

**Rancang Bangun *Multiple Drilling* Menggunakan Robot Lengan
Dan Perencanaan *Handling Station Stacking magazine* Pada
Proses *Drilling* Di PT. Yamaha Elektronik Manufacturing
Indonesia (YEMI)**

TUGAS AKHIR

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



Disusun Oleh:

**Nama : Muhammad Farel Hawaari Ilyas
No. Mahasiswa : 20525067
NIRM : 2006100086**

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

2024

LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PEMBIMBIN

**Rancang Bangun *Multiple Drilling* Menggunakan Robot Lengan
Dan Perencanaan *Handling Station Stacking Magazine* Pada
Proses *Drilling* Di PT. Yamaha Elektronik Manufacturing
Indonesia (YEMI)**

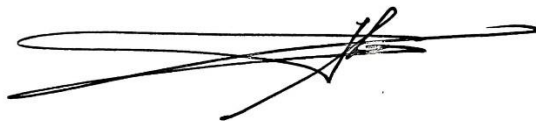
TUGAS AKHIR

Disusun Oleh:

Nama : Muhammad Farel Hawaari Ilyas
No. Mahasiswa : 20525067
NIRM : 2006100086

Yogyakarta, 13 Desember 2024

Pembimbing 1.



Ir. Faisal Arif Nurgasang, S.T., M.Sc. IPP

LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PENGUJI

Rancang Bangun *Multiple Drilling* Menggunakan Robot Lengan Dan Perencanaan *Handling Station Stacking magazine* Pada Proses *Drilling* Di PT. Yamaha Elektronik Manufacturing Indonesia (YEMI)

TUGAS AKHIR

Disusun Oleh :

Nama : Muhammad Farel Hawaari Ilyas
No. Mahasiswa : 20525067
NIRM : 2006100086

Tim Penguji

Ir. Faisal Arif Nurgesang, S.T., M.Sc.

IPP

Ketua

Tanggal : 4/12/2024.

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

Tanggal : 6/12/2024

Yustiasih Purwaningrum, ST, MT
Anggota II

Tanggal : 1/12/24

Mengetahui

Dekan Jurusan Teknik Mesin





Muhammad Khatidh, S.T., M.T., IPP

PERNYATAAN KEASLIAN

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

Yogyakarta, 6 desember 2024



METERAI
TEMPEL
00AMX072608854

Muhammad Farel Hawaari Ilyas

HALAMAN PERSEMBAHAN

Dengan penuh rasa syukur, karya tulis ini penulis persembahkan kepada keluarga, rekan-rekan, dan orang terdekat penulis. Terlebih kepada dua sosok yang selalu menjadi teladan dan pemandu dalam hidup penulis yaitu kedua orang tua penulis yaitu Bapak **SUYATA** dan Ibu **RITA SUPRIYANTI**. Terima kasih atas kasih sayang, bimbingan, dan dukungan yang tiada henti. Karya ini adalah bukti amanah yang diberikan kepada penulis untuk menempuh pendidikan hingga jenjang Strata 1. Penulis berharap karya ini dapat membuat kedua orang tua tersenyum dan menjadi jembatan menuju langkah berikutnya. Semoga segala perjuangan dan pengorbanan beliau mendapatkan balasan pahala yang berlimpah di akhirat kelak.

HALAMAN MOTTO

"Allah tidak akan membebani seseorang melainkan sesuai dengan kesanggupannya." (QS. Al-Baqarah: 286)

"A warrior's duty, is to bring victory."

"Tugas seorang pejuang adalah membawa kemenangan" – Tigreal MLBB

"Kekuatan sejati dari umat manusia adalah bahwa kita memiliki kuasa penuh untuk mengubah diri kita sendiri." – Saitama

"Mereka mengatakan kepada saya bahwa saya tidak bisa. Itulah mengapa saya melakukannya." – Me

KATA PENGANTAR ATAU UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan berkah, rahmat, dan petunjuk-Nya, sehingga penulis berhasil menyelesaikan studi S1 Teknik Mesin ini dengan judul “Rancangbangun *Multiple Drilling* Menggunakan Robot Lengan Dan Perencanaan *Handling Station Stacking magazine* Pada Proses *Drilling* Di PT. Yamaha Elektronik Manufacturing Indonesia (YEMI)”. Keberhasilan penulisan tugas akhir ini tidak terlepas dari kerjasama, dukungan, dan bantuan yang penulis terima dari berbagai pihak. Tidak lupa penulis ucapkan terimakasih kepada:

1. Kedua orang tua penulis (bapak Suyata dan ibu Rita Supriyanti), kakak penulis Salsabilla dan adik Amanda yang telah mendukung penulis selama menyelesaikan tugas akhir, mendoakan dalam segala urusan penulis, sekaligus tempat bercerita bagi penulis.
2. Dosen pembimbing tugas akhir Bapak Ir. Faisal Arif Nurgesang, S.T., M.Sc., IPP yang selalu memberi dukungan, bimbingan, motivasi, ilmu yang bermanfaat, dan waktu yang luang di sela kesibukannya.
3. Bapak Dr. Ir. Muhammad Khafidh, S.T., M.T., IPP, selaku kaprodi Teknik mesin beserta segenap dosen Teknik Mesin Universitas Islam Indonesia yang selalu sabar dan tabah dalam memberikan ilmu kepada penulis serta membantu dalam keberlangsungan akademis penulis.
4. Bapak Angga Adhitya S.T., Bapak Joko, serta rekan-rekan kantor PT. YEMI, yang telah bersedia membantu dalam mendukung keperluan analisis, memotivasi, dan memberikan masukan selama menjalankan magang dan Tugas Akhir di PT. YEMI.
5. Terimakasih yang sebesar-besarnya kepada saudara Dzaki, Erwin, Fajar, Isal, Reza, Ichsan, Rafif, dan teman-teman Teknik Mesin UII, teman satu daerah, maupun rekan-rekan lainnya yang selalu membantu penulis dimasa-masa kesulitan penulis.

Semoga berkat amalan yang telah diberikan kepada penulis diterima dengan baik dan dijadikan ladang pahala di sisi Allah SWT. Penulis menyadari bahwa penelitian dan penulisan ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu,

penulis mengharapkan masukan dan saran yang membangun guna meningkatkan kualitas penulisan di masa yang akan datang. Akhir kata, penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah berkontribusi dalam penulisan Tugas Akhir ini. Harapannya, Tugas Akhir ini tidak hanya mencatat perjalanan, tetapi juga memberikan sudut pandang dan manfaat yang berharga bagi pembaca.

ABSTRAK

Industri 4.0 mendorong PT. Yamaha Electronics Manufacturing Indonesia (YEMI) untuk mengadopsi teknologi cerdas guna meningkatkan produktivitas dan efisiensi dalam produksi *speaker* kayu. Salah satu tantangan yang dihadapi adalah variasi model produk serta metode *drilling* manual yang tidak hanya mengurangi efektivitas kerja tetapi juga menyebabkan postur kerja yang tidak ergonomis. Untuk mengatasi hal ini, YEMI menerapkan robot lengan dengan sistem *multiple drilling* yang diintegrasikan dengan *handling station stacking magazine*. Pengembangan sistem dilakukan menggunakan *software* pemodelan SolidWorks dan simulasi EPSON RC+ 7 dalam proses perancangan dan analisis. Berdasarkan analisis *Man-machine chart*, penggunaan *multiple drilling* dan *handling station stacking magazine* berhasil mengurangi waktu siklus dari 1.211 detik menjadi 585 detik, dengan efisiensi waktu mencapai 48,3%, serta meningkatkan efisiensi keselamatan kerja sebesar 57,48% yang diuji menggunakan pengendalian risiko HIRADC. Hasil perancangan *multiple drilling* dan perencanaan sistem *handling station stacking magazine* berhasil dilakukan sesuai dengan kriteria desain. Analisis ANOVA pada sistem ini mengidentifikasi pengaruh diameter dan kecepatan *drilling* terhadap waktu proses. Berdasarkan hasil tersebut, dilakukan pengujian yang menghasilkan parameter optimal untuk proses *drilling* dengan minim delaminasi atau kerusakan pada MDF. Pengujian ini menekankan efisiensi kecepatan *drilling* serta pengaruh diameter mata bor terhadap waktu proses. Secara keseluruhan, penerapan sistem ini secara signifikan meningkatkan produktivitas dan keselamatan kerja operator.

Kata Kunci: *Multiple drilling*, *Handling station stacking magazine*, keselamatan kerja, produktivitas

DAFTAR ISI

Halaman Judul.....	i
Lembar Pengesahan Dosen Pembimbing.....	ii
Lembar Pengesahan Dosen Penguji.....	iii
Halaman Persembahan	iv
Halaman Motto.....	vi
Kata Pengantar atau Ucapan Terima Kasih	vii
Abstrak	ix
Daftar Isi	x
Daftar Tabel	xii
Daftar Gambar.....	xiii
Daftar Notasi	xvi
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	9
Bab 3 Metode Penelitian.....	23
3.1 Alur Penelitian.....	23
3.2 Peralatan dan Bahan	24
3.3 Kriteria Desain.....	25
3.4 Alternatif Desain <i>Multiple Drilling</i> Dan <i>Stacking magazine</i>	26
3.5 Rancangan <i>Multiple Drilling</i> Lengan Robot.....	29
3.6 Perencanaan <i>Handling Station Stacking magazine</i>	33

3.7	Proses Pengujian <i>Risk Assessment</i> Pada Proses Manual	42
3.8	Pemrograman Robot	44
3.9	Perancangan Sistem Kendali.....	45
Bab 4 Hasil dan Pembahasan.....		47
4.1	Hasil Perancangan <i>Multiple Drilling</i>	47
4.1.1	Hasil Pemilihan Alternatif Desain	47
4.1.2	Hasil Pemilihan Lengan Robot	54
4.1.3	Proses perancangan.....	55
4.1.4	Pengujian <i>Multiple Drilling</i>	59
4.2	Hasil Perencanaan <i>Stacking magazine</i>	64
4.2.1	Hasil Perhitungan Kebutuhan Tekanan Udara	64
4.2.2	Hasil Perhitungan Waktu <i>Stacking magazine</i>	67
4.2.3	<i>Man-machine chart</i> Proses Otomatis	75
4.2.4	Hasil <i>Risk-Assessment</i> Proses Otomatis	77
4.3	Pembahasan	78
Bab 5 Penutup		84
5.1	Kesimpulan.....	84
5.2	Saran atau Penelitian Selanjutnya	84
Daftar Pustaka		85

DAFTAR TABEL

Tabel 2-1 Penilaian risiko berdasarkan <i>Likelihood</i>	21
Tabel 2-2 Penilaian risiko berdasarkan <i>Saverity</i> (Kevin and Yayok 2024).....	21
Tabel 3-1 Peralatan.....	24
Tabel 3-2 Bahan perancangan	24
Tabel 3-3 Kelebihan alternatif desain 1 dan 2	27
Tabel 3-4 Perbandingan Robot EPSON T6 dan EPSON VT-6L	29
Tabel 3-5 Variasi faktor <i>control</i> dan level optimasi kecepatan <i>drilling</i>	32
Tabel 3-6 Array orthogonal taguchi L 18	32
Tabel 3-7 Variasi ukuran model MDF PT. YEMI	34
Tabel 3-8 Waktu proses <i>drilling</i> pada <i>line</i> WW	36
Tabel 3-9 Waktu proses pengantaran hasil <i>drilling</i> dari <i>line</i> WW menuju FA	37
Tabel 3-10 Waktu proses <i>assembly</i> pada line FA	37
Tabel 3-11 <i>Man-machine chart</i> proses <i>drilling</i> dan <i>handling</i> manual	41
Tabel 3-12 <i>Risk-assessment</i> proses manual	43
Tabel 4-1 Hasil pengujian <i>multiple drilling</i>	54
Tabel 4-2 <i>Two-way</i> ANOVA pada waktu <i>drilling</i>	61
Tabel 4-3 <i>Model Summary</i>	62
Tabel 4-4 Analisis variasi ANOVA pada S/N ratio	62
Tabel 4-5 Respon tabel S/N rasio pada waktu	64
Tabel 4-6 Koefisien Gesek Material	70
Tabel 4-7 <i>Man-machine chart</i> proses otomatis.....	76
Tabel 4-8 Hasil <i>risk-assessment</i> proses otomatis.....	78

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1-1 Variasi diameter dan posisi lubang pada model MDF	1
Gambar 2-1 Pemodelan pengujian MSDT pada robot.....	6
Gambar 2-2 Sistem <i>Handling Station Stacking magazine</i>	8
Gambar 2-3 Mesin bor duduk.....	9
Gambar 2-4 Mesin bor tangan (<i>Air drilling tools machine</i>).....	10
Gambar 2-5 Ilustrasi Kecepatan putar <i>drill</i>	11
Gambar 2-6 Silinder pneumatik.....	18
Gambar 3-1 Alur penelitian.....	23
Gambar 3-2 Alternatif desain 1	26
Gambar 3-3 Alternatif desain 2	27
Gambar 3-4 Variasi mesin <i>drilling</i> di PT. YEMI	31
Gambar 3-5 Variasi diameter mata <i>drill</i>	31
Gambar 3-6 Ukuran MDF	34
Gambar 3-7 Alur kerja proses <i>drilling</i> manual	35
Gambar 3-8 Perencanaan desain mekanisme <i>Stacking magazine</i>	38
Gambar 3-9 Rangkaian pengujian silinder pneumatik pada FluidSIM	40
Gambar 3-10 Layout proses <i>drilling</i> manual	42
Gambar 3-11 Pemrograman lengan robot (1)	44
Gambar 3- 12 Pemrograman lengan robot (2)	44
Gambar 3-13 Pemrograman lengan robot (3)	45
Gambar 3-14 Perancangan perangkat kendali sistem <i>drilling</i> dan <i>handling</i> otomatis.....	46
Gambar 4-1 Hasil pemilihan alternatif desain.....	47
Gambar 4-2 Perhitungan beban <i>mounting multiple drilling</i> desain 1.....	48
Gambar 4-3 Perhitungan beban <i>mounting multiple drilling</i> desain 2.....	48
Gambar 4- 4 Uji safety pada proses <i>drilling</i> MDF menggunakan Solidworks.....	49
Gambar 4-5 Hasil pengujian titik 1	49
Gambar 4-6 Hasil pengujian titik 2	50
Gambar 4- 7 Hasil pengujian titik 3	50
Gambar 4- 8 Hasil pengujian titik 4	50

Gambar 4-9 Pengujian model MDF BP-401 panjang 50 mm	51
Gambar 4-10 Pengujian model MDF NS-F330 & NS-B750 panjang 68 mm	52
Gambar 4-11 Pengujian model MDF BP-301 panjang 70 mm	52
Gambar 4-12 Pengujian model MDF NS 777/555 panjang 75 mm	52
Gambar 4-13 Pengujian model MDF NS-C901 panjang 78 mm	53
Gambar 4-14 Pengujian model MDF NS-B901 panjang 80 mm	53
Gambar 4-15 Pengujian model VX-510W panjang 95 mm	53
Gambar 4- 16 Pengujian model MDF NS-F500 panjang 100 mm.....	53
Gambar 4-17 Pengujian model MDF NS-F700 panjang 105 mm.....	54
Gambar 4-18 Pergerakan robot Epson VT-6L	54
Gambar 4-19 Pergerakan robot Epson SCARA T6	55
Gambar 4-20 Proses <i>Pengikiran</i>	56
Gambar 4-21 Proses <i>Tapping</i>	56
Gambar 4-22 Proses <i>assembly mounting multiple drilling</i>	57
Gambar 4-23 Pengujian berat <i>mounting</i>	57
Gambar 4-24 Pemasangan selang PU dan <i>relay</i>	58
Gambar 4-25 Setting regulator	58
Gambar 4-26 Instalasi <i>air drilling tools</i>	58
Gambar 4-27 Hasil perancangan	59
Gambar 4-28 Proses pengujian hasil <i>multiple drilling</i>	59
Gambar 4-29 Hasil pengujian <i>drilling</i> MDF dengan <i>Multiple drilling</i>	61
Gambar 4-30 Plot effect pengaruh diameter <i>drilling</i> dan kecepatan <i>drilling</i> terhadap waktu.....	63
Gambar 4-31 Ilustrasi mekanisme <i>stacking magazine</i>	67
Gambar 4-32 Pengujian waktu dengan <i>flowrate</i> $2,01 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{S}$	69
Gambar 4-33 pengujian waktu waktu dengan flo wrate 300 l/min	69
Gambar 4- 34 Ilustrasi pergerakan <i>handling</i> otomatis dengan bidang miring.....	70
Gambar 4-35 Ilustrasi pergerakan silinder kerja ganda (Louis hoyos, 2019)	71
Gambar 4-36 Waktu <i>assembly</i> operator vs kecepatan dan akselerasi	75
Gambar 4-37 Ilustrasi layout proses <i>handling</i> dan <i>drilling</i> otomatis	77

Gambar 4-38 Sistem <i>multiple drilling</i> dengan FUJI FRD-6s-3.....	79
Gambar 4-39 Sample hasil pengujian pada kecepatan 30000 RPM.....	79
Gambar 4-40 Sample hasil pengujian pada kecepatan 2800 RPM.....	80
Gambar 4-41 Sample hasil pengujian pada kecepatan 2300 RPM.....	80
Gambar 4-42 Kopler selang PU.....	81
Gambar 4-43 Pengelompokkan wiring komponen	81
Gambar 4- 44 Ukuran <i>clamping</i> sistem <i>magazine</i> semula.....	82
Gambar 4- 45 Perbaikan ukuran <i>clamping</i> sistem <i>magazine</i>	82

DAFTAR NOTASI

A = Luas permukaan (m^2)

d = Diameter (m)

a = Percepatan (m/s^2)

v = Velocity/kecepatan (m/s)

s = Panjang (m)

t = Waktu (s)

Q = *Flow rate* fluida (m^3/s)

F = Gaya (N)

P = Tekanan (Pa)

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

PT. Yamaha Elektronik Manufacturing Indonesia (YEMI) merupakan perusahaan terkemuka yang telah memproduksi audio *speaker* berkualitas tinggi sejak 1999. Untuk memenuhi kebutuhan konsumen profesional maupun rumahan, PT. YEMI menawarkan dua jenis *speaker*, yaitu *speaker* berbahan plastik yang ringan dan *speaker* berbahan kayu yang menghasilkan kualitas suara alami, dengan pilihan *speaker* aktif yang memiliki amplifier internal serta *speaker* pasif yang memerlukan amplifier eksternal, sesuai dengan kebutuhan penggunanya.



Gambar 1-1 Variasi diameter dan posisi lubang pada model MDF

Seperti yang ditunjukkan Gambar 1-1, dalam proses produksi *speaker* kayu, PT. YEMI menggunakan *Medium Density Fiberboard* (MDF) sebagai material utama untuk dudukan komponen elektrik. MDF tersedia dalam berbagai ukuran sesuai model *speaker*, dengan posisi dan diameter lubang *drilling* yang bervariasi. Proses *drilling* pada MDF bertujuan untuk menciptakan lubang dengan presisi tinggi, menggunakan mata bor sebagai alat pemotong (Sagar dkk., 2018). Proses *drilling* memegang peranan penting, karena sekitar 25% dari total waktu permesinan dihabiskan pada proses *drilling* (Kumar dkk., 2019). Dengan demikian, efisiensi proses ini menjadi salah satu faktor utama dalam meningkatkan produktivitas perusahaan.

Proses *drilling* di PT. YEMI dilakukan secara manual menggunakan *bench drilling machine*, dimana MDF diletakkan pada jig untuk menstabilkan benda kerja selama pengeboran (Said dkk., 2023). Operator harus menyesuaikan jig, menentukan titik pengeboran, serta mengatur diameter mata bor, dan tekanan secara manual berdasarkan variasi model MDF. Namun, metode manual menimbulkan beberapa tantangan. Salah satunya adalah postur kerja tidak ergonomis, seperti posisi lengan operator yang sering kali berada di atas bahu selama proses pengeboran (Ashraf dkk., 2020). Idealnya, posisi ini tidak boleh berlangsung lebih dari 1–2 menit untuk menghindari ketegangan otot (Lynn & Corlett, 1993). Namun, operator di PT. YEMI menjalani proses *drilling* hingga 7 jam per hari, yang menyebabkan kelelahan fisik, waktu siklus yang panjang, serta hasil *drilling* yang bergantung pada kemampuan fisik operator. Operator juga diharuskan mengantarkan hasil *drilling* dari *line networking* ke *line sub-assembly* serta menyesuaikan pemilihan model, yang menyebabkan waktu siklus menjadi lebih panjang.

Untuk mengatasi kendala yang ada, PT. YEMI telah mengembangkan inovasi otomatisasi proses *drilling* sebagai bagian dari inisiatif Industri 4.0, dengan menerapkan sistem *stacking magazine* yang berfungsi sebagai *clamping* untuk menggantikan peran jig dan sistem *handling* manual, serta *multiple drilling* yang dirancang untuk meningkatkan efisiensi dengan memungkinkan pengeboran MDF pada beberapa titik secara bersamaan, sehingga dapat mengurangi ketergantungan pada proses manual yang memakan waktu.

Namun, pengujian prototipe menunjukkan adanya beberapa tantangan teknis yang perlu diatasi, seperti masalah tabrakan antar komponen pada sistem *multiple drilling* dan keterbatasan *stacking magazine* yang hanya mendukung satu jenis model MDF sehingga mengurangi fleksibilitas dalam menghadapi variasi model, yang mengindikasikan perlunya pengembangan lebih lanjut dalam aspek desain dan mekanisme operasional agar sistem ini mampu mendukung produksi dengan berbagai model MDF, mempercepat waktu siklus, menjaga kualitas produk secara konsisten dengan mempertimbangkan keselamatan kerja, serta mendukung PT. YEMI dalam memenuhi permintaan pasar yang terus berkembang dan mempertahankan daya saing di industri manufaktur modern.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang permasalahan yang ada, rumusan masalah yang dirancang yaitu:

1. Bagaimana hasil perancangan *multiple drilling* pada lengan robot?
2. Bagaimana penggunaan *multiple drilling* dan *handling station* dapat mengurangi waktu siklus dan risiko keselamatan operator pada proses *drilling* MDF?
3. Bagaimana pengujian pengaruh penggunaan *multiple drilling* pada lengan robot terhadap hasil *drilling* yang optimal?

1.3 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah yang digunakan dalam proses perancangan ini yaitu:

1. Data-data yang diperoleh merupakan hasil dari observasi di PT. YEMI.
2. Hanya sistem *Multiple Drilling* yang dirancang dan *Handling Station Stacking magazine* dalam bentuk perencanaan.
3. Optimasi mesin *drilling* difokuskan pada pengukuran diameter lubang hasil *drilling* dan waktu proses *drilling*.
4. Variasi kecepatan robot yang digunakan 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60%, dan 70% dengan akselerasi 30%, 40%, 50%, dan 60%.
5. Pengujian kecepatan robot *drilling* terbatas pada variasi diameter mata *drill* 1.85 mm, 3 mm, 4 mm, dan 8 mm.
6. Lengan robot yang tersedia di PT. YEMI yaitu EPSON T6 dan EPSON VT-6L
7. Pengujian kecepatan *drilling* yang dilakukan terbatas pada tipe *drilling* FUJI-FRD-6s-3, Dynabrade 52202, dan Westlake ZQD 4125.
8. Silinder pneumatik yang digunakan dalam penelitian ini yaitu SMC CXS 2 Series dengan diameter *bore* 16 mm dan panjang *stroke* 15 mm serta silinder pneumatik MBB32-250Z dengan diameter *bore* 32 mm dan panjang *stroke* 250 mm.
9. Penelitian yang dilakukan berupa sampling pada model MDF NS-F700.

1.4 Tujuan Perancangan

Tujuan perancangan ini adalah:

1. Mengetahui hasil perancangan *multiple drilling* lengan robot.
2. Mengetahui dampak penggunaan *multiple drilling* dan *handling station* dalam mengurangi waktu siklus dan risiko keselamatan operator pada proses *drilling* MDF.
3. Mengetahui pengaruh penggunaan *multiple drilling* pada lengan robot terhadap hasil *drilling* yang optimal.

1.5 Manfaat Perancangan

Adapun manfaat yang didapat dari perancangan ini yaitu :

1. Peneliti dapat mengimplementasikan ilmu yang dipelajari selama di bangku perkuliahan melalui *study case* yang ada.
2. Dengan merancang dan membuat *Stacking magazine* dan *Multiple drilling* robot lengan dapat mengurangi waktu siklus pergantian jig dan perpindahan mesin *drilling* yang dapat meningkatkan efisiensi bagi perusahaan.
3. Perancangan *Stacking magazine* dan *Multiple drilling* robot yang dilakukan dapat meningkatkan produktivitas dan meminimalisir kecelakaan kerja.

1.6 Sistematika Penulisan

BAB I PENDAHULUAN

Berisi hal-hal apa saja yang melatarbelakangi penelitian atau perancangan yang dilakukan, rumusan masalah yang dihadapi, batasan masalah, tujuan serta manfaat dari pelaksanaan penelitian, dan sistematika.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Berisi penjelasan mengenai penelitian lain yang telah dilakukan, dan berhubungan dengan perancangan yang dilakukan.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini berisi tentang alur penelitian yang dikerjakan dan perangkat yang digunakan.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisi tentang hasil dan juga pembahasan dari penelitian yang telah dilakukan.

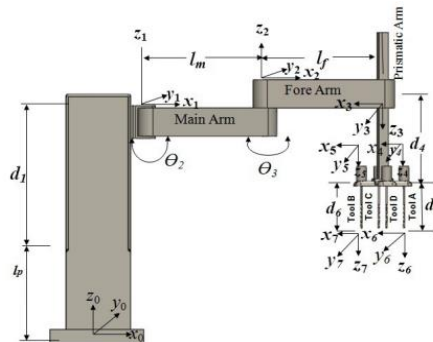
BAB V PENUTUP

Bab ini berisi tentang kesimpulan dari penelitian serta saran untuk penelitian selanjutnya

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kajian Pustaka

Dalam era Industri 4.0, otomatisasi menjadi pilar utama untuk meningkatkan efisiensi, kustomisasi, inovasi, profitabilitas, kinerja, dan manajemen keselamatan melalui teknologi baru yang mendukung interkoneksi dan komputersasi dalam manufaktur (Zhang dkk., 2021). Seiring meningkatnya permintaan pasar dan kebutuhan menjaga kualitas produk, industri manufaktur seperti PT. Yamaha Elektronik Manufacturing Indonesia (YEMI) terus berinovasi dengan mengimplementasikan otomatisasi, termasuk dalam proses *drilling* pada produksi MDF yang digunakan untuk *speaker* kayu. Salah satu pendekatan yang diambil adalah penggunaan *sistem multiple drilling* pada lengan robot yang diintegrasikan dengan *handling station* untuk meningkatkan produktivitas dan proses *drilling* yang efisien.



