

**PERANCANGAN ALAT *ARM TRANSFER FOR METAL*  
*STAMPING PROCESS* DENGAN MEKANISME VAKUM DI PT.  
STECHOQ ROBOTIKA INDONESIA**

**TUGAS AKHIR**

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



**Disusun Oleh:**

**Nama : Rifat Aswadi**

**No. Mahasiswa : 18525075**

**NIRM : 2018050153**

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

**2022**

## PERNYATAAN KEASLIAN

Bismillahirrahmanirrahim, dengan ini saya menyatakan bahwa karya tulis yang saya buat merupakan karya sendiri bukan hasil plagiarisme dari karya tulis yang dibuat oleh orang lain. Semua referensi dan kutipan yang saya tulis pada karya tulis ini saya cantumkan sitasi dan sumber pustakanya. Apabila dikemudian hari saya dianggap melakukan pelanggaran hak kekayaan intelektual dan yang saya tulis pada karya ilmiah ini tidak benar, maka saya bersedia menerima sanksi dan hukuman yang berlaku.

Yogyakarta, 12 November 2022



RIFAT ASWADI  
18525075

**LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PEMBIMBING**

**PERANCANGAN ALAT *ARM TRANSFER FOR METAL*  
*STAMPING PROCESS* DENGAN MEKANISME VAKUM DI PT.  
STECHOQ ROBOTIKA INDONESIA**

**TUGAS AKHIR**

**Disusun Oleh:**

**Nama : Rifat Aswadi**  
**No. Mahasiswa : 18525075**  
**NIRM : 2018050153**

Yogyakarta, 19 Oktober 2022

Pembimbing,



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

**LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PENGUJI**

**PERANCANGAN ALAT *ARM TRANSFER FOR METAL*  
*STAMPING PROCESS* DENGAN MEKANISME VAKUM DI PT.  
STECHOQ ROBOTIKA INDONESIA**

**TUGAS AKHIR**

**Disusun Oleh:**

**Nama : Rifat Aswadi**  
**No. Mahasiswa : 18525075**  
**NIRM : 2018050153**

**Tim Penguji**

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

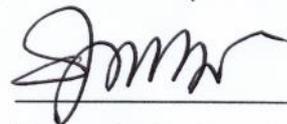
Ketua



Tanggal : 14 November 2022

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

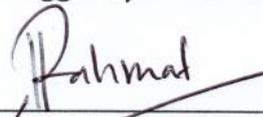
Anggota I



Tanggal : 7 November 2022

Rahmat Riza, S.T., MSc. ME

Anggota II



Tanggal : 11 November 2022

Mengetahui

Ketua Jurusan Teknik Mesin



Dr. Muhammad Khafidh, S.T., M.T., IPP

## HALAMAN PERSEMBAHAN

Saya persembahkan hasil tugas akhir ini kepada:

1. Kedua orang tua saya yang selama ini telah berusaha membesarkan dan mendidik saya bahkan selalu berusaha memberikan yang terbaik untuk saya.
2. Kakak dan adik saya yang juga selalu memberi semangat saya dan tempat berbagi cerita.
3. Teman-teman yang telah membantu saya dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
4. Serta Bapak dan Ibu Dosen yang telah mendidik dan memberikan banyak ilmu selama saya berkuliah di Universitas Islam Indonesia.



## HALAMAN MOTTO

“Lebih baik menyesal karena gagal dari pada menyesal  
karna tidak pernah mencoba”  
(Aswadi)

“Jangan mengaku pintar jika belum bisa mencari kesalahan diri sendiri, dan  
jangan mengaku unggul jika masih suka merendahkan orang lain”  
(Sunan Kalijaga)

“Barang siapa yang melepaskan satu kesusahan seorang mukmin, pasti Allah  
akan melepaskan darinya satu kesusahan pada hari kiamat. Barang siapa yang  
menjadikan mudah urusan orang lain, pasti Allah akan memudahkannya didunia  
dan diakhirat. Barag siapa yang menutupi aib seseorang muslim, pasti Allah akan  
menutupi aibnya didunia dan diakhirat. Allah senantiasa menolong hambanya  
selama hambanya itu suka menolong sodaranya”.  
(HR Muslim)



## 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 ini. Tidak lupa pula saya mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak Aswadi dan Ibu Yetti Syofia sebagai orangtua saya yang sangat saya banggakan, yang telah memberi saya dukungan dan semangat selama ini tiada henti. Serta Renita Aswadi dan Ayra Nabila Aswadi sebagai kakak dan adik saya yang saya banggakan.
2. Bapak Ir. Donny Suryawan, ST., M.Eng., IPP, selaku dosen pembimbing yang telah membimbing dan membantu saya baik secara moral maupun materi dalam proses pengerjaan Tugas Akhir ini.
3. Bapak Dr. Ir. Muhammad Khafidh, S.T., M.T., IPP, selaku Ketua Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia
4. Muh. Luqman Khakim, Dahen Rosidiyanto, Hanif Nur hidayat dan beberapa teman saya yang tidak bisa saya sebutkan satu persatu yang telah memberikan pengetahuan serta pengalaman kepada saya.

Sebagai manusia biasa penulis percaya masih terdapat kesalahan dalam laporan ini, maka dari itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun agar laporan ini dapat menjadi lebih baik. Penulis berharap laporan ini dapat bermanfaat bagi yang membacanya.

Yogyakarta, 17 Oktober 2022

Penulis,



Rifat Aswadi

## ABSTRAK

Pada era modern, teknologi merupakan salah satu faktor dari perkembangan peradaban saat ini, seperti yang kita ketahui hingga saat ini teknologi terus berkembang seiring berjalannya waktu, saat ini solusi dari beberapa permasalahan sudah dapat di selesaikan dengan teknologi, bahkan teknologi merupakan salah satu faktor yang dapat menunjang suatu perekonomian. Berfokus pada salah satu industri manufaktur di Indonesia yaitu Industri *Metal Stamping*. Di Indonesia terdapat beberapa perusahaan yang bergerak di industri metal *stamping*. Pada proses produksi produk *sheet metal* di industri *metal stamping* ini, terdapat berbagai tahap. Salah satunya yaitu proses pemindahan dan ini masih dilakukan secara manual oleh tenaga manusia, dan ini merupakan cara yang cukup memakan waktu dan beresiko kecelakaan kerja yang cukup berbahaya. Maka dari itu dibuatlah sebuah alat *transfer system* berbentuk lengan dengan mekanisme vakum yang diharapkan dapat menjadi solusi dari permasalahan ini. Dalam perancangan ini dibuatlah *transfer system* yang menggunakan konsep lengan robot dengan penggunaan beberapa komponen aktuator diantaranya yaitu, *Rotary Module* sebagai aktuator bergerak rotasi ( $\theta$ -axis), ELGS sebagai aktuator bergerak *sliding* (r-axis) dan aktuator *minislide* bergerak *sliding* (z-axis). Alat ini dilengkapi dengan workstation dengan desain yang compact, terdapat ruang komponen elektrik di dalam *workstation* dan beberapa pintu akses untuk memudahkan instalasi dan *maintenance*.

**Kata Kunci:** *Arm Transfer, Workstation, Stamping, Transfer System*

## DAFTAR ISI

Halaman Judul .....	i
Lembar Pengesahan Dosen Pembimbing .....	ii
Lembar Pengesahan Dosen Penguji .....	iv
Halaman Persembahan .....	v
Halaman Motto .....	vi
Kata Pengantar atau Ucapan Terima Kasih .....	vii
Abstrak .....	viii
Daftar Isi .....	ix
Daftar Tabel .....	xi
Daftar Gambar .....	xii
Daftar Notasi .....	xiv
Bab 1 Pendahuluan .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	3
1.3 Batasan Masalah .....	3
1.4 Tujuan Perancangan .....	4
1.5 Manfaat Perancangan .....	4
1.6 Sistematika Penulisan .....	4
Bab 2 Tinjauan Pustaka .....	6
2.1 Kajian Pustaka .....	6
2.2 Dasar Teori .....	10
2.2.1 Otomasi ( <i>Automation</i> ) .....	10
2.2.2 Permesinan .....	10
2.2.3 Desain Produk .....	13
2.2.4 Robot <i>Arm</i> .....	14
2.2.5 Sistem Koordinat Silinder .....	16
2.3 Vakum Gripper .....	17
2.3.1 Menghitung Diameter Suction Pad .....	18
2.3.2 Menghitung Kekuatan Suction Pad .....	19
Bab 3 MetodE Penelitian .....	20

3.1	Alur Penelitian .....	20
3.2	Kriteria Desain .....	21
3.3	Alat dan Bahan.....	21
3.4	Alternatif Desain .....	22
3.5	Perancangan .....	27
3.5.1	Pemilihan Aktuator.....	27
3.5.2	Perhitungan Sistem Vakum .....	30
3.5.3	Blok Diagram Elektronika.....	33
3.5.4	Perancangan <i>Workstation</i> .....	34
3.5.5	Parameter Simulasi .....	37
3.6	Prosedur Pengujian .....	40
3.6.1	Diagram Alir Program Pengujian.....	41
3.6.2	Setting Point Aktuator .....	42
3.6.3	Mekanisme Alat.....	44
Bab 4	Hasil dan Pembahasan .....	47
4.1	Hasil Akhir Desain.....	47
4.2	Pengujian .....	48
4.2.1	Pengujian Simulasi .....	48
4.3	Hasil Pembuatan .....	49
4.3.1	Proses Manufaktur <i>Workstation</i> .....	49
4.3.2	<i>Assembly</i> Komponen Aktuator .....	51
4.3.3	Hasil Akhir .....	53
4.3.4	Pengujian Gerak Aktuator .....	56
4.4	Pembahasan .....	59
4.4.1	Bergerak 3 Axis ( $r, \theta, z$ ) berdasarkan koordinat silinder.....	60
4.4.2	Alat mampu mengangkat dan menahan beban seberat 2 kg.....	62
4.4.3	Perbandingan <i>Arm Transfer</i> Dengan <i>Transfer System</i> Lain.....	62
Bab 5	Penutup.....	64
5.1	Kesimpulan .....	64
5.2	Saran Untuk Penelitian Selanjutnya .....	64
Daftar Pustaka	.....	65

## DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Ringkasan Kajian Pustaka .....	8
Tabel 3. 1 Alat .....	22
Tabel 3. 2 Bahan .....	22
Tabel 3. 3 Sub Fungsi dan Sub-sub fungsi .....	23
Tabel 3. 4 Kelebihan dan Kekurangan dari Alternatif Desain .....	26
Tabel 3. 5 Main Rotary Unit.....	28
Tabel 3. 6 Toothed belt axis unit .....	29
Tabel 3. 7 Mini Slide .....	30
Tabel 3. 8 Parameter desain <i>workstation</i> .....	34
Tabel 3. 10 Mekanisme Alat <i>Arm Transfer</i> .....	44



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Empat variasi pergerakan <i>arm</i> robot .....	7
Gambar 2. 2 Mesin <i>Laser Cutting</i> .....	12
Gambar 2. 3 <i>Sheet Metal Bending</i> .....	12
Gambar 2.4 Robot <i>Arm</i> Manipulator .....	15
Gambar 2.5 Penerapan <i>Arm</i> Robot di Industri Otomotif.....	15
Gambar 2.6 Koordinat Silinder .....	16
Gambar 2.7 <i>Suction</i> pad Aktif (a) dan Pasif (b) .....	17
Gambar 2.8 Gaya yang Bekerja pada <i>Suction</i> Pad.....	19
Gambar 3. 1 Diagram Alur Penelitian .....	20
Gambar 3. 2 Sketsa Alternatif Desain-1 .....	24
Gambar 3. 3 Sketsa Alternatif Desain-2.....	24
Gambar 3. 4 Sketsa Alternatif Desain-3.....	25
Gambar 3. 5 Assembly Komponen Aktuator .....	27
Gambar 3. 6 Main Rotary .....	28
Gambar 3. 7 <i>Arm</i> Module (ELGS) .....	29
Gambar 3. 8 Mini Slide EGSC .....	30
Gambar 3. 9 <i>Suction Pad</i> Diameter 15 mm.....	32
Gambar 3. 10 Diagram Blok Elektronika.....	33
Gambar 3. 11 3D Desain <i>Workstation</i> .....	35
Gambar 3. 12 Bagian Pintu Akses Panel.....	35
Gambar 3. 13 Pintu akses kabel manajemen, instalasi, lubang jalur kabel .....	36
Gambar 3. 14 Bagian Dalam <i>Workstation</i> .....	37
Gambar 3. 15 Titik Pembebanan .....	38
Gambar 3. 16 <i>Fixed Support</i> .....	38
Gambar 3. 17 Tampilan hasil <i>Meshing</i> .....	39
Gambar 3. 18 Penggunaan Material .....	39
Gambar 3. 19 Diagram Alir Program .....	41
Gambar 3. 20 Setting Point Aktuator Gerak Rotasi .....	42
Gambar 3. 21 <i>Setting Point</i> Gerak <i>Arm</i> Module.....	43
Gambar 3. 22 <i>Setting Point</i> Mini Slide .....	43

Gambar 4. 1 <i>Full Assembly</i> Alat <i>Arm Transfer</i> .....	47
Gambar 4. 2 Tampilan Virtual Kerja Alat .....	47
Gambar 4. 3 <i>Equivalent Stress</i> .....	48
Gambar 4. 4 <i>Maximun and Minimum Stress</i> .....	48
Gambar 4. 5 File Dxf Sisi Bagian Samping untuk <i>Laser Cutting</i> .....	49
Gambar 4. 6 Sheet Metal Setelah melalui <i>Laser Cutting</i> .....	50
Gambar 4. 7 Proses Bending .....	50
Gambar 4. 8 Proses Pengelasan .....	50
Gambar 4. 9 Finishing .....	51
Gambar 4. 10 <i>Exploded View</i> Perakitan <i>Rotary Module</i> .....	52
Gambar 4. 11 <i>Exploded View</i> perakitan <i>Arm Module</i> .....	52
Gambar 4. 12 <i>Exploded view</i> perakitan <i>minislide</i> .....	53
Gambar 4. 13 Perakitan <i>Rotary Module</i> ke <i>Workstation</i> .....	53
Gambar 4. 14 Hasil Perancangan Alat <i>Arm Transfer For Sheet Metal Stamping</i>	54
Gambar 4. 15 Tampak Samping Alat <i>Arm Transfer</i> .....	55
Gambar 4. 16 Tampak Belakang <i>Arm Transfer</i> .....	55
Gambar 4. 17 Posisi 0 dan Posisi 50 pada <i>Mini Slide</i> .....	56
Gambar 4. 18 Uji coba alat dengan mengangkat plat seberat 2kg .....	57
Gambar 4. 19 Grafik Uji Posisi $\theta$ -Axis .....	58
Gambar 4. 20 Grafik Uji Posisi r-Axis.....	58
Gambar 4. 21 Grafik Uji Posisi z-Axis .....	59
Gambar 4. 22 Gerakan pada $\theta$ -axis .....	60
Gambar 4. 23 Gerakan pada r-axis .....	61
Gambar 4. 24 Gerak pada z-axis .....	61
Gambar 4. 25 Alat mengangkat plat 2kg.....	62
Gambar 4. 26 Pengujian Pengangkatan Plat.....	62
Gambar 4. 27 <i>Linier Transfer System</i> .....	63

## DAFTAR NOTASI

$d$	= diameter <i>suction pad</i> (mm)
$m$	= Massa (kg)
$t$	= <i>Safety Factor</i>
$a$	= Percepatan ( $\text{ms}^{-2}$ )
$g$	= Gravitasi bumi = 9,81 ( $\text{ms}^{-2}$ )
$n$	= Jumlah <i>suction pad</i>
$\mu$	= Faktor gesekan
$P_v$	= Tekanan vakum (kPa)
$S_{ef}$	= Luas efektif penampang ( $\text{mm}^2$ )
$F$	= Kekuatan <i>suction pad</i> (N)



# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Pada era modern, teknologi merupakan salah satu faktor dari perkembangan peradaban saat ini, seperti yang diketahui hingga saat ini teknologi terus berkembang seiring berjalannya waktu. Saat ini solusi dari beberapa permasalahan sudah dapat di selesaikan dengan teknologi, bahkan teknologi merupakan salah satu faktor yang dapat menunjang suatu perekonomian.

Indonesia merupakan salah satu negara berkembang di Asia yang mengalami perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi (IPTEK) yang cukup pesat. Salah satu sektor yang harus dapat beradaptasi dan mengikuti perkembangan teknologi ini yaitu sektor industri.

Industri merupakan salah satu faktor yang cukup memberi pengaruh besar terhadap perekonomian di Indonesia. Terdapat berbagai sektor industri yang bergerak di Indonesia salah satunya yaitu industri manufaktur. Industri manufaktur merupakan salah satu sektor industri yang cukup besar di Indonesia, yang mana terdapat banyak perusahaan yang bergerak di bidang manufaktur yang tersebar di Indonesia mulai dari industri kecil hingga industri besar.

Menurut Arief (2022) pada website Kementerian Perindustrian Republik Indonesia berpendapat bahwa saat ini ekspansi industri manufaktur di Indonesia terus berkembang. Hal ini tercermin dari beberapa perbaikan kinerja di sektor manufaktur, seperti Produk Domestik Bruto (PDB), realisasi investasi, kinerja ekspor, penyerapan tenaga kerja, dan peningkatan *Purchasing Manager's Index* (PMI). Kontribusi industri di Indonesia terhadap produk domestik bruto (PDB) meningkat dari tahun ke tahun. Sejak 2010, bahkan di masa puncak pandemi di Indonesia 2020 hingga 2021, sektor industri tetap menjadi penyumbang terbesar produk domestik bruto. Tahun 2021, PDB sektor industri mencapai Rp 2.946,9 triliun yang mana ini mengalami peningkatan dari tahun sebelumnya yang mencapai Rp 2.760,43 triliun di tahun 2020.

Hal tersebut dapat dilihat bahwa sektor industri di Indonesia, salah satunya industri manufaktur mengalami ekspansi dan peningkatan yang cukup besar. Untuk itu agar dapat mendukung industri manufaktur dalam meningkatkan kinerja, maka salah satu hal yang perlu di benahi yaitu peningkatan teknologi pada proses produksi di industri manufaktur ini.

Kegiatan produksi, teknologi dan SDM (Sumber Daya Manusia) merupakan bagian yang berperan penting didalam proses kegiatan industri manufaktur. Berdasarkan salah satu sistem manajemen Jepang yaitu metode praktis *kaizen* merupakan solusi yang tepat untuk memperbaiki kualitas dan kuantitas pada suatu industri, yang mana dari kata industri manufaktur itu tidak lepas dari suatu kegiatan yaitu produksi. *Kaizen* merupakan suatu perbaikan yang dilakukan secara terus menerus yang mencakup semua aspek pada pabrik ataupun perusahaan yang mana ini diharapkan dapat menekan angka biaya produksi dengan mengurangi segala pemborosan yang terjadi pada kegiatan produksi. (Narafuadi, 2018)

Berfokus pada salah satu industri manufaktur di Indonesia yaitu Industri Metal *Stamping*. Di Indonesia terdapat beberapa perusahaan yang bergerak di industri metal *stamping*. Industri metal *stamping* merupakan sebuah industri manufaktur yang bergerak dalam pembuatan (produksi) produk-produk yang berbahan *sheet metal* yang melalui proses pembentukan pada mesin *stamping*. Beberapa sektor bisnis yang komponen-komponennya dibuat melalui proses *sheet metal stamping* diantaranya yaitu otomotif, peralatan elektronik, peralatan masak, peralatan rumah tangga hingga *oral care* (Parlinggoman & Sabariman, 2020).

Proses produksi produk *sheet metal* di industri metal *stamping*, terdapat berbagai tahap yang harus dilalui agar menjadi sebuah produk, tahap tersebut diantaranya terdapat aktifitas peletakan lembaran logam ke mesin *stamping* dan juga pemindahan lembaran logam (*sheet metal*) dari mesin *stamping* satu ke mesin *stamping* berikutnya untuk melanjutkan tahapan proses *stamping*. Saat ini proses peletakan (*loading*) dan pemindahan ini masih dilakukan secara manual oleh tenaga manusia. Proses kegiatan ini tentunya memakan waktu yang cukup lama yang mana mesin *stamping* harus berhenti ketika sudah melakukan *stamping* pada satu benda kerja sebelum melanjutkan proses *stamping* pada benda kerja berikutnya agar operator mesin dapat memindahkan hasil *stamping* terlebih dahulu,

sehingga hal ini dapat menyebabkan lambatnya proses produksi dan tidak tercapainya jumlah produksi yang besar agar dapat memenuhi permintaan pasar yang semakin meningkat ini.

Selain lambatnya proses produksi, proses manual seperti ini juga memiliki resiko kecelakaan kerja pada manusia yang cukup berbahaya yaitu beresiko terjepit mesin *stamping* atau resiko kecelakaan kerja lainnya. Yang mana kecelakaan tersebut dapat terjadi akibat faktor kelelahan dari pekerja ataupun faktor lainnya. Oleh karena itu diperlukannya sebuah penelitian yang merancang sebuah alat yang dapat mengerjakan proses *stamping* ini secara otomatis. Berdasarkan latar belakang ini, penulis mengangkat permasalahan ini sebagai tugas akhir yang berjudul “Perancangan Alat *Arm Transfer for Metal Stamping Process* dengan mekanisme Vakum”. Dengan adanya perancangan ini diharapkan dapat menyelesaikan permasalahan pada industri metal *stamping*.

## 1.2 Rumusan Masalah

Setelah mengetahui permasalahan yang ada pada industri *metal stamping*, maka didapatkan lah beberapa rumusan masalah pada penelitian ini:

1. Bagaimana desain alat yang dapat membantu proses *loading* dan memindahkan *sheet metal* dari mesin *stamping* satu ke mesin *stamping* berikutnya secara otomatis dalam proses *metal stamping*?
2. Bagaimana desain alat yang mampu mengangkat benda kerja (*sheet metal*) dengan berat  $\leq 2\text{kg}$ ?

