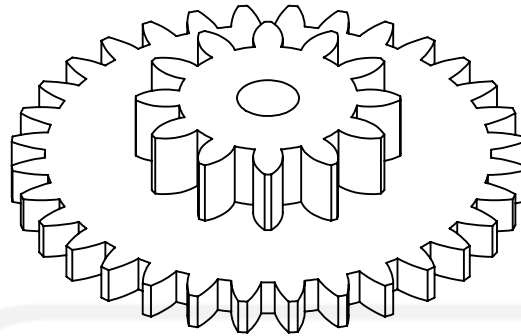
A4



Skala : 1:1
 Satuan Ukuran : MM
 Tanggal : 8/10/2021

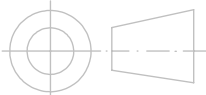
Digambar : Muhammad Al Qadim
 NIM : 17525050
 Diperiksa : Donny Suryawan, S.T., M.Eng.

Keterangan :



ISO Spur Gear 2.5M 12T

ISO Spur Gear 2M 32T



Skala : 1:1

Satuan Ukuran : MM

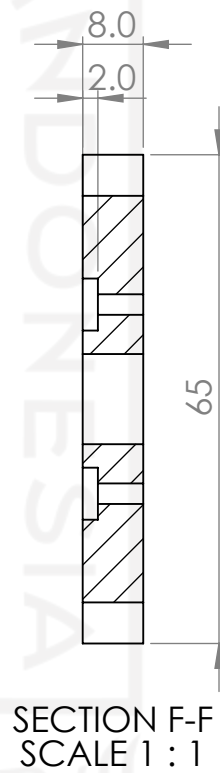
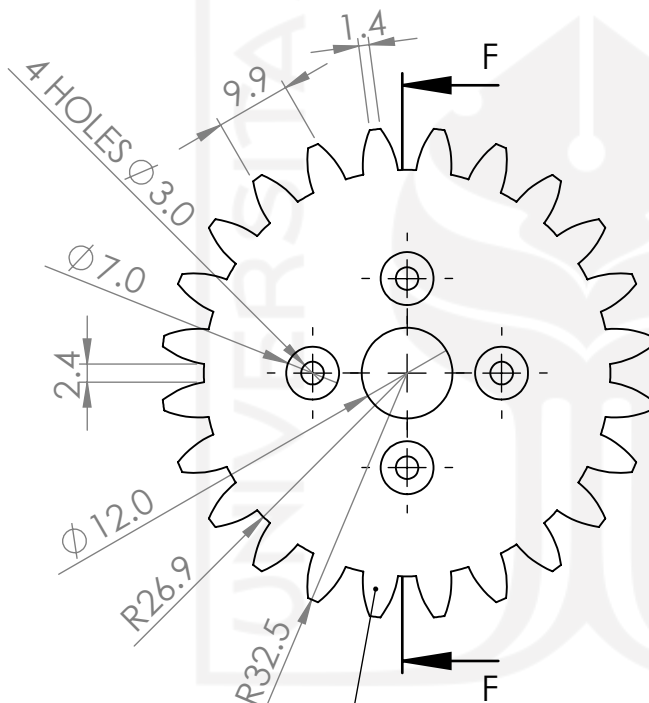
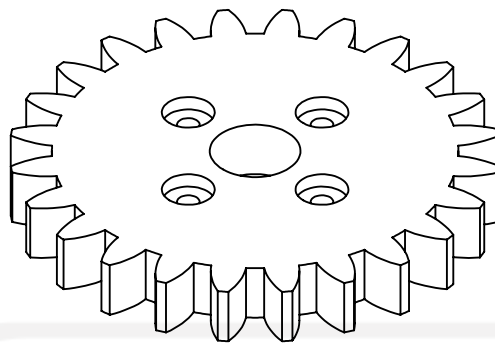
Tanggal : 8/10/2021

Digambar : Muhammad Al Qadim

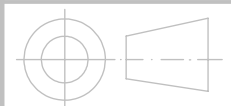
NIM : 17525050

Diperiksa : Donny Suryawan, S.T., M.Eng.

Keterangan :



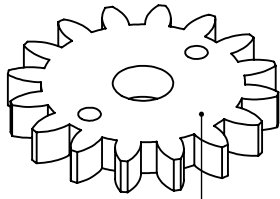
ISO Spur Gear 2.5 24T



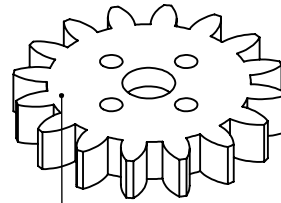
Skala : 1:1
 Satuan Ukuran : MM
 Tanggal : 8/10/2021

Digambar : Muhammad Al Qadim
 NIM : 17525050
 Diperiksa : Donny Suryawan, S.T., M.Eng.