Gambar 2-1 Pemodelan pengujian MSDT pada robot SCARA

(Mariappan & Veerabathiran, 2016)

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh (Mariappan & Veerabathiran, 2016) seperti yang digambarkan pada gambar 2-1, sistem *multiple drilling* pada lengan robot membutuhkan pemilihan tipe robot dan desain yang tepat guna mencapai output optimal. Pemodelan dan simulasi *multiple drilling* pada robot SCARA menggunakan perangkat lunak seperti Solidworks untuk pemodelan dan perangkat simulasi memungkinkan pengujian desain secara virtual, sehingga mengurangi biaya pengembangan dan mengidentifikasi potensi masalah sebelum produksi fisik. Penelitian ini menunjukkan bahwa perubahan desain kecil dapat

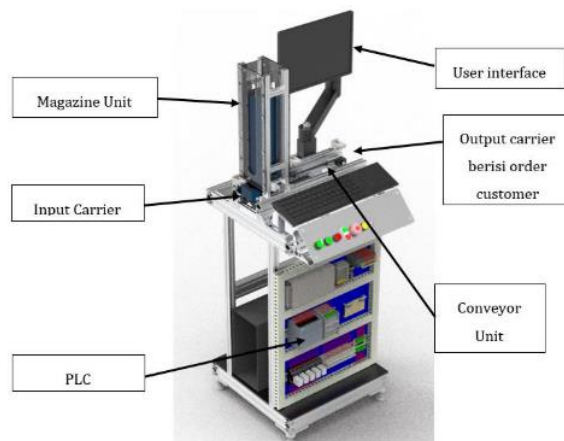
secara signifikan meningkatkan efisiensi serta kualitas hasil pengeboran pada operasi robot.

Kualitas pengeboran dipengaruhi oleh desain dan parameter operasional seperti kecepatan putar. Penelitian yang dilakukan oleh (Messaoudi dkk., 2023) menunjukkan bahwa kecepatan putar berdampak signifikan terhadap gaya potong dan dimensi lubang, tanpa memandang jenis material, dengan variasi kecepatan menjadi faktor kunci dalam akurasi dan efisiensi pengeboran MDF untuk produksi *speaker* kayu. Studi ini juga mengevaluasi kemampuan robot industri enam sumbu dalam mengebor paduan aluminium melalui pendekatan eksperimen dan pengujian statistik untuk mengukur kontribusi parameter pemotongan terhadap gaya potong dan kesalahan bentuk, serta menunjukkan bahwa perlakuan panas (90 HRE) berhasil mengurangi cacat dimensi dan gaya dorong menurun seiring peningkatan kecepatan potong yang direkomendasikan pada 6000 rpm dan laju umpan 0,15 mm/menit.

Untuk menentukan kualitas hasil pengeboran yang optimal, diperlukan analisis parameter proses. Kualitas hasil *drilling* dipengaruhi oleh beberapa parameter seperti penelitian yang dilakukan oleh (Mohd dkk., 2019) yang menganalisis parameter kecepatan *drilling* optimal dengan menerapkan metode Taguchi dan analisis ANOVA. Penelitian tersebut mengkaji kecepatan putar dan laju pemakanan terhadap kualitas lubang pada material MDF dengan variasi kecepatan *drilling* 500 RPM, 1000 RPM, 1500 RPM, dan 2000 RPM serta laju pemakanan 75 mm/menit, 100 mm/menit, 125 mm/menit, dan 150 mm/menit, menggunakan (DoE) Design of Experiment L-16 dengan 4 level pada masing-masing variasinya.

Pada penerapan perencanaan sistem *handling station* seperti *stacking magazine* berperan sebagai mekanisme *clamping* dan penyimpanan. Penelitian yang dilakukan oleh (Widyatmoko dkk., 2020) menunjukkan bahwa penggunaan *Carrier Station Unit* (CSU) dalam sistem *handling* dapat meningkatkan keselamatan, ergonomi, dan kecepatan produksi. Penggunaan *stacking magazine* sebagai mekanisme *handling* dengan silinder pneumatik untuk pemindahan *carrier* terbukti mampu meningkatkan aksesibilitas, kemudahan perawatan, dan keamanan sistem seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2-2. Hal ini secara signifikan dapat

mengurangi waktu siklus sekaligus meningkatkan keselamatan operator, yang pada akhirnya berdampak positif pada produktivitas keseluruhan. Dalam proses perancangan sistem otomatis, efisiensi perancangan sistem dapat dicapai melalui metode *Low-Cost Automation* (LCA), yaitu pemanfaatan sumber daya yang ada secara optimal (Lohit, 2018).



Gambar 2-2 Sistem *Handling Station Stacking magazine*
(Widyatmoko dkk., 2020)

Sebagai perusahaan yang bergerak di bidang manufaktur, aspek keselamatan kerja merupakan salah satu parameter penting yang mempengaruhi produktivitas. Penelitian yang dilakukan oleh Kevin dan Yayok (2024) menunjukkan bahwa pengujian keselamatan berperan krusial dalam menilai risiko kecelakaan pada setiap proses. Dengan melakukan pengujian ini, perusahaan dapat meminimalkan potensi kecelakaan dan meningkatkan keamanan kerja. Salah satu langkah dalam pengujian keselamatan adalah mengidentifikasi potensi kecelakaan yang mungkin terjadi, dan dapat mengakibatkan kerugian fisik maupun material. Hasil dari proses identifikasi tersebut kemudian dapat diklasifikasikan berdasarkan kemungkinan kerugian, sehingga memberikan penilaian risiko yang berguna untuk meminimalisir terbuangnya waktu akibat kecelakaan kerja. Untuk mengetahui nilai efisiensi waktu dalam sistem, analisis waktu siklus dapat dilakukan menggunakan *Man-machine chart*. Metode ini memungkinkan pengukuran efisiensi waktu secara rinci melalui pemetaan waktu pada setiap proses yang melibatkan interaksi antara mesin dan operator (Septiadi dkk., 2022).

Berdasarkan beberapa penelitian sebelumnya, analisis pergerakan dan pemodelan pada *multiple drilling* telah dibahas, sementara penelitian terkait

handling station telah membuktikan bahwa pemodelan *handling station* berpengaruh terhadap efisiensi dan ergonomi. Dari beberapa referensi penelitian tersebut, perancangan dan pengkajian integrasi lengan robot untuk proses *drilling* dengan sistem *handling station stacking magazine* sebagai alat *clamping* dan penempatan otomatis dapat dilakukan.

2.2 Dasar Teori

2.2.1 Proses *Drilling*

Proses *drilling* merupakan operasi pemesinan yang melibatkan penggunaan mata bor untuk membuat lubang pada material kerja. Mesin *drilling* adalah alat yang digunakan untuk membuat atau memperbesar lubang bulat dalam bahan padat menggunakan mata bor rotari. Dalam proses ini, mata bor ditekan dan diputar pada kecepatan tinggi, memotong material dan menghasilkan serpihan. Pemilihan mesin *drilling* biasanya disesuaikan dengan kebutuhan spesifik, terutama dalam industri manufaktur, dimana umumnya terdapat dua jenis mesin *drilling* yang digunakan untuk melubangi material kayu (Sagar et al. 2018).

1. Mesin bor duduk



Gambar 2-3 Mesin bor duduk

Sumber: Monotaro

Gambar 2-3 merupakan mesin bor meja, juga dikenal sebagai mesin bor duduk, adalah alat yang dirancang untuk membuat lubang kecil dengan diameter hingga 16 mm pada berbagai jenis material. Mesin ini beroperasi dengan memutar poros yang digerakkan oleh motor listrik. Keunggulan mesin bor meja terletak pada kemampuannya untuk mengatur kedalaman pengeboran dengan mengubah posisi mata bor melalui sistem roda gigi lurus dan rak gigi, sehingga memberikan kontrol tekanan yang lebih baik selama proses pengeboran. Mesin ini umumnya digunakan

dalam aplikasi yang membutuhkan akurasi dan presisi dalam pengeboran (Almakarin & Abizhar, 2023).

2. Mesin bor tangan



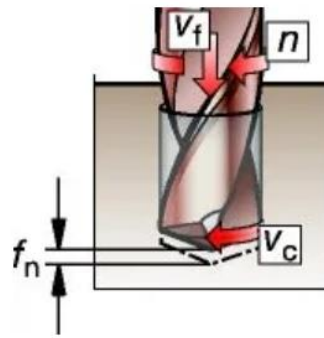
Gambar 2-4 Mesin bor tangan (*Air drilling tools machine*)

Sumber: Alibaba.com

Mesin bor tangan adalah alat pengeboran yang dioperasikan dengan tangan dan umumnya memiliki desain mirip pistol. Mesin bor tangan digunakan untuk melubangi kayu, tembok, atau pelat logam, dengan versi bertenaga listrik menawarkan keunggulan dalam kemudahan penggunaan. Sedangkan mesin bor tangan pneumatik, yang menggunakan udara bertekanan, dikenal dalam industri manufaktur karena efisiensi, kekuatan untuk pengeboran cepat, dan keamanan yang lebih tinggi dari risiko kebakaran seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2-4. Penggunaannya dapat digunakan untuk jangka panjang karena efisiensi dan pemeliharaan yang lebih sederhana (Ferdianto, 2020) .

2.2.2 Kecepatan Potong *Drilling*

Proses *drilling* membutuhkan waktu ketika pemakanan pada benda kerja dengan mengandalkan kecepatan potong pada spindel. Kecepatan potong dapat diartikan sebagai kecepatan rata-rata pada suatu titik lingkaran pahat dalam satu menit seperti yang digambarkan pada ilustrasi berikut.



Gambar 2-5 Ilustrasi Kecepatan putar *drill*

Sumber: institutoasteco

Kecepatan putar (*speed*) selalu dihubungkan dengan sumbu utama pada spindel dan benda kerja sehingga dapat diasumsikan bahwa, kecepatan putar sebagai keliling benda kerja yang dikalikan dengan kecepatan putar dan dinyatakan dalam satuan m/menit (Syafi dkk., 2020). Persamaan kecepatan pemotongan dituliskan pada persamaan (2.1).

$$v_c = \frac{D_c \times \pi \times N}{1000} \quad (2.1)$$

Kecepatan pemotongan disimbolkan sebagai v_c dengan satuan m/menit, (D_c) menunjukkan diameter spindel yang digunakan dengan satuan (mm) seperti ilustrasi yang ditunjukkan pada Gambar 2-5. Nilai n merupakan kecepatan spindel dengan satuan RPM (*Round Per Minute*). Nilai N merupakan kecepatan spindel dengan satuan rpm.

2.2.3 Robot Lengan (*Robotic Arm*)

Lengan robot adalah manipulator robotik yang dapat diprogram untuk fungsi menyerupai lengan manusia. Bagian-bagiannya dihubungkan oleh sendi yang memungkinkan gerakan rotasi atau translasi, membentuk rantai kinematik dengan ujung yang disebut *end effector*. *End effector* ini berfungsi layaknya tangan manusia dan dapat dirancang untuk berbagai tugas, seperti pengelasan atau penjepitan. Lengan robot dapat beroperasi secara otomatis atau manual dengan akurasi tinggi, bersifat tetap atau bergerak, dan digunakan di aplikasi industri maupun rumah tangga. (Gautam et al. 2018) .

Berdasarkan karakteristiknya dalam dunia industri, robot lengan terbagi menjadi dua tipe yaitu:

1. Robot kolaboratif



Gambar 2-6 Robot kolaboratif

Sumber: UR Robots

Robot kolaboratif (cobot) adalah jenis robot yang dirancang untuk bekerja bersama manusia dalam lingkungan yang sama pada berbagai industri tanpa memerlukan penghalang fisik, dengan menerapkan sistem keselamatan otomatis. Robot ini dilengkapi dengan sensor untuk mendeteksi kehadiran manusia dan menghentikan operasi saat kontak terjadi. Gambar 2-6 menunjukkan cobot yang memiliki tugas sebagai pengangkatan beban ringan, pemasangan komponen, dan pengemasan, serta mudah dipindahkan dan diprogram sesuai kebutuhan, menjadikannya ideal untuk lini produksi yang beragam (Matheson et al. 2019).

2. Robot Industrial



Gambar 2-7 Robot Industrial 4 axis

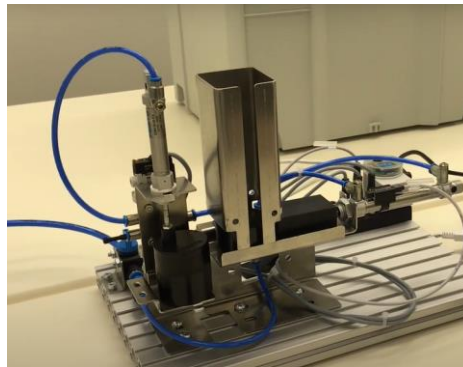
Sumber: EPSON Robots

Menurut IFR (ISO 8373:2021), robot industri adalah manipulator multiguna yang dapat diprogram ulang dengan tiga atau lebih sumbu dan dapat ditempatkan tetap atau pada platform bergerak untuk aplikasi otomasi di lingkungan industry seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2-7. Robot industri

dapat diadaptasi untuk aplikasi lain dengan perubahan fisik pada segmen yang berengsel atau bergeser dan sumbu (arah gerakan linear atau putar). Robot industri memiliki berbagai jenis berdasarkan struktur mekanis, termasuk robot kartesian, SCARA (*Selective Compliance Assembly Robot Arm*), artikulasi, paralel/delta, silinder, dan polar.

2.2.4 Handling Station Stacking magazine

Handling station digunakan dalam dunia industri untuk memindahkan material atau bongkar muat barang. Pemanfaatannya digunakan dalam otomatisasi industri agar pemindahan barang dapat digunakan secara terus-menerus dan termonitor.



Gambar 2-8 *Stacking magazine*

Sumber: Festo Japan

Sistem otomatisasi yang diperlukan mencakup kontrol dan pemantauan proses secara langsung, cepat, dan efisien. Sistem ini biasanya merupakan kombinasi dari sistem elektrik, mekanik, hidrolik, dan pneumatik (Amin, 2019). *Stacking magazine* merupakan salah satu proses penerapan konsep *handling station* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2-8. Modul *stacking magazine* berfungsi untuk menampung benda kerja atau komponen yang akan di transfer ke stasiun berikutnya yang memungkinkan proses pemisahan atau penyortiran benda kerja (Badarudin, 2022). Sistem ini memungkinkan tugas produksi sederhana seperti pengepresan bagian atau penyortiran. Meja kerja yang digunakan dalam mekanisme *stacking magazine* dapat disesuaikan posisinya untuk transfer benda kerja antar sistem parsial dengan mengkombinasikan sistem pneumatik dan sensor sebagai kontrol otomatis.

2.2.5 MDF (*Medium Density Fiberboard*)



Gambar 2-9 Papan MDF (*Medium Density Fiberboard*)

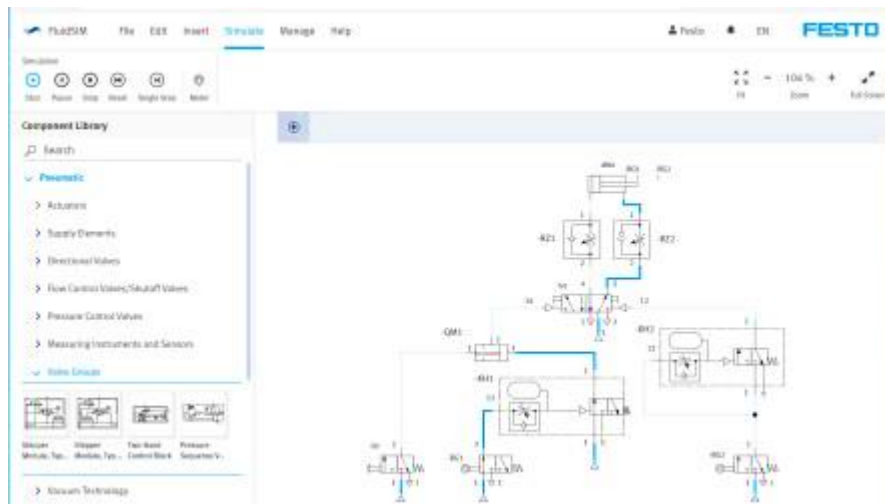
Sumber: Romwood Group

Medium Density Fiberboard (MDF) merupakan salah satu jenis *fiberboard* yaitu kayu yang terdiri dari material kayu buatan yang terbentuk dari serat atau serutan kayu yang direkatkan guna meningkatkan kekuatan dan stabilitas. MDF umumnya berbentuk papan kayu olahan yang terbuat dari sisa potongan kayu dan campuran resin yang dipadatkan dengan diberi tekanan, dimana proses produksi ini memanfaatkan limbah kayu seperti serbuk gergaji yang dicampur dengan resin sebagai perekat, menghasilkan papan dengan kepadatan sedang antara 0,4-0,8 g/cm³, permukaan halus yang mudah dicat dan dilaminasi, serta kadar air maksimum 13%, dengan kerapatan dan kekerasan yang seragam, menjadikannya fleksibel dalam penggunaan dan relatif murah dibandingkan kayu solid, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2-9. Sehingga MDF sering digunakan dalam pembuatan furnitur seperti meja, lemari, kusen jendela, pintu, serta bahan dekoratif lainnya, dan berperan penting dalam mendukung keberlanjutan lingkungan dengan mengatasi masalah kelangkaan kayu melalui daur ulang limbah kayu. (Sayekti dkk., 2022)

2.2.6 *Software Festo FluidSIM*

Pemilihan silinder pneumatik dilakukan melalui analisis untuk memastikan kesesuaiannya dengan kebutuhan sistem, yang dapat dibantu menggunakan

perangkat lunak simulasi. Fluidsim, merupakan salah satu *software* simulasi visual yang dikembangkan oleh Festo Didactic, yang mendukung pemodelan sistem pneumatik, hidrolik, dan elektrik. *Software* FluidSIM telah digunakan luas di pendidikan dan industri, memudahkan perancangan, pengujian, dan pemahaman sistem otomasi, termasuk komponen seperti silinder pneumatik dan katup seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2-10 berikut.



Gambar 2- 10 Simulasi FLuidSIM pada silinder pneumatik

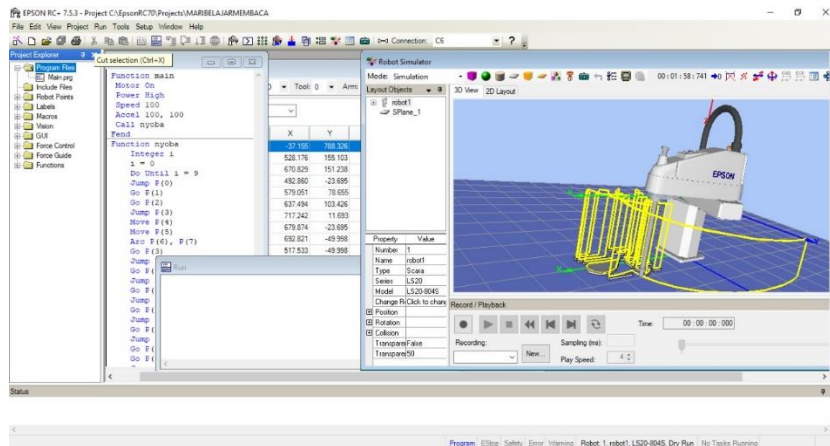
Sumber: Festo FluidSIM

Fluidsim menyediakan fitur seperti desain sirkuit visual, simulasi waktu nyata, dan pemodelan dinamis, yang mampu memberikan hasil simulasi mendekati kondisi nyata serta kompatibel dengan perangkat keras industri. Ini membuat Fluidsim ideal untuk edukasi, riset, desain teknik, dan optimalisasi sistem pneumatik dan hidrolik dalam industri.

2.2.7 *Software* simulasi EPSON RC+ 7

Epson RC+ 7.0 adalah perangkat lunak simulasi yang dirancang untuk memprogram dan menguji robot Epson dalam lingkungan virtual, sehingga memungkinkan pengguna untuk mengembangkan, mengonfigurasi, serta melakukan *debug* terhadap aplikasi robot sebelum pengujian fisik dilakukan. Dengan memanfaatkan fitur seperti 3D simulator, pengguna dapat secara detail memvisualisasikan gerakan robot, menilai lintasan yang diambil, dan

mengidentifikasi potensi masalah dalam proses manufaktur. Perangkat lunak ini juga dilengkapi dengan dukungan integrasi *periferal*, seperti *conveyor*, *gripper*, dan kamera, yang memungkinkan terciptanya sistem otomatisasi yang lebih kompleks.



Gambar 2- 11 *Software EPSON RC+ 7*

Keunggulan utama dari Epsom RC+ 7.0 terletak pada kemampuannya untuk secara presisi meniru kondisi nyata, termasuk simulasi sensor, sistem visi, dan lingkungan kerja yang mencerminkan situasi fisik di pabrik, yang sangat berguna dalam pengembangan sistem otomatisasi industri yang melibatkan robot SCARA, 6-axis, maupun robot linear. Gambar 2-11 menunjukkan bahwa modul simulasi yang terdapat dalam EPSON RC+ 7 dapat digunakan tanpa memerlukan robot fisik, sehingga dapat mengurangi risiko dan biaya yang terkait dengan pengujian awal, serta mempercepat waktu produksi dengan meminimalisir downtime saat transisi ke lingkungan produksi nyata.

2.2.8 *Man-machine chart*

Man-machine chart adalah metode yang digunakan untuk menganalisis dan menggambarkan interaksi antara operator manusia dan mesin dalam proses produksi dengan mencatat hubungan antara waktu kerja dan waktu menganggur. Diagram ini mengidentifikasi empat kemungkinan skenario:

1. ketika operator bekerja sementara mesin dalam keadaan *idle* (diam dalam waktu lama)
2. ketika operator *idle* sementara mesin beroperasi

3. ketika keduanya bekerja secara bersamaan
4. ketika keduanya dalam keadaan *idle*

Tujuan metode ini adalah meminimalkan waktu menganggur dan meningkatkan efisiensi dengan memberikan tugas tambahan kepada operator selama waktu tunggu, serta menyeimbangkan beban kerja untuk mencegah keletihan yang berdampak negatif pada kualitas produk dan kesejahteraan pekerja langkah-langkah implementasinya mencakup pengumpulan data melalui observasi dan wawancara, visualisasi aktivitas kerja dalam diagram berskala yang mencerminkan durasi setiap kegiatan, serta penyusunan usulan perbaikan berdasarkan hasil analisis, sehingga *Man-machine chart* berfungsi untuk mengidentifikasi dan mengurangi waktu tidak produktif, meningkatkan kualitas produk dan efektivitas operasional dalam lingkungan industri, serta menciptakan kondisi kerja yang lebih efisien dan responsif terhadap kebutuhan industri modern.

2.2.9 Efisiensi

Efisiensi merupakan upaya memaksimalkan output bersamaan dengan meminimalkan sumber daya input seperti tenaga kerja, bahan, dan waktu. Hal ini dapat mengoptimalkan proses, pengurangan limbah, dan peningkatan produktivitas untuk mencapai profitabilitas dan daya saing yang lebih tinggi di pasar (Doll dan Orazem 1984). Umumnya nilai efisiensi diperoleh dengan membagi output yang dihasilkan dengan input nilai yang dimasukkan. Dalam menghitung efisiensi sebuah mesin atau proses mekanis output dan input dapat berupa daya, energi, atau jumlah produk yang dihasilkan. Dalam melakukan perhitungan efisiensi dapat menggunakan persamaan (2.9).

$$Efisiensi = \frac{output}{Input} \times 100\% \quad (2.2)$$

2.2.10 Low-Cost Automation (LCA)

Low-Cost Automation (LCA) merupakan teknologi untuk menciptakan otomatisasi tingkat tertentu dengan memanfaatkan peralatan, metode, dan komponen yang tersedia di pasaran secara ekonomis. Penerapan LCA bertujuan untuk meringankan beban kerja manusia pada tugas rutin, sehingga memungkinkan

fokus pada pengambilan keputusan strategis. Teknologi ini menggunakan komponen sederhana seperti solenoid *valves*, aktuator elektrik, pneumatik aktuator, aktuator hidrolis, serta *limit switch* dan *relay* elektrik yang terjangkau dan mudah diperoleh, guna membentuk sistem otomatisasi sederhana namun efektif dalam meningkatkan produktivitas. LCA berperan dalam meningkatkan kualitas dan konsistensi produk, mengurangi biaya tenaga kerja langsung, mempercepat waktu produksi, serta meningkatkan respons terhadap kebutuhan konsumen (A. Lohit, 2018). Penggunaan LCA dapat menciptakan peluang kerja di bidang pengembangan, pemeliharaan, dan pengoperasian proses otomatis. Dengan demikian, LCA merupakan solusi otomatisasi hemat biaya yang mempertahankan efisiensi produksi tanpa memerlukan investasi besar pada teknologi canggih.

2.2.11 Silinder Pneumatik

Silinder pneumatik adalah aktuator yang menggunakan udara bertekanan untuk menghasilkan gerakan linier piston. Terdapat dua jenis, yaitu silinder kerja tunggal dan silinder kerja ganda. Dengan memanfaatkan udara terkompresi, silinder ini mampu menjepit, memindahkan, atau mengatur posisi beban. Semakin besar diameter silinder, semakin besar gaya yang dihasilkan.



Gambar 2-12 Silinder pneumatik

Sumber: SMC world

Silinder pneumatik merupakan aktuator atau perangkat mekanis yang memanfaatkan udara bertekanan untuk menghasilkan gerakan bolak-balik piston secara linier seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2-6. Silinder pneumatik dikategorikan menjadi dua jenis, yaitu Silinder kerja tunggal dan silinder kerja ganda. Prinsip kerja silinder pneumatik menggunakan udara terkompresi untuk menciptakan gerakan mekanis, baik berputar maupun linier, serta aplikasi daya.

Aktuator pneumatik menggunakan udara terkompresi untuk menggerakkan piston di dalam silinder, menghasilkan gerakan yang diperlukan seperti menjepit atau memindahkan beban sepanjang jalur linier.

Silinder pneumatik banyak digunakan dalam industri sebagai aktuator karena memiliki beberapa keunggulan seperti harga yang relatif murah, kemudahan pemasangan, konstruksi yang sederhana dan kokoh, serta ketersediaan dalam berbagai ukuran dan langkah kerja. Aplikasi silinder pneumatik mencakup pencengkaman, pergeseran, pengaturan posisi, dan pengaturan arah benda kerja, serta digunakan dalam aplikasi robotika. Dalam melakukan proses perancangan, terdapat beberapa tahapan yang harus dilakukan untuk menghasilkan silinder pneumatik yang dapat digunakan oleh pengguna. Tahapan-tahapan ini mencakup analisis kebutuhan, perancangan mekanis, pemilihan material, serta pengujian dan evaluasi untuk memastikan silinder pneumatik memenuhi spesifikasi dan kinerja yang diharapkan. (Satrya & Halim, 2023)

2.2.12 Metode Taguchi dan Analisis ANOVA

Design of Experiment (DOE) adalah metode untuk merencanakan dan menganalisis percobaan guna memahami pengaruh variabel-variabel (faktor) terhadap hasil (respons). Metode ini mengidentifikasi faktor-faktor signifikan, menentukan interaksi antar variabel, dan mengoptimalkan kondisi percobaan untuk mencapai hasil terbaik. Metode Taguchi, sebagai salah satu pendekatan dalam DOE, dirancang oleh Genichi Taguchi untuk mengoptimalkan kinerja teknik dengan menyesuaikan parameter desain secara efisien, sehingga meningkatkan kualitas dan mengurangi biaya. Dalam metode Taguchi, array ortogonal digunakan untuk meminimalkan waktu dan biaya percobaan. Taguchi juga memperkenalkan *signal-to-noise ratio* (S/N) sebagai ukuran kualitas dalam desain teknik, yang terdiri dari tiga jenis karakteristik: semakin rendah semakin baik, nominal semakin baik, dan semakin tinggi semakin baik (Ayyildiz dkk., 2021). Dalam penelitian ini, karakteristik kualitas yang digunakan adalah "semakin rendah semakin baik" untuk meminimalkan kegagalan pada hasil *drilling*.