## 1.3 Batasan Masalah

Agar penelitian tidak menyimpang dari apa yang di teliti, ditetapkan beberapa batasan masalah yaitu:

1. Penelitian dilakukan pada kelompok kerja riset manufaktur di PT. Stechoq Robotika Indonesia
2. Riset dan perancangan sebuah alat *arm transfer* untuk pemindahan *sheet metal* pada proses *stamping*
3. *Design* menggunakan *software solidworks 2020* dan Simulasi menggunakan *Ansys 2022*

4. Acuan *design* menggunakan referensi dari katalog Festo
5. Panjang lengan aktuator dibatasi 1170 mm
6. Pemilihan komponen aktuator ditentukan oleh pihak Stechoq dengan rekomendasi dari pihak Festo
7. Tidak membahas elektrikal dan program
8. *Vaccum Generator* yang digunakan sudah di tetapkan oleh pihak Stechoq
9. Tidak membahas *mounting* vakum

#### **1.4 Tujuan Perancangan**

Berdasarkan rumusan masalah yang telah disebutkan, beberapa tujuan dari penelitian ini diantaranya yaitu:

1. Merancang alat *Arm Transfer* yang dapat bergerak 3-axis untuk proses *loading* dan pemindahan *sheet metal* dalam proses *stamping*
2. Merancang alat dengan mekanisme vakum yang mampu mengangkat *sheet metal* seberat  $\leq 2\text{kg}$

#### **1.5 Manfaat Perancangan**

Adapun manfaat dari penelitian ini, diantaranya yaitu:

1. Memberikan sebuah alat yang mampu menerapkan sistem otomasi untuk industri metal *stamping*
2. Mengurangi resiko kecelakaan kerja di industri manufaktur

#### **1.6 Sistematika Penulisan**

Dalam sistematika penulisan tugas akhir, laporan ini di bagi menjadi lima bab yaitu:

1. Bab 1 berisikan latar belakang masalah, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan perancangan, manfaat perancangan dan sistematika penulisan.
2. Bab 2 berisikan kajian pustaka dan beberapa dasar teori yang melandasi dari perancangan.
3. Bab 3 berisikan alur penelitian, alat dan bahan serta tahapan-tahapan proses perancangan.

4. Bab 4 membahas mengenai hasil-hasil perancangan yang sudah diperoleh dan pembahasan dari hasil perancangan tersebut.
5. Bab 5 berisikan kesimpulan dari hasil perancangan serta saran untuk penelitian kedepannya.



## BAB 2

### TINJAUAN PUSTAKA

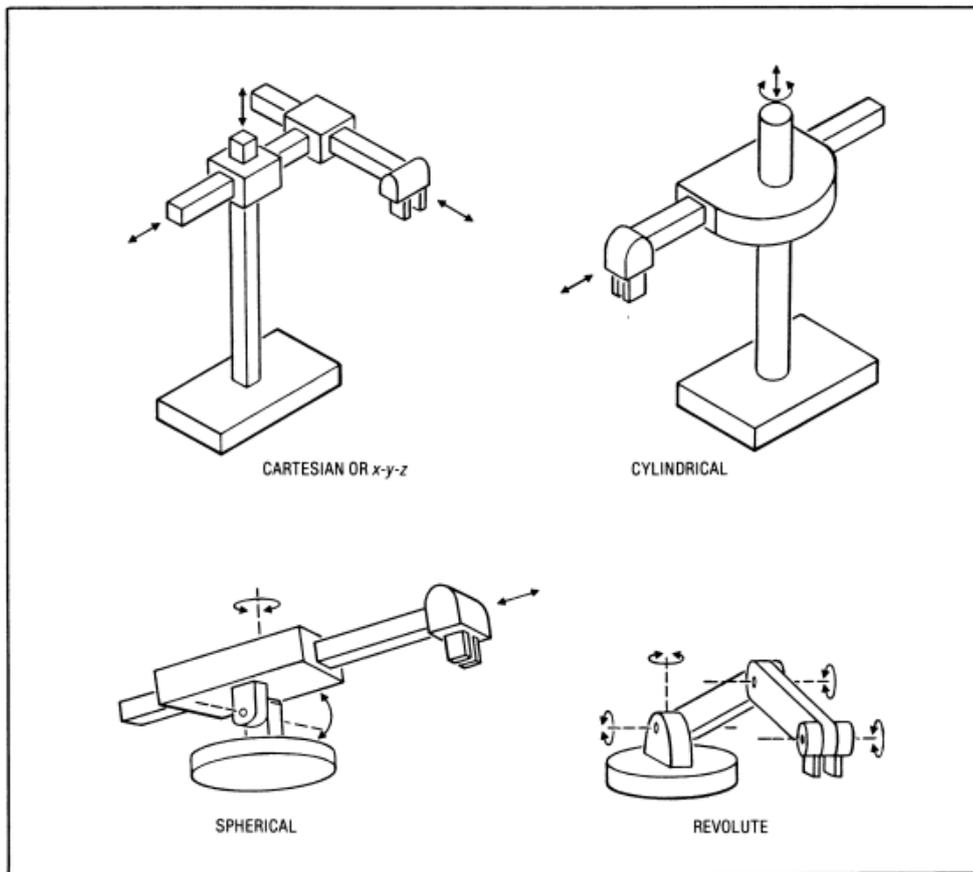
#### 2.1 Kajian Pustaka

Robot industri merupakan manipulator serbaguna yang terdiri dari beberapa bagian. Terdapat links yang dihubungkan secara seri dengan sambungan putar atau prismatic. Salah satu bagian ujung terhubung dengan bagian base dan bagian ujung lainnya dihubungkan dengan tool atau disebut juga *End of Effector* yang memiliki fungsi sebagai *manipulator* atau yang bekerja melakukan pengangkatan atau pengambilan object. Secara mekanis, robot terdiri dari lengan (atau bingkai utama) dan bagian pergelangan tangan ditambah alat serta dirancang untuk mencapai benda kerja yang terletak di dalam volume kerjanya. Volume kerja adalah lingkup pengaruh untuk robot yang lengannya dapat mengirimkan unit pada bagian pergelangan tangan ke titik manapun di dalam bola. Bagian lengan biasanya terdiri dari tiga gerakan derajat kebebasan, yang bersama-sama menempatkan atau memposisikan unit pergelangan tangan pada benda kerja (Lee, 1982).

Banyak robot industri yang tersedia secara komersial dan banyak digunakan dalam beberapa penanganan material sederhana, pengelasan titik/busur, dan perakitan suku cadang, termasuk robot seri Unimate 2000B dan PUMA 260/550/560 oleh Unimation Inc.; T3 oleh Cincinnati Milacron; Versatran oleh Prab; robot Asia; dan Sigma oleh Olivetti dari Italia. Robot-robot ini, yang menunjukkan karakteristik mereka dalam gerakan dan geometri, termasuk dalam salah satu dari empat kategori dasar yang menentukan gerak, seperti pada gambar

2.1. Adapun 4 kategori dasar diantaranya yaitu:

1. Koordinat kartesius (tiga sumbu linier),
2. koordinat silinder (dua linier dan satu putar sumbu),
3. koordinat bola atau kutub (satu linier dan dua sumbu putar), dan
4. koordinat *revolute* atau artikulasi (tiga putaran sumbu) (Lee, 1982).



Gambar 2. 1 Empat variasi pergerakan *arm* robot

Ada salah satu istilah di dalam dunia industri yaitu MMH atau *Manual Material Handling*. Adapun makna dari Istilah MMH ini yaitu semua yang berkaitan dengan proses kegiatan pengangkatan suatu beban yang dilakukan oleh tenaga manusia atau disebut juga operator yang mana kegiatan ini meliputi mengangkat/menurunkan, mendorong/menarik, memutar, membawa dan menahan. Tujuan dari proses kegiatan ini yaitu untuk memindahkan suatu beban/benda kerja dari suatu tempat menuju suatu tempat lainnya atau ke suatu tujuan tertentu. Jika MMH terjadi terlalu sering pada suatu kegiatan proses produksi, maka ini akan memiliki dampak buruk terhadap operator ataupun durasi proses produksi, seperti kelelahan, cedera dan kecelakaan yang dapat mengakibatkan durasi proses produksi akan bertambah lama (Rajesh, 2016).

Menurut *American Material Handling Association*, *Material Handling* didefinisikan sebagai ilmu yang berkaitan dengan penanganan, pergerakan, pengemasan, penyimpanan, dan pengendalian bahan. Sedangkan pada kegiatan

*manual handling* perusahaan biasanya fokus pada kegiatan *vertical strength* atau *lifting* dan *lowering*, pada MMH hal ini tidak terbatas pada kegiatan tersebut dan masih banyak kegiatan yang termasuk dalam MMH seperti menarik, mendorong dll.

Beberapa aktivitas MMH yang paling sering dilakukan oleh pekerja diantaranya yaitu:

1. Pengangkatan suatu benda (*Lifting Task*).
2. Pengantaran suatu benda (*Carrying task*)
3. Mendorong suatu benda (*Pushing task*)
4. Menarik suatu benda (*Pulling task*) (Mc Cormick & Sanders, 1993).

Banyak penelitian yang telah dilakukan oleh berbagai peneliti tentang riset dan pengembangan dari *robotic arm*. Adapun beberapa penelitian yang digunakan dalam perancangan ini sebagai kajian pustaka dapat dilihat pada tabel 2.1 ringkasan kajian pustaka berikut.

Tabel 2. 1 Ringkasan Kajian Pustaka

Tahun Penelitian	Peneliti	Judul Pustaka	Deskripsi
2012	Jamshed Iqbal	Modeling and Analysis of a 6 DOF Robotic Arm Manipulator	Pengembangan model gerak <i>robotic arm</i> dengan 6 derajat kebebasan serta menganalisa ruang kerjanya. Model yang diusulkan memungkinkan manipulator dikendalikan untuk mencapai posisi dan orientasi yang dapat dicapai dalam lingkungan yang tidak terstruktur.

2015	Amin A. Mohammed	Kinematics Modeling of a 4-DOF Robotic Arm	<p>Model kinematika dari lengan robot 4 derajat kebebasan disajikan menggunakan metode DH dan produk dari rumus eksponensial. Terbukti bahwa kedua pendekatan memberikan solusi yang sama untuk manipulator robot di bawah belajar. Selain itu, simulasi manipulator robot adalah dilakukan menggunakan perangkat lunak Matlab melalui robotika kotak peralatan, di mana beberapa posisi manipulator direalisasikan berdasarkan konvensi DH.</p>
2017	Emmanuel C. Agbaraji	Dynamic Modeling of a 3 -DOF Articulated Robotic Manipulator Based on Independent Joint Scheme	<p>Melakukan pemodelan dinamis untuk kontrol torsi pada sambungan dari manipulator robot artikulasi dengan 3 derajat kebebasan berdasarkan pendekatan skema sambungan independen.</p>

## **2.2 Dasar Teori**

### **2.2.1 Otomasi (*Automation*)**

Menurut Rodić (2009) definisi dari otomasi yaitu penggunaan suatu sistem kontrol seperti *Numerical Control (NC)*, *Programmable Logic Controllers (PLC)* dan beberapa sistem kontrol lainnya dengan tujuan dapat mengatur mesin dan juga dapat menggunakan *software CAD/CAM/CAE* sebagai bantuan untuk mengurangi kebutuhan campur tangan manusia. Manusia merupakan makhluk hidup yang memiliki batas kemampuan dan manusia dapat mengalami kelelahan sehingga membutuhkan istirahat agar dapat menjaga kondisi kesehatannya.

Dalam dunia industri, robotisasi (*automation*) bisa menjadi langkah untuk membantu/menggantikan pekerjaan manusia yang membutuhkan kontrol dari otot dengan alat mekanis. Dengan memanfaatkan komputerisasi dapat mengurangi kelelahan manusia dan proses kerja menjadi lebih singkat. otomasi adalah sesuatu yang harus dipakai sebuah industri. Beberapa alasan pemanfaatan otomasi dalam industri adalah (Ebel, Idler, Prede, & Scholz, 2008):

1. Akan lebih sedikit dalam kebutuhan tenaga kerja jika sudah diterapkan otomatisasi
2. Kegiatan produksi akan berjalan lebih lama
3. Karena mesin melakukan kesalahan lebih sedikit, maka hasil produksi dapat lebih meningkat dari segi kualitas
4. Dapat meningkatkan dari segi kuantitas produk dengan otomatisasi pada proses produksi
5. Otomasi dapat mengurangi resiko kecelakaan yang terjadi pada pekerja.

### **2.2.2 Pemesinan**

Pemesinan adalah salah satu proses pembuatan alat menggunakan mesin yang memanfaatkan gerakan relatif antara alat dan benda kerja untuk membuat produk dengan bentuk yang diinginkan. Proses pemesinan dilakukan dengan cara memotong bagian yang tidak terpakai dengan menggunakan pahat, sehingga menghasilkan komponen yang diinginkan pada permukaan kerja. Pahat yang digunakan pada beberapa mesin perkakas bergerak dengan gerak relatif tertentu

(rotasi atau translasi) yang disesuaikan dengan bentuk benda kerja yang akan dibuat. Penelitian ini melibatkan dua metode pemesinan: *bending*, dan *laser cutting*.

#### **A. Laser Cutting**

*Laser cutting* merupakan sebuah teknologi dengan penggunaan laser untuk pemotongan material dan biasanya banyak digunakan pada industri manufaktur. Cara kerja *laser cutting* yaitu dengan cara mengarahkan laser berkekuatan tinggi dengan menggunakan bantuan komputer untuk mengarahkannya dan memotong material.

Ada beberapa jenis laser yang biasa digunakan dalam industri dan penggunaan *laser cutting*, diantaranya yaitu laser CO<sub>2</sub> laser ini biasanya cocok untuk memotong, mengukir dan membuat boring, kemudian ada laser Neodymium (Nd) laser ini bisa digunakan untuk membuat boring laser ini membutuhkan energi yang besar akan tetapi memiliki repetisi atau pengulangan yang rendah. Kemudian laser neodymium yttrium-aluminum-garnet (Nd-YAG) yang mana laser ini digunakan dengan membutuhkan daya yang sangat tinggi untuk membuat boring dan mengukir (Amrulloh, 2012).

Banyak kreasi yang dapat dibuat menggunakan mesin laser. Mesin laser ini memiliki banyak keunggulan jika dibandingkan dengan mesin potong lainnya seperti CNC Router dangergaji. Laser memotong dengan memanfaatkan energi panas sehingga benda kerja yang di potong tidak mendapatkan tekanan dan juga memberikan hasil yang bagus dan rapi dalam pemotongan. Mesin *laser cutting* dapat dilihat pada gambar 2.2.

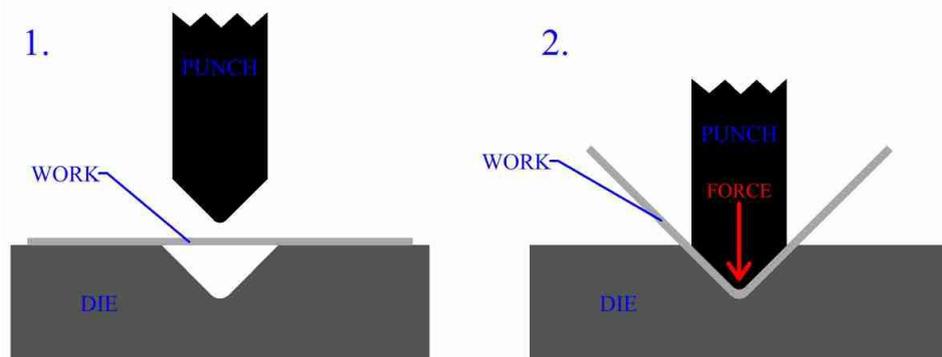


Gambar 2. 2 Mesin *Laser Cutting*

### **B. Bending**

*Bending* merupakan suatu proses penekanan pada suatu permukaan sehingga terjadi deformasi plastis pada bagian yang di berikan tekanan. Pada penelitian kali ini proses *bending* menggunakan metode *Dies forming bending*. *Dies forming bending* adalah alat yang digunakan untuk membentuk suatu *bendingan* dengan menggunakan punch dan dies bentuk dan kegunaannya sangat beragam (Nugroho and Hidayat, 2016). Penekan akan menekan dari sisi bagian atas, kemudian akan terbentuk sudut sesuai yang diinginkan. Dapat dilihat pada gambar 2.3

### SHEET METAL BENDING WITH A V DIE



Gambar 2. 3 *Sheet Metal Bending*

### 2.2.3 Desain Produk

Proses pembuatan suatu produk atau inovasi, diperlukan beberapa tahap yang harus dilalui agar dapat menjadi sebuah produk yang dapat bermanfaat dan berfungsi dengan baik serta memiliki daya jual. Hal ini tentu diperlukannya sebuah konsep yang harus dipersiapkan dengan baik. Dalam proses persiapan konsep ini, maka diperlukanlah keahlian seorang desainer untuk menciptakan suatu inovasi produk dengan mengimplementasikan ilmu pengetahuan dan digabungkan dengan teknologi sehingga dapat menciptakan suatu seni (konsep produk) yang memiliki nilai-nilai dan kegunaan yang tepat. Ada beberapa tahapan penting didalam suatu proses desain produk diantaranya yaitu:

1. Proses Desain
2. Simulasi (Analisis)
3. Produksi (Fabrikasi)

Dalam proses penelitian ini menggunakan teknologi berupa *software* CAD (*Computer-Aided Design*) yang biasa digunakan untuk melakukan proses desain.

Menurut Ningsih (2005) *Computer-Aided Design* atau biasa disingkat CAD umumnya digunakan berupa program komputer yang dapat digunakan untuk membantu melakukan pekerjaan perencanaan suatu benda (produk), hingga bangunan atau gedung. Dalam aplikasi CAD, gambar digunakan untuk memberi gambaran rancangan produk dalam 2D bahkan 3D. Intinya CAD merupakan *software* yang dapat membuat desain untuk merepresentasikan sebuah produk. Pengoperasian *software* CAD, diperlukannya peranan penting dari desainer/drafter yang mana semua hal berkaitan dalam proses desain dilakukan oleh desainer/drafter. Ada beberapa fungsi sistem CAD diantaranya yaitu (Bilalis, 2000):

1. Dapat membuat suatu desain yang mana desain ini dapat berguna untuk memudahkan dalam representasi produk aktual dalam bentuk desain 3D.
2. Dapat membuat suatu desain yang kompleks
3. Dengan memanfaatkan ilmu finite element analysis, kita dapat melakukan simulasi desain produk dengan mudah.

4. Desain dapat digunakan setiap saat dan dapat diperbaharui ketika dibutuhkan, karena terdapat suatu fitur yang memiliki fungsi untuk menyimpan setiap alur dalam proses desain. Fitur ini dinamakan *Product Data Management* (PDM).

#### **2.2.4 Robot Arm**

Robot Manipulator merupakan serangkaian hubungan mekanika yang terdiri dari beberapa rangkaian gerak berupa link, baik itu berupa rangkaian umpan balik terbuka maupun umpan tertutup yang terhubung dengan sendi dan memiliki kemampuan memberikan pergerakan baik pergerakan planar maupun spatial. Pergerakan secara planar merupakan pergerakan sendi-sendi pada bidang paralel sedangkan secara spatial adalah pergerakan pada bidang tiga dimensi. Secara umum derajat kebebasan tersebut adalah angka yang dibutuhkan untuk mewakili posisi dari setiap hubungan relatif terhadap link yang tetap (Zaenurrohman & Sutisna, 2014).

Robot manipulator merupakan salah satu jenis robot yang sudah banyak digunakan manusia khususnya di industri. Manipulator adalah suatu sistem mekanik yang digunakan dalam memanipulasi pergerakan mengangkat, memindahkan, dan memanipulasi benda kerja untuk meringankan kerja manusia. Robot manipulator dirancang menyerupai lengan manusia yang memiliki sifat fleksibel, sehingga mudah digunakan untuk melakukan pekerjaan yang cepat presisi dan berulang-ulang.

*Arm Robot* (robot manipulator) merupakan salah satu alat otomasi yang sudah banyak digunakan di berbagai industri dengan berbagai kegunaan. Penggunaan alat ini biasanya digunakan sebagai salah satu alat bantu untuk mengurangi MMH. Robot manipulator ini memiliki lengan-lengan kaku yang terhubung secara seri dan memiliki beberapa bagian:

1. Terdapat sambungan yang dapat bergerak berputar (rotasi),
2. Terdapat bagian yang memanjang dan memendek (translasi atau prismatic).
3. Pada salah satu bagian *arm* di tanamkan pada sebuah bidang atau meja yang statis (*workstation*).
4. Pada bagian ujung (*end of effector*) terdapat tool tertentu yang menyesuaikan dengan tugas robot dapat berupa *gripper* dan sejenisnya.



Gambar 2.4 Robot Arm Manipulator

Gambar 2.4 merupakan salah satu contoh alat *arm robot manipulator* yang dirancang memiliki kurang lebih 6-axis yang mana alat ini dibuat untuk melakukan pekerjaan yang lebih kompleks dari *arm robot* lainnya yang memiliki poros lebih sedikit.

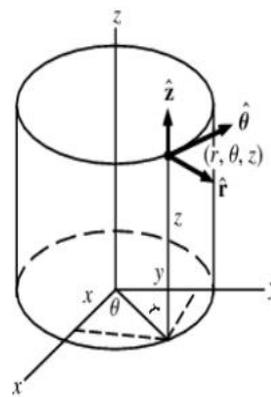


Gambar 2.5 Penerapan Arm Robot di Industri Otomotif

Pada gambar 2.5 merupakan salah satu contoh penerapan otomasi pada industri otomotif yaitu sebuah alat *Robot Arms* yang mampu bekerja secara *continue* yang dapat melakukan pekerjaan proses perakitan pada mobil dan beberapa proses lainnya.

### 2.2.5 Sistem Koordinat Silinder

Sistem koordinat adalah suatu cara yang digunakan untuk menentukan letak suatu titik pada bidang ( $R^2$ ) atau ruang ( $R^3$ )  $3 R$ . Beberapa macam sistem koordinat yang kita kenal, antara lain sistem koordinat Cartesius (Rene Descartes: 1596-1650), sistem koordinat kutub, sistem koordinat tabung, dan sistem koordinat bola. Pada bidang ( $R^2$ ), letak titik pada umumnya dinyatakan dalam koordinat Cartesius dan koordinat Polar. Sedangkan pada ruang ( $R^3$ ) letak suatu titik pada umumnya dinyatakan dalam koordinat Cartesius, koordinat Silinder dan koordinat bola.



Gambar 2.6 Koordinat Silinder

Sebuah sistem koordinat silinder adalah sistem koordinat tiga dimensi yang menentukan posisi titik dengan jarak dari sumbu referensi yang dipilih, arah dari sumbu relatif ke arah referensi yang dipilih, dan jarak dari memilih referensi bidang yang tegak lurus dengan sumbu dapat dilihat pada gambar 2.6. Terdapat empat aturan penempatan sumbu ( $x,y,z$ ) yang harus diikuti dalam menentukan koordinat *frame*, adapun aturan tersebut dijelaskan sebagai berikut:

1. Sumbu Z selalu berada searah dengan sumbu joint (*joint axis*)
2. Sumbu X harus berada tegak lurus dengan kedua sumbu  $Z_n$  dan  $Z_{n-1}$
3. Sumbu y mengikuti *right-hand rule*, dimana peletakannya diantara sumbu z dan x
4. Sumbu  $X_n$  harus memotong dengan sumbu  $Z_{n-1}$

## 2.3 Vakum Gripper

Kata "vakum" berasal dari Bahasa latin yaitu kata *vacuo* yang memiliki arti kosong. Namun dalam faktanya, tidak ada ruang kosong atau tidak ada sama sekali di alam semesta ini vakum ideal. Jadi, vakum adalah keadaan ruang yang beberapa udara dan gas lainnya dikeluarkan sehingga tekanan di dalam ruang menjadi bawah atmosfer (Suprpto & Widodo, 2017).