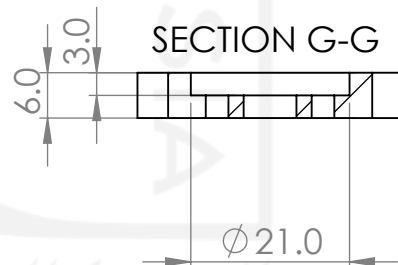
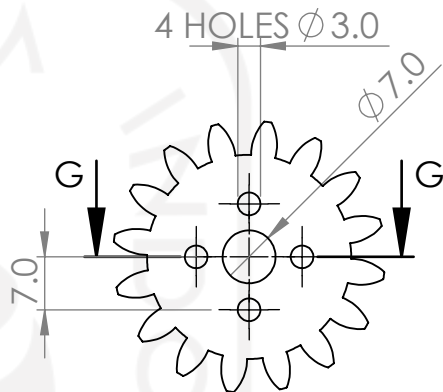
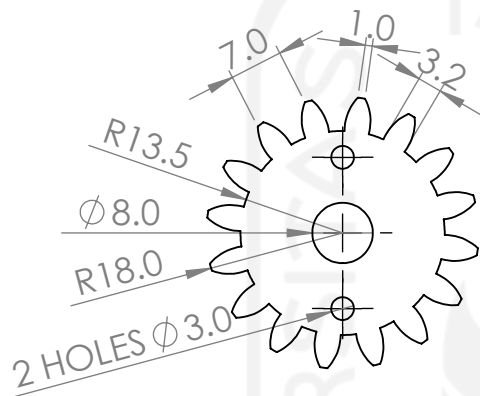
Keterangan :



Gear Hook
ISO Spur Gear M2 16T



Gear Servo
ISO Spur Gear M2 16T



Skala : 1:1

Satuan Ukuran : MM

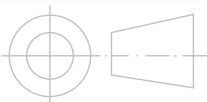
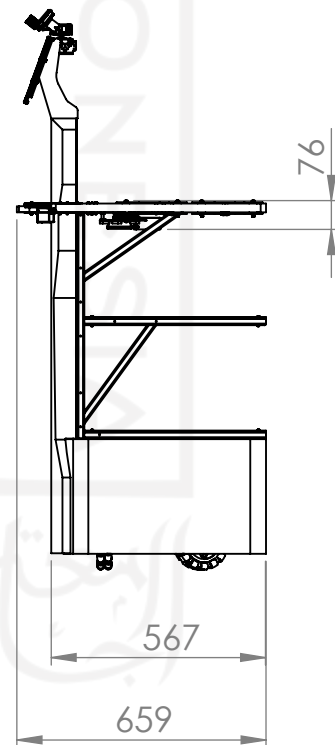
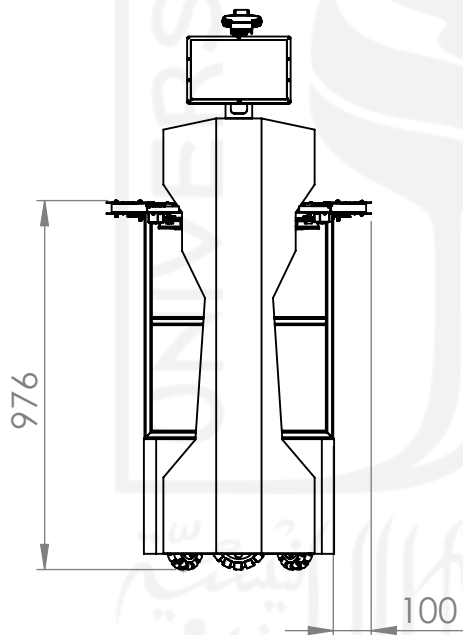
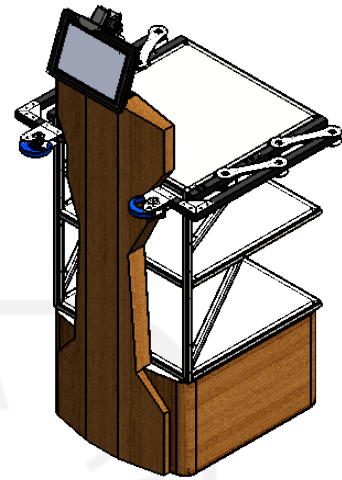
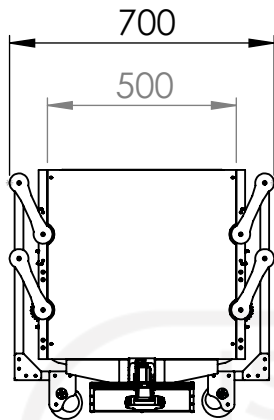
Tanggal : 8/10/2021

Digambar : Muhammad Al Qadim

NIM : 17525050

Diperiksa : Donny Suryawan, S.T., M.Eng.

Keterangan :



Skala : 1:20

Satuan Ukuran : MM

Tanggal : 8/10/2021

Digambar : Muhammad Al Qadim

NIM : 17525050

Diperiksa : Donny Suryawan, S.T., M.Eng.

Keterangan :

TEKNIK MESIN-FTI UII

UMAR dengan Lengan

No.14

A4