Selain itu, untuk mengevaluasi pengaruh parameter proses terhadap kualitas hasil, digunakan analisis varians (ANOVA) yang membantu menentukan

signifikansi perbedaan hasil percobaan. ANOVA memungkinkan identifikasi faktor-faktor yang paling mempengaruhi hasil serta menilai apakah parameter yang diuji berdampak signifikan pada hasil *drilling* yang optimal. Dengan memadukan metode Taguchi dan ANOVA, penelitian ini bertujuan mengoptimalkan parameter kecepatan mesin *drilling* guna memperoleh hasil yang lebih baik, terutama dalam mencapai diameter lubang yang diinginkan dan waktu proses *drilling* yang lebih cepat.

2.2.13 Penilaian Risiko (*Risk-Assessment*) Dengan Metode

HIRADC

HIRADC adalah sebuah metode yang digunakan untuk mencegah dan mengantisipasi kecelakaan kerja dengan mengambil langkah-langkah yang memprioritaskan keselamatan serta kesehatan kerja, baik bagi karyawan maupun peralatan. Prosedur ini dirancang untuk membantu dalam mengidentifikasi potensi bahaya dan menilai risiko di tempat kerja, serta menetapkan langkah-langkah pengendalian yang diperlukan. Tujuan utama prosedur ini adalah melindungi kesejahteraan karyawan, meningkatkan efisiensi kerja, dan mencegah kecelakaan serta penyakit terkait pekerjaan. Prosedur ini dapat dilakukan dengan melakukan identifikasi bahaya (Kevin & Yayok, 2024). Identifikasi dapat diukur dengan mengenali semua potensi yang menyebabkan cedera pada individu atau kerusakan pada peralatan dan lingkungan kerja (Ilmi, 2019). Identifikasi bahaya juga dapat dilakukan guna menentukan potensi risiko dalam aktivitas suatu organisasi yang dapat digunakan dalam pengembangan sistem manajemen risiko untuk keselamatan dan kesehatan kerja (Rumita & Jantitya, 2014).

Penilaian risiko adalah elemen krusial dalam analisis yang melibatkan evaluasi tingkat risiko serta perancangan langkah-langkah pengendalian yang diperlukan untuk mengurangi kemungkinan kecelakaan atau penyakit akibat kerja (Hidayat, 2020). Proses ini dibagi menjadi empat kategori, rendah, sedang, tinggi, dan sangat tinggi dimana penilaian dilakukan dengan mengalikan frekuensi kemungkinan terjadinya risiko (*likelihood*) dengan tingkat keparahan dampaknya (*saverity*) (Ermiyati dkk., 2021). Tabel penilaian resiko (*likelihood*) dan dampak (*saverity*) disajikan pada Tabel 2-1 dan Tabel 2-2 berikut.

Tabel 2-1 Penilaian risiko berdasarkan *Likelihood*

(Kevin & Yayok, 2024)

Rating	Kategori	Deskripsi
1	<i>Rare</i>	Suatu kasus yang mungkin muncul pada suatu keadaan yang luar biasa /khusus /setelah bertahun-tahun tidak terjadi
2	<i>Unlikely</i>	Suatu kasus yang kecil kemungkinannya untuk muncul pada beberapa keadaan tertentu
3	<i>Moderate</i>	Suatu kasus yang akan muncul dalam beberapa keadaan tertentu
4	<i>Likely</i>	Suatu Kasus yang mungkin muncul pada hampir setiap keadaan
5	<i>Almost Certain</i>	Suatu kasus yang pasti muncul di setiap keadaan/semua kegiatan yang dilaksanakan oleh industri/usaha

Tabel 2-2 Penilaian risiko berdasarkan *Saverity* (Kevin & Yayok, 2024)

Rating	Kategori	Deskripsi
1	<i>Insignification</i>	Tanpa cedera dan/atau kecil kerugian materinya
2	<i>Minor</i>	Membutuhkan perawatan/pertolongan pertama dan/atau tingkat kerugian materi sedang
3	<i>Moderate</i>	Membutuhkan perawatan medis (sehingga membutuhkan istirahat sementara waktu) yang berdampak pada hilangnya hari kerja dan/atau menimbulkan kerugian materi yang cukup besar
4	<i>Major</i>	Mengakibatkan kehilangan fungsi tubuh (cacat) dan /atau proses produksi terhenti dan /atau mengakibatkan kerugian materi yang besar.
5	<i>Catastrophe</i>	Menyebabkan kematian dan/atau mengakibatkan kerugian materi yang sangat besar

2.2.14 *Design for Manufacturing and Assembly (DfMA)*

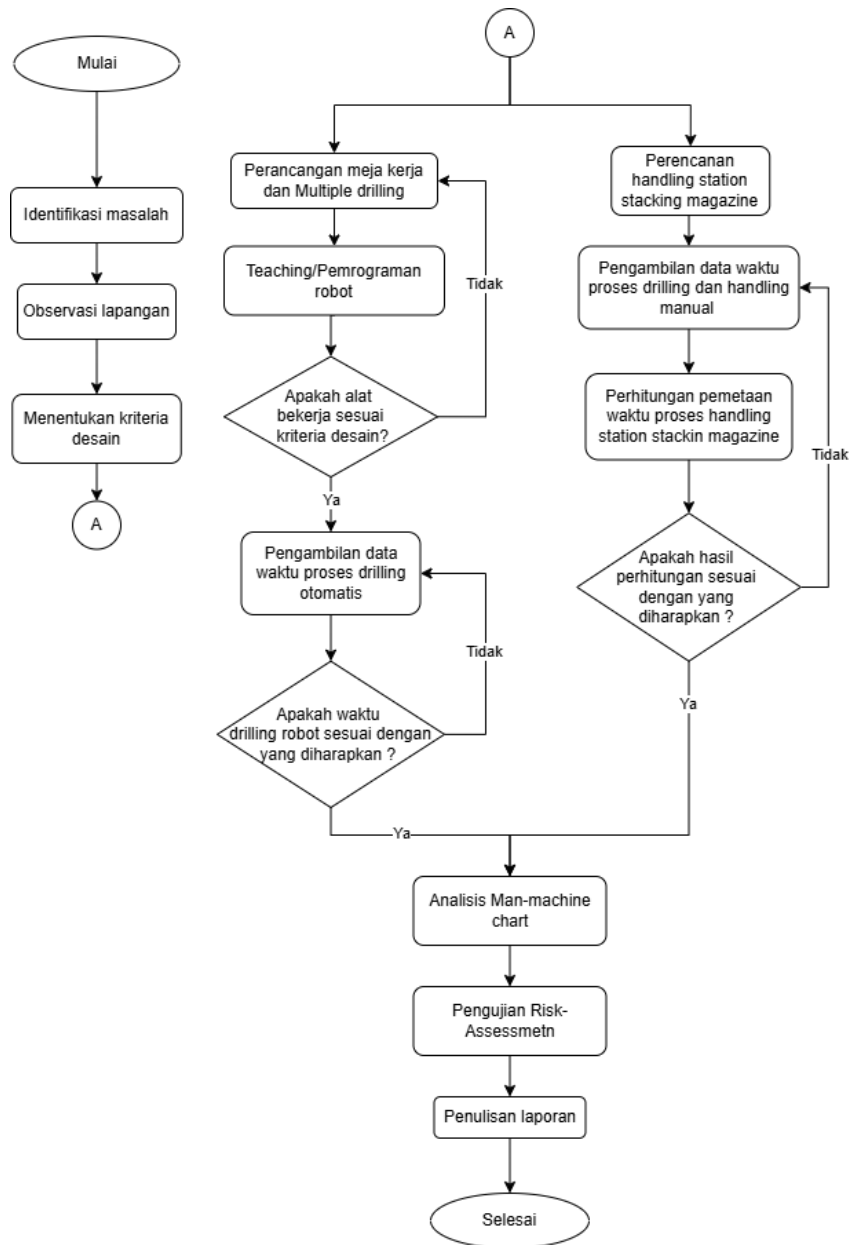
Design for Manufacturing and Assembly (DfMA) merupakan proses rekayasa terintegrasi yang berfokus pada optimalisasi desain untuk memudahkan proses manufaktur dan perakitan. Salah satu tantangan dalam penerapannya adalah integrasi dengan sistem CAD 3D untuk memodelkan desain secara lebih akurat. DfMA membantu insinyur dalam mengembangkan produk sesuai parameter yang

ditetapkan, sambil mengidentifikasi potensi masalah manufaktur dan mengontrol biaya sejak awal desain. (Campi dkk., 2022). Pada tahap DfMA, SolidWorks digunakan sebagai perangkat lunak CAD 3D yang memungkinkan pembuatan desain part, drawing, dan *assembly*, serta analisis terhadap desain yang telah dibuat. Dengan SolidWorks, optimalisasi desain dan deteksi masalah manufaktur dapat dilakukan lebih awal, sehingga pengurangan biaya dan waktu pengembangan produk mekanis dapat dicapai.

BAB 3 METODE PENELITIAN

3.1 Alur Penelitian

Untuk mempermudah melakukan proses penelitian yang dilakukan, peneliti menggunakan skema yang ditunjukkan pada Gambar 3-1 berikut sebagai alur penelitian.



Gambar 3- 1 Alur penelitian

3.2 Peralatan dan Bahan

Dalam perancangan *multiple spindle drilling* terdapat tahapan observasi lapangan untuk mengumpulkan data yang diperlukan dalam proses identifikasi guna menentukan konsep desain. Dari hasil observasi tersebut, diidentifikasi beberapa kebutuhan terkait peralatan dan bahan yang diperlukan sebagai pendukung perancangan. Daftar peralatan dan bahan merupakan yang digunakan pada proses pembuatan *multiple spindle drilling*, disajikan dalam Tabel 3-1 sebagai daftar alat dan Tabel 3-2 sebagai daftar bahan yang dibutuhkan.

Tabel 3-1 Peralatan

No	Nama alat	Fungsi
1	Pc/Laptop	Mendesain menggunakan <i>software</i> Solidworks 2023, melakukan pemrograman robot menggunakan EPSON RC+, dan Analisis menggunakan Festo fluidsm
2	Smartphone	Mendokumentasikan foto/video
3	Gerinda potong (<i>Cut off saw</i>)	Untuk melakukan pemotongan material
4	Kunci L	Untuk mengencangkan baut
5	Kunci pass	Untuk memasang dan sebagai cengkaman <i>nut</i>
6	Mesin Frais	Untuk melakukan proses permesinan
7	Avometer	Untuk mengukur tegangan
8	Tang potong dan crimping	Melakukan pemotongan pada kabel dan selang
9	Meteran	Melakukan pengukuran
10	Penggaris	Melakukan pengukuran
11	Jangka sorong	Melakukan pengukuran skala detail (milimeter)
12	Alat tulis	Media sketsa alat, perhitungan alat, dan pencatatan
13	Mesin CNC	Proses permesinan presisi tinggi

Tabel 3-2 Bahan perancangan

No	Nama Bahan	Fungsi
1	Aluminium Profile (40 x 40 mm)	Sebagai bahan untuk Frame meja dan <i>handling station</i>
2	Aluminium Joint	Sebagai penyambung tepi aluminium
3	Plat aluminium 10 mm	Sebagai material <i>bracket Multiple drilling</i>
4	Regulator	Sebagai pengatur tekanan udara terkompresi

No	Nama Bahan	Fungsi
5	Dust collector	Untuk vakum debu atau kotoran hasil <i>drilling</i>
6	Selang PU 8	Sebagai jalur udara terkompresi
7	kopler	Untuk penghubung poros selang PU
8	Fitting pneumatik	Untuk menghubungkan sistem pneumatik
9	Silinder pneumatik	Sebagai aktuator gerakan linear
10	<i>Air Drilling Machine Tools</i>	Sebagai mesin <i>drilling</i> MSDT
11	Arm Robot Epson SCARA T6	Sebagai robot lengan
12	<i>Module relay</i>	Mengontrol pemrograman input dan output
13	<i>Push button switch</i> dan <i>Emergency button</i>	Mengaktifkan atau mematikan sumber listrik
14	Kabel ties	Untuk mengelompokkan beberapa kabel dan selang
15	Kabel AWG 24	Penghubung rangkaian elektronik
16	Mata <i>drill</i> /spindel	Untuk membuat lubang MSDT
17	<i>Hex screw</i> dan <i>nut</i> (M3, M4, M6 M8, panjang 2 mm-4 mm)	Menggabungkan beberapa komponen

3.3 Kriteria Desain

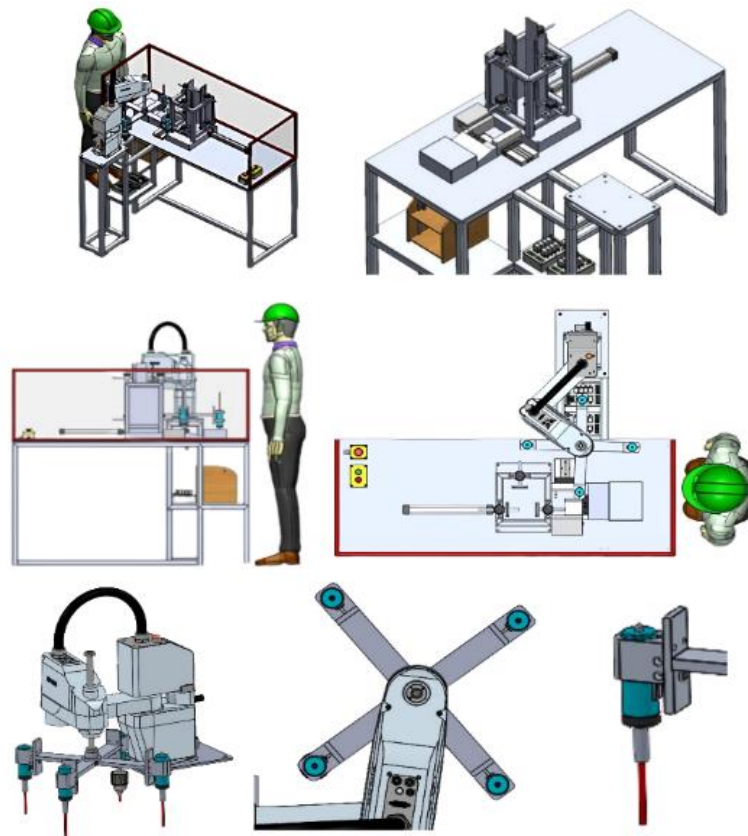
Sebelum proses perancangan dilakukan, berdasarkan hasil observasi pembuatan *Multiple spindle drilling* dan juga *Handling station Stacking magazine* diperoleh beberapa kriteria agar hasil perancangan yang dilakukan optimal. Berikut merupakan kriteria perancangan yang diperoleh:

1. *Bracket* MSDT (*Multiple Spindle Drilling Tools*) dirancang agar tidak menabrak *stacking magazine* atau membahayakan operator.
2. *Stacking magazine* fleksibel dan dapat digunakan untuk berbagai model.
3. Sistem mampu melakukan *drilling* dan *handling* MDF secara otomatis menggunakan jig dan mekanisme *multiple drilling* yang disesuaikan dengan model.
4. Sistem mendukung kerja operator dengan mengutamakan efektivitas operasional dan keselamatan kerja.

3.4 Alternatif Desain *Multiple Drilling* Dan *Stacking magazine*

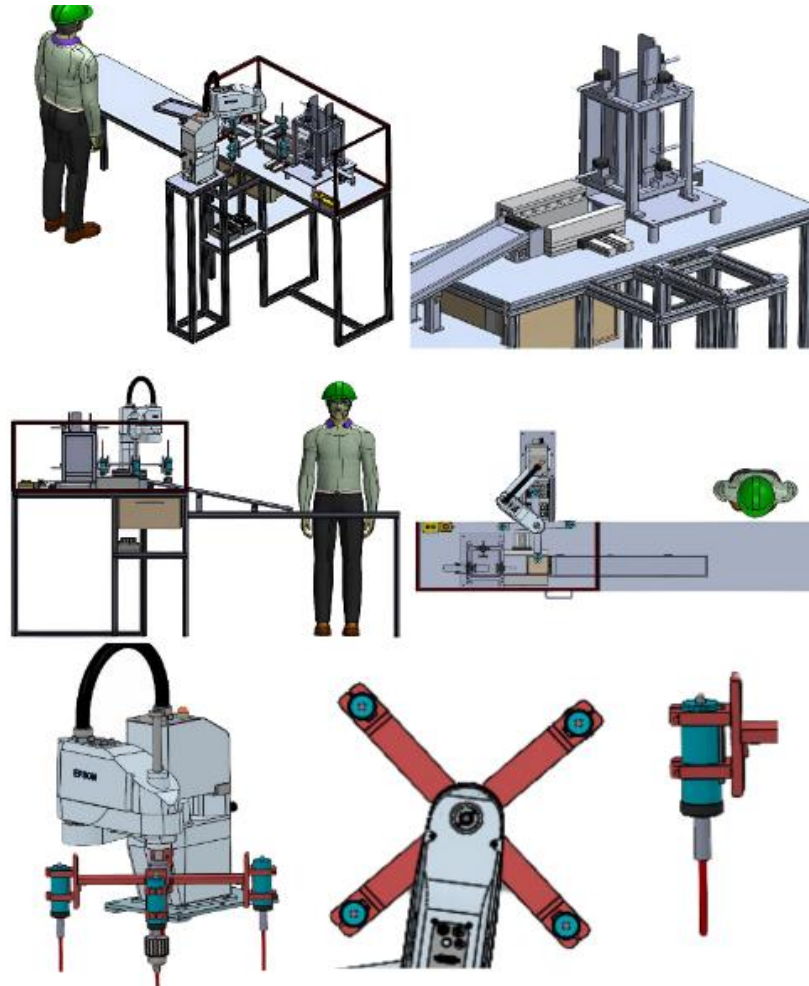
Dalam proses perancangan sistem *multiple drilling* lengan robot dan *handling station stacking magazine* diperoleh alternatif desain untuk membandingkan mekanisme yang paling optimal untuk digunakan. Pemilihan alternatif desain ini dilakukan sebelum menetapkan desain akhir yang akan dijadikan referensi utama dalam tahap perancangan *multiple drilling* dan perencanaan *handling station stacking magazine* lebih lanjut. Gambar 3-2 dan Gambar 3-3 berikut merupakan model alternatif desain yang telah disusun sebagai bahan evaluasi untuk menetapkan desain terbaik.

1. Alternatif desain 1



Gambar 3-2 Alternatif desain 1

2. Alternatif desain 2



Gambar 3-3 Alternatif desain 2

Dari kedua desain diatas terdapat kelebihan dan kekurangan dari setiap alternatif desain yang disajikan pada tabel 3-3 berikut.

Tabel 3-3 Kelebihan alternatif desain 1 dan 2

Parameter	Desain 1	Desain 2
Kelebihan	<ul style="list-style-type: none"> - <i>Bracket drilling</i> lebih tebal dan kuat untuk mencengkram. - Sistem lebih ringan dan ringkas karena terpisah dengan proses berikutnya. - Sistem lebih ringkas karena lintasan <i>clamping</i> lebih pendek. 	<ul style="list-style-type: none"> - <i>Bracket drilling</i> lebih ringan karena <i>bracket</i> cengkraman <i>bracket</i> pada sisi atas dan bawah. - Sistem <i>handling</i> lebih ergonomis karena menyatu dengan proses berikutnya.

Parameter	Desain 1	Desain 2
	<ul style="list-style-type: none"> - Pengaturan posisi dan instalasi silinder <i>stacking</i> pneumatik lebih mudah karena berada diluar. - Kerangka meja menggunakan besi holo 40x40x2 mm sehingga lebih kuat. 	<ul style="list-style-type: none"> - Sistem lebih ringkas karena <i>stacking</i> pneumatik berada dibawah <i>magazine</i>. - <i>Mounting drilling</i> lebih pendek sehingga mampu meminimalisir tabrakan dengan operator. - Placon roller menghadap sumbu horizontal sehingga meminimalisir placon terkena <i>drilling</i>. - Kerangka meja menggunakan Aluminum Frames Slot Width 8 40x40x2 mm yang memiliki keunggulan ringan.
Kekurangan	<ul style="list-style-type: none"> - Operator perlu mengambil hasil <i>drilling</i> pada rak penyimpanan. - <i>Bracket</i> lebih berat daripada alternatif desain 2 - Sistem <i>handling</i> tidak terdapat penyangga pada sistem perpindahan menuju rak penyimpanan. - Placon roller berada pada posisi vertikal memungkinkan placon terkena mata <i>drill</i>. - Frame rawan berkarat dan cenderung berat untuk dipindahkan karena menggunakan besi holo. 	<ul style="list-style-type: none"> - Pengaturan posisi dan instalasi silinder <i>stacking</i> pneumatik lebih sulit karena berada dibawah <i>magazine</i>. - Memerlukan variasi <i>screw</i> dan <i>nut</i> yang cukup banyak seperti M4, M6, dan M8 dengan Panjang yang bervariasi. - Lintasan <i>clamping</i> lebih panjang sehingga proses teaching robot perlu dilakukan dengan baik agar tidak menabrak.



3.5 Rancangan *Multiple Drilling* Lengan Robot

Sistem *Multiple Drilling* pada lengan robot terdiri dari lengan robot dan mesin *drilling* yang dipilih sesuai kebutuhan operasional untuk meningkatkan presisi dan efisiensi kerja. Pemilihan komponen secara tepat bertujuan untuk meminimalkan risiko kegagalan, meningkatkan presisi pengeboran, dan efisiensi proses kerja. Kombinasi komponen yang optimal akan menghasilkan posisi pengeboran yang akurat serta hasil pengeboran yang konsisten, sehingga secara keseluruhan berkontribusi pada peningkatan efisiensi dan keselamatan kerja.

3.5.1 Proses Pemilihan Lengan Robot

PT. YEMI memiliki 2 buah robot yang tersedia untuk penelitian ini yaitu robot SCARA Epson T6 dan juga VT-6L. Kedua robot tersebut memiliki kekurangan dan kelebihan masing-masing jika diaplikasikan sebagai robot *Multiple Drilling*. Untuk mencapai hasil yang optimal, sesuai dengan kriteria desain dan mampu meminimalisir kecelakaan kerja, maka dilakukan perbandingan melalui Tabel 3-4 berikut.

Tabel 3-4 Perbandingan Robot EPSON T6 dan EPSON VT-6L

Parameter	SCARA Epson T6	Epson VT-6L
Gambar		
Safety	Panjang jangkauan maksimal 600 mm, terdiri dari 4 sumbu <i>axis</i> , dan pergerakan <i>point to point</i> . Sehingga dari segi safety ketika melakukan pembelajaran robot lebih aman, dengan jangkauan	Panjang jangkauan maksimal 900 mm, terdiri dari 6 sumbu <i>axis</i> , dan pergerakan <i>joint to joint</i> atau <i>by arc</i> . Sehingga pergerakan robot lebih bebas, terlebih dengan jangkauan yang panjang

Parameter	SCARA Epson T6	Epson VT-6L
	yang tidak terlalu panjang memungkinkan untuk tidak menabrak operator dan komponen lainnya.	kemungkinan robot menabrak operator ataupun komponen lainnya ada.
Maintenance	Lebih mudah karena memiliki komponen yang lebih sedikit.	Cenderung lebih sulit karena memiliki komponen yang cukup banyak.
Cost	± 9.900 \$	± 14.900 \$
Maxload	6kg	4-6kg
Stabilitas	Memiliki pergerakan yang cenderung lebih stabil untuk proses <i>drilling</i> karena memiliki pergerakan axial dan vertikal yang bertumpu pada satu titik.	Memiliki joint yang lebih banyak dan memerlukan kombinasi gerakan rotasi untuk menciptakan gerakan vertikal atau horizontal.
Instalasi	Proses instalasi lebih mudah karena memiliki bentuk yang compact dan pemrograman “jump” (point to point) sehingga lebih mudah.	Memiliki dimensi yang cukup besar dan beban yang lebih berat serta pemrograman “arc” (membuat rotasi) sehingga membutuhkan beberapa kombinasi.

3.5.2 Proses Pemilihan Mesin *Drilling* dengan Metode Taguchi

Berdasarkan hasil observasi, PT. YEMI memiliki tiga mesin *drilling* dengan tipe dan merek yang berbeda, yaitu dua mesin *drilling* pneumatik dan satu mesin manual pada Gambar 3-4. Penggunaan dan pengujian terhadap komponen-komponen ini bertujuan untuk meningkatkan efisiensi pengembangan dengan menerapkan konsep *Low Cost Automation*.

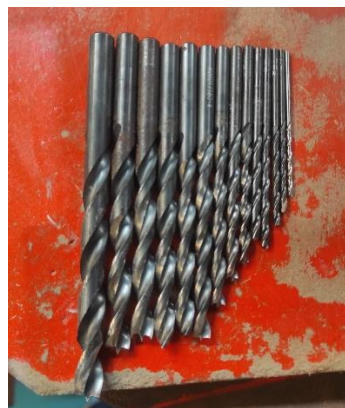


Gambar 3-4 Variasi mesin *drilling* di PT. YEMI

Variasi kecepatan putar spindel pada masing-masing mesin mempengaruhi hasil pemakanan material MDF, sehingga diperlukan pengujian untuk menentukan kecepatan pengeboran optimal. Dengan kecepatan potong (v_c) yang ditetapkan sebesar 30 m/menit (Mohd-Lair dkk., 2019), perhitungan pemakanan MDF dilakukan menggunakan Persamaan 2.1.

$$n = \frac{v_c \times 1000}{D_c \times \pi}$$

Penghitungan ini bertujuan untuk memastikan agar mesin *drilling* dapat digunakan pada berbagai model MDF dengan variasi diameter mata bor (D_c) yang digunakan pada proses *drilling*. Gambar 3-5 menunjukkan variasi diameter mata *drilling* yang digunakan PT. YEMI dengan diameter 9 mm, 8 mm, 7.5 mm, 7 mm, 6.4 mm, 6 mm, 5 mm, 4.5 mm, 4 mm, 3.5 mm, 3.2 mm, 3 mm, 2.7 mm, 2.3 mm, 2 mm, 1.85 mm, dan 1 mm.