*Vacuum Gripper* merupakan pengontrol mekanis yang bekerja untuk menangkap objek untuk bergerak di dalam area kerja dengan menggenggam menggunakan vakum yang dibuat dengan kemampuan beradaptasi dan pendekatan multifungsi. *Vacuum Gripper* merupakan komponen dari robot manipulator berfungsi untuk menggenggam objek untuk memindahkan di dalam jangkauan kerja dalam sistem mencengkram seperti vakum yang dikembangkan secara fleksibilitas dan pendekatan multifungsional (Jaiswal dan Kumar, 2016).

Menurut (Liu dkk., 2006) pada (Narafuadi, 2018) *Vacuum gripper* merupakan sebuah alat bantu dengan *suction pad* yang digunakan sebagai pencekam. Saat ini *suction pad* banyak digunakan pada perancangan robot *wall-climbing* yang dapat menempel pada permukaan yang halus tanpa merusak permukaan pada benda.



Gambar 2.7 *Suction pad* Aktif (a) dan Pasif (b)

*Suction pad* secara umum terbagi menjadi dua yaitu *suction pad* aktif dan *suction pad* pasif. Pada Gambar 2.7a merupakan *suction pad* aktif berfungsi untuk mempertahankan kondisi vakum dengan cara menggunakan pompa. Pompa ini menjadikan *suction pad* lebih mudah untuk dikendalikan yaitu direkatkan atau

dilepaskan dengan syarat pompa harus selalu hidup dan kekuatan pompa dapat meningkatkan beban kerja yang diangkat. Pada gambar 2.7b merupakan gambar *suction pad* pasif yang dapat mengangkat beban kecil dan tidak memerlukan pompa dan sulit dikendalikan (Zhang, 2009).

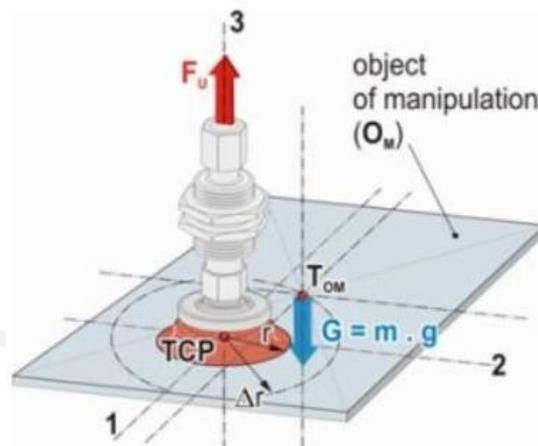
### 2.3.1 Menghitung Diameter Suction Pad

Pada katalog *suction pad* terdapat beberapa diameter yang disediakan. Pemilihan ukuran diameter *suction pad* ini digunakan sesuai dengan kebutuhan dari beban yang akan di angkat. Diameter *suction pad* ini dapat di hitung dengan mengetahui besar beban yang akan diangkat *suction pad*. Untuk menghitung diameter *suction pad* ini dapat menggunakan persamaan berikut:

(1)

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot m \cdot t \cdot (a \pm g)}{10^{-3} \cdot \pi \cdot P_v \cdot n \cdot \mu}}$$

Keterangan:  $d$  = diameter *suction pad* (mm)  
 $m$  = Massa (kg)  
 $t$  = *Safety Factor*  
 $a$  = Percepatan ( $\text{ms}^{-2}$ )  
 $g$  = Gravitasi bumi = 9,81 ( $\text{ms}^{-2}$ )  
 $n$  = Jumlah *suction pad*  
 $\mu$  = Faktor kegesekan



Gambar 2.8 Gaya yang Bekerja pada Suction Pad

Dapat dilihat pada gambar 2.8 merupakan gambaran dari gaya-gaya yang bekerja pada *suction pad*. Untuk menghitung kekuatan *suction pad* dengan memperhitungkan pusat gravitasi  $O_m$  yang dicengkeram. Hubungan kekuatan *suction pad* saling berkaitan dengan menentukan diameter *suction pad* penghisap.

### 2.3.2 Menghitung Kekuatan Suction Pad

Setelah mendapatkan diameter *suction pad*, secara teori dapat digunakan untuk menghitung beban maksimum pada satu *suction pad*. Kekuatan *suction pad* berbanding lurus dengan besarnya tekanan vakum dan luas penampang *suction pad* itu sendiri (Tuleja, 2014).

$$F = 10^{-3} \cdot S_{ef} \cdot P_v$$

(2)

Keterangan:

$F$  = Kekuatan *suction pad* (N)

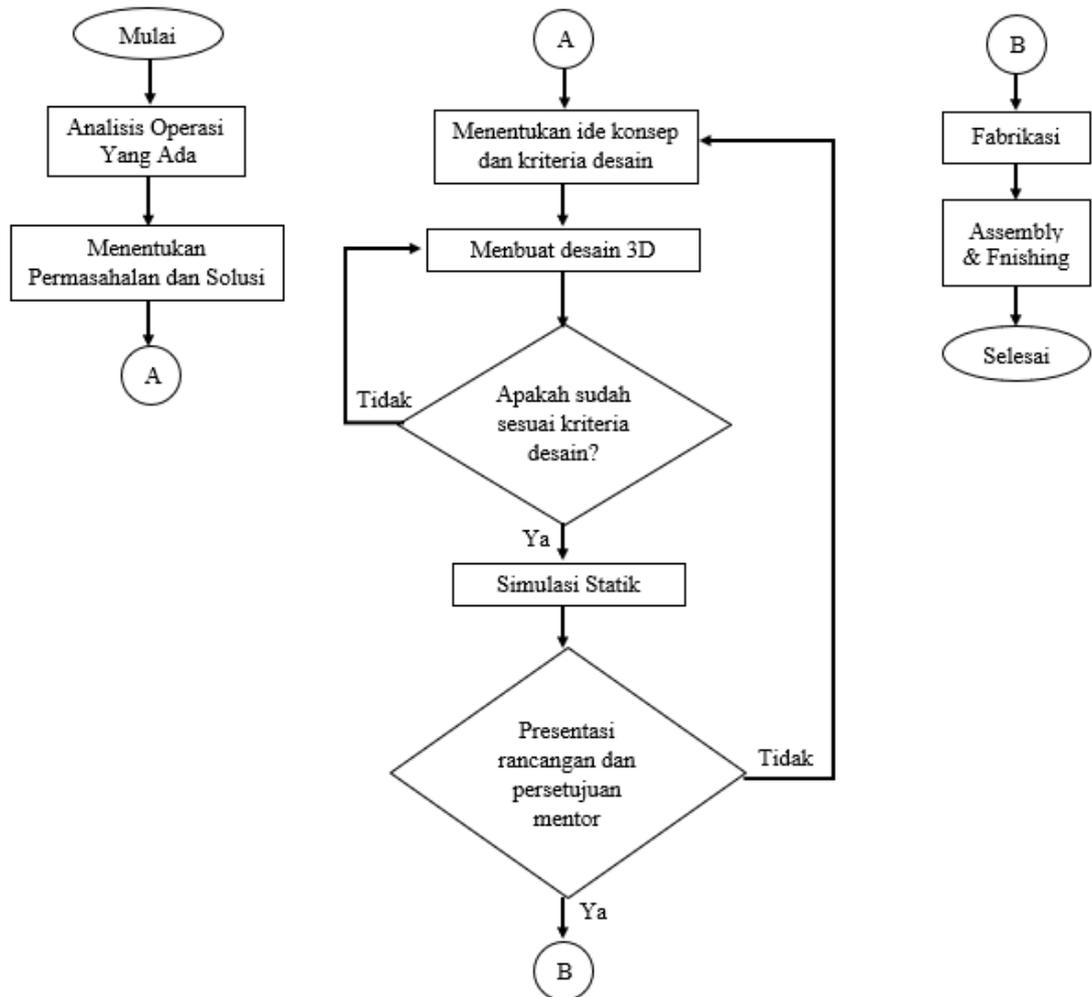
$S_{ef}$  = Luas efektif penampang (mm<sup>2</sup>)

$P_v$  = Tekanan vakum (kPa)

## BAB 3 METODE PENELITIAN

### 3.1 Alur Penelitian

Proses pengerjaan penelitian tugas akhir ini, perancangan melalui beberapa tahapan yang mana tahapan ini tersusun dalam bentuk diagram alir. Adapun diagram alir yang dimaksud dapat dilihat pada gambar 3.1.



Gambar 3. 1 Diagram Alur Penelitian

Langkah pertama yang dilakukan dalam memulai perancangan yaitu dengan memahami turunan *project* yang diberikan dari pihak perusahaan, mulai dengan melakukan diskusi bersama tim proyek dan pembimbing di lapangan terkait *project* yang akan dikerjakan. Setelah berdiskusi, dilanjutkan dengan melakukan observasi secara online dan mengumpulkan data-data yang dibutuhkan dalam *project* yang akan dikerjakan, hal ini dilakukan agar dapat mengetahui permasalahan apa yang terjadi pada *project* tersebut serta mengetahui apa yang diinginkan dari pihak perusahaan dalam *project*.

Setelah mengetahui permasalahan yang terjadi, dilakukan diskusi dan menganalisis permasalahan yang ada serta mencari solusi dengan mencari beberapa referensi secara online dan menentukan ide-ide pengembangan yang perlu dilakukan. Setelah itu barulah dilakukan pembuatan konsep perancangan serta kriteria desain yang akan dibuat. Dalam proses perancangan ini, dilakukan rapat bersama manajemen dan mentor agar hasil perancangan dapat sesuai dengan apa yang diinginkan oleh pihak manajemen.

### **3.2 Kriteria Desain**

Setelah melakukan analisa dari proses yang terjadi pada produksi metal *stamping* kemudian melakukan diskusi dengan team kerja dan manajemen dengan berdasarkan permasalahan yang terjadi, didapatkan lah beberapa kriteria design dari alat yang akan dirancang, diantaranya yaitu:

1. Alat dirancang mampu bergerak 3-axis (R-axis,  $\theta$ -axis, Z-axis) berdasarkan koordinat silinder
2. Lengan alat mampu menahan beban seberat 2kg
3. Desain *Workstation* yang mampu menopang komponen aktuator seberat  $\pm 15$ kg
4. Sistem vakum yang mampu mengangkat benda kerja seberat 2kg

### **3.3 Alat dan Bahan**

Perancangan alat *Arm Transfer for Metal Stamping* ini menggunakan beberapa alat dan bahan yang diharapkan dapat membuat perancangan ini dapat terwujud sebagai mana mestinya. Adapun alat dan bahan tersebut yaitu dapat di lihat pada tabel 3.1 alat dan tabel 3.2 bahan.

Tabel 3. 1 Alat

No	Alat	Kegunaan
1	Software Solidworks 2020	Digunakan sebagai alat untuk membuat design 3D
2	Ansys Workbench	Digunakan sebagai alat untuk melakukan simulasi statik
3	Mesin Bending	Digunakan sebagai alat untuk melakukan penekukan pada <i>sheet metal</i> dalam proses fabrikasi workstation
4	Mesin Laser Cutting	Digunakan sebagai alat untuk memotong <i>sheet metal</i> yang digunakan untuk pembuatan workstation
5	Las	Digunakan sebagai penyambung <i>sheet metal</i> dalam proses pembuatan workstation
6	Bor Tangan	Digunakan sebagai penyambung beberapa bagian pada workstation.

Tabel 3. 2 Bahan

No	Bahan	Kegunaan
1	Plat besi baja	Digunakan sebagai bahan utama dalam pembuatan workstation
2	Plat Porforated	Digunakan sebagai dudukan untuk komponen elektrik di dalam workstation
3	Canal C CNP	Digunakan sebagai struktur workstation

### 3.4 Alternatif Desain

Penelitian ini terdapat beberapa alternatif desain yang mana alternatif desain ini bertujuan agar hasil perancangan mendapatkan hasil yang sesuai dengan tujuan penelitian yaitu memiliki beberapa gerakan yang mampu bekerja sesuai dengan

lingkup kerja yaitu memindahkan suatu objek dari satu *station* ke *station* lainnya yang mana proses pemindahan ini dapat dilakukan dengan beberapa gerakan diantaranya yaitu gerakan rotasi dan gerakan *sliding* ataupun dapat dilakukan dengan mengkombinasikan gerakan rotasi dan gerakan *sliding*.

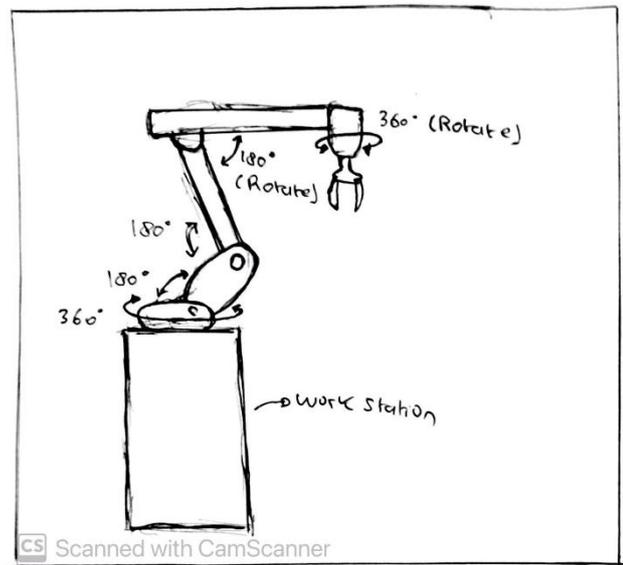
Untuk mendapatkan alternatif – alternatif desain, dikumpulkanlah ide dan solusi sebanyak mungkin agar mendapatkan beberapa sub-fungsi yang akan di kombinasikan nantinya yang akan menjadi beberapa alternatif desain. Adapun beberapa sub fungsi yang di kumpulkan di antaranya yaitu:

Tabel 3. 3 Sub Fungsi dan Sub-sub fungsi

Sub Fungsi	Sub-sub fungsi
Jumlah gerakan	A1. 5 Gerakan
	A2. 3 Gerakan
Penggerak	B1. Motor
	B2. Pneumatik
Tipe Efektor	C1. Vakum
	C2. Gripper
Aksesoris	D1. Tiang
	D2. Workstation

Berdasarkan sub-sub fungsi yang telah di dapatkan sesuai pada tabel 3.3 maka dilakukanlah beberapa kombinasi sub-sub fungsi sehingga menghasilkan beberapa variasi alternatif desain yang dapat dijadikan sebagai pertimbangan dalam pemilihan desain. Berikut beberapa alternatif desain yang di hasilkan dalam bentuk sketsa untuk perancangan alat *arm transfer system* untuk proses metal *stamping*:

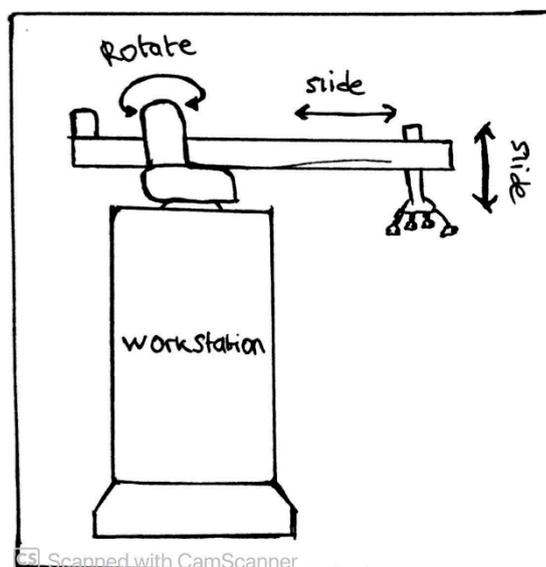
1. Alternatif desain-1: A1 + B1 + C2 + D2



Gambar 3. 2 Sketsa Alternatif Desain-1

Gambar 3.2 merupakan sketsa dari alternatif desain 1 dengan kombinasi sub-sub fungsi A1 + B1 + C1 + D2. Yaitu pada alternatif desain 1 ini dirancang dengan mekanisme 5 gerakan rotasi di beberapa titik pada *Arm robot*, dengan tipe penggerak yaitu menggunakan motor, kemudian pemilihan efektor menggunakan gripper dan aksesoris tambahan menggunakan *workstation* sebagai penopang untuk *arm robot* itu sendiri.

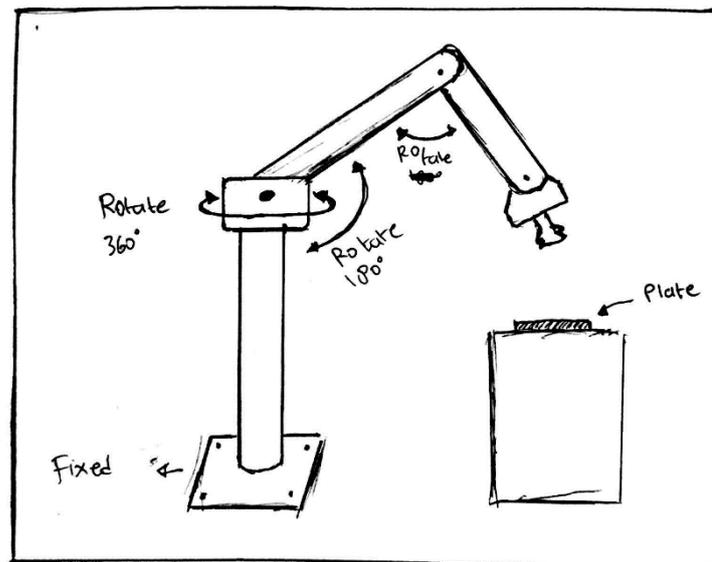
2. Alternatif desain-2: A2 + B1 + C1 + D2



Gambar 3. 3 Sketsa Alternatif Desain-2

Gambar 3.3 merupakan sketsa desain alternatif yang kedua dengan kombinasi sub-sub fungsi yaitu  $A2 + B1 + C1 + D2$ . Pada alternatif desain kedua ini menggunakan 3 gerakan yang terdiri dari 2 gerakan *sliding*, dan 1 gerakan rotasi dengan tipe penggerak yang digunakan yaitu motor. Alternatif desain kedua ini tipe efektor yang digunakan yaitu dengan sistem vakum dan aksesoris tambahan disini menggunakan workstation sebagai penopang dari *arm transfer system* itu sendiri.

### 3. Alternatif desain-3: $A2 + B1 + B2 + C1 + D1$



Gambar 3. 4 Sketsa Alternatif Desain-3

Sketsa alternatif desain yang ketiga dapat dilihat pada gambar 3.4. Alternatif desain ketiga tersebut, menggunakan kombinasi sub-sub fungsi yaitu  $A2 + B1 + B2 + C1 + D1$ . Pada alternatif desain yang ketiga ini menggunakan 3 gerakan yang terjadi pada sistem yaitu terdiri dari 3 gerakan rotasi dan penggerak yang digunakan pada alternatif desain ketiga ini menggunakan pneumatik dan motor. Efektor yang digunakan yaitu sistem vakum dan alat ini hubungkan pada sebuah tiang *fixed* yang terkunci pada permukaan lantai.

Tabel 3. 4 Kelebihan dan Kekurangan dari Alternatif Desain

Alternatif Desain	Kelebihan	Kekurangan
1	Memiliki mekanisme 5-axis yang membuat alat menjadi lebih <i>flexible</i> dalam pergerakannya.	<i>Arm Robot</i> dengan mekanisme 5-axis memiliki tingkat kesulitan yang cukup rumit dalam pemrogramannya. Dan tipe efektor yang kurang begitu cocok ketika digunakan untuk mengangkat <i>sheet metal</i> .
2	Dengan mekanisme 3-axis dengan gerakan sederhana yang sesuai dengan kebutuhan dalam proses <i>sheet metal stamping</i> , dan tipe efektor yang sangat cocok untuk mengangkat <i>sheet metal</i> .	Memiliki keterbatasan yang cukup besar dalam pergerakan aktuatornya. Sehingga tidak dapat dilakukan banyak variasi dalam gerakannya. Dan juga membutuhkan supply udara untuk sistem vakumnya.
3	Memiliki konstruksi yang kokoh serta konstruksi yang sederhana sehingga dalam proses <i>maintenance</i> akan lebih mudah dilakukan.	Mudah terjadi kebocoran pada sistem udara dan juga mengeluarkan suara yang menyebabkan kebisingan (Imaduddin, 2016).

Berdasarkan dari beberapa alternatif desain, terdapat beberapa kelebihan dan kekurangan. Hal tersebut dapat dilihat pada tabel 3.4. Kelebihan dan kekurangan tersebut juga menjadi pertimbangan yang akan digunakan untuk menentukan pemilihan alternatif desain yang akan digunakan. Setelah mempertimbangkan kelebihan dan kekurangan serta mempertimbangkan beberapa hasil observasi lainnya maka alternatif desain yang akan digunakan pada alat *arm transfer for sheet metal stamping process* ini yaitu menggunakan alternatif desain-2 dengan sub-sub fungsi kombinasi A2 + B1 + C1 + D2.

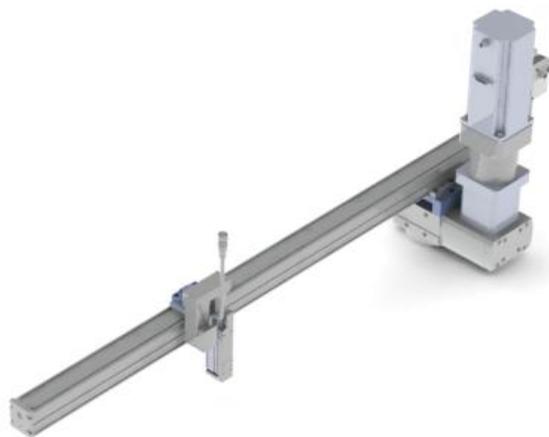
### 3.5 Perancangan

Perancangan alat *arm transfer for sheet metal stamping* ini dirancang menggunakan perangkat lunak CAD yaitu *software solidworks 2020*. Dalam perancangan ini dilakukan berdasarkan kriteria desain dan alternatif desain yang dipilih.

#### 3.5.1 Pemilihan Aktuator

Berdasarkan pemilihan alternatif desain yang digunakan yaitu alternatif desain-2 yang menggunakan mekanisme 3 pergerakan yang terdiri dari 1 gerakan rotasi dan 2 gerakan slide dengan efektor yang digunakan yaitu sistem vakum. Pemaparan ide konsep alternatif dilakukan kepada mentor dan manajemen PT. STECHOQ ROBOTIKA INDONESIA untuk mendapatkan persetujuan dari pihak manajemen perusahaan yang mana langkah selanjutnya manajemen akan melakukan rapat bersama partner *supply chain* perusahaan yaitu pihak FESTO untuk menentukan komponen aktuator yang akan digunakan pada alat *arm transfer system* tersebut.

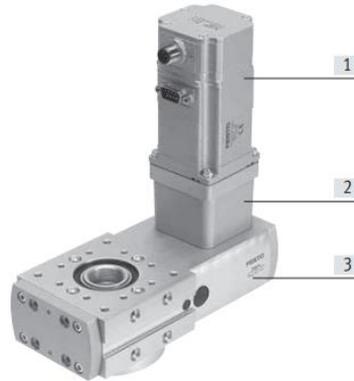
Berdasarkan hasil rapat inilah maka didapatkan solusi penggunaan komponen aktuator yang akan digunakan yang semua komponen aktuatornya di *supply* oleh komponen dari FESTO. Adapun komponen yang digunakan dapat dilihat pada gambar 3.5



Gambar 3. 5 Assembly Komponen Aktuator

#### A. Aktuator Gerak Rotasi

*Main Rotary* dari alat ini menggunakan komponen-komponen aktuator dari festo yang mana aktuator ini yang akan berfungsi memberikan gerakan rotasi. Adapun tampilan dari aktuator ini dapat dilihat pada gambar 3.6 dan pada tabel 3.5.



Gambar 3. 6 Main Rotary

Tabel 3. 5 Main Rotary Unit

Gambar	Nama	Tipe
	<i>Stepper Motor</i>	EMMS-ST-87-M-SEB-G2
	<i>Rotary gear unit (Gearbox)</i>	EMGA-80-P-G5-SST-87
	<i>Rotary Module</i>	ERMB-32

Berdasarkan data yang di dapat dari data sheet katalog festo, torsi yang dihasilkan dari *rotary module* tipe ERMB-32 ini yaitu sebesar 8.5 Nm. Pemilihan aktuator ini dengan spesifikasi seperti yang sudah disebutkan tentukan langsung oleh pihak perusahaan.

Namun dengan menggunakan persamaan momen gaya, dapat dicari spesifikasi torsi yang dibutuhkan untuk mengangkat plat seberat 2kg.

### **B. Aktuator Gerak Slide 1**

Aktuator gerak slide 1 ini menggunakan *arm module* ELGS yang juga merupakan komponen dari Festo. Penggunaan aktuator ini digunakan agar dapat memberikan gerakan linier yang akan memindahkan posisi dari komponen gerak slide 2 (*mini slide*). Komponen ini dapat dilihat pada gambar 3.7 dan tabel 3.6.



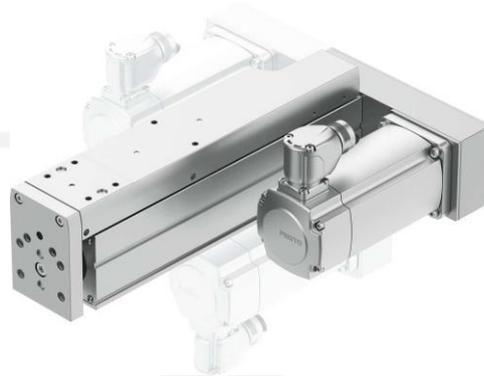
Gambar 3. 7 Arm Module (ELGS)

Tabel 3. 6 Toothed belt axis unit

Nama	Tipe	Panjang
Toothed belt axis unit	ELGS-TB-KF-45-1000-ST-M-H1-PLK-AA	1000 mm

### C. Aktuator Gerak Slide 2

Aktuator yang digunakan berikutnya yaitu *mini slide* yang mana komponen ini juga merupakan komponen dari Festo. Fungsi dari komponen ini yaitu memberikan gerakan linier di sumbu z. dapat dilihat pada gambar 3.8 dan tabel 3.7.



Gambar 3. 8 Mini Slide EGSC

Tabel 3. 7 Mini Slide

Gambar	Nama	Tipe
	Mini Slide	EGSC-BS-KF-25-75-6P
	Stepper Motor	EMMS-ST-28-L-SEB

### 3.5.2 Perhitungan Sistem Vakum

Perancangan sistem vakum ini menggunakan 4 buah *suction pad* dengan tekanan kompresor 6 bar dan vacuum generator tipe VN yang menghasilkan tekanan vacuum sebesar 60 kPa.

#### A. Beban Yang Bekerja Pada 1 *Suction Pad*

Perancangan alat ini ditargetkan untuk mampu mengangkat *sheet metal* dengan berat  $\leq 2$ kg dengan sistem vakum yang menggunakan tekanan angin sebesar 6 bar. Untuk menghitung beban yang bekerja pada 1 *suction pad*, maka

perlu menentukan berapa gaya berat yang diberikan *sheet metal* dengan massa 2kg sebagai berikut:

$$W = m \cdot g$$

$$W = 2kg \cdot 9,81 \frac{m}{s^2}$$

$$W = 19,62 N$$

Gaya berat yang diberikan pada *sheet metal* dengan massa 2kg yaitu sebesar 19,62 N. Kemudian dapat dicari beban yang bekerja pada 1 *suction pad* dinotasikan sebagai jumlah *suction pad* yang digunakan yaitu 4 *suction pad*, maka didapatkan hasil sebagai berikut:

$$\begin{aligned} F &= \frac{w \cdot \text{safety factor}}{n} \\ &= \frac{19,62 \cdot 2}{4} \\ &= 9,81 N \end{aligned}$$

Berdasarkan dari hasil perhitungan diatas, maka didapat nilai beban yang bekerja pada 1 *suction pad* yaitu sebesar 9,81 N.

## **B. Menentukan Diameter *Suction Pad***

Setelah mendapatkan nilai beban yang bekerja pada 1 *suction pad* yaitu sebesar 9,81 N, kemudian dapat dilanjutkan dengan menentukan diameter *suction pad* yang tepat untuk digunakan dengan penggunaan 4 buah *suction pad*, tekanan angin sebesar 6 bar, dan 4 *vacuum generator* tipe VN yang menghasilkan tekanan vakum sebesar 64 kPa. Penentuan diameter *suction pad* dapat dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned} d &= \sqrt{\frac{4 \cdot F}{10^{-3} \cdot \pi \cdot Pv}} \\ d &= \sqrt{\frac{4 \cdot 9,81}{10^{-3} \cdot 3,14 \cdot 64}} \end{aligned}$$

$$d = 14 \text{ mm}$$

Berdasarkan hasil dari perhitungan teoritis diatas, maka didapatkan nilai diameter *suction pad* sebesar 14 mm maka kemudian nilai ini di sesuaikan dengan diameter *suction pad* yang terdapat pada katalog festo yaitu variasi diameter yang

tersedia 8, 10, 15, 30, 40 hingga 125 (mm). Ukuran diameter standar yang mendekati hasil perhitungan teoritis yaitu *suction pad* dengan diameter 15 mm.

### C. Kekuatan yang Dihasilkan *Suction Pad*

Berdasarkan hasil perhitungan yang telah dilakukan sebelumnya pada perhitungan penentuan diameter *suction pad* yang akan digunakan yaitu *suction pad* dengan diameter 15 mm dapat dilihat pada gambar 3.9.



Gambar 3. 9 *Suction Pad* Diameter 15 mm

Untuk menghitung kekuatan yang dihasilkan *suction pad* dengan diameter 15 mm ini perlu mengetahui nilai luas efektif penampang terlebih dahulu yaitu sebagai berikut:

$$S_{ef} = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2$$

$$S_{ef} = \frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot 15^2$$

$$S_{ef} = 176,625 \text{ mm}^2$$

Nilai efektif penampang didapatkan sebesar  $176,625 \text{ mm}^2$ . Berikutnya dengan nilai efektif penampang ini dapat dicari nilai kekuatan yang di hasilkan satu *suction pad* dengan perhitungan berikut:

$$F = 10^{-3} \cdot S_{ef} \cdot P_v$$

$$F = 10^{-3} \cdot 176,625 \cdot 64$$

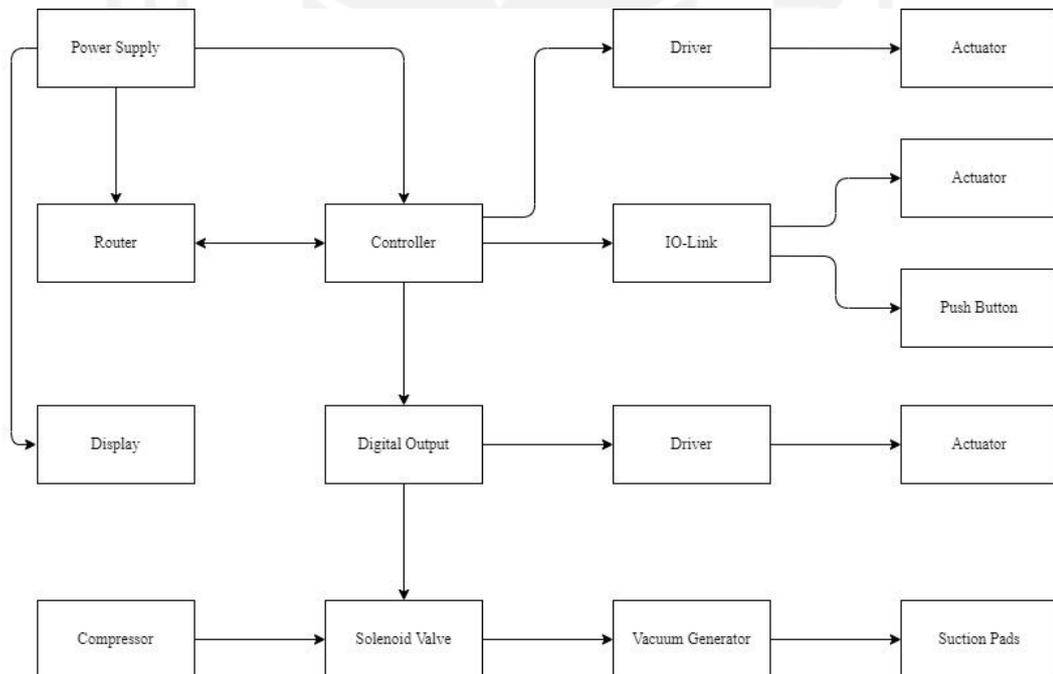
$$F = 11,3 \text{ N}$$

Dari hasil perhitungan diatas, didapatkan nilai kekuatan yang dihasilkan oleh *suction pad* diameter 15 mm dengan menggunakan *vacuum generator* tipe VN yang menghasilkan tekanan vakum 64 kPa yaitu nilai kekuatan yang dihasilkan sebesar 11,3 N. Berdasarkan dari hasil perhitungan beban yang bekerja pada 1 *suction pad* sebelumnya didapatkan nilai sebesar 9,81 N. Jika dibandingkan nilai kekuatan yang dihasilkan dan beban yang bekerja pada *suction pad* maka dapat

dikatakan bahwa *suction pad* diameter 15 mm mampu mengangkat plat seberat 2kg.

### 3.5.3 Blok Diagram Elektronika

Komponen kelistrikan merupakan komponen dasar yang akan digunakan untuk merancang *arm transfer system* dengan menggunakan PLC Festo CPX E CEC C1 sebagai kontroler. PLC ini merupakan perangkat *modular* yang dirancang untuk mengerjakan *project automation system* dengan performa yang tinggi. PLC ini juga terintegrasi dengan sistem komunikasi EtherCAT sehingga bisa terhubung dengan komponen lain seperti *driver motor*. Selain itu, beberapa komponen aktuator lainnya seperti *stepper motor*, *toothed belt axis unit*, dan komponen lainnya juga dapat terintegrasi dengan PLC ini karena telah dilengkapi dengan *IO-Link Module* dan *Digital Output Module*. Adapun konsep kerja dari alat *arm transfer system* ini digambarkan dalam gambaran sederhana pada blok diagram berikut yang meliputi input, proses dan output. Dapat dilihat pada gambar 3.10



Gambar 3. 10 Diagram Blok Elektronika

### 3.5.4 Perancangan *Workstation*

Perancangan *Workstation* yang akan digunakan sebagai penopang dari *arm transfer* serta berfungsi sebagai panel box untuk komponen-komponen elektrik yang digunakan. Perancangan *workstation* ini menggunakan pemodelan cad dengan *software solidworks 2020*. *Workstation* dirancang dengan konsep produk *sheet metal* yang akan melalui beberapa tahapan proses manufaktur diantaranya yaitu, proses *laser cutting*, *bending*, pengelasan, hingga pengecatan.

Sebelum membuat desain *workstation*, ada beberapa hal yang menjadi parameter sebagai pertimbangan dalam membuat desain. Adapun beberapa parameter tersebut dapat dilihat pada tabel 3.8

Tabel 3. 8 Parameter desain *workstation*

No.	Parameter	Keterangan
1.	Dimensi <i>workstation</i>	Menyesuaikan dengan ukuran komponen-komponen yang akan di letakkan pada <i>workstation</i> .
2.	Pintu akses instalasi	Untuk memudahkan dalam proses instalasi
3	Pintu akses maintenance	Untuk memudahkan dalam proses perawatan
4	Ventilasi	Sebagai pintu keluar masuknya udara di dalam <i>workstation</i>

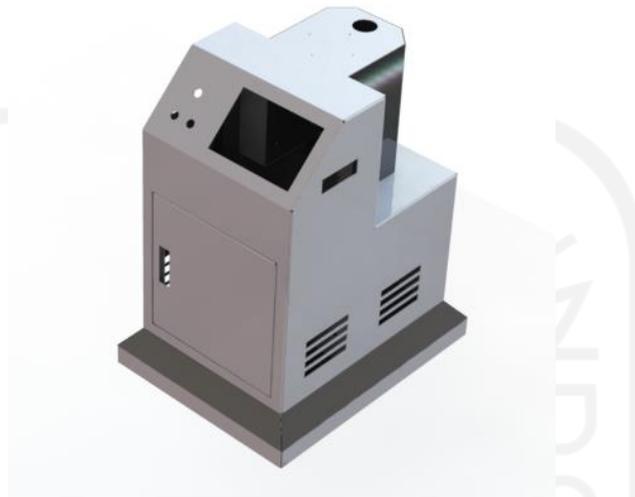
Adapun kebutuhan *space* untuk komponen-komponen yang akan di masukkan kedalam *workstation* diantaranya yaitu:

1. Komponen-komponen elektrik dibutuhkan total *space* sebesar 150 mm x 150 mm
2. Kompresor tekanan kapasitas 3,5Liter dengan dimensi sebesar 310 mm x 135 mm x 310 mm.

#### A. Desain *Workstation*

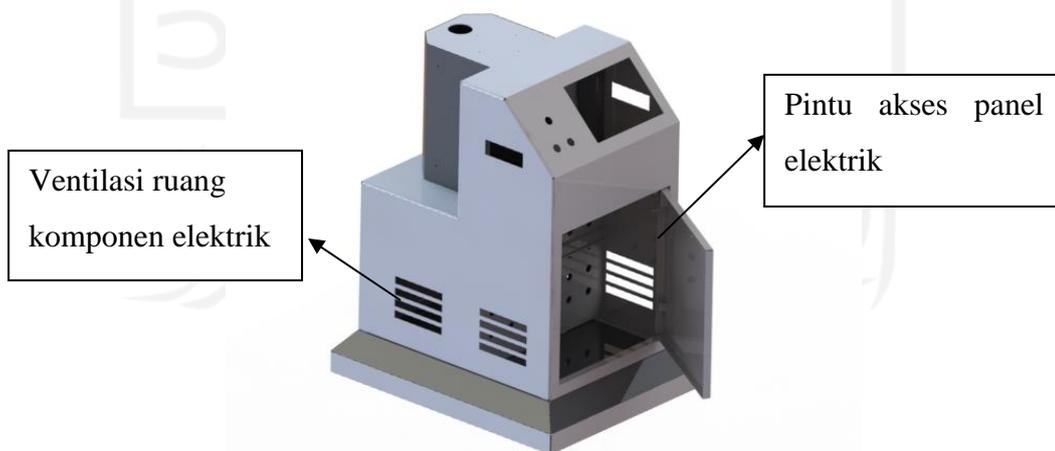
Proses desain *workstation* menggunakan *solidworks 2020* dengan fitur *sheet metal* yang tersedia pada *solidworks*. Desain *workstation* terbagi menjadi beberapa

bagian yang nantinya akan melalui proses *laser cutting*, *bending* dan pengelasan untuk proses penyambungan antar bagian. Adapun bentuk dari 3D model *workstation* dapat dilihat pada gambar 3.11.



Gambar 3. 11 3D Desain *Workstation*

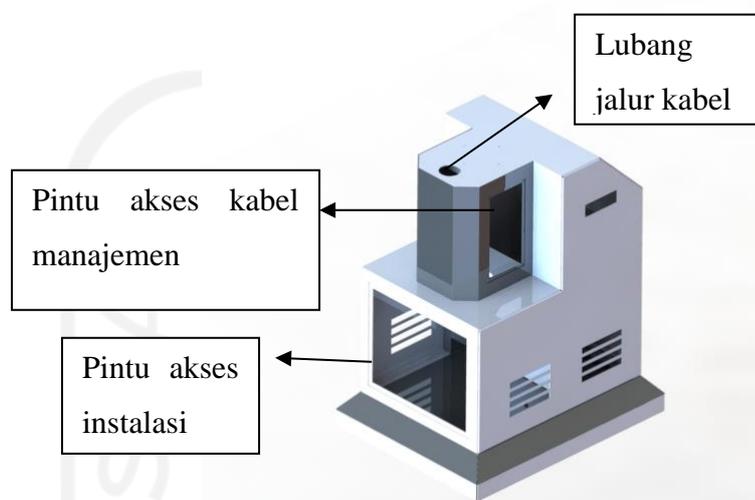
*Workstation* didesain memiliki beberapa fitur yang diberikan berdasarkan beberapa pertimbangan. Adapun rincian dari fitur hingga struktur dari *workstation* dapat dilihat pada gambar 3.12.



Gambar 3. 12 Bagian Pintu Akses Panel

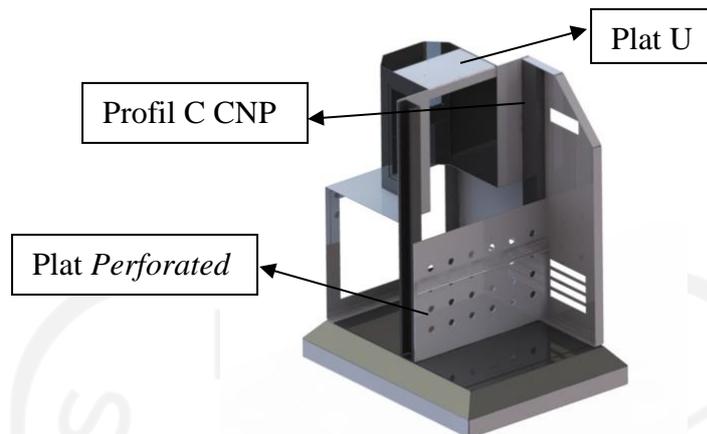
Gambar 3.12 menunjukkan pintu akses panel. Pintu ini dibuat dengan mempertimbangkan sebagai akses untuk instalasi dan *maintenance* pada

komponen elektrik yang digunakan. Dengan pintu akses panel ini, operator ataupun teknisi dapat dengan mudah melakukan instalasi dan perawatan nantinya. Kemudian pada bagian sisi kiri dan kanan *workstation* diberikan ventilasi sebagai keluar masuknya udara di dalam ruang panel elektrik untuk menghindari terjadinya *overheat* pada komponen elektrik.



Gambar 3. 13 Pintu akses kabel manajemen, instalasi, lubang jalur kabel

Kemudian pada bagian sisi samping juga terdapat akses untuk kabel menejemen dan akses untuk instalasi ketika pemasangan aktuator pada *workstion*. Kemudian pada bagian belakang juga terdapat pintu akses instalasi dan juga disediakan ruang penyimpanan kompresor dengan kapasitas terbatas yaitu kompresor 3,5 L *oilless* dengan dimensi 310 x 135 x 310 mm, pembatasan kapasitas ruang kompresor ini menyesuaikan dengan ukuran kompoessor yang akan digunakan oleh perusahaan pada ajang pameran nantinya yaitu menggunakan kompresor Mollar 3,5 L. Ruang kompresor ini disediakan agar memudahkan ketika alat akan digunakan pada ajang pameran oleh pihak perusahaan. Ruang kompresor dapat dilihat pada gambar 3.13



Gambar 3. 14 Bagian Dalam *Workstation*

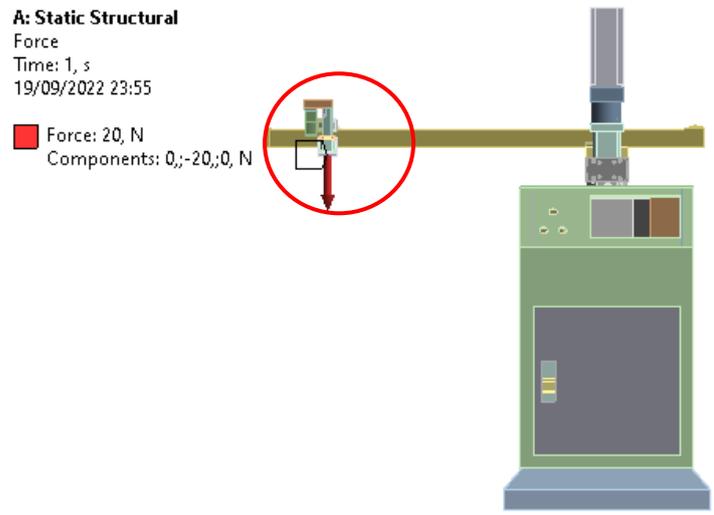
Gambar 3.14 dapat dilihat pada bagian dalam *workstation* diberikan 2 buah Profil C CNP (60x30x15) yang digunakan sebagai struktur pada *workstation* untuk menopang kekuatan arah vertikal. Pada bagian atas diberikan plat U sebagai struktur untuk menopang komponen aktuator nantinya. Dan terdapat plat *perforated* atau plat lubang yang digunakan sebagai tempat duduk untuk panel komponen elektrik.

### 3.5.5 Parameter Simulasi

Pengujian simulasi dilakukan pada *workstation* dan *arm transfer* dalam keadaan sudah di *assembly* dengan menguji simulasi statik menggunakan *software* CAE Ansys 2022. Ada beberapa parameter simulasi yang digunakan diantaranya yaitu titik pembebanan, *fixed support*, *meshing*, dan material yang digunakan.