Gambar 3-5 Variasi diameter mata *drill*

Penelitian ini menggunakan model *speaker* NS-F700 yang memerlukan mata bor dengan diameter 8 mm, 4 mm, 2,3 mm, dan 1,85 mm untuk melubangi material MDF dengan jenis HSS (*High Speed Steel*). Pengujian dilakukan dengan metode Taguchi menggunakan mata bor berdiameter kecil, sedang, dan besar untuk

mengetahui mesin *drilling* yang layak digunakan. Pengujian dilakukan secara acak dengan tiga mesin *drilling* yang dimiliki PT. YEMI untuk efisiensi waktu. Untuk mengetahui S/N ratio atau rasio sinyal terhadap kebisingan digunakan persamaan berikut.

$$\eta = \left(\frac{S}{N} \right) = -10 \log \left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right] \quad (3.1)$$

Dalam penelitian ini, n merujuk pada jumlah data dari percobaan, dan y_i adalah data yang diukur pada percobaan ke-i. Selain rasio sinyal terhadap kebisingan, analisis statistik varians (ANOVA) digunakan untuk mengevaluasi pengaruh parameter proses terhadap kualitas hasil *drilling*. Parameter pengujian dan level-level yang dipertimbangkan dalam penelitian ini disajikan pada Tabel 3-5, dengan tata letak empiris menggunakan desain full faktorial melalui array ortogonal Taguchi L18 ($3^1 \times 6^1$) yang disajikan pada Tabel 3-6.

Tabel 3-5 Variasi faktor *control* dan level optimasi kecepatan *drilling*

Control factors	Variation						
	Symbol	Level 1	Level 2	Level 3	Level 4	Level 5	Level 6
Kecepatan <i>drilling</i> (RPM)	A	2300	2800	30000	-	-	-
Diameter mata <i>drill</i> (mm)	B	1	1,85	2,3	4	6	8

Tabel 3- 6 Array orthogonal taguchi L 18

Eksperimen	Faktor A	Faktor B
1	1	2300
2	1	2800
3	1	30000
4	1,85	2300
5	1,85	2800
6	1,85	30000
7	2,3	2300
8	2,3	2800
9	2,3	30000

Eksperimen	Faktor A	Faktor B
10	4	2300
11	4	2800
12	4	30000
13	6	2300
14	6	2800
15	6	30000
16	8	2300
17	8	2800
18	8	30000

Pemilihan kecepatan putar mesin *drilling* disesuaikan dengan ukuran mata bor untuk mencapai efisiensi dan kualitas pengeboran yang optimal. Meskipun penelitian ini hanya menggunakan empat jenis mata bor, perencanaan sistem ini dirancang agar dapat dikembangkan lebih lanjut, sehingga diperlukan pemilihan mesin *drilling* yang sesuai untuk mendukung penggunaan berbagai ukuran mata bor.

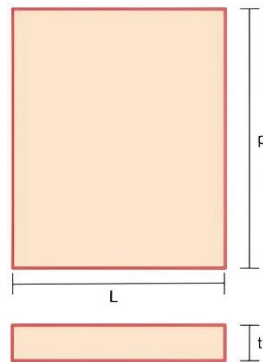
3.6 Perencanaan *Handling Station Stacking magazine*

Perencanaan *stacking magazine* dilakukan dengan menganalisis waktu mekanisme pada desain yang diterapkan untuk memastikan kesesuaiannya dengan kebutuhan. Perhitungan waktu digunakan untuk menilai efektivitas desain dalam meningkatkan efisiensi proses *drilling*. Analisis ini membandingkan proses *drilling* manual dengan *drilling* otomatis menggunakan *stacking magazine* sebagai *handling station*.

3.6.1 Proses Perencanaan Desain *Stacking magazine*

Stacking magazine berfungsi sebagai pengganti sistem *handling* manual. Sistem ini terdiri dari *magazine* yang berperan sebagai rak penyimpanan MDF serta dilengkapi dengan sistem *clamping* otomatis yang menggantikan fungsi jig manual. Mekanisme *stacking* dilakukan dengan mendorong material menggunakan silinder pneumatik. Perencanaan *stacking magazine* ini disesuaikan dengan variasi

ukuran MDF yang dimiliki oleh PT. YEMI, seperti ditunjukkan pada Gambar 3-6 dan Tabel 3-7.



Gambar 3-6 Ukuran MDF

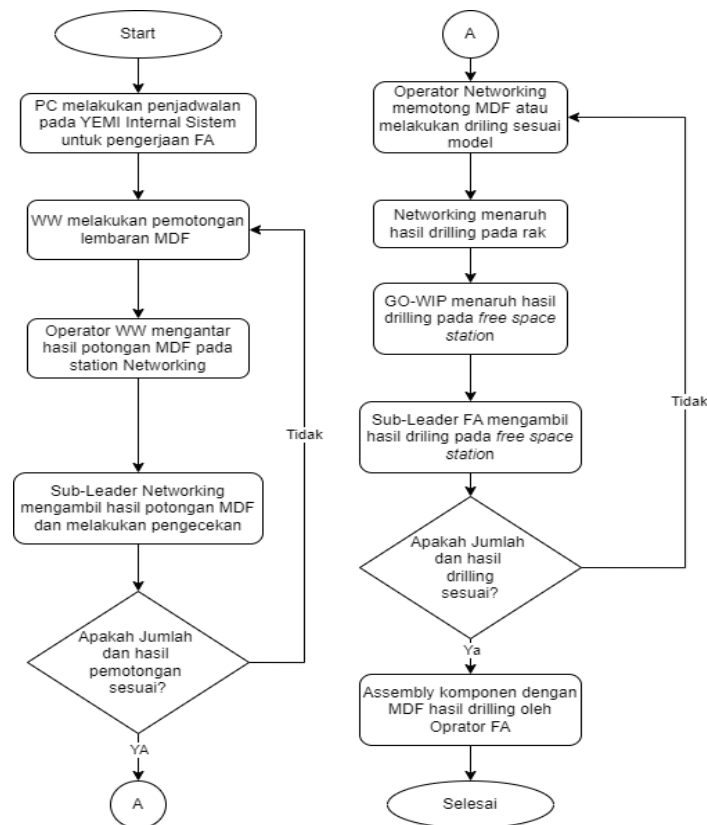
Tabel 3-7 Variasi ukuran model MDF PT. YEMI

Model	p (mm)	L (mm)	t (mm)
BP-301	70	85	10
NS-B500	80	100	
NS-B700	79	100	
BP-401	50	100	
NS-F500	100	130	
NS-C44	70	95	
NS 333 – NS B330	70	95	
NS-C500	100	100	
VS-510T	95	108	
NS-C700	100	120	
NS 777/555	75	150	
NS-C 901	78	100	
NS-B 901	80	100	
NS-F330	68	130	
VX-510W	95	145	
NS-F09LH	105	148	
NS-F700	105	150	
NS-B917	105	128	
NS-F091L	104	145	
NS-B750	68	129	
NS-F350	104	150	
F51	70	110	

Pengukuran MDF dilakukan secara berkala pada setiap model menggunakan penggaris dengan ketelitian 0,1 mm dan mikrometer dengan ketelitian 0,01 mm. Meskipun penelitian ini hanya berfokus pada model NS-F700 yang memiliki panjang 105 mm dan lebar 150 mm, sistem *stacking magazine* dirancang agar kompatibel dengan semua model MDF. Oleh karena itu, desain *stacking magazine* harus mampu menampung model MDF dengan panjang terkecil 50 mm hingga terbesar 104 mm, serta lebar terkecil 85 mm hingga terbesar 150 mm. Detail hasil pengukuran yang dilakukan memiliki toleransi sebesar $\pm 0,1$ mm untuk memastikan kesesuaian akurasi.

3.6.2 Proses *Handling* dan *Drilling* Manual

Untuk mengetahui durasi pada setiap tahapan proses *drilling* diperlukan pemahaman terkait alur proses *drilling* yang dilakukan pada 2 *line* (tempat) yang berbeda. Gambaran proses *drilling* disajikan pada diagram alur Gambar 3-7 berikut.



Gambar 3- 7 Alur kerja proses *drilling* manual

Alur kerja *assembly* di PT. YEMI dimulai dengan FA (*Final Assembly*) yang mengikuti jadwal dari sistem YEMI Internal, disusun oleh tim PC (*Production Control*) berdasarkan rencana produksi dan jumlah model. *Sub-leader* WW (*Wood Working*) memeriksa jadwal di monitor dan menginstruksikan operator WW untuk memotong lembaran MDF sesuai spesifikasi. Hasil potongan MDF dikirim menuju *line Networking* dan disimpan di *station* penyimpanan. Selanjutnya, *Sub-leader Networking* memeriksa hasil potongan dan jadwal, lalu operator *Networking* melakukan *drilling* atau pemotongan tambahan sesuai arahan.

Setelah selesai, hasil pekerjaan ditempatkan di rak, kemudian Go-WIP atau *dandori* memindahkannya ke *station* penumpukan hasil. Proses dilanjutkan dengan *Sub-leader* FA yang mengambil hasil *drilling* setelah proses *Assembly* sebelumnya selesai dan melakukan pengecekan hasil serta jumlah produk yang sesuai dengan jadwal. Jika terdapat ketidaksesuaian jumlah atau hasil *drilling*, *Sub-leader* FA akan memesan ulang atau meminta *rework* ke *line Wood Working*. Jika hasil sesuai, operator FA akan melanjutkan proses *Assembly* komponen elektrik dengan hasil *finishing* MDF.

3.6.3 Perhitungan Waktu Proses *Handling* dan *Drilling* Manual

Pengukuran waktu proses manual dilakukan menggunakan alat ukur berupa stopwatch dengan melakukan perhitungan berkala pada setiap proses untuk memastikan hasil yang akurat. Perhitungan waktu pada masing-masing proses *handling* dan *drilling* manual disajikan pada Tabel 3-8, Tabel 3-9 dan Tabel 3-10.

Tabel 3- 8 Waktu proses *drilling* pada *line* WW

Proses <i>Drilling</i>						
No	Isi Pekerjaan	Simbol				Waktu (s)
		Kerja	<i>Handling</i>	Inspeksi	Diam	
1	Ambil Jig sesuai model	1				27
2	Mengambil MDF pada rak sesuai model		1			9
3	Memasang MDF pada jig		1			10
4	Nyalakan mesin <i>drilling</i>	1				5
5	Melakukan proses <i>drilling</i> diameter lubang 1	1				8

Proses <i>Drilling</i>						
No	Isi Pekerjaan	Simbol				Waktu (s)
		Kerja	Handling	Inspeksi	Diam	
6	Memindahkan MDF pada mesin <i>drilling</i> 2	1				4
7	Melakukan proses <i>drilling</i> diameter lubang 2		1			155
8	Memindahkan MDF pada mesin <i>drilling</i> 3	1				4
9	Melakukan proses <i>drilling</i> diameter lubang 3		1			10
10	Memindahkan MDF pada mesin <i>drilling</i> 4	1				4
11	Melakukan proses <i>drilling</i> diameter lubang 4		1			17
12	Membersihkan sisa <i>drilling</i>	1				8
13	Memindahkan MDF pada rak kontainer		1			22
14	Order Material Handle (Go-Wip)				1	300
Total						583

Tabel 3- 9 Waktu proses pengantaran hasil *drilling* dari line WW menuju FA

Proses pengantaran hasil <i>drilling</i>						
No	Isi Pekerjaan	Simbol				Waktu (s)
		Kerja	Handlin	Inspeks	Diam	
1	Periksa penjadwalan penjemputan	1				6
2	Jalan menuju Line <i>Drilling</i>	1				90
3	Mengambil rak hasil <i>drilling</i>		1			44
4	Jalan menuju line Final assy	1				155
5	Menaruh rak pada <i>station</i>	1				25
Total						320

Tabel 3- 10 Waktu proses *assembly* pada line FA

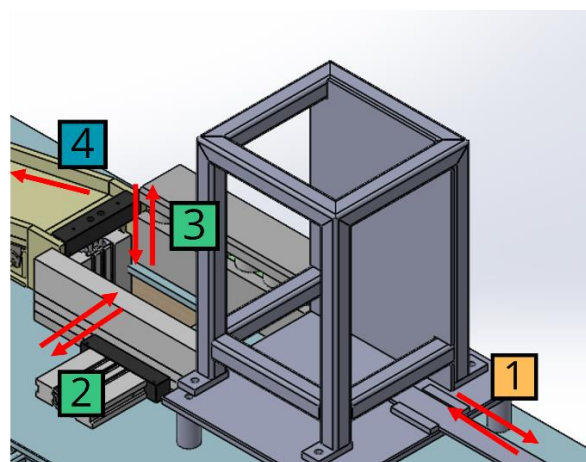
Proses <i>Assembly</i> FA						
No	Isi Pekerjaan	Simbol				Waktu (s)
		Kerja	Handling	Inspeksi	Diam	
1	Mengambil material Finish <i>Drilling</i>		1			38
2	Ambil komponen elektrik sesuai model		1			16
3	Siapkan Glue	1				4

Proses <i>Assembly</i> FA						
No	Isi Pekerjaan	Simbol				Waktu (s)
		Kerja	<i>Handling</i>	Inspeksi	Diam	
4	Siapkan solder dan timah	1				4
5	Penyolderan komponen elektrik	1				95
6	Pengeleman komponen elektrik Pada MDF	1				56
7	Mengeringkan lem	1				30
8	Membersihkan sisa lem	1				18
9	Menaruh hasil <i>assembly</i> pada box		1			16
Total						320

Proses perhitungan waktu dilakukan dengan observasi secara langsung pada setiap proses. Hasil Perhitungan waktu tersebut digunakan sebagai referensi pada perbandingan proses *drilling* manual dengan hasil perancangan *multiple drilling* dan perencanaan *handling station stacking magazine*.

3.6.4 Proses Pengujian Waktu Proses *Handling* Otomatis

Pengujian waktu proses *handling* otomatis bertujuan untuk menganalisis pergerakan MDF dan membandingkan efisiensi antara mekanisme *handling* otomatis dan manual. Setiap pergerakan dihitung sebagai input pada *Man-machine chart* sistem otomatis. Ilustrasi perencanaan proses *handling* otomatis dapat dilihat pada Gambar 3-8 berikut.



Gambar 3-8 Perencanaan desain mekanisme *Stacking magazine*

Pada tahapan perencanaan proses *handling* otomatis terdapat beberapa tahapan yang perlu dilakukan perhitungan waktu sebagai input pada *Man-machine*

chart. Proses 1 merupakan pergerakan maju-mundur silinder pneumatik untuk mendorong material MDF. Proses 2 dan 3 merupakan proses silinder melakukan *clamping* dan insert otomatis sebagai pengganti jig. Proses 4 merupakan proses MDF meluncur menuju operator untuk dilanjutkan menuju proses *Assembly*. Perhitungan waktu dari segi mekanis dilakukan pada proses 1 hingga 4 untuk mengetahui nilai efisiensi dari setiap proses. Proses 1 perhitungan waktu proses silinder pneumatik mendorong dihitung dengan mencari *flow rate* atau aliran rata-rata yang dibutuhkan menggunakan persamaan 3.1 berikut.

$$Q = A \times v \quad (3.2)$$

Q merupakan kecepatan rata-rata dengan satuan m^3/s dengan A merupakan luas penampang bor dengan satuan m^2 dan v merupakan kecepatan udara dalam satuan m/s . Untuk mengetahui luas penampang dilakukan perhitungan menggunakan persamaan 3.2 berikut.

$$v = \frac{s}{t} \quad (3.3)$$

s merupakan jarak yang ditempuh *bore size* yang memiliki satuan m dan t merupakan waktu yang ditempuh dengan satuan s. Untuk mengetahui nilai dari luas penampang yang berbentuk lingkaran digunakan persamaan 3.3 berikut.

$$A = \frac{\pi \times d^2}{4} \quad (3.4)$$

Perhitungan waktu untuk masing-masing proses menggunakan persamaan gerak lurus 3.4 berikut.

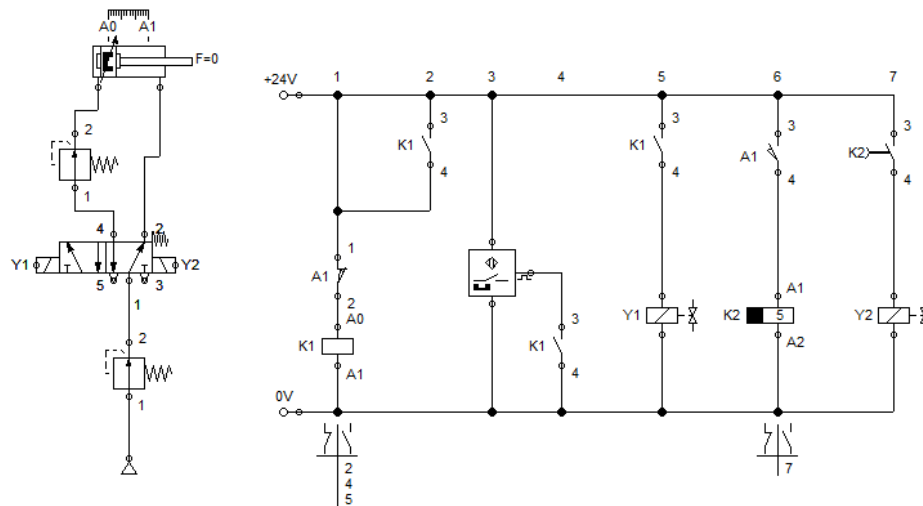
$$v^2 = v_0^2 + 2 a s \quad (3.5)$$

Untuk mendapatkan nilai waktu persamaan diatas diintegrasikan dengan persamaan 3.5 berikut.

$$s = v_0 \times t + \frac{1}{2} a t^2 \quad (3.6)$$

Nilai a pada persamaan 3.4 dan persamaan 3.5 adalah kecepatan yang memiliki satuan m/s^2 dan v_0 merupakan kecepatan awal ketika material MDF mengalami percepatan. Untuk memperoleh parameter waktu dan gaya yang efisien pada silinder pneumatik, dilakukan pengujian menggunakan *software* simulasi

FluidSIM dengan memasukkan parameter sesuai spesifikasi silinder dan desain perancangan, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3-9 berikut.



Gambar 3- 9 Rangkaian pengujian silinder pneumatik pada FluidSIM

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui waktu yang dibutuhkan *stacking magazine* untuk mendorong MDF, dengan memasukkan beberapa komponen sesuai kriteria desain, seperti pengaturan aliran udara, silinder pneumatik, *relay*, *switch on relay*, *push button*, dan diameter silinder yang digunakan.

3.6.5 Man-machine chart Proses Drilling dan Handling Manual

Perencanaan *stacking magazine* dalam penelitian ini bertujuan untuk mengukur efisiensi waktu proses otomatis dibandingkan dengan metode manual, dimana pengukuran ini menggunakan *Man-machine chart* yang ditunjukkan pada Tabel 3-11. Berdasarkan data tabel tersebut, proses *drilling* dilakukan pada hari sebelumnya sesuai penjadwalan, sementara proses *assembly* dilakukan pada hari berikutnya sesuai dengan penjadwalan yang dibuat oleh tim *Production Control*. Pada proses manual, waktu yang diperlukan untuk *assembly* material hasil *drilling* dengan komponen elektrik adalah 215 detik dengan waktu total untuk proses *drilling* dan *handling* sebesar 583 detik pada hari sebelumnya dan 628 detik pada hari berikutnya. Dengan demikian, total waktu keseluruhan dari proses manual untuk *drilling* dan *handling* mencapai 1.211 detik.

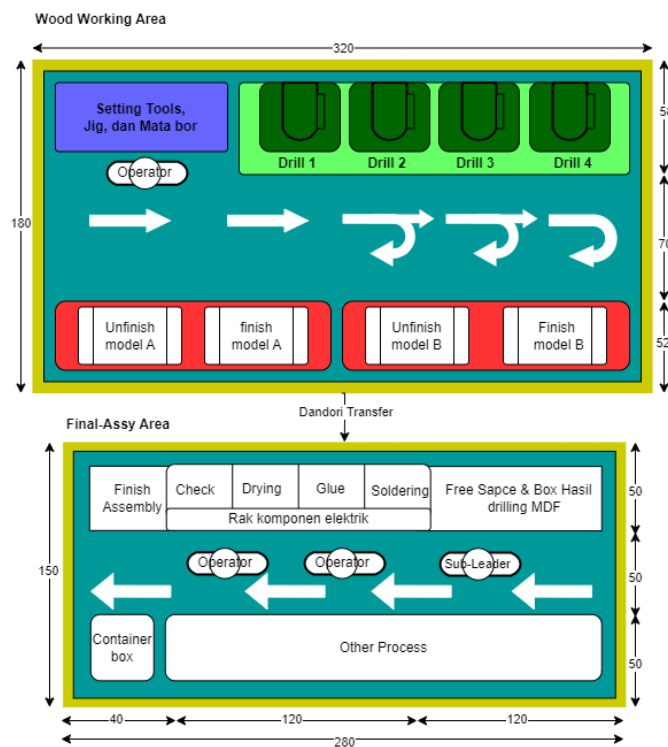
Tabel 3-11 Man-machine chart proses drilling dan handling manual

Sub-Leader & Operator FA (Final Assy)				Sub Leader & Operator proses drilling di WW (Wood Working)				Proses Handling (Dandori) oleh Go-WIP							
Isi Pekerjaan		Waktu (s)	Simbol	Isi pekerjaan		Waktu (s)	Simbol	Isi pekerjaan		Waktu (s)	Simbol				
Main Process	Detail Process			Main Process	Detail Process			Main Process	Detail Process						
Schedul ed process is in progress	FA mengerjakan proses sesuai dengan penjadwalan yang sudah ada pada sistem YEMI Internal yang dibuat oleh tim PC (Production control)	Hari Sebelumnya 7 jam Kerja (25200') 8 jam Kerja (25200')		Preparation	Ambil jig sesuai model	36	36	Hari Sebelumnya	Another Process	Melakukan penjemputan pada area lainnya sesuai penjadwalan	Hari Sebelumnya 7 jam Kerja (25200') 8 jam Kerja (25200')				
					Mengambil MDF pada rak sesuai model										
					Memasang MDF pada jig	51	15								
					Nyalakan mesin drilling										
				Machining Process	Melakukan proses drilling diameter lubang 1								261	210	Hari Sebelumnya
					Memindahkan MDF pada mesin drilling 2										
					Melakukan proses drilling diameter lubang 2										
					Memindahkan MDF pada mesin drilling 3										
					Melakukan proses drilling diameter lubang 3										
					Memindahkan MDF pada mesin drilling 4										
Handling Preparation	Melakukan proses drilling diameter lubang 4			283	22										
	Membersihkan sisa drilling			583	300										
Repeat process	Mengurangi proses permesinan hingga sesuai dengan jumlah pada penjadwalan			---	---										
Preparation	Menggambil material finish drilling	Sekarang		Schedule process is in progress	WW mengerjakan proses sesuai dengan penjadwalan yang sudah ada pada sistem YEMI Internal yang dibuat oleh tim PC (Production Control) untuk menyiapkan kebutuhan berdasarkan prioritas dihari berikutnya	Sekarang	7 jam Kerja (25200') 8 jam Kerja (25200')	Another Process	Melakukan penjemputan pada area lainnya sesuai penjadwalan	Sekarang					
												Preparation	Periksa penjadwalan penjemputan	---	---
													Jalan menuju line drilling	96	96
Handling Process	Menggambil rak hasil drilling	Sekarang		Schedule process is in progress	WW mengerjakan proses sesuai dengan penjadwalan yang sudah ada pada sistem YEMI Internal yang dibuat oleh tim PC (Production Control) untuk menyiapkan kebutuhan berdasarkan prioritas dihari berikutnya	Sekarang	7 jam Kerja (25200') 8 jam Kerja (25200')	Another Process	Melakukan penjemputan pada area lainnya sesuai penjadwalan	Sekarang					
												Handling Process	Jalan menuju line final assy	320	224
Assembling process	Penyolderan komponen elektrik	Sekarang		Schedule process is in progress	WW mengerjakan proses sesuai dengan penjadwalan yang sudah ada pada sistem YEMI Internal yang dibuat oleh tim PC (Production Control) untuk menyiapkan kebutuhan berdasarkan prioritas dihari berikutnya	Sekarang	7 jam Kerja (25200') 8 jam Kerja (25200')	Another Process	Melakukan penjemputan pada area lainnya sesuai penjadwalan	Sekarang					
												Assembling process	Pengeleman komponen elektik Pada MDF	597	215
Handling Preparation	Menaruh hasil assembly pada box	Sekarang		Schedule process is in progress	WW mengerjakan proses sesuai dengan penjadwalan yang sudah ada pada sistem YEMI Internal yang dibuat oleh tim PC (Production Control) untuk menyiapkan kebutuhan berdasarkan prioritas dihari berikutnya	Sekarang	7 jam Kerja (25200') 8 jam Kerja (25200')	Another Process	Melakukan penjemputan pada area lainnya sesuai penjadwalan	Sekarang					
												Handling Preparation	Mengeringkan lem	628	31
Handling Preparation	Membersihkan sisa lem	Sekarang		Schedule process is in progress	WW mengerjakan proses sesuai dengan penjadwalan yang sudah ada pada sistem YEMI Internal yang dibuat oleh tim PC (Production Control) untuk menyiapkan kebutuhan berdasarkan prioritas dihari berikutnya	Sekarang	7 jam Kerja (25200') 8 jam Kerja (25200')	Another Process	Melakukan penjemputan pada area lainnya sesuai penjadwalan	Sekarang					
												Handling Preparation	Membersihkan sisa lem	628	31

Namun, dalam proses manual ini ditemukan adanya waktu *idle* atau waktu tunggu yang tidak produktif. Waktu *idle* ini terjadi karena operator harus menunggu penjemputan material oleh tim *handling* sebelum melanjutkan ke tahap berikutnya.

3.7 Proses Pengujian *Risk Assessment* Pada Proses Manual

Pada perancangan *multiple drilling* pada lengan robot, *handling station stacking*, dan *stacking magazine*, dilakukan pengujian berupa analisis risiko kecelakaan kerja dalam proses *drilling* dan *handling* manual. Pengujian ini dilengkapi dengan pembuatan layout untuk menilai efisiensi dan produktivitas di setiap tahapan, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 3-10.



Gambar 3-10 Layout proses *drilling* manual

Layout tempat *drilling* digunakan sebagai acuan desain untuk menentukan parameter perpindahan dan langkah kerja dengan memperhatikan keselamatan operator. Gambar 3-10 menunjukkan bahwa operator melakukan banyak langkah dan gerakan tubuh berlebih, tidak sesuai dengan standar keselamatan PT. YEMI (ISO 11228-1:2021). Berdasarkan observasi serta diskusi dengan mentor, potensi

risiko pada setiap proses diidentifikasi dan dianalisis menggunakan metode HIRADC seperti yang disajikan pada tabel 3-12 berikut.