#### A. Titik Pembebanan

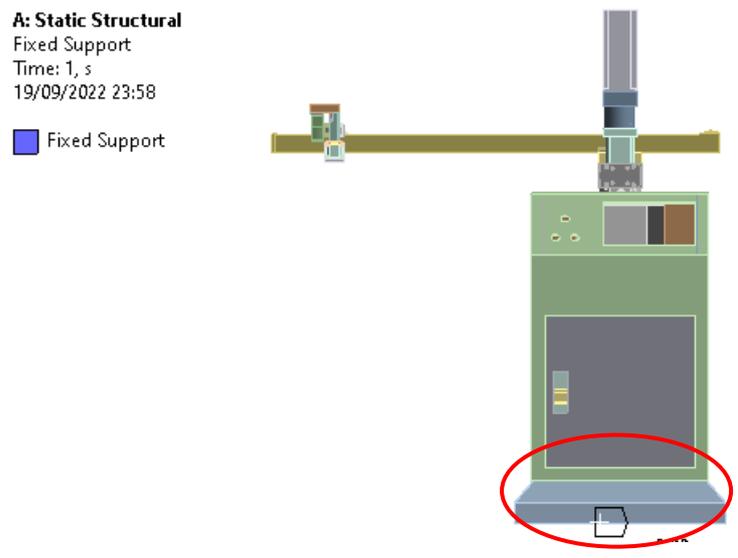
Parameter yang pertama yaitu titik pembebanan yang mana pada uji simulasi statik alat ini diberikan pembebanan sebesar 20 N pada bagian komponen *mini slide* yang berada di ujung *arm module* dapat dilihat pada gambar 3.15. Alasan mengapa pembebanan diberikan pada bagian mini slide yang berada di ujung *arm modul* yaitu karena posisi awal dari mekanisme alat yaitu z axis berada pada ujung *arm modul* dan pembebanan diberikan sebesar 20 N karena massa dari plat yang akan di angkat yaitu seberat  $\leq 2\text{kg}$ .



Gambar 3. 15 Titik Pembebanan

**B. Fixed Support**

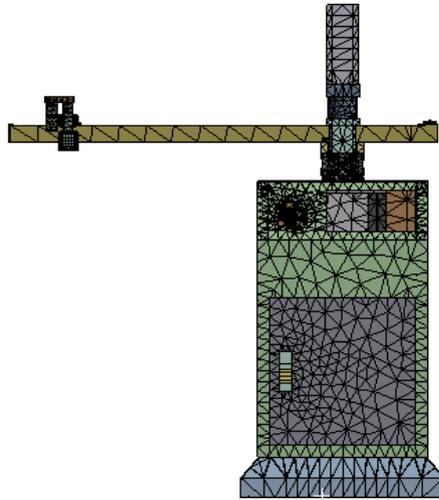
Parameter berikutnya yaitu *fixed support*. Simulasi dilakukan dengan *fixed support* yang ditetapkan pada bagian tapak *workstation* karena diasumsikan *workstation* yang akan menjadi penopang dari aktuator dan *workstation* tidak bergerak menetap pada satu posisi. Titik *fixed support* dapat dilihat pada gambar 3.16.



Gambar 3. 16 Fixed Support

**C. Meshing**

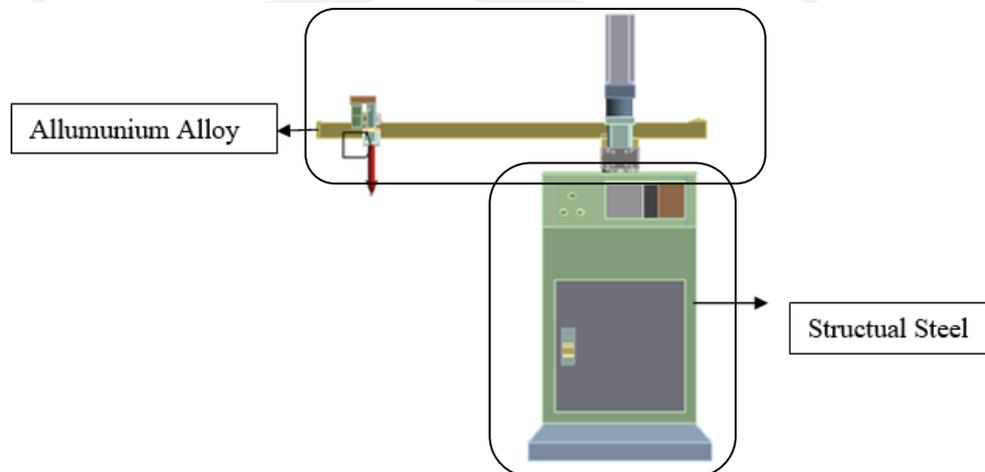
Parameter simulasi selanjutnya yaitu *meshing*. Simulasi tersebut menggunakan *meshing standart* ansys. Hasil *meshing* dapat dilihat pada gambar 3.17.



Gambar 3. 17 Tampilan hasil *Meshing*

#### D. Material

Parameter simulasi berikutnya yaitu material. Untuk penggunaan material pada alat ini yaitu menggunakan *alumunium alloy* yang digunakan pada bagian komponen aktuator yaitu *arm module*, *rotary modul*, dan *mini slide*. Kemudian menggunakan material *structural steel* pada bagian *workstation*. Dapat dilihat pada gambar 3.18



Gambar 3. 18 Penggunaan Material

Adapun spesifikasi material *properties* dari material yang digunakan yaitu dapat dilihat pada tabel 3.8.

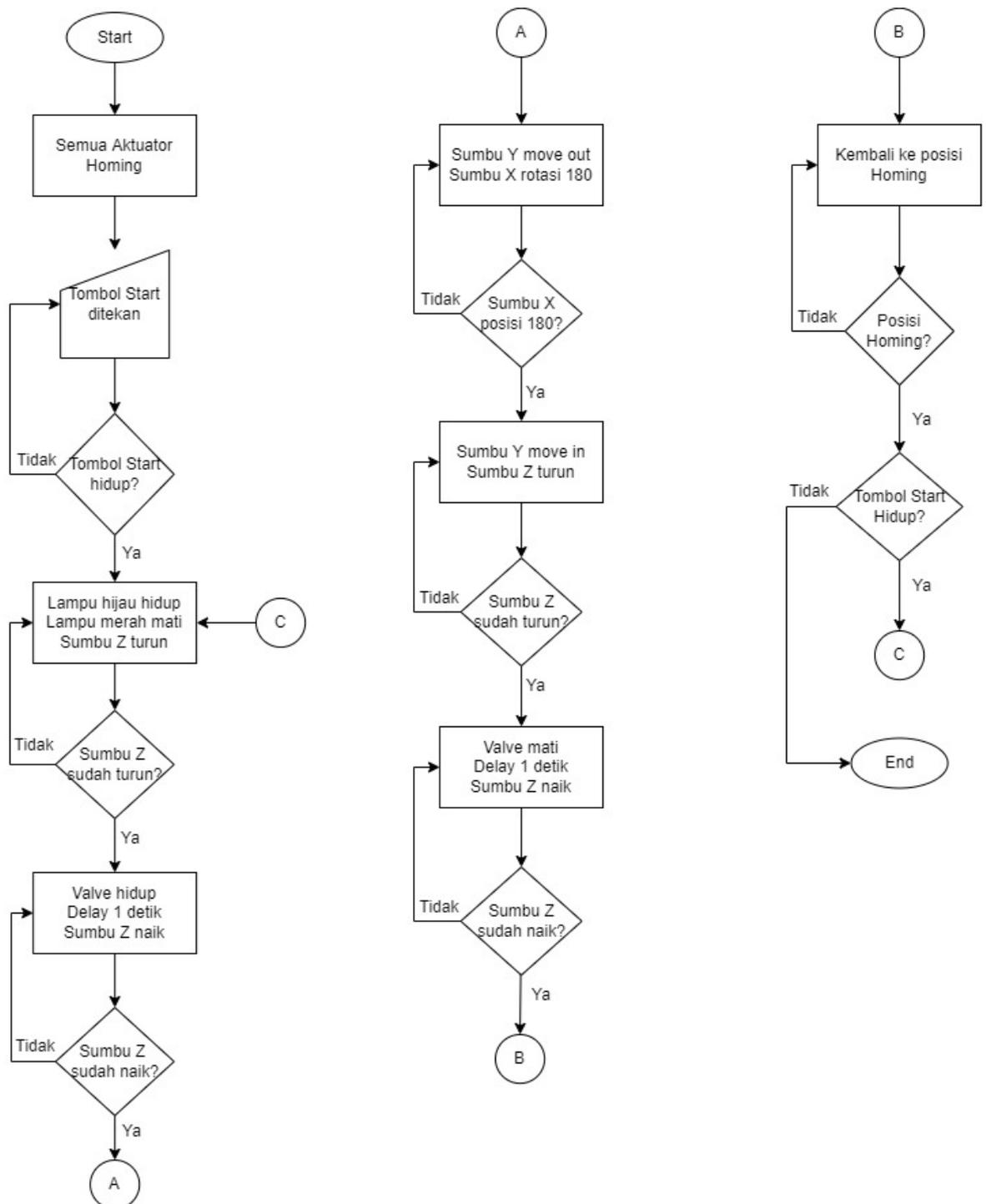
**Tabel 3. 8 Material Properties**

<i>Material Properties</i>	<i>Alumunium Alloy</i>	<i>Structural Steel</i>
Young's Modulus, E	71.000 Mpa	200.000 Mpa
Shear Modulus, G	26.692 Mpa	76.923 Mpa
Poisso's Ratio, $\mu$	0,3	0,3
Density, $\rho$	0,000277 kg/mm <sup>3</sup>	0,000785 kg/mm <sup>3</sup>
Yield Strength, $S_y$	280 Mpa	250 Mpa
Ultimate Strangth, $S_u$	310 Mpa	460 Mpa
Posisi	Komponen Aktuator	<i>Workstation</i>

### 3.6 Prosedur Pengujian

Bagian ini akan membahas beberapa prosedur pengujian yang akan digunakan diantaranya yaitu pada *setting point* aktuator dan mekanisme pergerakan alat.

### 3.6.1 Diagram Alir Program Pengujian



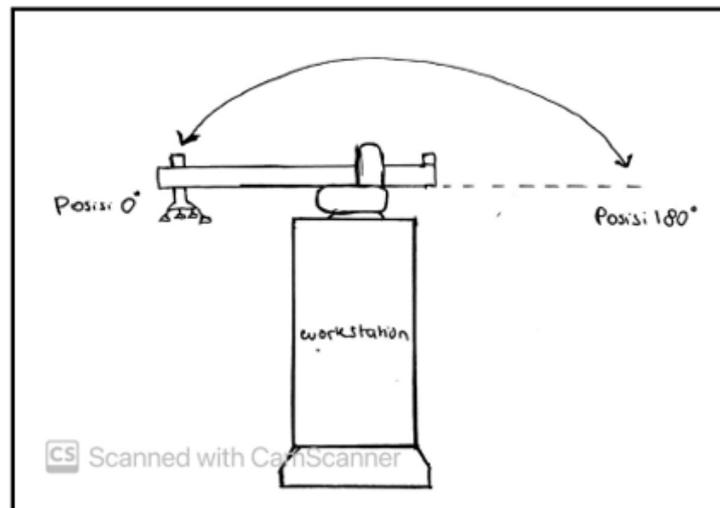
Gambar 3. 19 Diagram Alir Program

Diagram alir program dapat dijadikan sebagai acuan dalam pengujian pergerakan alat. Adapun *flowchart* dari alur program alat *arm transfer* ini dapat dilihat pada gambar 3.19

### 3.6.2 Setting Point Aktuator

*Setting point* pada aktuator-aktuator yang digunakan untuk mengatur pergerakan dari aktuator agar dapat bergerak sesuai dengan yang diinginkan. Adapun beberapa *setting point* yang dilakukan yaitu pada komponen aktuator *Rotary Module*, *Arm Module* dan *Mini Slide*

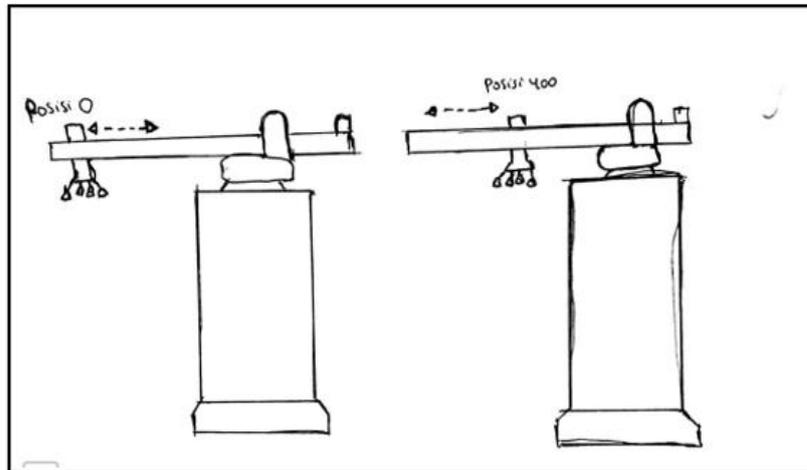
#### A. *Setting point Rotary Module*



Gambar 3. 20 Setting Point Aktuator Gerak Rotasi

Gambar 3.20 *setting point* aktuator *rotary* modul yang melakukan pergerakan rotasi itu dimulai dari titik  $0^\circ$  yaitu posisi lengan berada di sebelah kiri dari *workstation* kemudian dapat bergerak rotasi ke posisi  $180^\circ$  yaitu posisi lengan yang berada pada sisi sebalan kanan *workstation*.

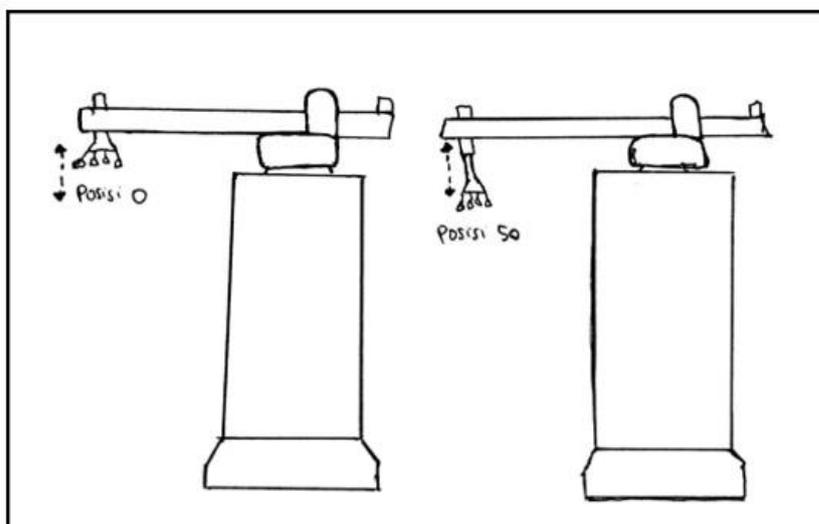
## B. Setting Point Arm Module



Gambar 3. 21 *Setting Point* Gerak Arm Module

Gambar 3.21 merupakan *setting point* yang di berikan pada aktuator *arm module*, dengan posisi awal yang mana aktuator *mini slide* berada di ujung *arm module* (ELGS) atau posisi 0 pada ELGS. Kemudian *setting point* selanjutnya yaitu pada posisi 400 pada aktuator *arm module* yang mana *setting point* ini dilakukan agar komponen aktuator *mini slide* dapat bergerak kekiri dan kanan dari posisi 0 ke posisi 400 dan begitu juga sebaliknya.

## C. Setting Point Mini Slide



Gambar 3. 22 *Setting Point* Mini Slide

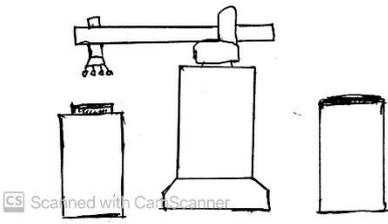
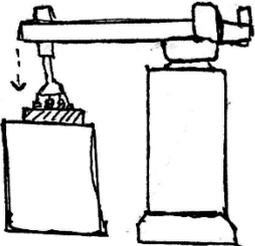
Gambar 3.22 merupakan *setting point* yang dilakukan pada komponen aktuator *Mini slide*. Pada komponen ini terdapat 2 posisi yaitu posisi 0 dan posisi

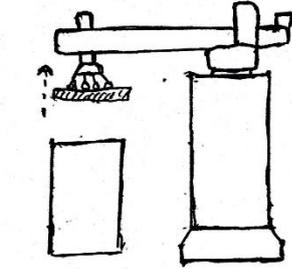
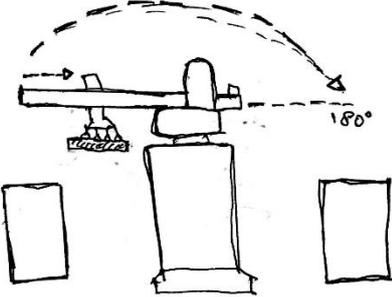
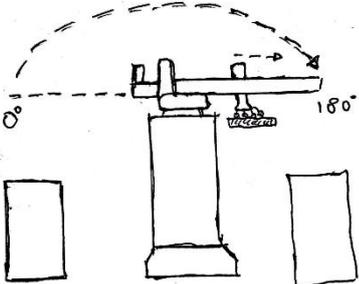
50. Yang mana posisi 0 yaitu mini slide berada pada posisi awal 0 mm yang dapat dilihat pada gambar sebelah kiri dan posisi 50 dapat dilihat pada gambar sebelah kanan yang mana komponen aktuator *mini slide* memanjang sebesar 50 mm.

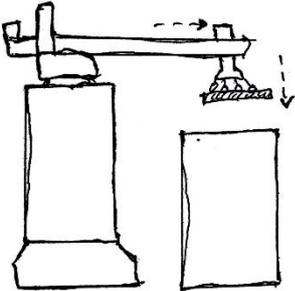
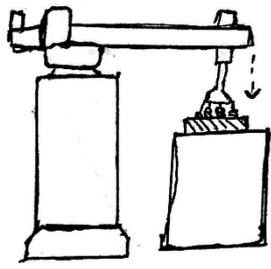
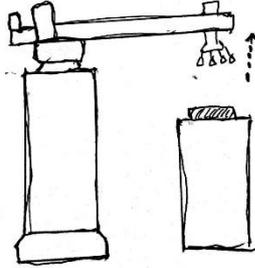
### 3.6.3 Mekanisme Alat

Dalam prosedur pengujian alat ini dilakukan penentuan mekanisme dari alat yang akan dirancang sesuai dengan tujuan dari fungsi alat ini. Perancangan mekanisme ini dilakukan dengan mengatur pergerakan-pergerakan yang terjadi pada komponen-komponen aktuator yang bekerja. Sehingga pergerakan ini yang akan menjadi salah satu pencapaian dari perancangan ini apakah mekanisme yang dirancang dapat terwujud secara aktual atau tidak. Adapun langkah-langkah pergerakan dari alat ini di ilustrasikan pada tabel 3.9.

Tabel 3. 9 Mekanisme Alat *Arm Transfer*

Langkah ke-	Ilustrasi	Keterangan
1		Langkah pertama alat diletakan diantara 2 buah mesin <i>stamping</i> dengan posisi lengan berada di titik $0^\circ$ <i>Rotary Module</i> .
2		Kemudian ketika alat di <i>start</i> , aktuator <i>mini slide</i> akan bergerak ke posisi 50 untuk mengambil plat yang ada diatas meja mesin <i>stamping</i> .

3	 <p style="text-align: center; font-size: small;">Scanned with CamScanner</p>	<p>Setelah vakum menyedot plat kemudian <i>mini slide</i> kembali bergerak ke posisi 0 untuk mengangkat plat dari atas meja mesin <i>stamping</i>.</p>
4	 <p style="text-align: center; font-size: small;">Scanned with CamScanner</p>	<p>Kemudian <i>mini slide</i> akan bergerak ke arah kanan yaitu ke posisi 400 pada ELGS. Setelah <i>mini slide</i> berada pada posisi 400 pada ELGS, <i>rotary module</i> bergerak memindahkan <i>arm modul</i> ke posisi 180° pada <i>rotary module</i>.</p>
5		<p>Ketika lengan ELGS sudah berada pada posisi 180° <i>rotary module</i>, ELGS akan menggerakkan <i>mini slide</i> kembali ke posisi 0 pada ELGS.</p>

6	 <p>Scanned with CamScanner</p>	<p>Kemudian setelah <i>mini slide</i> kembali berada di posisi 0 pada ELGS, <i>mini slide</i> akan bergerak ke posisi 50nya kembali untuk menurunkan plat pada mesin <i>stamping</i> yang dituju.</p>
7	 <p>Scanned with CamScanner</p>	<p>Setelah <i>mini slide</i> manaruh plat pada permukaan meja mesin <i>stamping</i>, sistem vakum akan menghentikannya untuk melepaskan plat.</p>
8	 <p>Scanned with CamScanner</p>	<p>Setelah melepaskan plat, <i>mini slide</i> akan kembali ke posisi 0 <i>mini slide</i>.</p>

## BAB 4

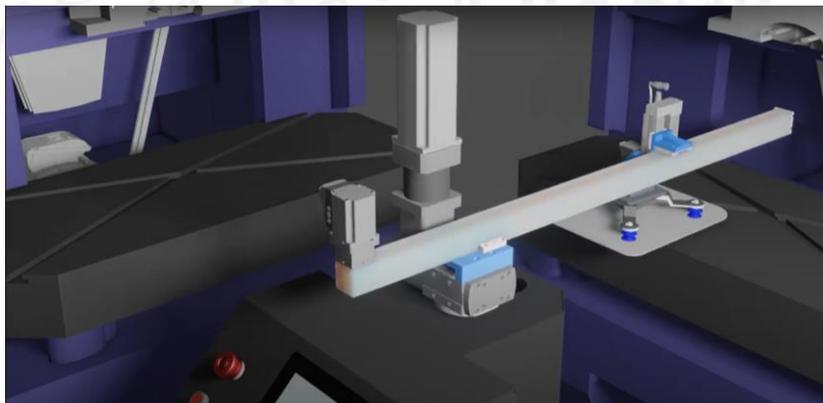
### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Hasil Akhir Desain

Setelah melakukan pemodelan perancangan desain alat *arm transfer for sheet metal stamping process* menggunakan *Solidworks 2020*, maka didapatkanlah hasil pemodelan dalam 3D yang mana komponen aktuator dan *workstation* sudah dilakukan proses *assembly* beserta dengan komponen-komponen elektrik lainnya. Purwarupa alat *arm transfer* dengan hasil render 3D desain dapat dilihat pada gambar 4.1.