Tabel 3- 12 *Risk-assessment* proses manual

No.	Tahap Proses	Potensi Bahaya	Dampak	Likelihood	Severity	(Likelihood × Severity) = Risiko	Pengendalian Risiko
1	Mengambil jig sesuai model	Cedera karena salah angkat atau terjepit	Nyeri otot atau cedera ringan pada tangan atau punggung	3	1	3 (Rendah)	Pelatihan teknik pengangkatan, gunakan APD seperti sarung tangan.
2	Mengambil MDF pada rak sesuai model	Material jatuh atau tergelincir	Kerusakan material MDF dan cedera pada kaki operator	1	3	3 (Rendah)	Gunakan troli untuk pemindahan MDF, pelatihan handling material.
3	Mengambil jig dan memasang MDF pada jig	Cedera tangan atau terjepit	Cedera pada tangan atau jari akibat terjepit jig atau MDF	4	2	8 (Menengah)	Gunakan APD seperti sarung tangan, pastikan jig stabil.
4	Menyetel mesin <i>drilling</i>	Cedera karena salah penanganan mesin	Cedera pada tangan atau jari akibat salah penanganan komponen mesin	3	3	9 (Menengah)	Pastikan operator terlatih, instruksi pengaturan mesin jelas.
5	Melakukan proses <i>drilling</i> manual	Cedera akibat kontak dengan mata bor, serpihan MDF	Cedera serius seperti luka sayat atau terkena serpihan MDF pada mata/tangan	4	4	16 (Sangat Tinggi)	Gunakan pelindung mesin, APD seperti sarung tangan dan kacamata.
		Cedera akibat pekerjaan berulang dan cedera punggung akibat menekan tuas	Nyeri otot atau cedera ringan pada tangan atau punggung	4	3	12 (Tinggi)	Pelatihan teknik pengangkatan dan ergonomi proses <i>drilling</i>
6	Membersihkan sisa <i>drilling</i>	paparan debu serbuk MDF	Masalah pernapasan atau iritasi mata	4	3	12 (Tinggi)	Gunakan masker dan kacamata pelindung
		Material tajam tertinggal	Risiko luka tusuk	3	2	6 (Menengah)	Gunakan sarung tangan dan alat pembersih khusus.
7	Memindahkan MDF pada rak penyimpanan	Risiko terjatuh atau terbentur	Luka ringan pada kaki atau tangan akibat benturan atau MDF yang jatuh	3	1	3 (Rendah)	Gunakan troli atau alat bantu untuk memindahkan MDF.
8	Memindahkan hasil <i>drilling</i> manual ke <i>line assembly</i> dengan troli	Cedera karena dorongan troli	Luka pada tangan atau kaki akibat salah posisi atau kontrol saat mendorong troli	3	1	3 (Rendah)	Pelatihan cara dorong troli yang aman, troli dengan rem.
9	Menaruh troli pada station	Risiko terjepit tangan atau kaki	Cedera ringan pada tangan atau kaki	3	2	6 (Menengah)	Pastikan operator berhati-hati saat meletakkan troli, gunakan APD.
10	Mengambil rak hasil <i>finish drilling</i>	Cedera karena terjepit atau jatuh	Cedera ringan pada tangan atau punggung	3	2	6 (Menengah)	Gunakan teknik pengangkatan yang benar, gunakan APD seperti sarung tangan.
11	Menaruh hasil <i>drilling</i> pada rak <i>assembly</i>	Cedera ringan atau jatuh	Cedera ringan pada tangan akibat salah posisi saat menaruh MDF	3	1	3 (Rendah)	Pelatihan cara peletakan yang aman, gunakan troli jika memungkinkan.

3.8 Pemrograman Robot

Pemrograman robot dilakukan menggunakan perangkat lunak EPSON SCARA RC+ 7 seperti pada Gambar 3-11, yang telah disesuaikan dengan fungsi *drilling* pada model MDF NS-F700. Proses pemrograman ini mengintegrasikan input dan output dari sistem, seperti silinder pneumatik dan *push button*, yang dikoneksikan melalui *relay* sebagai bagian dari sistem kontrol.

```
EPSON RC+ 7.5.3 - Project C:\EpsonRC70\Projects\EPSON_Drill - [Main.prg]
File Edit View Project Run Tools Setup Window Help
Project Explorer
  Program Files
  Main.prg
  Include Files
  Robot Points
  Labels
  Macros
  Vision
  GUI
  Force Control
  Force Guide
  Functions
Function coba_gerak
  SLock
  Motor On
  Power Low
  Speed 10
  Accel 5, 5
  Integer z, b, ii, ss
  Jump P(z) LimZ -70
  For ii = 0 To 18
    z = 110 + ii
    Wait 0.5
    TmReset 0
    Jump P(z) LimZ -70
    Cycle = Tmr(0)
    Print "Cycle Time Titik ", ii + 1, " ", Cycle, " detik"

    If ii = 0 Then
      On bor3
      Off bor2
      Off bor1
      Off bor4
    ElseIf ii > 0 And ii <= 15 Then
      Off bor1
      On bor4
      Off bor2
      Off bor3
    ElseIf ii > 15 And ii < 17 Then
      Off bor4
      On bor2
      Off bor3
      Off bor1
    ElseIf ii >= 17 And ii <= 18 Then
      On bor1

```

Gambar 3-11 Pemrograman lengan robot (1)

```
EPSON RC+ 7.5.3 - Project C:\EpsonRC70\Projects\EPSON_Drill - [Main.prg]
File Edit View Project Run Tools Setup Window Help
Project Explorer
  Program Files
  Main.prg
  Include Files
  Robot Points
  Labels
  Macros
  Vision
  GUI
  Force Control
  Force Guide
  Functions
  ElseIf ii >= 17 And ii <= 18 Then
    On bor1
    Off bor4
    Off bor3
    Off bor2
  Else
    Off bor1
    Off bor2
    Off bor3
    Off bor4
  EndIf
  Wait 0.5

  'Jump P(z) LimZ -70
  TmReset 0
  Call bor
  Cycle = Tmr(0)
  Print "Cycle Time Bor ", ii + 1, " ", Cycle, " detik"
  If ii = 0 Then
    Off bor3
  ElseIf ii = 15 Then
    Off bor4
  ElseIf ii = 16 Then
    Off bor2
  ElseIf ii = 18 Then
    Off bor1
  EndIf
  'Wait 0.5

Next
Off bor1
Off bor2
Off bor3

```

Gambar 3- 12 Pemrograman lengan robot (2)

```
Force Control
Force Guide
Functions

Next
Off bor1
Off bor2
Off bor3
Off bor4
'Jump Start_pull LimZ -70
'
' Speed 20
' Accel 50, 50
' On 4
' On 11
' On 10
' Wait 1.5
' Move Finish_pull
' Off 4
' Wait 1.5
' Off 10
' Wait 0.5
' Off 11
' Wait 0.5
Jump F0 LimZ -70
Motor Off
'SFree
Quit All
Fend

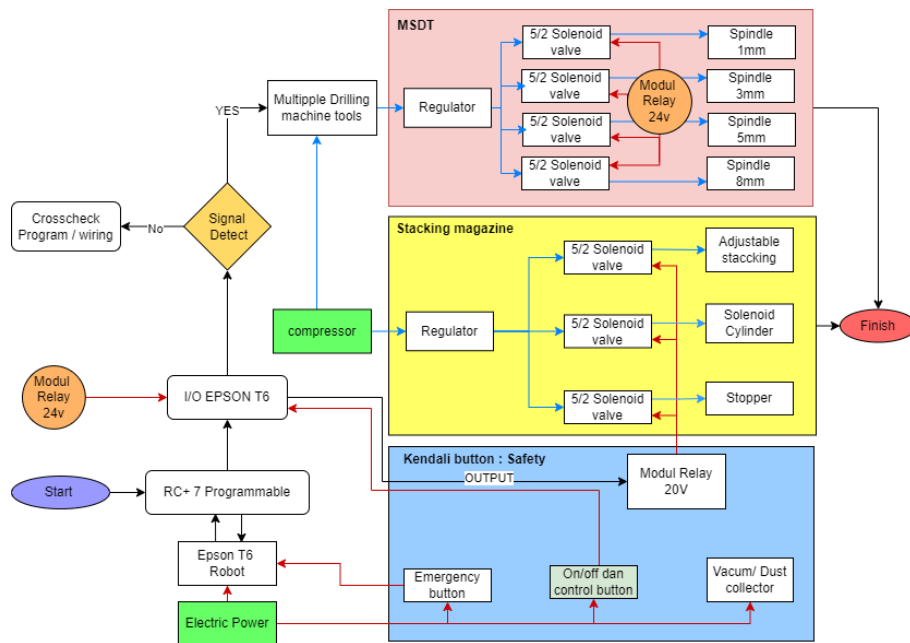
Status
13:23:21 Remote I/O is enabled
13:28:37 All tasks stopped
```

Gambar 3-13 Pemrograman lengan robot (3)

Produktivitas pergerakan robot dihitung berdasarkan waktu, dengan pengaturan parameter kecepatan dan akselerasi yang diatur secara berkala berdasarkan hasil uji coba. Pengaturan ini mempertimbangkan variasi kecepatan yang diizinkan oleh PT. YEMI, yaitu pada tingkat 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60%, dan 70%, serta akselerasi pada tingkat 30%, 40%, 50%, dan 60%. Variasi nilai ini digunakan untuk meminimalkan gaya inersia agar mencegah kerusakan sistem, dan mengurangi risiko kecelakaan kerja.

3.9 Perancangan Sistem Kendali

Sistem kendali terdiri dari beberapa input berupa kompresor sebagai sumber udara terkompresi dan juga listrik 24 V sebagai daya listrik. Sistem kendali ditunjukkan pada Gambar 3-13 dengan garis berwarna hitam menunjukkan sebuah proses, garis berwarna merah menunjukkan rangkaian dengan sumber energi listrik, dan garis berwarna biru menunjukkan udara terkompresi.



Gambar 3- 14 Perancangan perangkat kendali sistem *drilling* dan *handling* otomatis

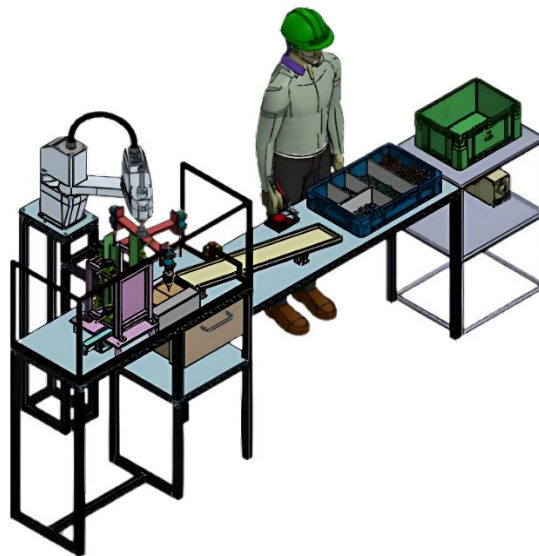
Pergerakan robot dikontrol melalui program menggunakan *software* EPSON RC+. Pemrograman robot dilakukan manual menyesuaikan I/O (INPUT/OUTPUT) dan juga fungsinya dengan proses *teaching* manual menyesuaikan posisi lubang. Kompresor akan melalui regulator terlebih dahulu untuk menyesuaikan tekanan yang dibutuhkan sebelum menuju katup solenoid. Setiap katup solenoid memiliki fungsi sebagai pengendali aliran akan terkoneksi dengan modul *relay* 24 V dan 20 V. *Relay-relay* tersebut terkoneksi dengan robot untuk diproses sebagai I/O pada program dan juga terkoneksi dengan aliran listrik yang diparalelkan sebagai sumbernya. Masing-masing sumber tegangan angin terhubung melalui selang PU 8mm untuk kemudian diproses sebagai output untuk setiap pneumatik silinder dan juga masing-masing spindel. Tombol *emergency button* bekerja dengan cara memutus aliran listrik dari robot sehingga dalam kondisi darurat semua sistem akan langsung berhenti sedangkan push *button on/off* akan mengaktifkan I/O ataupun modul *relay* .

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Perancangan *Multiple Drilling*

4.1.1 Hasil Pemilihan Alternatif Desain

Berdasarkan hasil pengujian dan diskusi dengan tim, alternatif desain 2 dipilih untuk dilanjutkan ke tahap pengembangan berikutnya, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4-1. Diskusi dengan tim dilakukan, karena perancangan *multiple drilling* dan *handling station stacking magazine* merupakan pengembangan dari tahap *trial and error* sebelumnya, sehingga desain dan rancangan yang telah dihasilkan akan disempurnakan lebih lanjut oleh PT. YEMI.



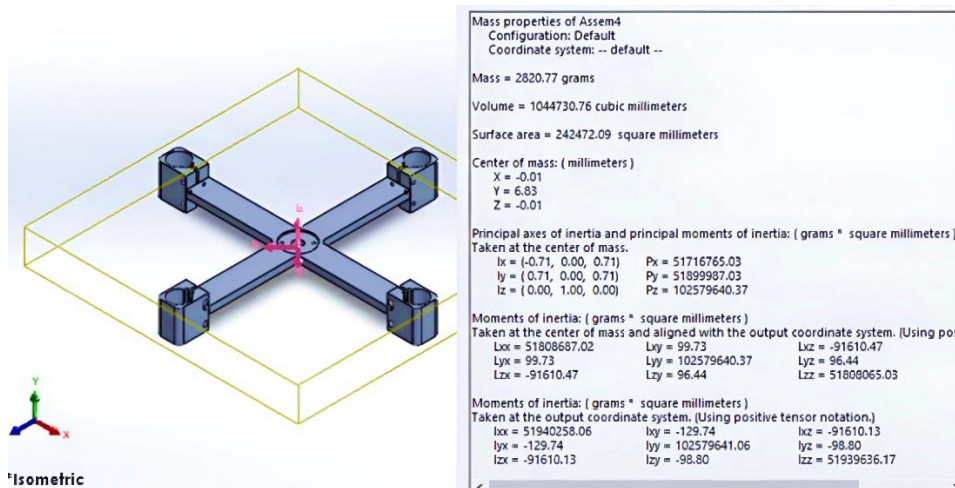
Gambar 4- 1 Hasil pemilihan alternatif desain

Pemilihan alternatif desain 2 didasarkan pada kesesuaiannya dengan kriteria desain, keunggulan yang dimilikinya, serta hasil pengujian yang mendukung, seperti dijelaskan pada poin-poin berikut.

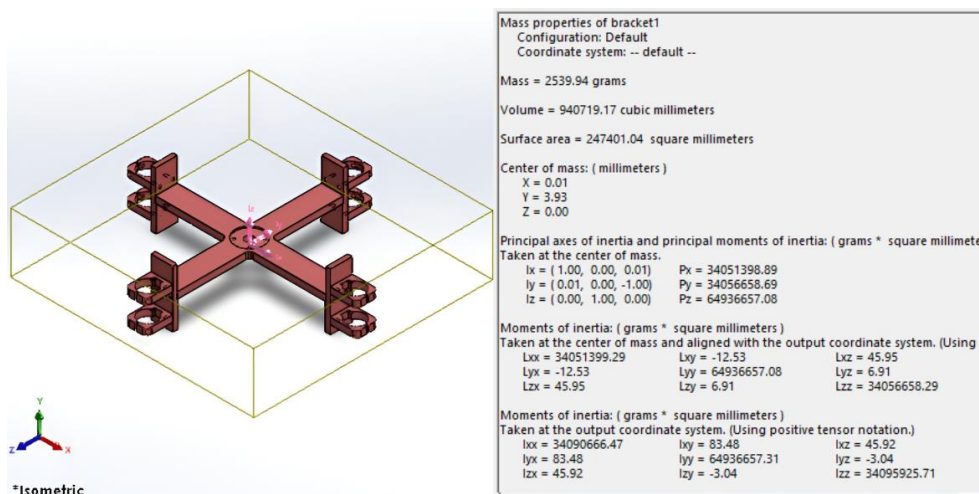
1. Hasil Pengujian Berat *Mounting*

Desain yang digunakan pada perancangan *multiple drilling* dan perencanaan *handling station stacking magazine* dipilih dengan mempertimbangkan beberapa parameter. Salah satu parameter tersebut adalah

pemilihan beban *mounting multiple drilling* yang paling ringan, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4-1 dan Gambar 4-2 berikut.



Gambar 4-2 Perhitungan beban *mounting multiple drilling* desain 1



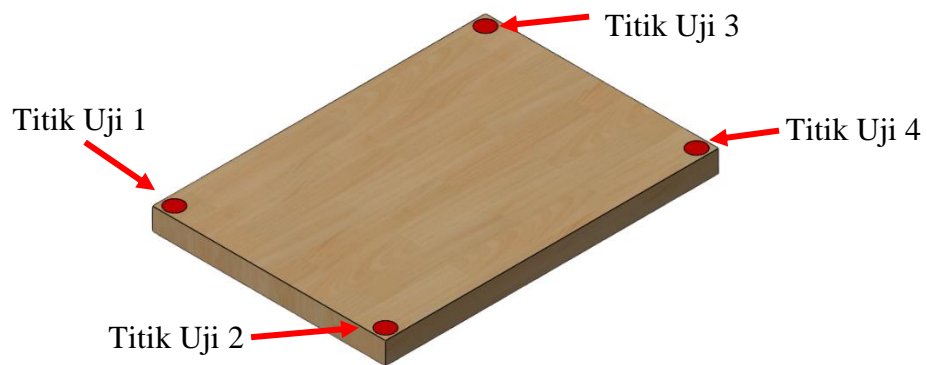
Gambar 4-3 Perhitungan beban *mounting multiple drilling* desain 2

Perhitungan berat *mounting* dalam sistem *multiple drilling* dilakukan untuk memastikan sesuai dengan kapasitas beban maksimal *end effector* robot, yang berada antara 4–6 kg. Dari simulasi pada SolidWorks, desain 1 berbobot 2.820,77 gram, sementara desain 2 lebih ringan, yakni 2.592,44 gram.

2. Hasil Pengujian *mounting* tidak menabrak

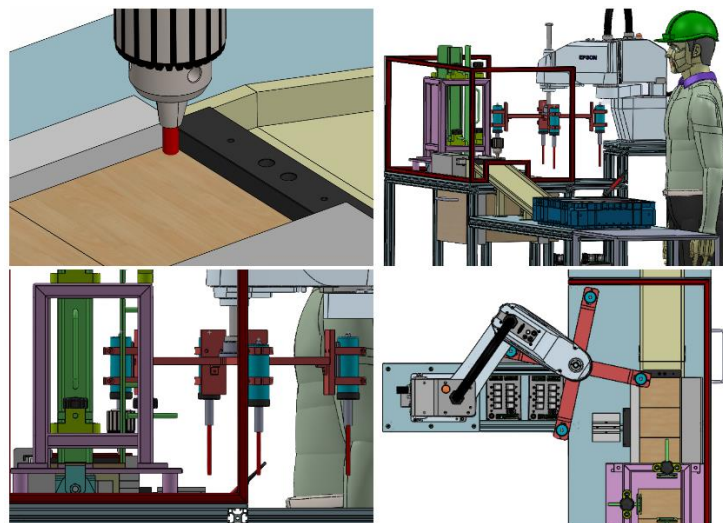
Berdasarkan analisis kriteria desain, alternatif desain 2 dipilih karena memiliki panjang *mounting* yang lebih pendek, yaitu 190 mm, dibandingkan alternatif desain 1 dengan panjang 240 mm. Dengan ukuran yang lebih pendek, desain ini dapat menghindari potensi tabrakan dengan operator maupun *stacking*

magazine. Hasil pengujian *mounting* tidak menabrak dilakukan menggunakan perangkat lunak *Solidworks* untuk memastikan bahwa *mounting* dapat berfungsi dengan baik pada model NS-F700 tanpa menabrak komponen lainnya dan operator. Simulasi dilakukan dengan menempatkan mata bor di setiap sudut MDF pada model NS-F700, yang memiliki dimensi terbesar, untuk memastikan bahwa sistem *multiple drilling* mampu bekerja secara optimal pada model-model lain pada berbagai ukuran MDF lainnya seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4-4.

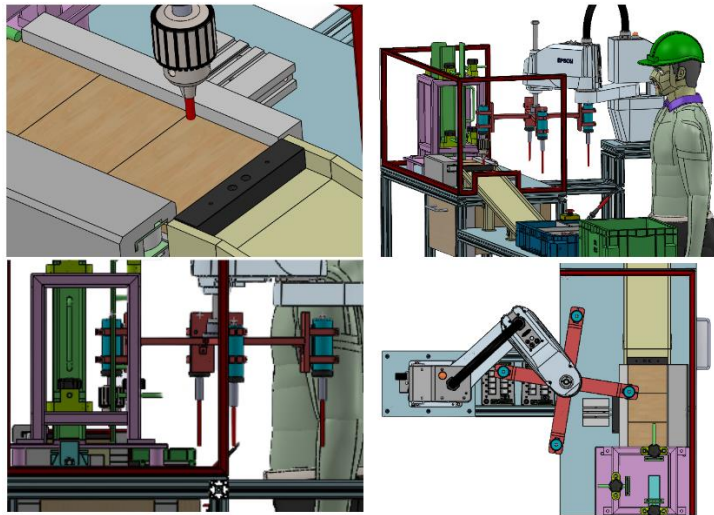


Gambar 4- 4 Uji safety pada proses *drilling* MDF menggunakan *Solidworks*

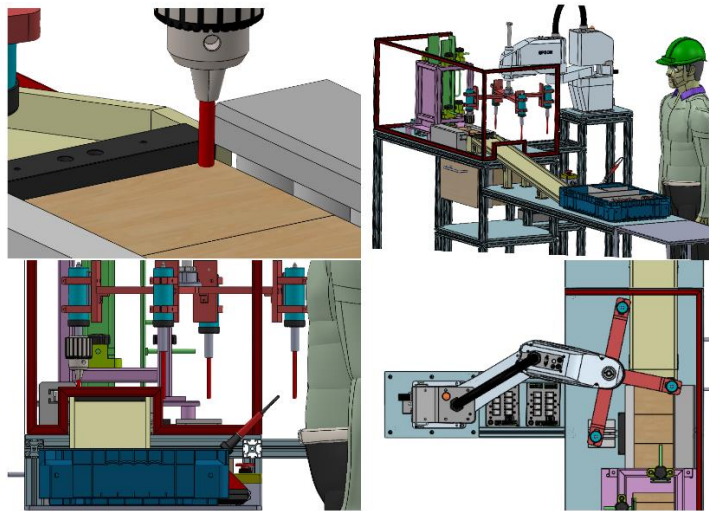
Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan, menunjukkan bahwa *mounting* dapat menjangkau jangkauan maksimalnya tanpa menabrak sistem *handling station stacking magazine* dan operator seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4-5, Gambar 4-6, Gambar 4-7, dan Gambar 4-8 berikut.



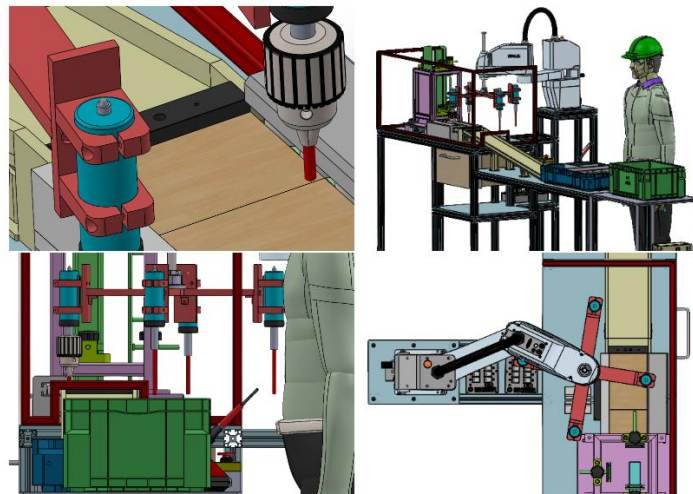
Gambar 4-5 Hasil pengujian titik 1



Gambar 4-6 Hasil pengujian titik 2



Gambar 4- 7 Hasil pengujian titik 3

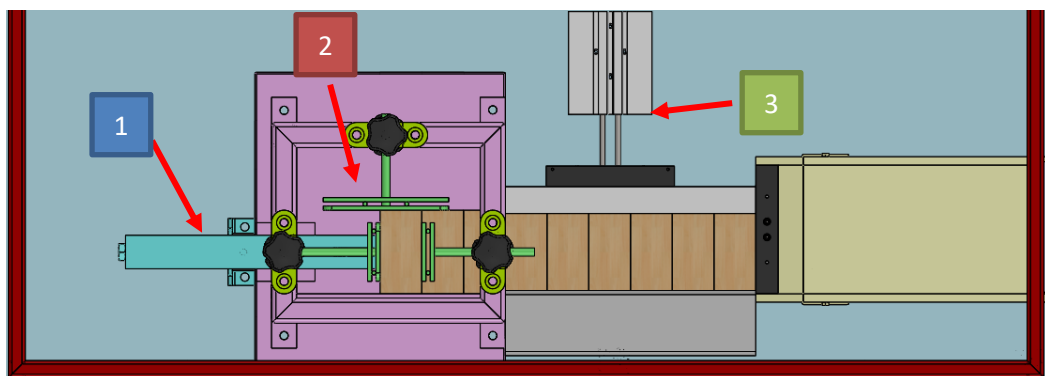


Gambar 4- 8 Hasil pengujian titik 4

Pengujian proses *drilling* pada setiap sudut model MDF NS-F700 bertujuan untuk memastikan sistem dapat digunakan oleh PT. YEMI, yang sering menambahkan variasi model dengan ukuran beragam, sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 3-7. Hasil pengujian menunjukkan bahwa *mounting* mampu menjangkau titik pengeboran maksimal sesuai kriteria desain tanpa menabrak komponen lain atau membahayakan keselamatan operator. Titik 1, titik 2, titik 3, dan titik 4 dapat dijangkau oleh *mounting multiple drilling* tanpa risiko tabrakan dengan komponen lain maupun operator.

3. Hasil pengujian *stacking magazine* dapat digunakan pada semua model

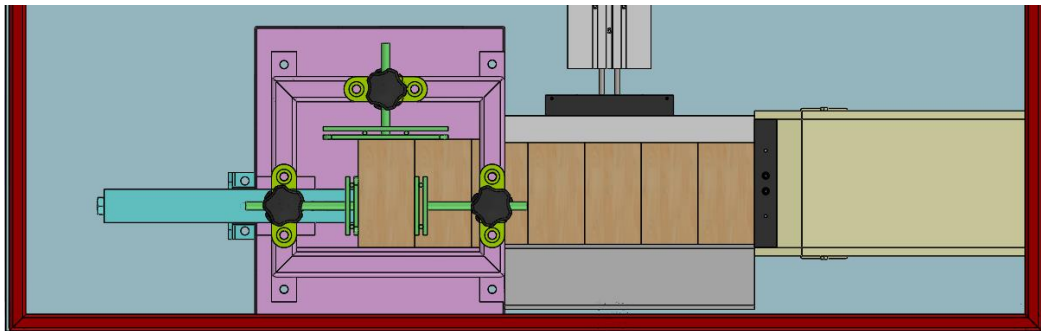
Salah satu parameter tercapainya kriteria desain yaitu pada sistem *stacking magazine* mampu digunakan pada semua model. Pengujian parameter tersebut dilakukan dengan melakukan analisis pada berbagai model MDF yang dimiliki PT. YEMI seperti yang ditunjukkan pada Tabel 3-7. Pada pengujian yang dilakukan dengan mengelompokkan panjang model MDF yang dimiliki PT. YEMI sehingga pada pengujian yang dilakukan hanya berupa sampling dari masing-masing ukuran panjang yang dimiliki, hal ini dikarenakan *stacking magazine* memiliki bagian yang bisa disesuaikan dengan panjang dan lebar MDF seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4-9 berikut.