Gambar 4. 1 *Full Assembly* Alat Arm Transfer



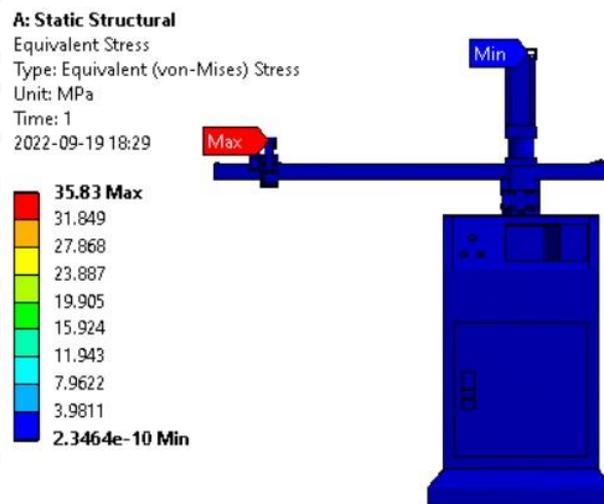
Gambar 4. 2 Tampilan Virtual Kerja Alat

Gambar 4.2 dapat dilihat merupakan tampilan secara virtual mekanisme kerja alat ketika memindahkan satu plat *sheet metal* dari mesin *stamping* satu ke mesin *stamping* di sebelahnya.

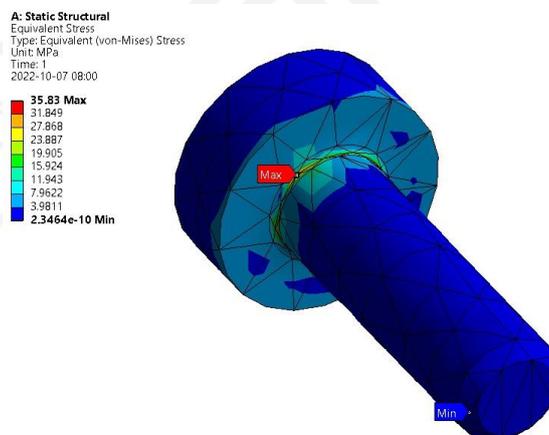
## 4.2 Pengujian

### 4.2.1 Pengujian Simulasi

Hasil simulasi dapat dilihat pada gambar 4.3. Hasil pembebanan sebesar 2kg menghasilkan *maximum stress* yang terjadi itu sebesar 35,83 MPa kemudian untuk nilai *minimum stress* yaitu sebesar  $2,3464 \times 10^{-10}$  Mpa.



Gambar 4. 3 *Equivalent Stress*



Gambar 4. 4 *Maximun and Minimum Stress*

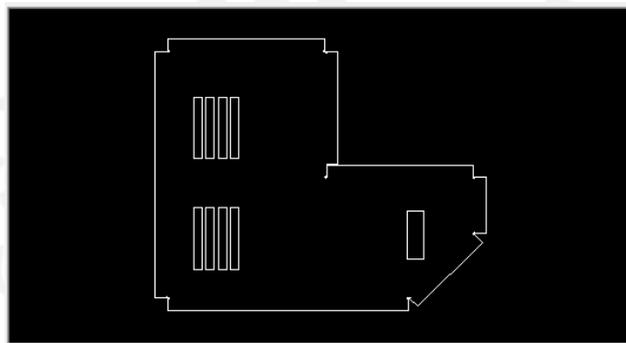
Berdasarkan gambar 4.4 tampak bahwa *maximum stress* terjadi pada bagian baut yang menghubungkan antara *mounting kit* dengan *minislide* pada aktuator z-axis.

Suatu desain dapat dikatakan kuat jika tegangan maksimal dari desain tersebut berada dibawah nilai *yield strength* dari material yang digunakan. Berdasarkan material properties dari material yang digunakan yaitu material *aluminium alloy* dengan nilai *yield strength* yaitu sebesar 280 MPa dan 250 MPa untuk nilai *yield strength structural steel*, nilai *yield strength* masing-masing material masih jauh berada di atas nilai tegangan maksimal yang terjadi dari alat dengan pembebanan seberat 2kg. Berdasarkan simulasi ini dapat dikatakan alat sangat kuat untuk mengangkat beban seberat 2kg.

### 4.3 Hasil Pembuatan

#### 4.3.1 Proses Manufaktur Workstation

Setelah melalui proses perancangan 3D desain *workstation* hingga proses pengujian simulasi, maka langkah berikutnya dilanjutkan pada tahapan manufaktur *workstation*. Dalam pembuatan *workstation* ini dikerjakan oleh pihak vendor. Ada beberapa tahap yang dilalui dalam proses manufaktur ini yaitu *laser cutting*, *bending*, pengelasan hingga pengecatan.



Gambar 4. 5 File Dxf Sisi Bagian Samping untuk *Laser Cutting*

Gambar 4.5 menunjukkan salah satu tampilan *file dxf* pada bagian sisi samping *workstation* yang akan digunakan untuk pro ses pemotongan *sheet metal* menggunakan *laser cutting*.



Gambar 4. 6 Sheet Metal Setelah melalui *Laser Cutting*

Gambar 4.6 merupakan hasil dari proses *laser cutting* yang dilakukan pada *sheet metal* dengan material yang digunakan yaitu *structural steel*.



Gambar 4. 7 Proses Bending

Gambar 4.7 merupakan tahapan proses *bending* plat yang sudah melalui proses *laser cutting* yang dilakukan oleh pihak vendor menggunakan mesin *bending*. Proses ini dilakukan untuk membuat tekukan pada bagian-bagian tertentu yang digunakan juga sebagai struktur dari *workstation*.



Gambar 4. 8 Proses Pengelasan

Proses pengelasan penyambungan antar bagian-bagian *workstation* dilakukan oleh pihak vendor dapat dilihat pada gambar 4.8.

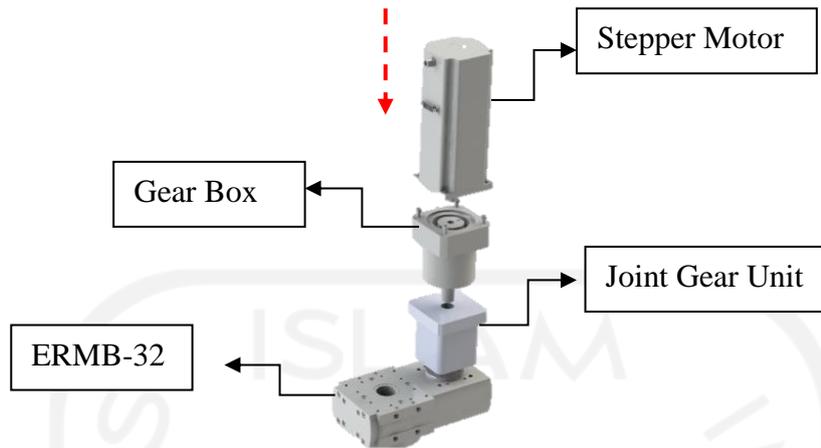


Gambar 4. 9 Finishing

Tahap terakhir proses manufaktur dari *workstation* yaitu melakukan proses pengecatan dan pengeringan sebagai proses *finishing* dari *workstation*, dapat dilihat pada gambar 4.9.

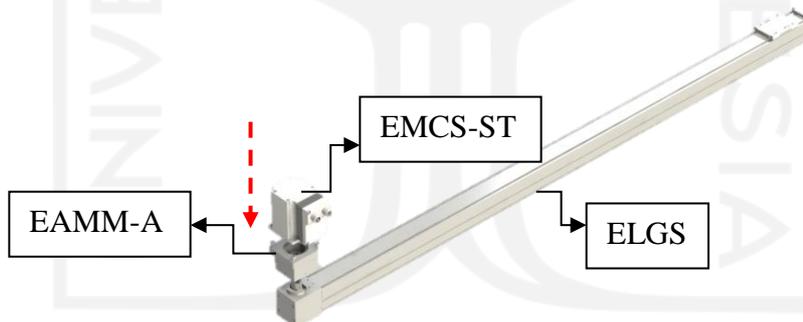
#### **4.3.2 Assembly Komponen Aktuator**

Pada bagian ini akan akan melakukan tahap *assembly* pada komponen-komponen aktuator. Proses *assembly* ini menggunakan beberapa peralatan yaitu obeng, kunci pas dan beberapa kunci L. *Assembly* pertama dilakukan pada bagian *rotary module*. *Exploded view* dalam perakitan *rotary module* dapat dilihat pada gambar 4.10.



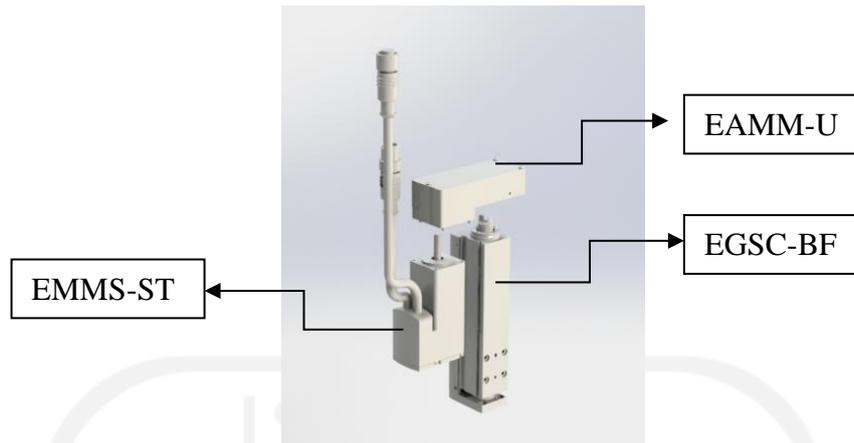
Gambar 4. 10 *Exploded View* Perakitan *Rotary Module*

Proses perakitan *rotary module* ini dimulai dari yang paling bawah dan proses assembly dilakukan dari atas ke arah bawah. Dimulai dari *joint gear unit* di *assembly* dengan ERMB-32. Kemudian dilanjutkan dengan *assembly gearbox* ke *joint gear unit*. Setelah itu terakhir barulah *stepper motor* di *assembly* ke *gear unit*.



Gambar 4. 11 *Exploded View* perakitan *Arm Module*

Kemudian dilanjutkan dengan melakukan *assembly* pada *arm module*, yang mana dimulai dari EAMM-A di *assembly* ke ELGS, kemudian EMCS-ST di *assembly* ke EAMM-A. Tampilan *exploded* perakitan *arm module* dapat dilihat pada gambar 4.11.



Gambar 4. 12 *Exploded view* perakitan *minislide*

Kemudian aktuator berikutnya yaitu *minislide*, yang mana proses perakitan dilakukan hanya menghubungkan EGSC-BF dan EMMS-ST ke EAMM-U. Tampilan *exploded* dapat dilihat pada gambar 4.12.

Setelah melakukan *assembly* pada komponen-komponen aktuator, maka selanjutnya yaitu memasang komponen aktuator pada *workstation*. Perakitan dimulai dari pemasangan *rotary module* ke *workstation*, setelah itu dilanjutkan dengan *assembly arm module* ke *rotary module*, dan terakhir *assembly mini slide* ke *arm module*. Proses perakitan dapat dilihat pada gambar 4.13 yaitu proses perakitan pada *rotary module* ke *workstation*.



Gambar 4. 13 Perakitan *Rotary Module* ke *Workstation*

### 4.3.3 Hasil Akhir

Setelah melalui beberapa tahap dalam proses rancang bangun ini yang dimulai dari desain, proses manufaktur hingga assembly dan instalasi, maka tahap

terakhir yaitu finishing. Hasil akhir perancangan dalam tampilan nyata dari alat ini dapat dilihat pada gambar 4.14.



Gambar 4. 14 Hasil Perancangan Alat *Arm Transfer For Sheet Metal Stamping*



Gambar 4. 15 Tampak Samping Alat *Arm Transfer*



Gambar 4. 16 Tampak Belakang *Arm Transfer*

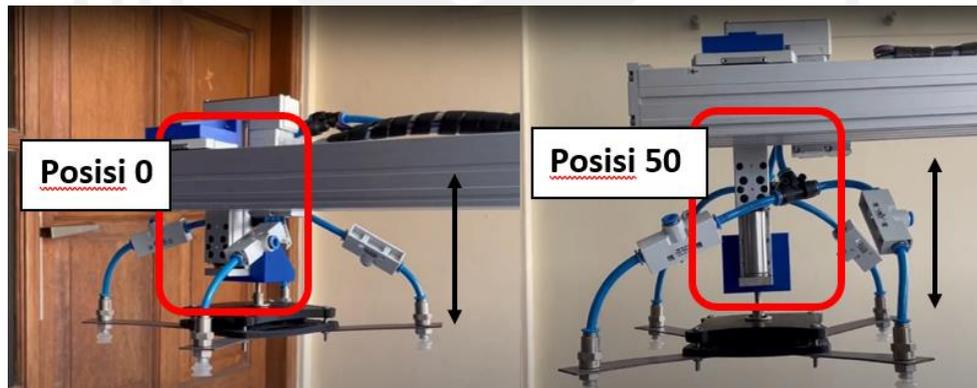
Hasil dari rancang bangun alat ini dapat terwujud sebagaimana menyerupai dari hasil perancangan yang dilakukan melalui 3D Desain. Sesuai dengan desain yang dibuat, selain pintu akses panel pada *workstation* terdapat beberapa pintu

akses yaitu akses kabel menejemen dan instalasi yang dapat dilihat pada gambar 4.15 tampak samping *arm transfer* dan juga akses instalasi dan ruang kompresor yang dapat dilihat pada gambar 4.16 tampak belakang *arm transfer*.

#### 4.3.4 Pengujian Gerak Aktuator

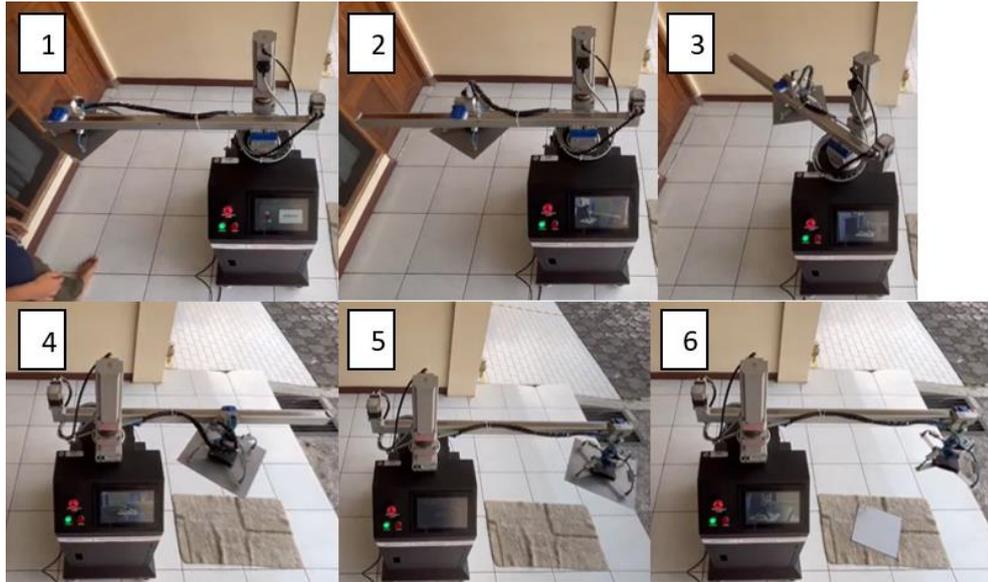
Pengujian gerak aktuator alat *arm transfer* ini dilakukan secara langsung mengoperasikan alat dengan uji yang dilakukan dengan beban plat seberat 2kg. Uji ini dilakukan sebanyak 5 kali putaran yang mana tujuan dari uji awal ini untuk menguji pergerakan dari setiap axis ( $r$ ,  $\theta$ , dan  $z$ ) ketika beroperasi dengan beban. Dengan *setting point* pada axis  $\theta$  (aktuator gerak rotasi) yaitu pergerakan dimulai dari posisi awal yaitu  $0^\circ$  hingga  $180^\circ$ . Kemudian pada  $r$ -axis yaitu aktuator gerak *sliding* pada *arm module* dengan pergerakan dimulai dari posisi awal 0 ke 400.

Dan aktuator *mini slide* dengan *setting point* pada axis  $z$  yaitu dari posisi awal 0 ke 50 (posisi maksimal dari axis  $z$ ) kemudian kembali ke 0 dan pada axis  $\theta$  sudah berada pada sudut  $180^\circ$ , *mini slide* kembali ke posisi 50. Posisi 0 dan posisi 50 *mini slide* dapat dilihat pada gambar 4.17.



Gambar 4. 17 Posisi 0 dan Posisi 50 pada *Mini Slide*

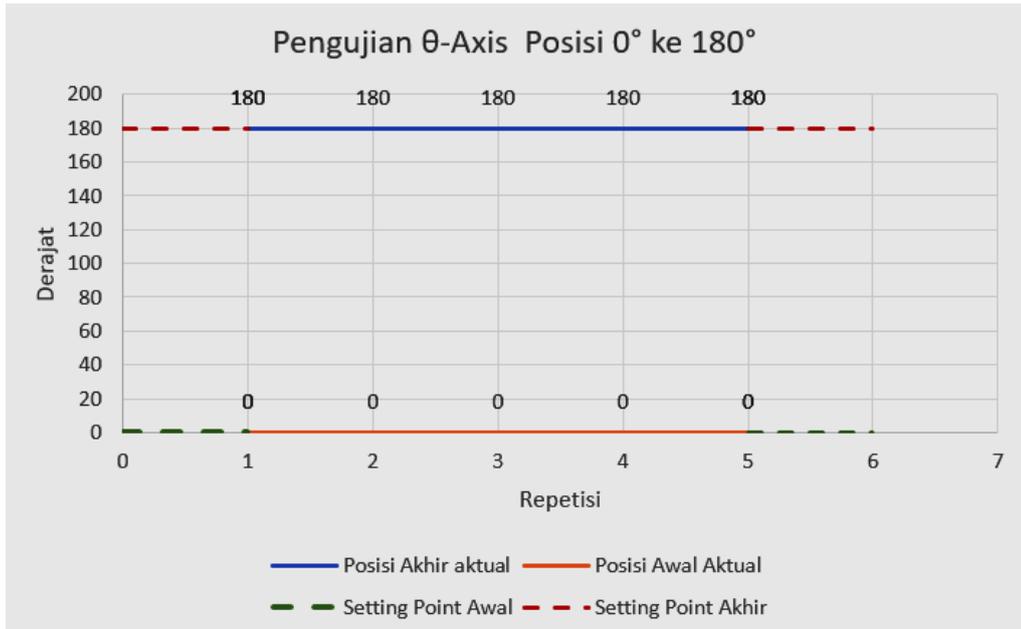
Pengujian dilakukan percobaan alat *arm transfer* secara langsung dengan mengangkat plat *sheet metal* seberat 2kg dimulai dari posisi awal pengangkatan plat hingga posisi akhir pelepasan plat.



Gambar 4. 18 Uji coba alat dengan mengangkat plat serat 2kg

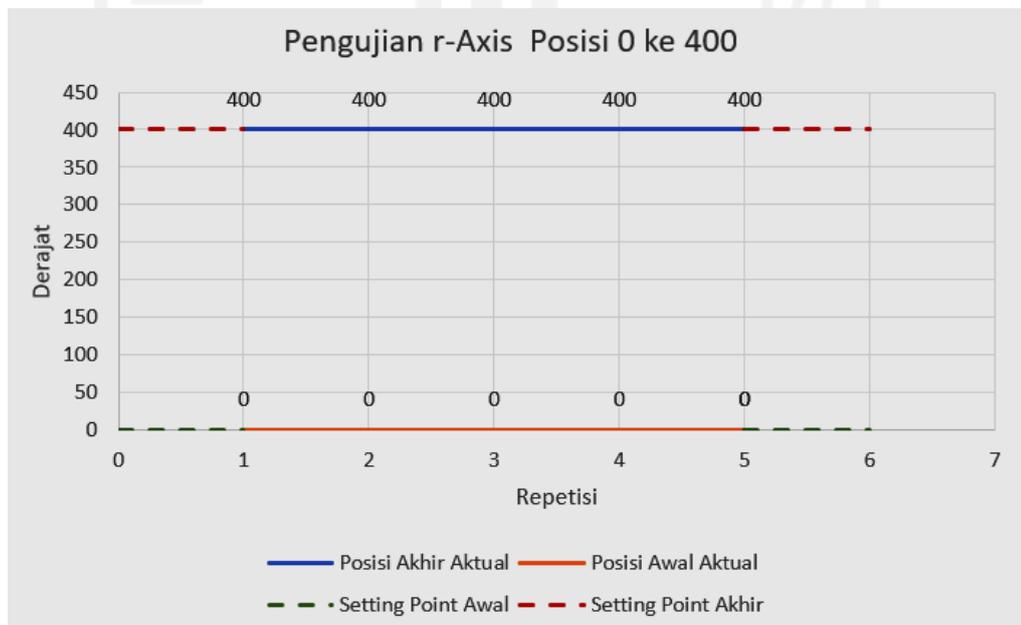
Gambar 4.18 menunjukkan siklus atau urutan dari mekanisme kerja alat dimulai dari nomor 1 posisi awal alat mengangkat plat *sheet metal* kemudian nomor 2 plat dibawa ke posisi 400 pada aktuator *arm modul* yang bergerak di axis r, selanjutnya nomor 3 *arm modul* bergerak rotasi membawa plat ke posisi 180°, setelah itu pada gambar nomor 4 dan 5 *arm modul* membawa plat ke posisi 0 kembali kemudian di posisi 0 *arm module*, *mini slide* bergerak ke posisi 50 untuk menurunkan plat setelah itu *suction pad* akan melepaskan plat.

Setelah pengujian gerak aktuator yang dilakukan dengan alat mengangkat plat seberat 2kg, didapatkan data-data dari posisi awal dan posisi akhir setiap pergerakan. Data-data ini dituangkan pada grafik pengujian posisi.



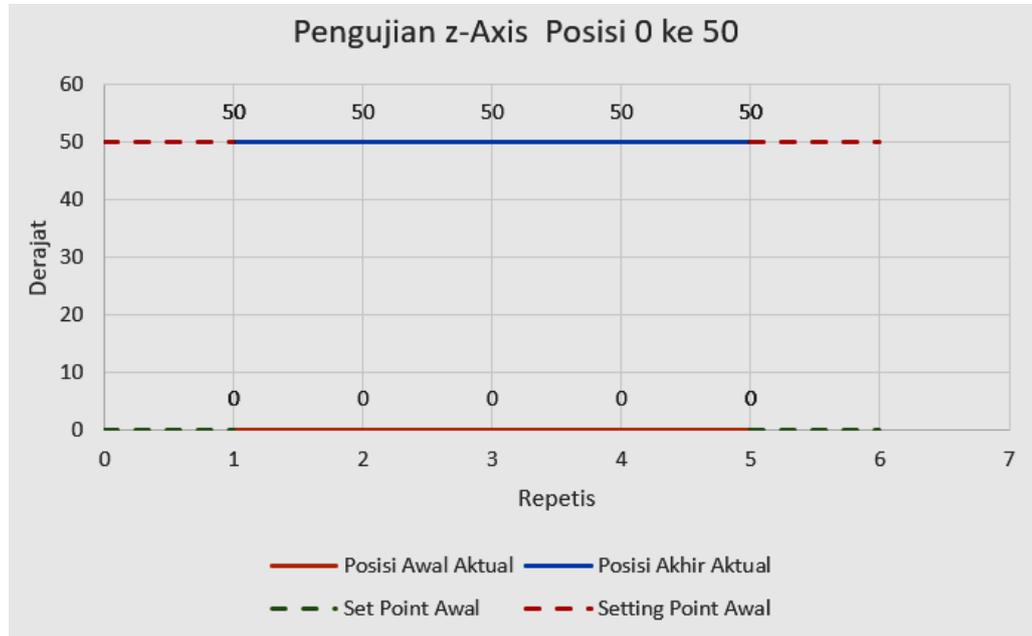
Gambar 4. 19 Grafik Uji Posisi  $\theta$ -Axis

Dapat dilihat pada gambar 4.19 merupakan data grafik yang didapatkan ketika dilakukan pengujian pada aktuator gerak rotasi atau pada  $\theta$ -Axis. Pada aktuator ini *setting point* awal yaitu berada pada posisi 0° kemudian *setting point* akhir pada posisi 180°. Dapat dilihat pada grafik tidak terjadi *fluktuasi* pada gerakan yang dihasilkan oleh gerak aktuator di  $\theta$ -Axis yang dilakukan uji posisi sebanyak 5 kali repetisi.



Gambar 4. 20 Grafik Uji Posisi r-Axis

Kemudian pada uji posisi aktuator *arm module* (ELGS) yang bergerak pada r-axis yang memiliki *setting point* awal yaitu berada pada posisi 0 dan *setting point* akhir pada posisi 400. Dapat dilihat pada gambar 4.20 gerakan yang dihasilkan oleh aktuator *arm modul* tidak terjadi fluktuasi baik itu pada posisi awal maupun posisi akhir, dengan pengujian sebanyak 5 kali repetisi.



Gambar 4. 21 Grafik Uji Posisi z-Axis

Gambar 4.21 merupakan data grafik uji posisi pada aktuator *mini slide*. Pengujian pada aktuator ini dilakukan sebanyak 5 kali repetisi dengan pengujian alat mengangkat plat seberat 2kg. Dapat dilihat grafik yang dihasilkan tidak terdapat fluktuasi pada pergerakan aktuator *mini slide* ini.

Dari pengujian yang dilakukan pada ketiga aktuator yaitu *rotary module*, *arm module* dan *mini slide* pengujian alat mengangkat plat seberat 2kg dengan repetisi sebanyak 5 kali tidak terjadi kesalahan posisi pada masing-masing aktuator pada setiap repetisi.

#### 4.4 Pembahasan

Pada bagian ini membahas tentang ketercapaian dari kriteria desain dalam perancangan ini. Adapun pembahasan terkait ketercapaian dari kriteria desain dalam perancangan ini yaitu:

#### 4.4.1 Bergerak 3 Axis ( $r$ , $\theta$ , $z$ ) berdasarkan koordinat silinder

Pada kriteria desain yang pertama yaitu alat mampu bergerak 3 axis sesuai dengan koordinat silinder yaitu alat dapat bergerak pada  $r$ -axis,  $\theta$ -axis dan  $z$ -axis. Maka dari itu alat di desain terdiri dari 3 komponen akuator yang menghasilkan gerakan di masing-masing axis.

##### A. Gerakan pada $r$ -axis

Pergerakan pertama yaitu  $\theta$ -axis gerak rotasi yang dihasilkan dari komponen *rotary module* dengan batasan pergerakan dari  $0^\circ$  hingga  $180^\circ$  dapat dilihat pada gambar 4.22.

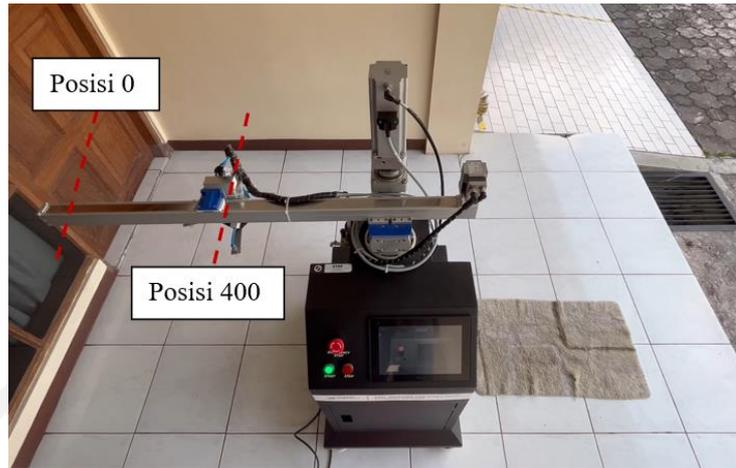


Gambar 4. 22 Gerakan pada  $\theta$ -axis

Berdasarkan gambar 4.22, alat mampu bergerak pada  $r$ -axis yaitu bergerak secara rotasi yang dihasilkan dari akuator *rotary module* yang memiliki batasan 2 posisi yaitu posisi awal pada  $0^\circ$  dan posisi akhir berada di  $180^\circ$ .

##### B. Gerakan pada $\theta$ -axis

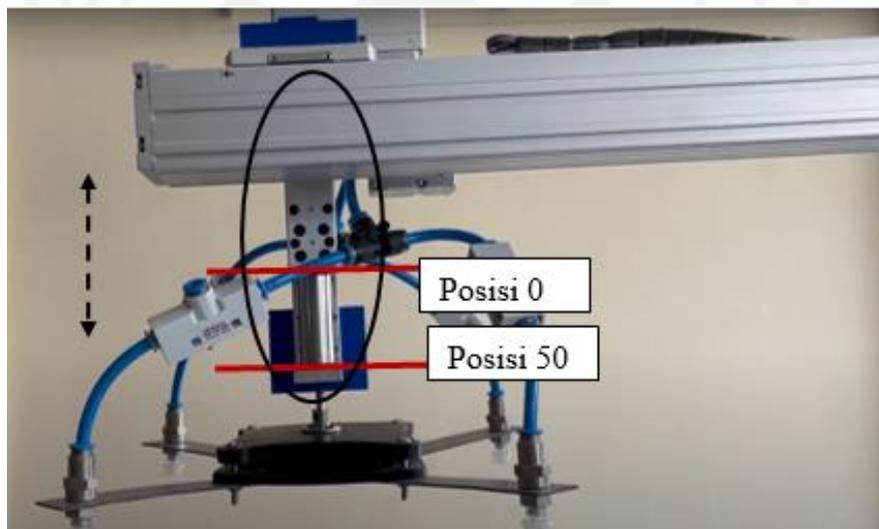
Pergerakan berikutnya yaitu gerak sliding yang bergerak pada  $r$ -axis yang mana gerak ini dihasilkan oleh akuator *arm module* (ELGS).



Gambar 4. 23 Gerakan pada r-axis

Gambar 4.23 menunjukkan hasil dari pergerakan yang dihasilkan *arm module* yaitu dari posisi 0 ke posisi 400 pada lengan ELGS. Alat mampu memberikan pergerakan gerak sliding pada r-axis.

### C. Gerak pada z-axis



Gambar 4. 24 Gerak pada z-axis

Kemudian komponen aktuator berikutnya yaitu *minislide* yang mana pada aktuator ini juga memiliki gerak sliding namun berbeda dengan ELGS. Aktuator *minislide* ini bergerak sliding pada sumbu z. sedangkan ELGS bergerak sliding pada sumbu r. Dapat dilihat pada gambar 4.24 pembatasan gerak yang dihasilkan dari komponen ini yaitu berada pada posisi awal 0 dan posisi akhir 50.

Berdasarkan penjabaran pergerakan dari setiap aktuator diatas, maka alat dapat dikatakan mampu bergerak 3 axis sesuai dengan koordinat silinder yaitu ( $r$ ,  $\theta$ ,  $z$ ).

#### 4.4.2 Alat mampu mengangkat dan menahan beban seberat 2 kg

Berdasarkan hasil dari simulasi yang telah dilakukan dengan pembebanan seberat 2kg, didapatkan nilai maximum stress yang terjadi pada pengujian simulasi alat yaitu sebesar 35,83 MPa kemudian untuk nilai *minimum stress* yaitu sebesar  $2,3464 \times 10^{-10}$  MPa. Berdasarkan hasil simulasi ini, nilai *maximum stress* yang terjadi ini jauh berada dibawah nilai *yield strength* dari material yang digunakan yaitu 280 MPa nilai *yield strength aluminium alloy* dan 250 MPa nilai *yield strength structural steel*. Sehingga dapat dikatakan bahwa alat sangat mampu menahan beban seberat 2kg. Adapun tampilan pada saat pengujian pengangkatan plat seberat 2kg menggunakan alat dapat dilihat pada gambar 4.25.



Gambar 4. 25 Alat mengangkat plat 2kg

#### 4.4.3 Perbandingan *Arm Transfer* Dengan *Transfer System* Lain

Pada penelitian ini, *arm transfer* menggunakan 3 buah aktuator dengan perancangan mekanisme yang sederhana yang sesuai dengan kebutuhan pada industri *metal stamping* yang dapat disesuaikan pergerakan sesuai yang dibutuhkan, serta penambahan *workstation* dengan desain yang *compact* terdapat ruang kontrol panel atau ruang komponen elektrik, ruang kompressor serta terdapat

beberapa pintu akses yang dapat memudahkan dalam instalasi dan maintenance. Selain itu penambahan *workstation* ini juga dapat memudahkan ketika diperlukan pemindahan posisi alat. Sedangkan *transfer system* lain yaitu salah satunya *linier transfer system* hanya mampu memindahkan benda kerja dengan satu arah yaitu linier dan ini tentunya penggunaan *transfer system* seperti ini sangat terbatas secara fungsi.



Gambar 4. 27 *Linier Transfer System*

Gambar 4.27 menunjukkan kerja dari *linier transfer system* pada proses *stamping*. Alat hanya bergerak pada posisi yang sama dan hanya bisa memindahkan plat pada satu arah secara *linier*.

## **BAB 5**

### **PENUTUP**

#### **5.1 Kesimpulan**

Hasil dari perancangan alat *arm transfer* untuk proses *stamping* pada industri metal *stamping* ini dapat disimpulkan pada poin-poin berikut:

1. Perancangan alat *arm transfer for sheet metal stamping process* dengan pergerakan 3-axis telah berhasil dilakukan, dengan memiliki 3 buah komponen aktuator yang memberikan 1 gerakan rotasi dan 2 buah gerak sliding. Yang mana 3 pergerakan ini bergerak pada sumbu berdasarkan koordinat silinder yaitu  $r$ ,  $\theta$  dan  $z$ .
2. Perancangan alat *arm transfer for sheet metal stamping process* ini telah mampu mengangkat plat *sheet metal* seberat 2kg dengan sistem vakum yang menggunakan *suction pad* berdiameter 15mm. Serta lengan alat mampu menahan beban seberat 2kg.

#### **5.2 Saran Untuk Penelitian Selanjutnya**

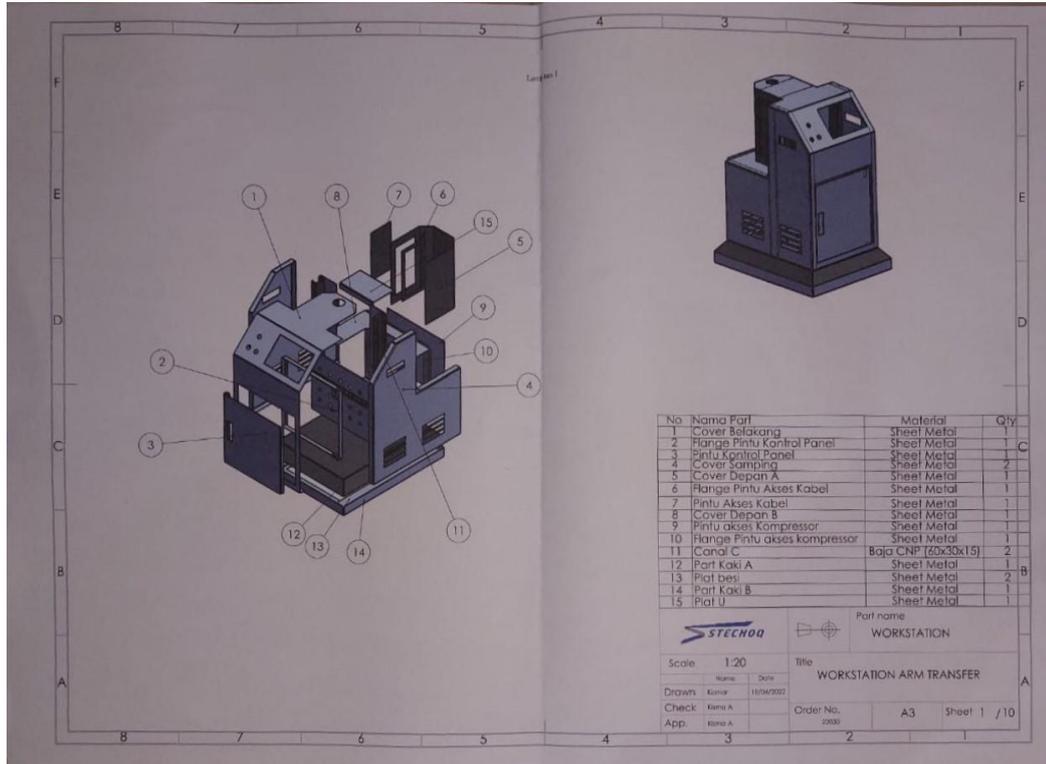
Mengingat terdapat batasan-batasan dalam penelitian ini, menjadikan hasil perancangan alat *arm transfer* kurang optimal. Salah satunya yaitu dalam batasan vacuum generator yang digunakan dengan spesifikasi yang rendah sehingga kapasitas beban plat yang dapat di angkut oleh alat sangat ringan, dan tidak dapat memaksimalkan kekuatan dari lengan alat (ELGS). Disarankan untuk penelitian selanjutnya dapat lebih meningkatkan spesifikasi pada sistem vakumnya.

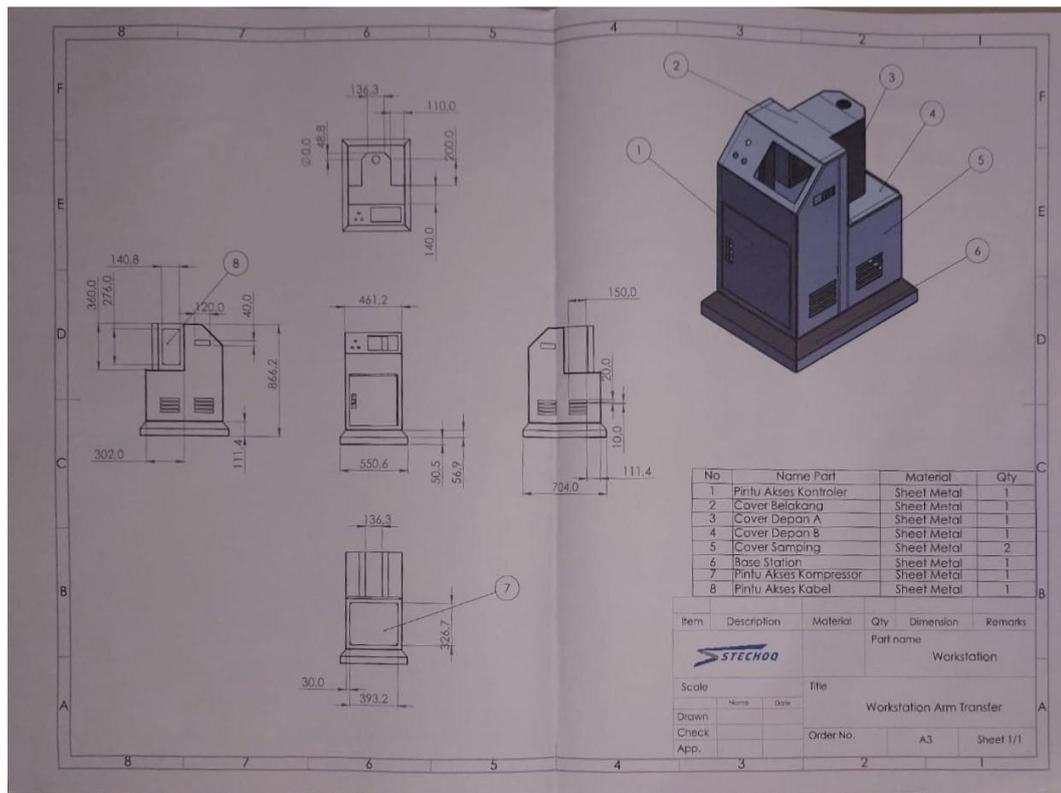
## DAFTAR PUSTAKA

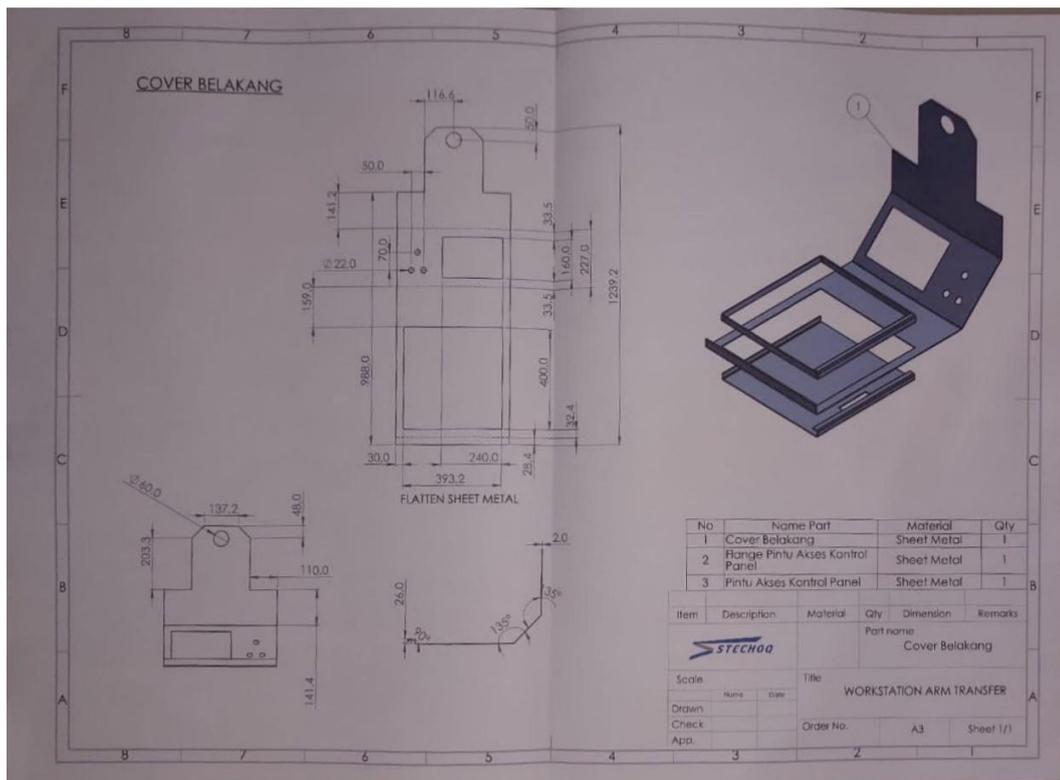
- Agbaraji, E., C., & Inyama, H., C., & Okezie, H. (2017). Dynamic Modeling of a 3-DOF Articulated Robotic Manipulator Based on Independent Joint Scheme. *Physical Science International Journal*. 15(1): 1-10
- Amrulloh, Z. (2012). *Pembuatan Wayang Kulit dengan Menggunakan Teknologi Laser Cutting*. Skripsi tidak diterbitkan. Teknik Mesin Universitas Islam Indonesia Yogyakarta.
- Arif, F.H. (2022). "Industri Manufaktur Indonesia Semakin Ekspansif". <https://www.kemenperin.go.id/artikel/23125/Industri-Manufaktur-Indonesia-Semakin-Ekspansif>, diakses pada 11 juli 2022 pukul 20.30.
- Bilalis, N. (2000). *Computer Aided Design - CAD*. Crete: Technical University of Crete
- Ebel, F., Idler, S., Prede, G., & Scholz, D. (2008). *Fundamentals of Automation Technology*. Denkendorf: Festo Didactic GmbH & Co. KG.
- Imaduddin, M. (2016). *Rancang Bangun Trainer Alat Penyortir Barang Logam dan Non Logam Sebagai Media Pembelajaran Pada Mata Kuliah Dasar Sistem Kontrol*. Skripsi tidak diterbitkan. Teknik Elektro Universitas Negri Malang.
- Iqbal, Jamshed & Ul Islam, Muhammad & Khan, Hamza. (2012). Modeling and analysis of a 6 DOF robotic arm manipulator. *Canadian Journal on Electrical and Electronics Engineering*. 3. 300-306.
- Jaiswal, A. K., & Kumar, B. (2016). Design Constraints Of Vacuum Gripper Of Robots – As A Pick And Place Operating Tool, 6(4), 10.
- Lee, G. (1982). *Robot Arm Kinematics, Dynamics, and Control*. *Computer*, 15(12), 62–80. doi:10.1109/mc.1982.1653917
- Liu, J., Tanaka, K., Bao, L., & Yamaura, I. (2006). Analytical modelling of suction cups used for window-cleaning robots. *Vacuum* 80, 593-598
- Mohammed, A. A., & Sunar, M. (2015). *Kinematics modeling of a 4-DOF robotic arm*. *2015 International Conference on Control, Automation and Robotics*. doi:10.1109/iccar.2015.7166008