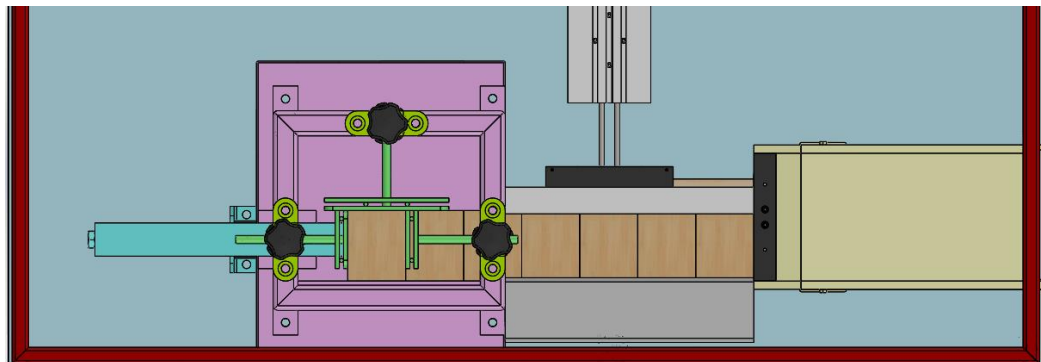
Gambar 4-9 Pengujian model MDF BP-401 panjang 50 mm

Sistem *stacking* yang ditunjukkan pada nomor 1 akan menyesuaikan dengan barisan panjang model MDF yang digunakan dan harus dipastikan bahwa *stacking* tidak menabrak. Pada proses yang ditunjukkan oleh nomor 2 yaitu pengaturan *magazine* untuk menyesuaikan lebar MDF. Sistem *clamping* sebagai pengganti jig pada nomor 3 mampu diatur hingga 70 mm sehingga pada ukuran

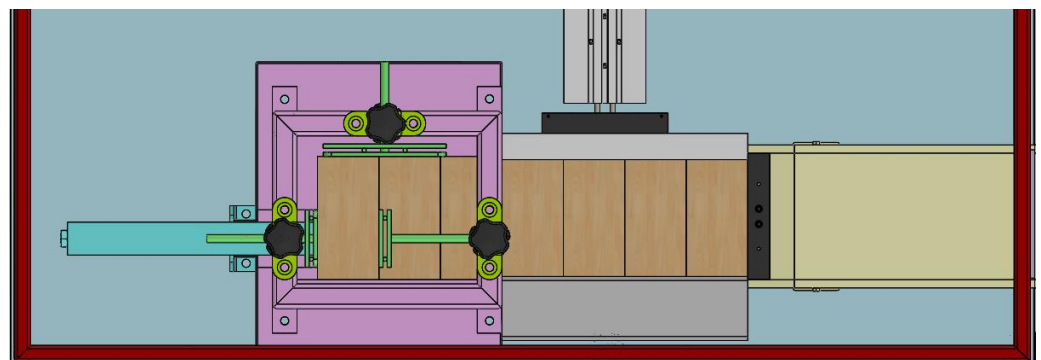
MDF dengan panjaga ataupun lebar terkecil seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4-9, pada model BP-401 yang memiliki dimensi panjang 50mm dan lebar 100mm perlu disesuaikan, dengan mengubah posisi MDF sehingga mampu dilakukan proses *clamping*. Pengelompokkan MDF dilakukan dengan menguji panjang pada masing-masing model yang dimiliki yaitu pada panjang 68 mm, panjang 70mm, panjang 75mm, 78mm, 80mm, 95mm, 100mm, dan 105mm seperti yang ditunjukkan pada gambar-gambar berikut.



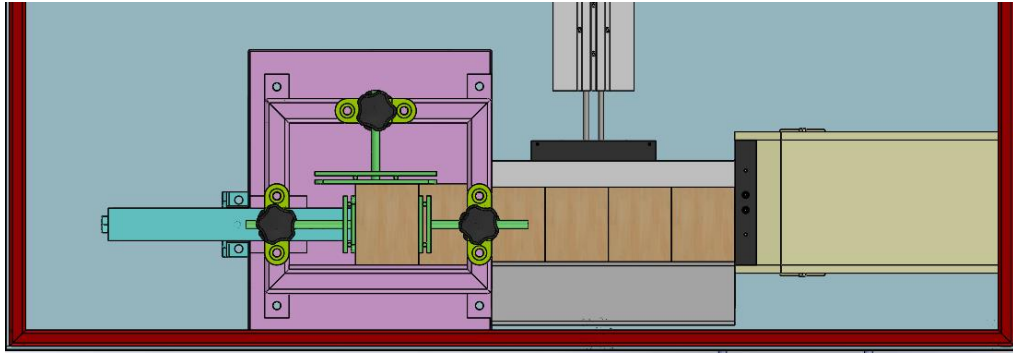
Gambar 4-10 Pengujian model MDF NS-F330 & NS-B750 panjang 68 mm



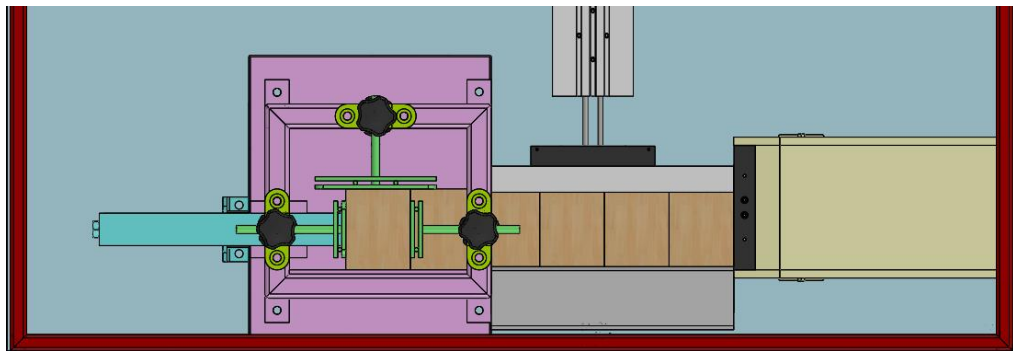
Gambar 4-11 Pengujian model MDF BP-301 panjang 70 mm



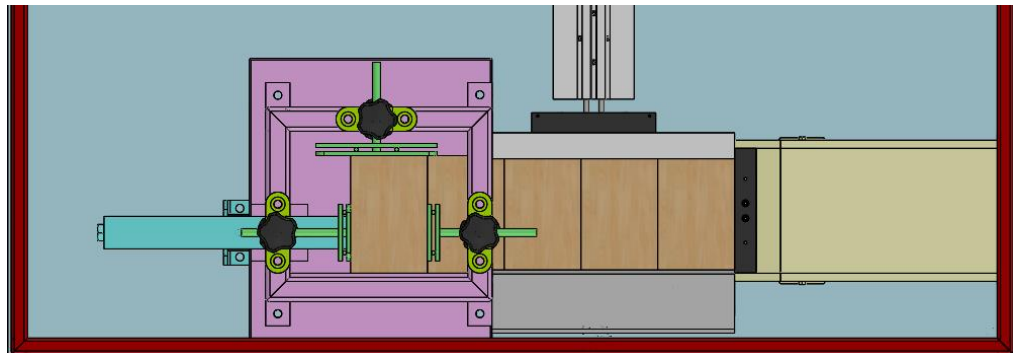
Gambar 4-12 Pengujian model MDF NS 777/555 panjang 75 mm



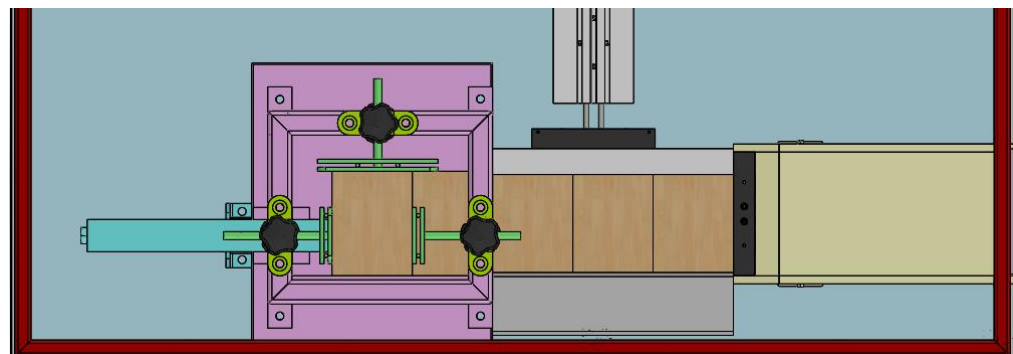
Gambar 4-13 Pengujian model MDF NS-C901 panjang 78 mm



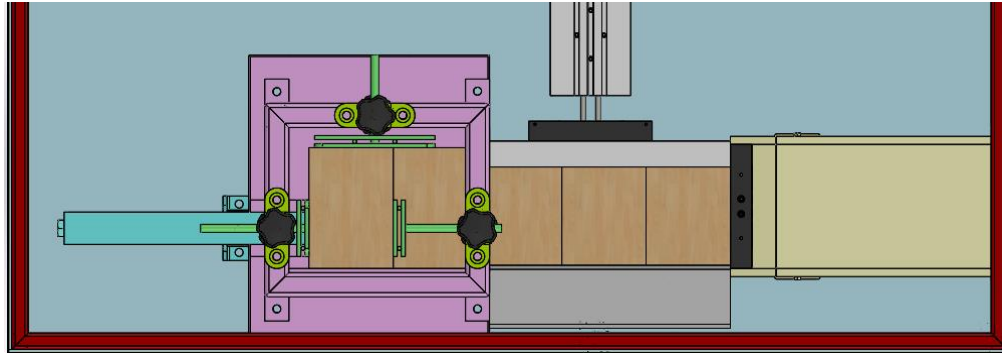
Gambar 4-14 Pengujian model MDF NS-B901 panjang 80 mm



Gambar 4-15 Pengujian model VX-510W panjang 95 mm



Gambar 4- 16 Pengujian model MDF NS-F500 panjang 100 mm

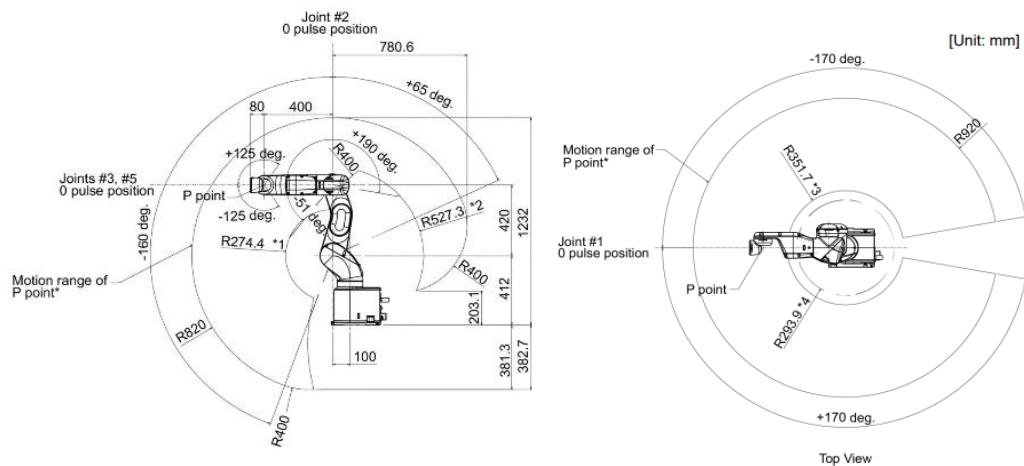


Gambar 4-17 Pengujian model MDF NS-F700 panjang 105 mm

Hasil pengujian menunjukkan perencanaan sistem handling station stacking magazine dapat digunakan pada semua model. Hal ini terjadi berkat again magazine dan *clamping* yang dapat disesuaikan dengan ukuran MDF serta panjang frame yang sesuai.

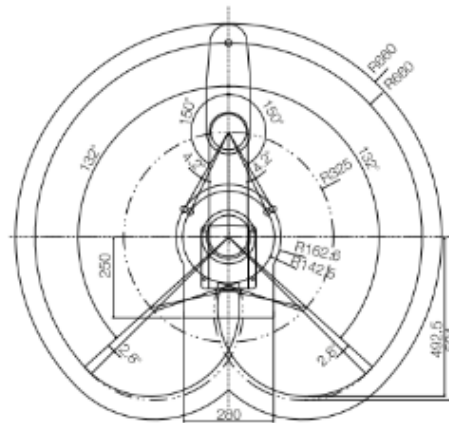
4.1.2 Hasil Pemilihan Lengan Robot

Robot lengan SCARA Epson T6 untuk tahap desain dan perancangan, karena memenuhi kebutuhan sistem *multiple drilling* dan *stacking magazine* lebih baik dibandingkan Epson VT-6L. Meskipun VT-6L memiliki kelebihan dengan 6-*axis* dan jangkauan luas, pergerakannya yang kompleks dan jangkauan hingga 920 mm pada sumbu horizontal dinilai tidak layak untuk area kerja yang hanya membutuhkan jangkauan maksimal 510 mm seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4-18.



Gambar 4-18 Pergerakan robot Epson VT-6L

Jangkauan yang berlebihan pada robot EPSON VT-6L berisiko menimbulkan tabrakan dengan alat atau operator, sehingga meningkatkan potensi kecelakaan. Robot Epson SCARA T6 dipilih untuk dilanjutkan pada proses berikutnya karena memiliki pergerakan yang sesuai dengan kebutuhan, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4-19.



Gambar 4-19 Pergerakan robot Epson SCARA T6

Robot SCARA T6, dengan 4-axis dan jangkauan 600 mm pada sumbu X serta pergerakan vertikal terbatas hingga 160 mm, lebih sesuai dengan fungsi *drilling* yang membutuhkan gerakan naik-turun yang stabil. Selain lebih ringan dan mudah dipasang, desain yang lebih sederhana pada SCARA T6 memudahkan pemeliharaan dan pemrograman, serta mengurangi risiko kecelakaan, sehingga lebih efisien dan praktis.

4.1.3 Proses perancangan

Setelah proses perancangan *multiple drilling* selesai masuk pada bagian pembuatan alat alat yang dibuat sesuai dengan kriteria desain dan alternatif desain. Proses pembuatan alat melibatkan beberapa proses yang dilakukan seperti pemotongan, *tapping*, pengikiran, dan *assembly*. Proses perancangan diawali dengan pemotongan material aluminium alloy 1060 dengan ketebalan 150 mm. Proses pemotongan aluminium dilakukan dengan pemotongan menggunakan mesin router CNC yang dibantu oleh tim terkait agar mendapatkan hasil yang presisi dan sesuai dengan standar perusahaan. Bagian yang dilakukan pemotongan

yaitu bagian *mounting drilling* dan *bracket drilling* seperti pada gambar 4-20 berikut.



Gambar 4-20 Proses *Pengikiran*

Proses pengikiran dilakukan untuk mendapatkan hasil yang lebih halus pada setiap sudut aluminium untuk meningkatkan faktor keselamatan. Setelah dihaluskan bagian *mounting* dan *bracket* dilakukan *finishing* pada setiap lubang dengan menggunakan proses *tapping* dengan ukuran M4 dan M6. Perlakuan *tapping* dilakukan untuk menyesuaikan panjang *hex socket cap screw* yang tersedia di PT. YEMI dari panjang 25mm diubah menjadi 40 mm seperti Gambar 4-21 berikut.



Gambar 4-21 Proses *Tapping*

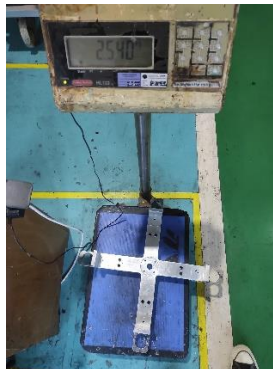
Proses selanjutnya adalah merakit *mounting* dengan *bracket drilling* dan memasangudukan lengan robot pada meja yang telah disiapkan PT. YEMI. Karena robot berbobot 22 kg dengan dimensi 835,5 x 169 x 700 mm, pemasangan dilakukan bersama mentor dan rekan kerja untuk mengurangi risiko kecelakaan. Robot dipasang pada meja *multiplek* tebal 40 mm dengan lapisan dasar kayu,

menggunakan *screw* M8 sepanjang 50 mm dan nylon *nut*. Bor tangan portable digunakan untuk pemasangan agar lebih praktis.



Gambar 4-22 Proses *assembly mounting multiple drilling*

Pemasangan *mounting* dan *bracket drilling* dilakukan menggunakan *Hex Socket cap screw* berbahan aluminium steel, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4-22. Proses selanjutnya yaitu melakukan pengujian berat seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4-23.



Gambar 4-23 Pengujian berat *mounting*

Pengujian berat dilakukan agar sesuai dengan desain, pada desain perancangan berat *mounting* adalah 2.540 gram sedangkan pada hasil pengujian berat *mounting multiple drilling* 2.592,44 gram hal ini menunjukkan bahwa *mounting* lebih ringan dikarenakan pemberlakuan proses pengikiran dan *tapping*. Setelahnya melakukan instalasi selang PU sebagai input dari kompressor seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4-24.



Gambar 4-24 Pemasangan selang PU dan *relay*

Selang PU dipotong dan dipasang dengan konektor Y dan T pada kompresor. *Push button*, *emergency button*, dan *power supply* dirakit oleh tim elektrik dan disambungkan ke *module relay* 20 V. *Relay* ini terhubung dengan robot sebagai input kontrol.



Gambar 4-25 Setting regulator

Setelah semua alat terpasang selanjutnya yaitu melakukan pemasangan regulator untuk mengatur tekanan udara pada compressor regulator yang digunakan yaitu *Airtac AFC 2000-02* dengan drat $\frac{1}{4}$ inch. Setelah dilakukan pemasangan regulator compressor disambungkan kepada regulator yang kemudian dialirkan pada setiap selang. Regulator di setting pada tekanan 6 bar sesuai dengan spesifikasi robot dan juga standar ijin perusahaan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4-25 diatas.



Gambar 4-26 Instalasi *air drilling tools*

Selanjutnya yaitu melakukan instalasi pada *air drilling tools* dengan mata bor yang digunakan pada gambar 4-26. Setelah memastikan semua alat terpasang dengan baik selanjutnya yaitu melakukan pembukaan pada katup regulator dan menghubungkan alat dengan sumber listrik.



Gambar 4-27 Hasil perancangan

Gambar 4-27 merupakan hasil perancangan *Multiple drilling* dengan masing-masing sisi *drilling* dipasangkan mesin *drilling* dengan input 6 bar.

4.1.4 Pengujian *Multiple Drilling*

Sistem *multiple drilling* yang telah dirancang selanjutnya dilakukan pengujian untuk mengetahui mesin *drilling* yang efektif digunakan dalam proses *drilling*. Proses pengujian dengan metode taguchi diukur dengan mengukur waktu tercepat, dan diameter *drilling* terkecil seperti pada Gambar 4-28 berikut.



Gambar 4-28 Proses pengujian hasil *multiple drilling*

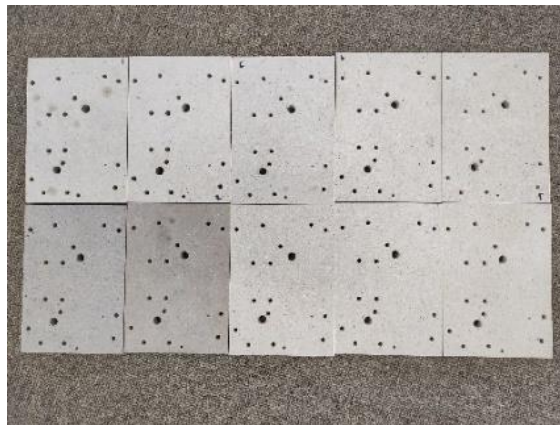
Hasil pengujian dari 18 variasi dalam *Design of Experiment* (DOE) disajikan pada Tabel 4-1 yang menunjukkan respon terhadap variasi parameter pada material MDF.

Tabel 4-1 Hasil pengujian *multiple drilling*

Experiment number	A Diameter drill (mm)	B Kecepatan drilling (RPM)	Waktu (s)	Perubahan diameter (mm)
1	1,00	2300	1,15	0,0034
2	1,00	2800	0,86	0,00
3	1,00	30000	0,45	0,00
4	1,85	2300	1,30	0,0034
5	1,85	2800	0,90	0,00
6	1,85	30000	0,55	0,00
7	2,30	2300	1,40	0,00
8	2,30	2800	1,10	0,000
9	2,30	30000	0,65	0,00
10	4,00	2300	1,60	0,00
11	4,00	2800	1,20	0,00
12	4,00	30000	0,80	0,00
13	6,00	2300	2,10	0,00
14	6,00	2800	1,60	0,00
15	6,00	30000	0,90	0,00
16	8,00	2300	2,50	0,00
17	8,00	2800	2,00	0,00
18	8,00	30000	1,20	0,0034

Pengujian ANOVA pada pengaruh kecepatan *drilling* dengan diameter *drill* terhadap perubahan ukuran tidak dapat dilakukan karena memiliki nilai yang kecil. Akan tetapi analisis dapat dilakukan berdasarkan data yang ditampilkan dalam Tabel 4-1, hasil pengujian *multiple drilling* menunjukkan adanya variasi dalam perubahan diameter hasil *drilling* yang bergantung pada kecepatan spindel dan diameter mata bor yang digunakan. Pada kecepatan spindel sebesar 2300 RPM, terjadi perubahan diameter pada hasil *drilling* dengan mata bor berdiameter 1,00 mm dan 1,85 mm, yang menghasilkan penyimpangan sebesar 0,0034 mm. Sementara itu, pada kecepatan 30000 RPM, perubahan dimensi diamati pada mata

bor berdiameter 8,00 mm dengan penyimpangan yang sama sebesar 0,0034 mm. Di sisi lain, pada kecepatan 2800 RPM, tidak ditemukan perubahan dimensi yang signifikan pada seluruh variasi diameter mata bor yang digunakan dalam pengujian ini, menunjukkan kestabilan dimensi lubang *drilling* yang lebih baik. Grafik pada Gambar 4-29 mengilustrasikan perbedaan kualitas dan karakteristik lubang hasil *drilling* yang dihasilkan oleh masing-masing kombinasi parameter kecepatan dan diameter mata bor yang digunakan.



Gambar 4-29 Hasil pengujian *drilling* MDF dengan *Multiple drilling*

Untuk mengetahui pengaruh waktu analisis hasil pengujian dilakukan dengan mencari nilai S/N ratio yang dihitung menggunakan persamaan 3.1. Tabel 4-2 berikut menampilkan hasil ANOVA dua arah untuk waktu proses *drilling*. Tabel tersebut menggambarkan bahwa waktu merupakan faktor signifikan dalam mempengaruhi kualitas hasil *drilling* dengan menganalisis model linear S/N ratio terhadap diameter bor dan kecepatan pengeboran.

Tabel 4-2 *Two-way* ANOVA pada waktu *drilling*

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	-5,2849	0,1280	-41,275	0,000
Diameter 1,00	1,1668	0,2863	4,075	0,002
Diameter 1,85	1,8015	0,2863	6,292	0,000
Diameter 2,30	1,2380	0,2863	4,324	0,002
Diameter 4,00	-1,2636	0,2863	-4,413	0,001
Diameter 6,00	-0,8906	0,2863	-3,111	0,011
Kecepatan 2300	-0,2822	0,1811	-1,559	0,150

Term	Coef	SE Coef	T	P
Kecepatan 2800	0,6729	0,1811	3,716	0,004

Berdasarkan tabel tersebut, analisis koefisien menunjukkan bahwa setiap faktor memiliki pengaruh berbeda terhadap *S/N ratio* pada masing-masing levelnya. Sebagai contoh, diameter *drill* pada level 1,00 mm memiliki koefisien positif sebesar 3,3467, yang menunjukkan bahwa peningkatan diameter *drill* pada level tersebut cenderung meningkatkan *S/N ratio*. Dalam metode Taguchi yang digunakan, "smaller is better," sehingga nilai *S/N ratio* yang lebih kecil dianggap lebih baik. Berdasarkan nilai T dan P, faktor-faktor yang memiliki nilai P dibawah 0,05 dianggap sangat signifikan dalam mempengaruhi hasil eksperimen, sehingga faktor diameter 1,00 mm, kecepatan *drilling* 2300 RPM, dan beberapa faktor lainnya memiliki pengaruh yang nyata terhadap respon. Sehingga pemodelan analisis (*Model Summary*) digambarkan pada tabel berikut.

Tabel 4-3 Model Summary

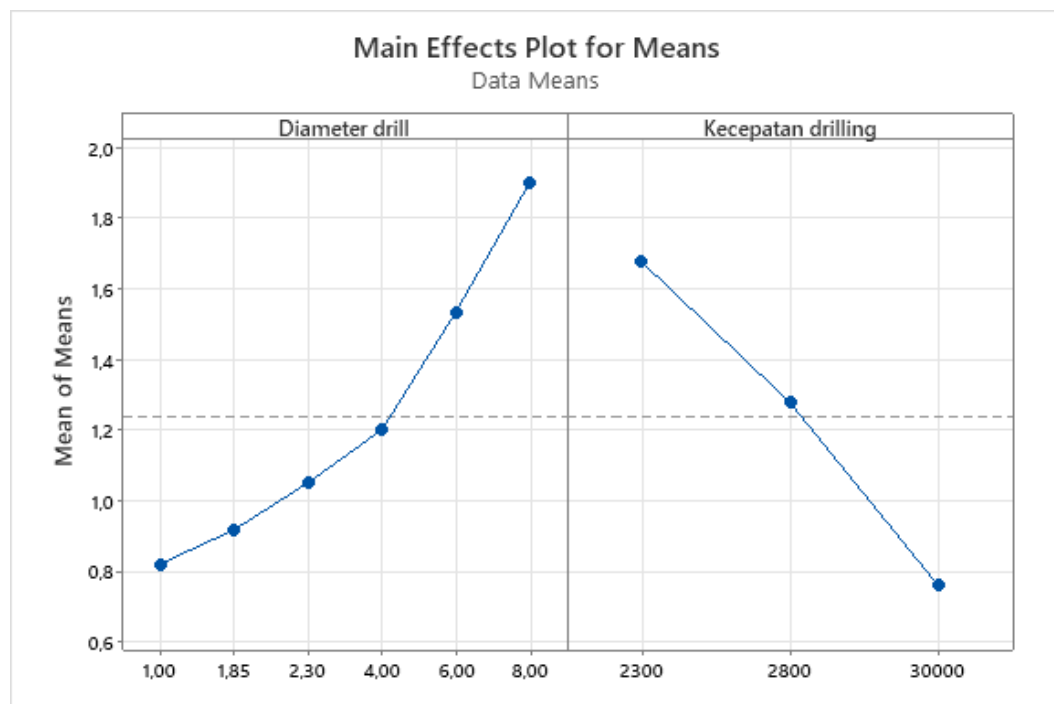
S	R-Sq	R-Sq(adj)
0,5432	93,48%	88,92%

Model Summary tersebut menunjukkan nilai S (*Standard Error*) sebesar 0,4687, yang menandakan bahwa model cukup baik dalam memprediksi *S/N ratio*. Nilai R-Square sebesar 99,20% mengindikasikan bahwa model ini mampu menjelaskan sebagian besar variasi dalam *S/N ratio*, sementara nilai R-Sq(adj) atau *Adjusted R-Square* yang mencapai 98,63% menunjukkan kualitas model yang sangat baik meskipun melibatkan beberapa variabel.