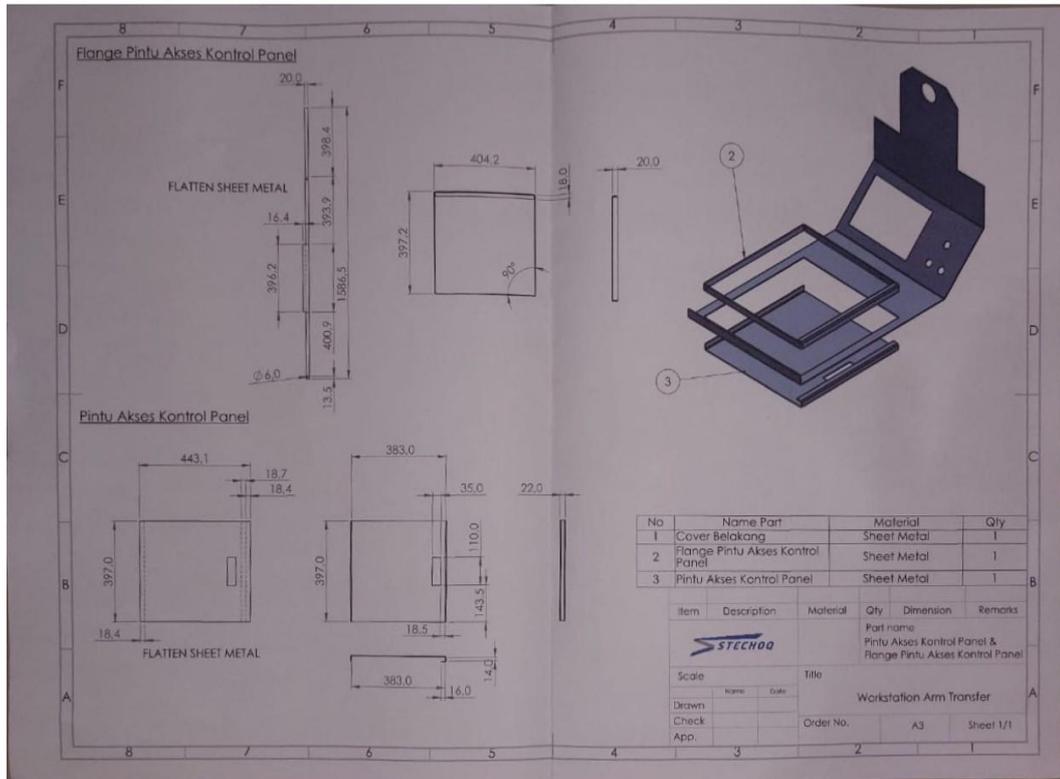
- Narafuadi, Prahadid Blya. (2018). *Perancangan Mesin Pengumpan Dengan Menggunakan Mekanisme Vakum Di PT. YAMAHA INDONESIA*. Skripsi tidak diterbitkan. Teknik Mesin Universitas Islam Indonesia Yogyakarta.
- Ningsih, D. H. (2005). Computer Aided Design / Computer Aided Manufactur [CAD/CAM] . *Jurnal Teknologi Informasi DINAMIK* Volume X, No. 3, 143-149
- Nugroho, C.B., Hidayat, R., 2016. Studi Cacat Permukaan plat Aluminium pada Proses Pembengkokkan Sudut Mesin Bending 5.
- Parlinggoman, H., & Sabariman. (2020). ANALISIS PENINGKATAN KUALITAS PROSES METAL STAMPING DENGAN METODE SIX SIGMA. *Conference on Business, Social Sciences and Innovation Technology*, vol. 1(1):712-724
- Rajesh, R. (2016). Manual Material Handling: A Classification Scheme. *Procedia Technology*, vol 24:568-575
- Rodić, A. (2009). *Automation & Control - Theory and Practice*. Croatia: In-Tech
- Sanders, M.S. & McCormick, E.J., 1993, *Human Factors in Engineering and Desain*, Edisi 7, McGram-Hill Book Company, New York.
- Tuleja, P., & Šidlovská, E. (2014). Unilateral Gripping With Active Vacuum Suction Cup: Calculation Of Gripping Force And Number Of Suction Cups. *Transfer inovácií* 29, 232-235.
- Widodo, S., & Suprpto. (2017). *Pengenalan Teknologi Vakum*. Pustaka Pelajar, Yogyakarta.
- Zaenurrohman, & Sutisna, U. (2014). Perancangan Sistem Kontrol Wireless pada Mobile Robot Manipulator Berbasis Mikrokontroler ATMega8. *JNTETI* vol 3(1), 69-75.
- Zhang, H., Wang, W., González-Gómez, J., & Zhang, J. (2009). Design and Realization of a Novel Modular Climbing Caterpillar Using LowFrequency Vibrating Passive Suckers. *Advance Robotic* Vol.23, 889-906.

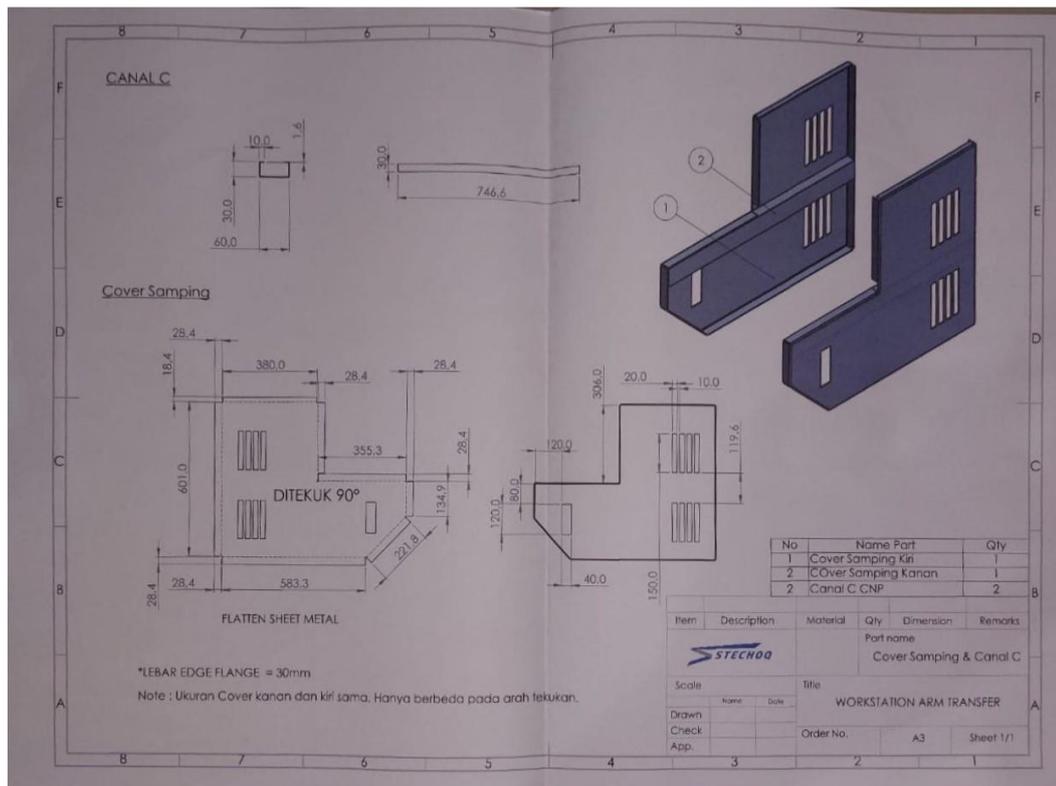
## LAMPIRAN 1 GAMBAR 2D DRAWING WORKSTATION

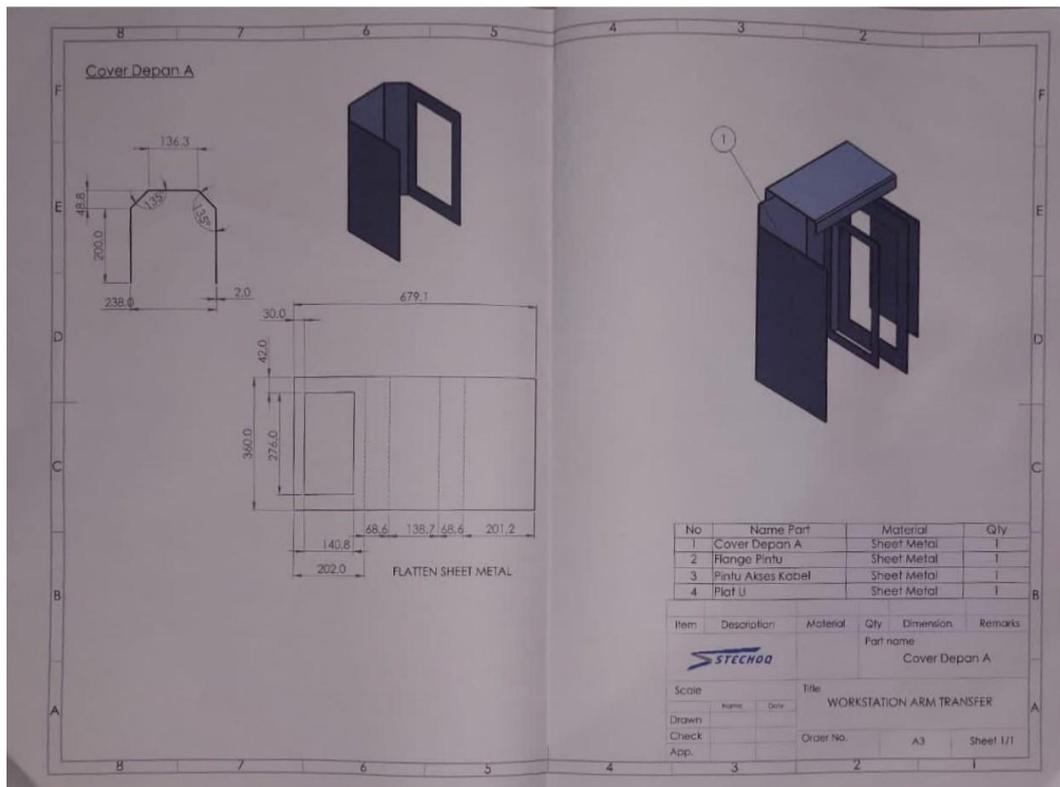


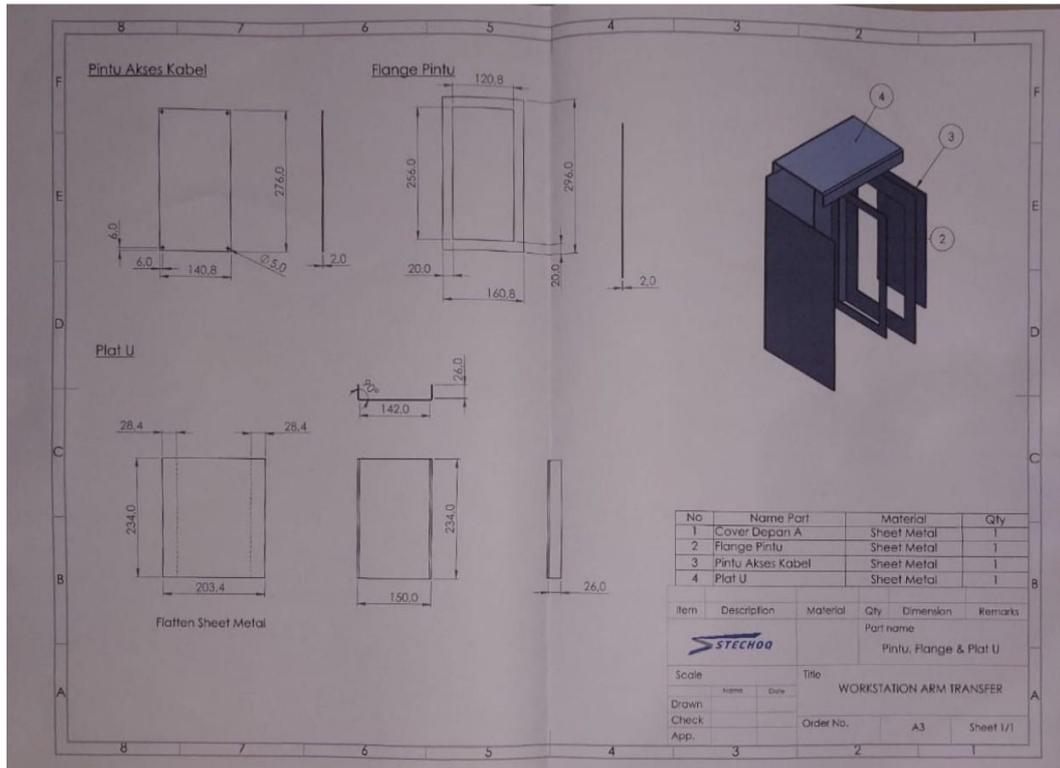


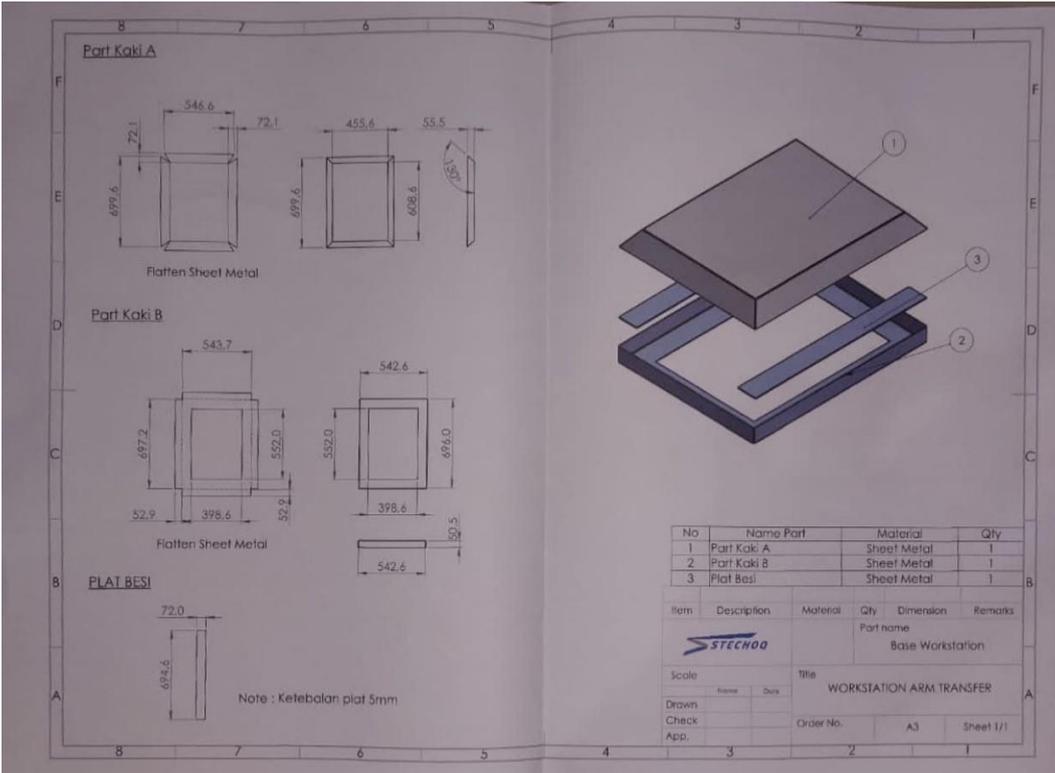


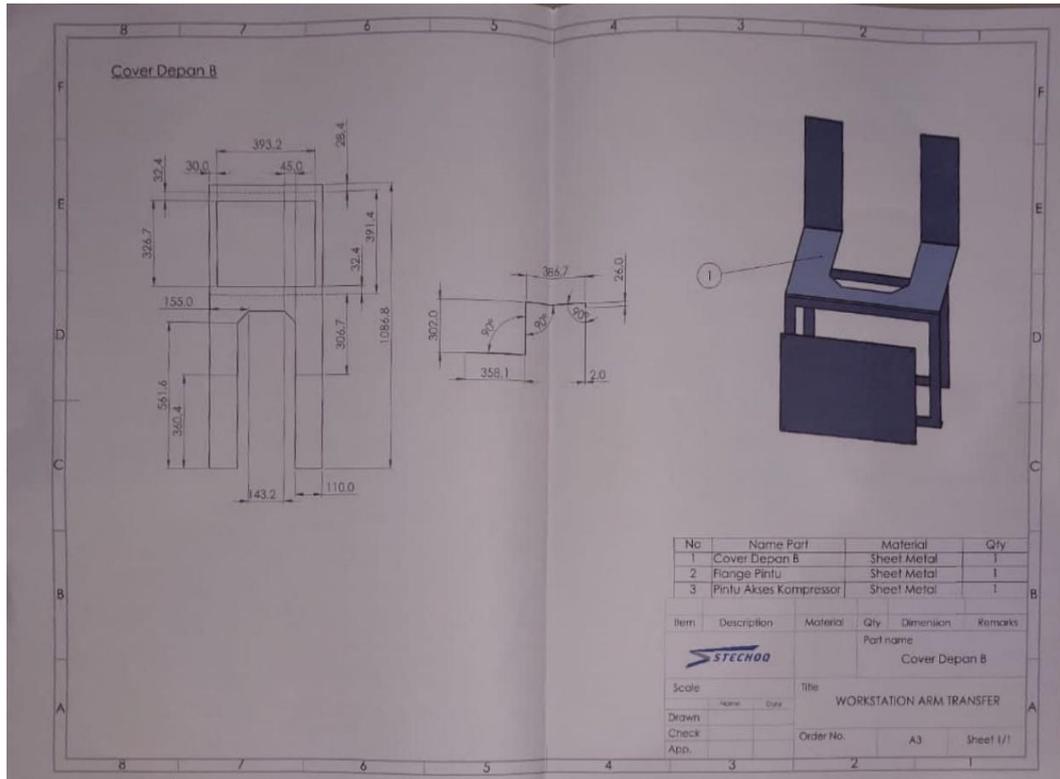


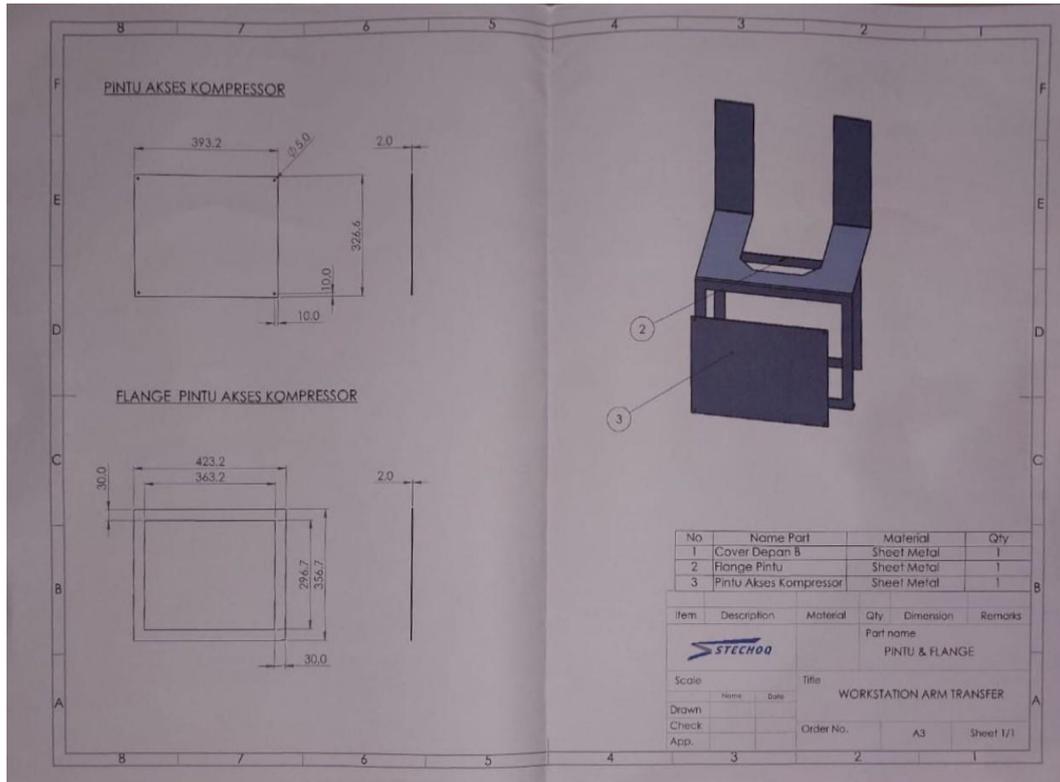








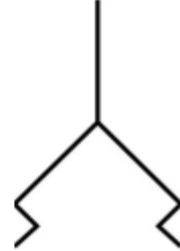




## LAMPIRAN 2 DATA SHEET SUCTION PAD

**Vacuum suction cup**  
**VASB-15-1/8-PUR-B**  
 Part number: 1395671

FESTO



### Data sheet

Feature	Value
Suction cup height compensation	5.6 mm
Nominal width	3 mm
Suction cup diameter	15 mm
Suction cup volume	0.83 cm <sup>3</sup>
Effective suction cup diameter	12.4 mm
Connection position	Top
Mounting position	Any
Symbol	00991485
Suction cup shape	Round bellows, 1.5 convolutions
Operating pressure	-0.95 bar ... 0 bar
Nominal operating pressure	-0.7 bar
Operating medium	Atmospheric air based on ISO 8573-1:2010 [7:--]
Corrosion resistance class (CRC)	2 - Moderate corrosion stress
Ambient temperature	-20 °C ... 60 °C
Holding force at nominal operating pressure	8.5 N
Product weight	11 g
Type of mounting	Via vacuum connection



## LAMPIRAN 3 DATA SHEET ROTARY MODULE

### Rotary module ERMB-32

Part number: 552708

FESTO

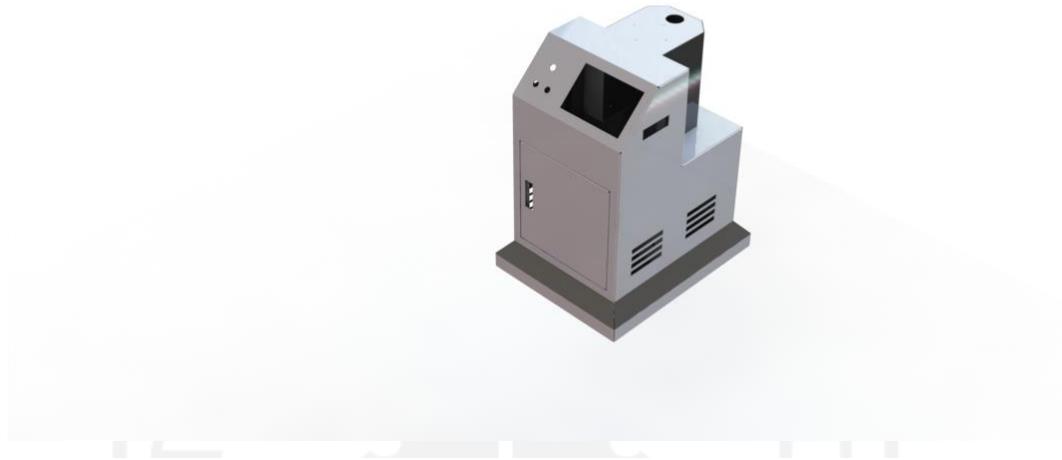


### Data sheet

Feature	Value
Size	32
Structural design	Electromechanical rotary module with toothed belt
Mounting position	Any
Rotation angle	Infinite
Gear ratio	3:1
Product weight	3250 g
Drive pinion diameter	12 mm
Toothed belt pitch	5 mm
Max. output speed	300 1/min
Max. input speed	900 1/min
Max. driving torque	8.5 Nm
No-load driving torque	<0.5 Nm



## LEMBARAN 4 GAMBAR 3D WORKSTATION



الجمهورية العربية السورية  
الجامعة اللبنانية  
الكلية الهندسية