Tabel 4-4 Analisis variasi ANOVA pada *S/N ratio*

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Diameter <i>drill</i>	5	38,222	38,222	7,6443	25,90	0,000
Kecepatan <i>drilling</i>	2	4,110	4,110	2,0552	6,96	0,013
Residual Error	10	2,951	2,951	0,2951		
Total	17	45,283				

Dalam analisis variansi (ANOVA) seperti yang ditunjukkan pada tabel 4-4, hasil menunjukkan bahwa faktor diameter *drill* dan kecepatan *drilling* secara signifikan mempengaruhi hasil eksperimen dengan tingkat signifikansi (P-value) yang sangat rendah (0,000). Nilai F yang tinggi pada kecepatan *drilling* (345,60) juga memperkuat signifikansi faktor ini terhadap S/N ratio. Dari DF (Degree of Freedom), terlihat bahwa diameter *drill* diuji pada 6 level dengan DF 5, sementara kecepatan *drilling* pada 3 level dengan DF 2, dan faktor-faktor ini memberikan variasi pada S/N ratio dengan nilai Seq SS sebesar 119,431 untuk diameter *drill* dan 151,850 untuk kecepatan *drilling*.



Gambar 4-30 Plot effect pengaruh diameter *drilling* dan kecepatan *drilling* terhadap waktu

Grafik yang ditunjukkan pada Gambar 4-30 menunjukkan plot efek utama untuk rata-rata waktu pengeboran, yang mengindikasikan bahwa waktu pengeboran meningkat secara signifikan seiring dengan bertambahnya diameter mata bor dari 1,00 mm hingga 8,00 mm. Hal ini mengindikasikan bahwa semakin besar diameter mata bor, semakin lama waktu yang diperlukan untuk pengeboran. Peningkatan waktu ini disebabkan oleh resistansi material yang lebih tinggi terhadap mata bor dengan diameter lebih besar, yang memerlukan gaya lebih besar untuk pemotongan yang efektif. Sebaliknya, ketika kecepatan *drilling* meningkat

dari 2300 RPM menjadi 30000 RPM, waktu pengeboran justru berkurang. Peningkatan kecepatan ini memungkinkan proses pemotongan berlangsung lebih cepat, mengurangi waktu yang dibutuhkan untuk menembus material. Dengan demikian, peningkatan kecepatan *drilling* dapat mengurangi waktu pengeboran, yang dapat meningkatkan efisiensi dalam proses produksi.

Tabel 4-5 Respon tabel S/N rasio pada waktu

Level	Diameter <i>drill</i>	Kecepatan <i>drilling</i>
1	0,8200	1,6750
2	0,9167	1,2767
3	1,0500	0,7583
4	1,2000	-
5	1,5333	-
6	1,9000	-
Delta	1,0800	0,9167
Rank	1	2

Analisis menggunakan rasio S/N menunjukkan bahwa diameter *drill* menempati peringkat pertama sebagai faktor utama yang mempengaruhi waktu pengeboran dibandingkan kecepatan *drilling*, yang menempati peringkat kedua. Berdasarkan hasil ini, diameter *drill* memiliki dampak yang lebih signifikan terhadap lamanya waktu pengeboran dibandingkan kecepatan *drilling*.

4.2 Hasil Perencanaan *Stacking magazine*

Setelah perancangan selesai, dilakukan analisis waktu untuk mengevaluasi efisiensi integrasi sistem *Multiple Drilling* dan *Handling Station Stacking magazine*. Setiap tahapan proses dianalisis untuk menghitung efisiensi perencanaan *stacking magazine*, dengan mengintegrasikan waktu proses *drilling* dan *assembly* oleh operator agar kedua proses berjalan seimbang.

4.2.1 Hasil Perhitungan Kebutuhan Tekanan Udara

Perhitungan mekanisme *stacking magazine* dimulai dengan menghitung pergerakan silinder pneumatik yang spesifikasinya terdapat pada Lampiran 1.

Silinder pneumatik pada mekanisme *stopper* (Silinder Pneumatik 1) dan mekanisme *clamping* (Silinder Pneumatik 2) menggunakan jenis yang sama, yaitu SMC CXS 2 Series dengan ukuran bor 16 mm dan panjang *stroke* 15 mm. Sedangkan mekanisme *handling* (Silinder Pneumatik 3) menggunakan tipe MBB32-250Z dengan bor 32 mm dan *stroke* 250 mm. Pemilihan silinder ini didasarkan pada kesesuaiannya dengan desain *handling station stacking magazine*, yang berfungsi memindahkan MDF dari rak ke tempat *drilling*.

Panjang *stroke* (s) = 15 mm = 0,015 m

Waktu (t) = 1 s

Diameter (d) = 16 mm = 0,016 m

Tekanan kerja (P) = 6 bar = 6×10^5 Pa = 600.000 Pa

Menghitung debit aliran udara (*Flow rate*):

$$v = \frac{0,015}{1} = 0,015 \text{ m/s}$$

$$A = \pi \times \frac{d^2}{4}$$

$$A = \frac{\pi \times 0,016^2}{4} = 2,01 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$Q = A \times v$$

$$Q = 0,015 \text{ m/s} \times (2,01 \times 10^{-4} \text{ m}^2)$$

$$Q = 3,015 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$$

Menghitung volume udara yang dibutuhkan:

$$V = A \times s$$

$$V = 2,01 \times 10^{-4} \text{ m}^2 \times 0,015$$

$$V = 3,015 \times 10^{-6} \text{ m}^3$$

$$V = 3,015 \text{ cm}^3$$

Menghitung kekuatan dorong piston:

$$F = P \times A$$

$$F = 600.000 \text{ Pa} \times 2,01 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$F = 120.6 \text{ N}$$

Analisis pergerakan silinder 3:

Panjang *stroke* (s) = 250 mm = 0,25 m

Waktu (t) = 3 s

Diameter (d) = 32 mm = 0,032 m

Tekanan kerja (P) = 6 bar = 6×10^5 Pa = 600.000 Pa

Menghitung debit aliran udara (*Flow rate*):

$$v = \frac{s}{t}$$

$$v = \frac{0,25}{1} = 0,25 \text{ m/s}$$

$$A = \frac{\pi \times d^2}{4}$$

$$A = \frac{\pi \times 0,032^2}{4} = 8,04 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$Q = A \times v$$

$$Q = 0,25 \text{ m/s} \times (8,04 \times 10^{-4} \text{ m}^2)$$

$$Q = 2,01 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$$

Menghitung kekuatan dorong piston:

$$F = P \times A$$

$$F = 600.000 \text{ Pa} \times 8,04 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$F = 480.6 \text{ N}$$

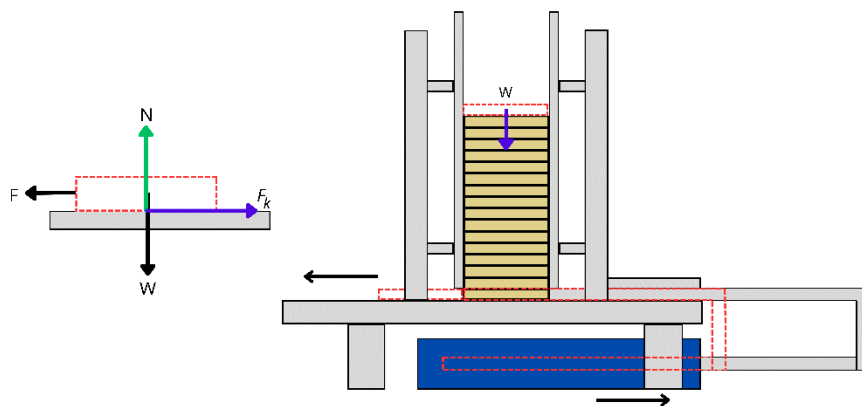
Berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan pada ketiga silinder pneumatik dalam perancangan *handling station stacking magazine*, diperoleh hasil perhitungan sebagai berikut:

1. Silinder 1 dan 2 menunjukkan kecepatan fluida sebesar $6,03 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$ dengan volume udara yang dibutuhkan pada a kali siklus sebesar $3,015 \text{ cm}^3$ dengan gaya tekan yang diberikan oleh silinder pneumatik sebesar 120.6 N.
2. Silinder 3 menunjukkan kecepatan fluida sebesar $2,01 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$ dengan volume udara yang dibutuhkan pada a kali siklus sebesar $50,02 \text{ cm}^3$ dengan gaya tekan yang diberikan oleh silinder pneumatik sebesar 480.6 N.

Hasil perhitungan digunakan untuk memastikan pemilihan perangkat instalasi silinder pneumatik sesuai sumber daya yang dimiliki oleh perusahaan. Selain itu perhitungan tekanan pada silinder 1 dan 2 penting untuk mengetahui daya *clamping* pneumatik pada MDF dan silinder 3 untuk mengetahui daya dorong dari pneumatik terhadap MDF.

4.2.2 Hasil Perhitungan Waktu *Stacking magazine*

Perhitungan dilakukan untuk mengetahui waktu yang dibutuhkan pada masing-masing proses yang ditunjukkan pada Gambar 3-8. Sistem *low cost automation* yang diterapkan pada mekanisme *Stacking* atau mendorong MDF yaitu dengan mengandalkan gravitasi dan tekanan pada silinder pneumatik seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4-31. Berikut merupakan perhitungan untuk mengetahui waktu yang dibutuhkan selama proses *stacking*:



Gambar 4-31 Ilustrasi mekanisme *stacking magazine*

Gaya tekan yang digunakan pada silinder pneumatik 3 yaitu 480.6 N yang diperoleh berdasarkan hasil perhitungan. Gaya tersebut memiliki nilai yang sangat besar dan berpotensi untuk merusak material MDF sesuai dengan spesifikasi silinder pneumatik SMC MBB32-250Z silinder mampu bekerja dengan tekanan 0,05 MPa – 1 MPa, untuk meminimalisir kerusakan, dilakukan penyesuaian dengan menggunakan tekanan minimum yaitu 0,05 MPa, pengaturan tekanan dapat dilakukan dengan menambahkan *digital control switch pneumatik* pada inlet silinder pneumatik.

$$0,05 \text{ Mpa} = 50.000 \text{ Pa}$$

$$F = 50.000 \text{ Pa} \times 8,04 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$F = 40,22 \text{ N}$$

Koefisien gesek MDF dengan Aluminium (μ_k) = 0,4

Massa MDF (m) = 117,59 gram = 0,11759 kg

Gravitasi (g) = 9,81 m/s^2

Tinggi MDF (h) = 8 mm = 0,008 m

Jarak (s) = 100 mm = 0,1 m

1. Menghitung waktu MDF turun

$$h = \frac{1}{2} \times g \times t^2$$

$$t = \sqrt{\frac{2h}{g}}$$

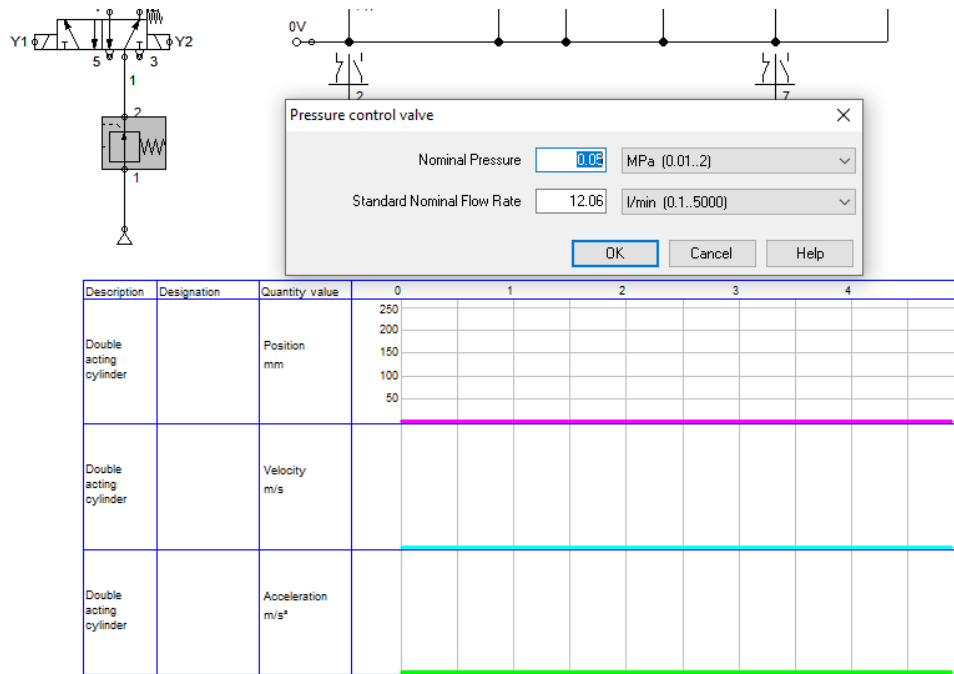
$$t = \sqrt{\frac{2 \times (0,008)}{9,81}} = \sqrt{0,0016} = 0,04 \text{ detik}$$

Sehingga berdasarkan waktu tersebut, MDF dapat bergerak dengan kecepatan:

$$v = \frac{s}{t} = \frac{0,0008}{0,04} = 0,2 \text{ m/s}$$

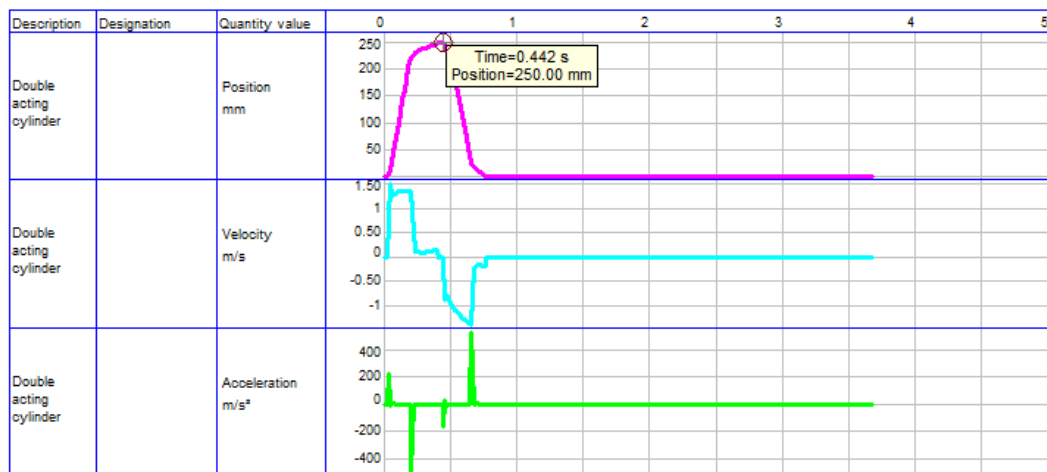
2. Menghitung waktu MDF terdorong

Pergerakan MDF terdorong sesuai dengan waktu piston silinder pneumatik bergerak dari titik 0 menuju titik maksimalnya yaitu 250 mm. Dengan menggunakan hasil perhitungan *flow rate* silinder 3 yaitu $2,01 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$ yang bila dikonversikan kedalam liter/menit sebagai input dari *software* FluidSIM nilainya menjadi 12,06 liter/menit. Berdasarkan hasil pengujian yang ditunjukkan Gambar 4-32, dengan tekanan 0,05 MPa silinder pneumatik tidak dapat memberikan respon pergerakan akibat input yang dimasukkan tidak mampu mendorong silinder piston silinder pneumatik.



Gambar 4-32 Pengujian waktu dengan $flowrate\ 2,01 \times 10^{-4}\ m^3/s$

Sehingga standar *flow rate* yang dimasukkan sebagai input menyesuaikan dengan standar yang diberikan oleh *Software FluidSM* sesuai dengan tekanan silinder pneumatik pada 0,05 MPa yaitu 300 l/min. Hasil dari pengujian disajikan pada Gambar 4-33 berikut.

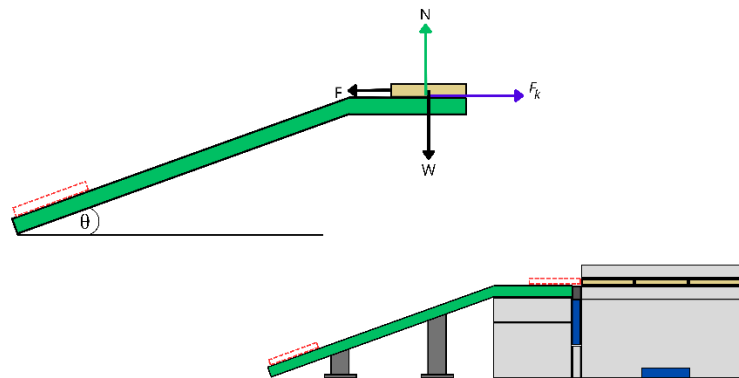


Gambar 4-33 pengujian waktu waktu dengan flo wrate 300 l/min

Berdasarkan gambar diatas silinder pneumatik memerlukan waktu sebesar 0,442 detik untuk mencapai jarak maksimalnya yang menandakan MDF terdorong oleh silinder pneumatik ketika mencapai jarak maksimalnya.

3. Menghitung waktu *handling* MDF melalui seluncur

Proses *handling* hasil *drilling* MDF dilakukan menggunakan sistem *low cost automation* dengan mengandalkan gravitasi dan bidang miring sebagaimana yang ditunjukkan pada gambar 4-34 berikut.



Gambar 4- 34 Ilustrasi pergerakan *handling* otomatis dengan bidang miring

Proses *handling* hasil *drilling* MDF dilakukan menggunakan sistem *low cost automation* dengan mengandalkan gravitasi dan bidang miring. Perhitungan waktu *handling* diperlukan untuk mengetahui waktu yang dibutuhkan selama proses *drilling* hingga *handling* menuju operator sesuai dengan waktu yang dibutuhkan operator selama melakukan siklus *assembly* komponen. Dalam proses perhitungan yang dilakukan material MDF bergerak pada lintasan berbahan teflon, sehingga dalam perhitungan waktu nilai koefisien gesek 0,04 digunakan berdasarkan Tabel 4-6 berikut.

Tabel 4- 6 Koefisien Gesek Material

Sumber: Fictiv (Tessa Axom, 2023)

<i>Material Making Contact with a Teflon® Surface</i>	<i>Static Coefficient of Friction</i>	<i>Kinetic Coefficient of Friction</i>
<i>Teflon</i>	0.04	0.04
<i>Teflon with Grease</i>	0.04	-
<i>Steel</i>	0.05 – 0.2	-
<i>Wet Snow at 0C</i>	0.05	-

<i>Material Making Contact with a Teflon® Surface</i>	<i>Static Coefficient of Friction</i>	<i>Kinetic Coefficient of Friction</i>
<i>Dry Snow at 0C</i>	0.02	-
<i>Nickel</i>	0.15	0.12
<i>Aluminum</i>	0.19	0.18
<i>Glass</i>	0.1	0.1
<i>Titanium Vanadium (Ti-6Al-4V)</i>	0.23	0.21

Proses perhitungan waktu *handling* MDF saat meluncur dilakukan sebagai berikut:

Massa MDF (m): 117,59 gram = 0,11759 kg

Koefisien gesek (μ): 0,04

Gaya dari piston (F): 40,22 N

Panjang lintasan lurus: 57 mm = 0,057 m

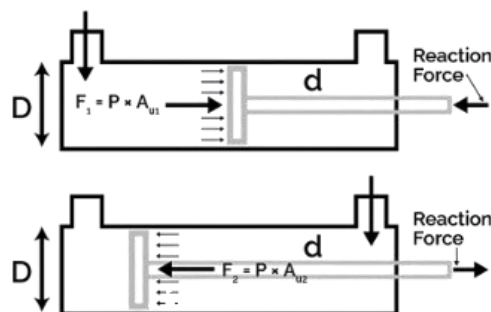
Panjang lintasan miring: 1041 mm = 1,041 m

Sudut kemiringan lintasan (θ): 11,5°

Gaya gravitasi (g): 9,81 m/s

a. Menghitung gaya dorong silinder pneumatik

Silinder pneumatik yang digunakan untuk mendorong MDF merupakan silinder silinder kerja ganda, sehingga dalam perhitungannya membutuhkan *reduce* atau gaya balik yang perlu dipertimbangkan. Ilustrasi pergerakan silinder kerja ganda ditampilkan pada Gambar 4-35 berikut.



Gambar 4-35 Ilustrasi pergerakan silinder kerja ganda (Louis hoyos, 2019)

Berdasarkan perhitungan sebelumnya luas silinder pneumatik (A_1) adalah $8,04 \times 10^{-4} m^2$ dengan gaya keluar F_1 sebesar 40,22 N. Menurut (Louis hoyos, 2024) pada tekanan 4-6 bar silinder pneumatik mengalami efisiensi penurunan gaya akibat gesekan sebesar 20%. Sehingga perhitungan gaya keluar *stroke* sebagai berikut:

$$F_1 = 40,2 \times (1 - 0,2) = 40,2 \times 0,8 = 32,16 N$$

Gaya balik dari silinder pneumatik (F_2) dapat dihitung dengan mencari luas bersih dari penampang. Berdasarkan datasheet diameter *stroke* (d) sebesar 12 mm atau 0,012mm sehingga luas bersih penampang dapat dihitung sebagai berikut:

$$A_2 = A_1 - \left(\pi \times \frac{d^2}{4} \right)$$

$$A_2 = 8,04 \times 10^{-4} - \left(\pi \times \frac{0,012^2}{4} \right) = 7,33 \times 10^{-4} m^2$$

Sehingga dengan tekanan yang diberikan 0,05 Mpa gaya balik *stroke* ideal adalah:

$$F_2 = P \times A_2$$

$$F_2 = 0,05 \times 7,33 \times 10^{-4} = 36,65 N$$

$$F_2 = 36,65 \times (1 - 0,2) = 29,32 N$$

b. Menghitung percepatan pada lintasan lurus

Sebagaimana perhitungan sebelumnya piston memberikan gaya F_1 sebesar 32,16 N, MDF akan memperoleh percepatan pada lintasan lurus sebagai berikut:

$$a = \frac{F}{m} = \frac{32,16}{0,11759} = 273,49 m/s^2$$

c. Menghitung kecepatan awal di lintasan miring

Langkah selanjutnya yaitu menghitung kecepatan awal di lintasan miring v pada ujung lintasan lurus yang menjadi kecepatan awal di lintasan miring, dapat dihitung menggunakan rumus gerak lurus sebagai berikut:

$$v^2 = v_0^2 + 2as$$

Karena kecepatan awal MDF mulai dari posisi diam maka $v_0 = 0$ sehingga perhitungannya menjadi:

$$v^2 = 2 \times 273,49 \times 0,0572$$

$$v \approx \sqrt{31,287} \approx 5,59 \text{ m/s}$$

d. Menghitung percepatan pada lintasan miring:

Pada lintasan miring, benda akan mengalami gaya gravitasi yang mengarah ke bawah, dan gaya gesek yang menghambat gerakan benda. Maka percepatan pada lintasan miring dapat dihitung dengan mempertimbangkan kedua gaya tersebut.

$$F_{miring} = m \times g \times \sin \theta$$

$$F_{miring} = 0,11759 \times 9,8 \times \sin(11,5^\circ) \approx 0,229 \text{ N}$$

Gaya gesek pada bidang miring dihitung sebagai berikut:

$$F_{gesek} = \mu \times m \times g \times \cos \theta$$

$$F_{gesek} = 0,04 \times 0,11759 \times 9,8 \times \cos(11,5^\circ) \approx 0,0457 \text{ N}$$

Sehingga F total dan percepatan dapat dihitung sebagai berikut:

$$F_{Total} = F_{miring} - F_{gesek}$$

$$F_{Total} = 0,229 - 0,0457 = 0,1833 \text{ N}$$

$$a = \frac{F_{Total}}{m} = \frac{0,1833}{0,11759} \approx 1,56 \text{ m/s}^2$$

e. Menghitung waktu pada lintasan miring:

Selanjutnya dapat dilakukan perhitungan waktu yang dibutuhkan untuk menempuh jarak 104,1 cm lintasan miring sebagai berikut:

$$v^2 = v_0^2 + 2as$$

$$v^2 = (5,59)^2 + (2 \times 1,56 \times 1,041)$$

$$v \approx \sqrt{34,44} \approx 5,86 \text{ m/s}$$

Berdasarkan perhitungan tersebut dapat dilakukan perhitungan waktu dengan persamaan berikut:

$$s = v_0 \times t + \frac{1}{2}at^2$$

Dengan $v_0 = 5,86 \text{ m/s}$, $a = 1,56 \text{ m/s}^2$, dan $s = 1,041 \text{ m}$ dapat Menyusun persamaan kuadrat untuk memperoleh waktu sebagai berikut:

$$1,041 = 5,86 \times t + \frac{1}{2} \times 1,56 \times t^2$$

$$1,041 = 5,86 t + 0,78t^2$$

Sehingga persamaan kuadratnya menjadi, $0,78t^2 + 5,86t - 1,041 = 0$. Dengan menggunakan persamaan kuadrat berikut:

$$t = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

Dengan $a = 0,78$, $b = 6,24$, dan $c = -1041$, persamaan tersebut dapat disubstitusikan sebagai berikut:

$$t = \frac{-5,86 \pm \sqrt{5,86^2 - 4 \times (0,78) \times (-1,041)}}{2 \times 0,78}$$

$$t = \frac{-5,86 \pm 6,51}{1,56}$$

Dengan nilai waktu terus maju sehingga hasilnya selalu positif. Sehingga persamaannya menjadi

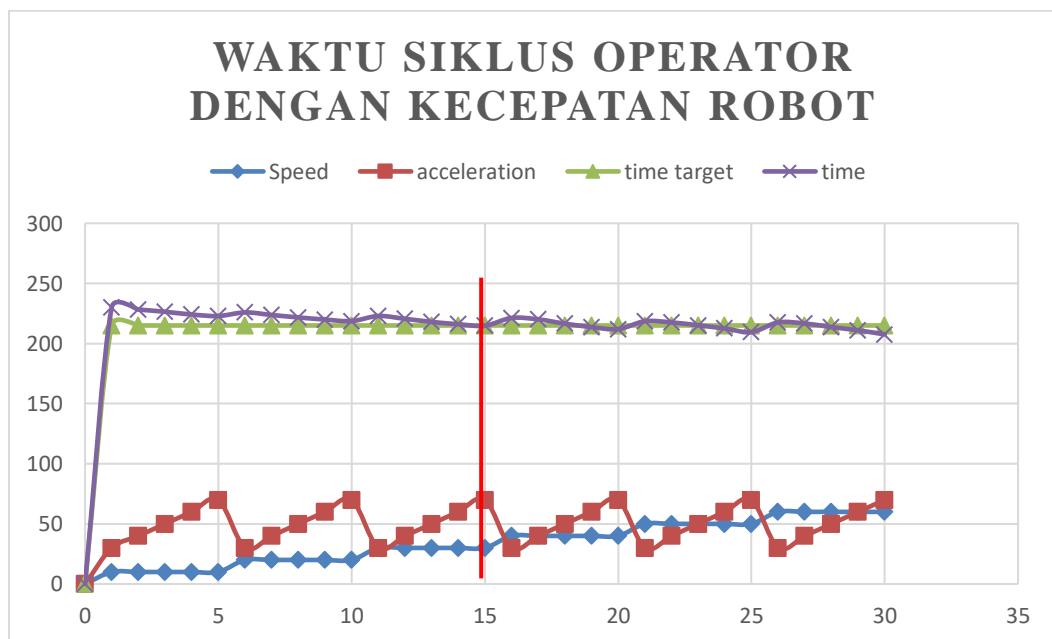
$$t = \frac{5,86 - 6,51}{1,56} \approx 1,68 \text{ detik}$$

Berdasarkan perhitunganyang telah dilakukan maka didapatkan dapat diketahui bahwa perhitungan waktu total dari pengerjaan *handling* menggunakan sistem *stacking magazine* adalah 8,17 detik. Sehingga total waktu proses *handling*

menggunakan *stacking magazine* dari MDF turun (0,04 detik), MDF terdorong (0,442 detik), hingga MDF terjun menuju operator (1,68 detik) adalah 2,168 detik.

4.2.3 *Man-machine chart* Proses Otomatis

Berdasarkan pengujian *man-machine chart* pada proses *handling* dan *drilling* manual, total waktu yang dibutuhkan operator untuk melakukan *assembly* adalah 215 detik. Untuk mendapatkan waktu yang sinkron antara proses *assembly* operator dengan proses *drilling* otomatis dilakukan uji coba pada kecepatan pergerakan robot dan kecepatan *drilling* pada *air drilling tools* untuk mendapatkan waktu yang sesuai.



Gambar 4-36 Waktu *assembly* operator vs kecepatan dan akselerasi

Percobaan dilakukan dengan mengubah parameter kecepatan dan akselerasi pada lengan robot yang ditampilkan pada tabel berikut. Dari percobaan tersebut dengan nilai kecepatan 30% dan akselerasi 70% robot mampu mengimbangi waktu kerja operator yaitu 214,815 detik untuk melakukan proses *drilling* sebagaimana yang ditunjukkan pada Gambar 4-36. Sehingga proses perencanaan sistem *handling station stacking magazine* dengan kombinasi *Multiple drilling* lengan robot dapat digambarkan pada tabel 4-6 *man-machine chart* berikut.

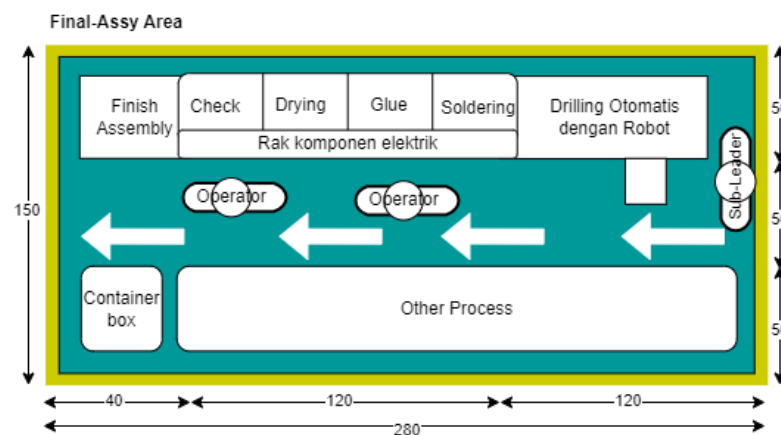
Tabel 4- 7 Man-machine chart proses otomatis

Final Assy Machine process				Sub Leader Final-Assy				Operator Final-Assy						
Isi Pekerjaan		Waktu (s)		Simbol	Isi pekerjaan		Waktu (s)		Simbol	Isi pekerjaan		Waktu (s)		Simbol
Main Process	Detail Process				Main Process	Detail Process				Main Process	Detail Process			
Start potition	Off Machine	79	79	Preparation	Mengambil material Finish Drilling	90	90	Preparation	Siapkan Glue	5	5	13	8	
					Meletakkan MDF pada magazine				Siapkan solder dan timah					
Machine on	Clamping oleh piston 1 (stopper) & piston 2 (clamping)	124	3		Setting Magazine	121	31		scheduled process is in progress	FA mengerjakan proses sesuai dengan penjadwalan yang sudah ada pada sistem YEMI Internal yang dibuat oleh tim PC (production control)	---	---		
					Pilih program pada PC									
				Piston 3 Mendorong MDF	132			8						
Proses Driling	347	215												
Handling machine	Piston 1 (stopper) terbuka	349	2	scheduled process is in progress	Melakukan monitoring pada proses lainnya	---	---	Handling	Mengambil potongan MDF	352	3	360	8	
	Piston 3 Mendorong MDF								Membersihkan sisa drilling					
	MDF Meluncur								Repeat process	Mengulangi proses permesinan hingga sesuai dengan jumlah pada penjadwalan	---	---	Assembling process	Penyolderan komponen elektrik
	Pengeleman komponen elektik Pada MDF													
	Mengeringkan lem													
								Handling	Menaruh hasil assembly pada box	585	10			
								Repeat process	Mengulangi proses	---	---			

Dari man *machine* chart tersebut terdapat *idle* atau proses menunggu ketika mesin dalam kondisi mati, total waktu proses *drilling* hingga *assembly* pada sistem ini adalah 585 detik.

4.2.4 Hasil Risk-Assessment Proses Otomatis

Sistem *handling* dan *drilling* dirancang untuk beroperasi dalam satu lini guna mengoptimalkan proses, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4-37. Dari perancangan dan perencanaan yang telah dilakukan selanjutnya dilakukan analisis risk assessment untuk menilai sejauh mana sistem ini dapat meminimalkan potensi kecelakaan kerja, dengan menggunakan parameter *Likelihood* dan *Saverity* dalam upaya pengendalian risiko kecelakaan.



Gambar 4-37 Ilustrasi layout proses *handling* dan *drilling* otomatis

Dengan penerapan mekanisme dan layout tempat kerja yang telah dirancang, analisis *risk assessment* dilakukan menggunakan metode HIRADC, yang ditunjukkan pada Tabel 4-7. Berdasarkan level kategori risiko metode HIRADC, pada sistem otomatis *drilling* dan *handling*, risiko kecelakaan tertinggi terdapat pada proses pembersihan sisa serbuk, dengan skor 12 (kategori Tinggi) dengan pengendalian risiko berupa memakai masker dan kaca pelindung. Pada proses *drilling*, risiko kecelakaan terkait dengan kemungkinan kegagalan fungsi atau kerusakan sistem, yang dapat merusak mesin atau material. Namun, risiko ini memiliki kemungkinan kejadian yang rendah (nilai 2 - *Unlikely*). Risiko-risiko ini dapat dikendalikan dengan pemasangan sensor perlindungan, tombol darurat (*emergency stop*), dan sekat pelindung yang memisahkan operator dari robot

Tabel 4-8 Hasil *risk-assessment* proses otomatis

Proses drilling otomatis							
No.	Tahap Proses	Potensi Bahaya	Dampak	Likelihood	Severity	(Likelihood × Severity) = Risiko	Pengendalian Risiko
1	Mengambil material MDF hasil pemotongan	Material jatuh atau tertimpa material	Cedera fisik seperti terjepit	3 (Moderate)	1 (Insignifaciant)	3 (Rendah)	Gunakan alat angkat yang aman, gunakan sarung tangan pelindung.
		Posisi tubuh tidak ergonomis	Nyeri punggung atau otot	1 (Rare)	3 (Moderate)	3 (Rendah)	Pelatihan tentang teknik angkat ergonomis.
2	Mengantarkan MDF pada magazine menggunakan trolis	Potensi terjatuh	Kerusakan material	2 (Unlikely)	2 (Minor)	2 (Rendah)	Pelatihan ergonomi proses menumpuk MDF agar stabil
		Beban terlalu berat atau sulit dipindah	Cedera punggung/otot	2 (Unlikely)	1 (Insignifaciant)	3 (Rendah)	Gunakan alat bantu pemindahan jika memungkinkan.
3	Setting mesin drilling otomatis	Kesalahan pengaturan mesin	Kegagalan operasi, hasil drilling buruk	2 (Unlikely)	3 (Moderate)	6 (Menengah)	Prosedur pengecekan ulang dan pelatihan pengoperasian mesin.
		Risiko tersengat listrik	Cedera serius	2 (Unlikely)	3 (Moderate)	6 (Menengah)	Pastikan alat terhubung dengan grounding.
4	Robot lengan drilling bergerak dan beroperasi	Kegagalan sistem atau malfungsi	Kerusakan mesin atau material	2 (Unlikely)	4 (Major)	8 (Menengah)	Lakukan pemeliharaan rutin dan penambahan sensor
5	Mengambil material finish drilling secara	Posisi tubuh tidak ergonomis	Nyeri otot atau punggung	1 (Rare)	3 (Moderate)	3 (Menengah)	Terapkan pelatihan tentang teknik angkat
6	Membersihkan sisa serbuk hasil drilling	Paparan debu serbuk MDF	Masalah pernapasan atau iritasi mata	4 (Likely)	3 (Moderate)	12 (Tinggi)	Gunakan masker dan kacamata pelindung
		Material tajam tertinggal	Risiko luka tusuk	3 (Moderate)	2 (Minor)	6 (Menengah)	Gunakan sarung tangan dan alat pembersih khusus.

Hasil analisis menunjukkan rata-rata nilai perkalian antara *Likelihood* dan *Saverity* sebesar 3,714, yang berada pada kategori rendah berdasarkan tabel penilaian risk assessment (Kevin dan Yayok 2024).

4.3 Pembahasan

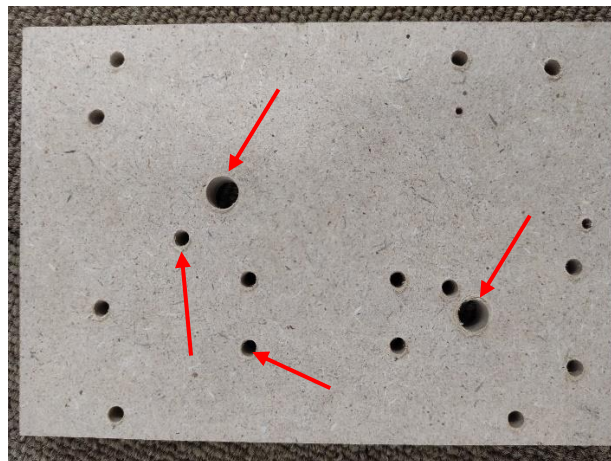
Setelah pembuatan *multiple drilling* pada lengan robot, uji coba dilakukan menggunakan material MDF NS-F700 dengan diameter *drill* 1,85 mm, 2,3 mm, 4 mm, dan 8 mm dengan kecepatan dan akselerasi lengan robot 30% dan 70% sesuai dengan Gambar 4-20. Pengujian dilakukan pada mesin *drilling* Fuji FRD3-6s dengan kecepatan 2800 RPM, karena berdasarkan metode Taguchi dan analisis ANOVA, kecepatan ini menunjukkan perubahan diameter yang paling minimal. Hasil plot ANOVA menunjukkan bahwa waktu pengeboran lebih lama dibutuhkan untuk diameter *drill* yang lebih besar, sedangkan peningkatan kecepatan *drilling* mempercepat proses pengeboran. Berdasarkan analisis rasio S/N, diameter kecil lebih cocok untuk kecepatan tinggi, sementara diameter besar sebaiknya

menggunakan kecepatan rendah seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4-31. Namun, hasil pengujian menunjukkan bahwa kualitas *drilling* terbaik diperoleh pada kecepatan 2800 RPM tanpa perubahan diameter. Oleh karena itu, mesin *drilling* Fuji FRD3-6s dengan kecepatan 2800 RPM dipilih untuk alat *multiple drilling* ini seperti yang ditampilkan pada Gambar 4-38.

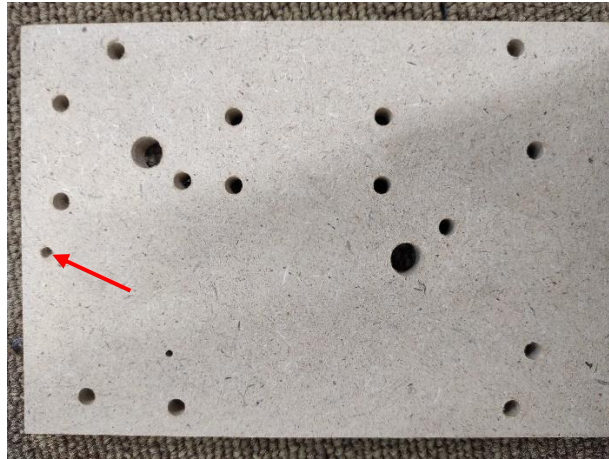


Gambar 4-38 Sistem *multiple drilling* dengan FUJI FRD-6s-3

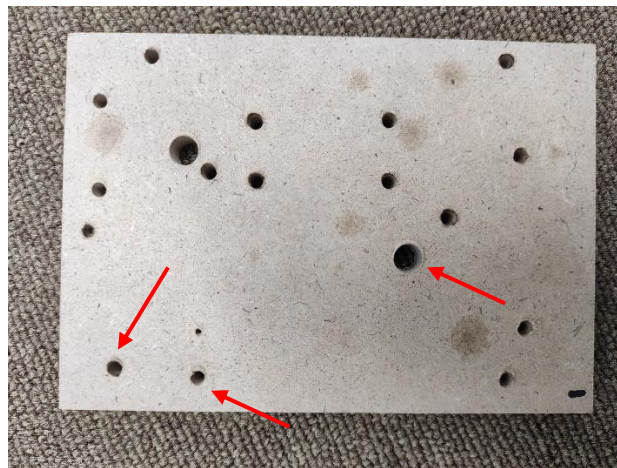
Dari beberapa yang dilakukan pada model MDF NS-F 700 dengan beberapa kecepatan *drilling* yang dilakukan sampling dari beberapa hasil yang menunjukkan bahwa kecepatan putaran dan diameter mempengaruhi hasil *drilling* yang ditunjukkan pada Gambar 4-39, Gambar 4-40, dan Gambar 4-41.



Gambar 4-39 Sample hasil pengujian pada kecepatan 30000 RPM



Gambar 4-40 Sample hasil pengujian pada kecepatan 2800 RPM



Gambar 4-41 Sample hasil pengujian pada kecepatan 2300 RPM

Dari gambar tersebut dapat dilihat bahwa pada kecepatan 30000 RPM pada diameter 8 mm dan 4 mm menyisakan sisa bekas *drilling* pada bagian tepi. Pada percobaan yang dilakukan dengan diameter kecil pada kecepatan 30000 menghasilkan asap akibat kecepatan putar yang tinggi dan meninggalkan sedikit bekas luka bakar pada kecepatan tersebut. Pada kecepatan 2300 RPM menghasilkan sedikit delaminasi (sisa serbuk yang tertinggal pada bagian tepi lubang) delaminasi terjadi pada diameter 1,85 mm dan 2,3 mm. percobaan pada kecepatan 2800 menghasilkan hasil yang optimal pada seluruh diameter *drilling* dengan delaminasi yang lebih sedikit dan tidak adanya luka bakar.

Pada proses perancangan *multiple drilling*, terdapat beberapa kendala saat pembuatan dan penggunaan alat, namun semua masalah tersebut berhasil diatasi. Masalah pertama adalah panjang *mounting multiple drilling* yang perlu diubah. Pada pengujian sebelumnya di PT. YEMI, panjang *mounting* 19 cm dinilai sesuai,

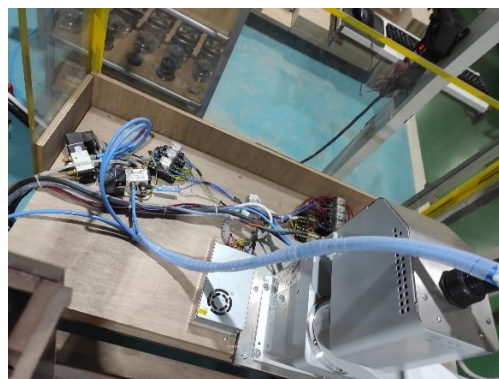
tetapi dalam pengujian saat ini, *mounting* tersebut menabrak meja kerja karena perbedaan jenis meja. Oleh karena itu, panjang *mounting* disesuaikan dengan desain baru, termasuk faktor beratnya.

Masalah berikutnya terjadi pada kopler selang PU. Awalnya, pemasangan menggunakan kopler panjang untuk menyesuaikan inlet selang PU.



Gambar 4-42 Kopler selang PU

Namun, kopler yang terlalu panjang menyebabkan *multiple drilling* tidak dapat kembali ke posisi *home* saat pengeboran diameter kecil, karena kopler menabrak robot. Solusi dari masalah ini adalah mengganti kopler dengan tipe L inlet nomor 6 dan memasangnya paralel menggunakan splitter nomor 8. Selain itu posisi wiring sebelumnya tidak rapih yang berakibat pada sulitnya melakukan perbaikan pada saat trial and error untuk menyesuaikan sumber input dan output. Akan, tetapi masalah tersebut dapat diatasi dengan mengelompokkan input listrik dan input kompressor serta merapihkan wiring seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4-43 berikut.

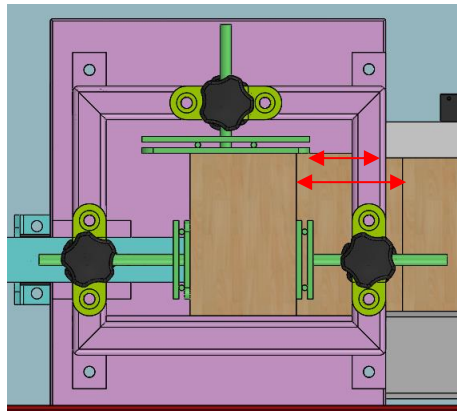


Gambar 4-43 Pengelompokkan wiring komponen

Berdasarkan perhitungan waktu menggunakan FluidSIM, tekanan dorong pada silinder pneumatik menghasilkan nilai sebesar 480,6 N, yang berpotensi

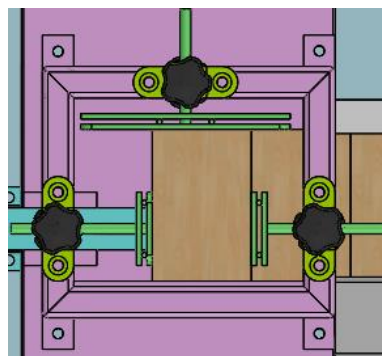
menyebabkan kerusakan pada material MDF. Oleh karena itu, tekanan input diturunkan menjadi 0,05 MPa untuk pengujian selanjutnya. Pada proses *handling* otomatis dengan FluidSIM (Gambar 4-34), nilai *flowrate* disesuaikan dengan spesifikasi silinder pneumatik, sehingga diperoleh waktu proses sebesar 0,442 detik, dengan total waktu proses *handling* otomatis sebesar 8,65 detik yang kemudian dimasukkan ke dalam *Man-machine chart* sebagai input.

Selain itu pada perencanaan sistem *stacking magazine*, terdapat kekurangan yaitu ukuran *magazine clamping* kurang tepat seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4-44, karena beberapa model MDF seperti model VX-510 W, model BP-401, dan model NS-C901 memiliki jarak yang cukup jauh sehingga dapat merusak barisan MDF yang tidak terkena *clamping* dengan maksimal.



Gambar 4- 44 Ukuran *clamping* sistem *magazine* semula

Perubahan ukuran lebar *clamping* dilakukan agar dapat digunakan pada semua model dengan *clamping* yang maksimal sehingga perubahannya dapat dilihat pada Gambar 4-45 berikut.



Gambar 4- 45 Perbaikan ukuran *clamping* sistem *magazine*

Berdasarkan perancangan dan analisis yang telah dilakuakn total waktu proses *handling* dan *drilling* secara manual adalah 1.211 detik, sedangkan dengan sistem otomatis hanya membutuhkan waktu 585 detik. Dengan menggunakan persamaan 2.2, efisiensi dari penerapan sistem *multiple drilling* dan *handling station stacking magazine* dapat dihitung sebagai berikut:

$$Efisiensi = \frac{output}{Input} \times 100\%$$

$$Efisiensi = \frac{585}{1.211} \times 100\% = 48,3\%$$

Berdasarkan analisis *Man-machine chart*, efisiensi waktu pada sistem otomatis mencapai 48,88%. Selain itu, hasil pengujian risk assessment menunjukkan bahwa proses manual memiliki rata-rata risiko total sebesar 6,461 (kategori menengah), sedangkan pada sistem otomatis risiko rata-rata turun menjadi 3,714. Maka, efisiensi pengendalian risiko pada sistem otomatis mencapai 57.48%.

BAB 5

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil yang telah diperoleh, dari perancangan *Multiple drilling* dan perencanaan *handling station stacking magazine* ditarik beberapa kesimpulan berupa:

1. *Multiple drilling* pada lengan robot berhasil dirancang dengan mempertimbangkan penggunaan komponen yang optimal, sesuai dengan kriteria desain.
2. Penggunaan *multiple drilling* dan *handling station* terbukti efektif dalam mengurangi waktu siklus *drilling* dan menurunkan risiko keselamatan pada proses *drilling* dan *handling* MDF, sehingga meningkatkan efisiensi dan keselamatan operator.
3. Penggunaan *multiple drilling* pada lengan robot mampu menghasilkan kualitas hasil *drilling* yang optimal, dengan kualitas hasil yang sangat dipengaruhi oleh parameter kecepatan putar dan diameter mata bor.

5.2 Saran atau Penelitian Selanjutnya

Merancang sistem *handling station stacking magazine* untuk mengevaluasi kesesuaian perencanaan dan perancangan dengan melakukan pengujian pada model MDF lainnya yang dimiliki PT. YEMI untuk menilai efektivitas desain. Serta mengukur kekasaran permukaan hasil *drilling* untuk menganalisis pengaruh kecepatan dan diameter dalam mencapai hasil *drilling* yang optimal

DAFTAR PUSTAKA

- Almakarin, Muhamad Fauzan, dan Haris Abizhar. 2023. “Analisa Perawatan Mesin Bor Duduk Menggunakan Perawatan *Preventif*.” *Vocational Education National Seminar* 2(1):19–33.
- Amin, Al. 2019. “*Human Machine Interface* untuk Sistem Otomasi *Handling Station*.” *Jurnal Teknologi Industri* 13–20.
- Ashraf, Masood, M. Muzammil, dan Abid A. Khan. 2020. “*Design and Evaluation of a Feed Handle for a Bench Drilling Machine*.” *Work* 67(2):441–48.
- Ayyildiz, Elmas Aşkar, Mustafa Ayyildiz, dan Fuat Kara. 2021. “*Optimization of Surface Roughness in Drilling Medium-Density Fiberboard with a Parallel Robot*.” *Advances in Materials Science and Engineering* 2021.
- Badarudin, Rohjai. 2022. “*Virtual Distributing Station* sebagai Sarana Media.” *Jurnal Edukasi Elektro* 06(02):75–84.
- Campi, Federico, Claudio Favi, Michele Germani, dan Marco Mandolini. 2022. “*CAD-Integrated Design for Manufacturing and Assembly in Mechanical Design*.” *International Journal of Computer Integrated Manufacturing* 35(3):282–325.
- Doll, John P., dan Frank Orazem. 1984. “*Production Economics, Theory with Applications*.” *American Journal of Agricultural Economics* 9:158–59.
- Ermiyati, Fakhri, dan Citra Hockiana. 2021. “Penilaian Risiko Keselamatan dan Kesehatan Kerja pada Pekerjaan Kolom, Balok dan Pelat Lantai.” *Journal of Civil Engineering, Building and Transportation (JCEBT)* 5(2):69–82.
- Gautam, Rahul, Ankush Gedam, Ashish Zade, dan Ajay Mahawadiwar. 2018. “*Review on Development of Industrial Robotic Arm*.” (Januari 2017):2–6.
- Hidayat, Akhmad Ari. 2020. “Analisis Program Keselamatan Kerja dalam Usaha Meningkatkan Produktivitas Kerja dengan Pendekatan *HIRARC* dan *FTA* (Studi Kasus: PT Mitra Karsa Utama).” *SIJIE Scientific Journal of Industrial Engineering* 1(2):1–6.
- Ilmi, Roshkhuna. 2019. “Manajemen Risiko Kesehatan dan Keselamatan Kerja dengan Penyusunan *Hazard Identification Risk Assessment and Risk Control (HIRARC)* (Studi Kasus: PT Entri Jaya Makmur).”

- Imam Syafi, I., Nely Ana Mufarida, dan Asmar Finali. 2020. "Analisis Pengaruh Kecepatan Putar Spindel (*RPM*) dan Pengaruh Pendingin terhadap Kekasaran Permukaan Material Baja Umum *SGD 400 D* pada Mesin Bubut *CNC*." Universitas Muhammadiyah Jember.
- Kevin, Ferdicha, dan Purnomo Yayok. 2024. "Analisis Risiko *K3* dengan Metode *HIRADC* pada Industri Kepelabuhan di Jawa Timur." *Manufaktur: Publikasi Sub Rumpun Ilmu Keteknikan Industri* 2(2):118–26.
- Kumar, B. Suresh, N. Baskar, dan K. Rajaguru. 2019. "Drilling Operation: A Review." *Materials Today: Proceedings*.
- Lohit, A. Lokesh. 2018. "Low Cost Automation." *IJRCT* 6(1):2320–2882.
- Lynn, McAtamney, dan Nigel Corlett. 1993. "RULA: A Survey Method for the Investigation of Work-Related Upper Limb Disorders." *Applied Ergonomics* 24(2):91–99.
- Mariappan, Saravana, dan Anbumalar Veerabathiran. 2016. "Modelling and Simulation of Multi Spindle Drilling." *Revista Facultad de Ingeniería, Universidad de Antioquia* No. 81:63–72.
- Matheson, Eloise, Riccardo Minto, Emanuele G. G. Zampieri, Maurizio Faccio, dan Giulio Rosati. 2019. "Human–Robot Collaboration in Manufacturing Applications: A Review."
- Messaoudi, Fouad, Abdelhakim Djebara, dan Mohamed Djennane. 2023. "Robotic Drilling of Aluminum Alloy Performance and Hole Quality." *Journal of Manufacturing Processes* 67(3):235–51.
- Mohd-Lair, N. A., M. F. I. Mohd-Shahdun, A. Mohd-Tahir, dan J. Paulus-Dua. 2019. "The Effects of Spindle Speed and Feed Rate on Hole Quality in Drilling Operation: The Taguchi-Based Design of Experiment." *Journal of Mechanical Engineering Research and Developments* 42(5):187–89.
- Muhammad, Ferdianto. 2020. "Pengoperasian Perawatan dan Perbaikan Mesin Bor di Kapal Motor Dharma Kencana PT Janata Marina Indah." *Teknika* 8–45.
- Rumita, Rani, Susatyo Nugroho W.P., dan Sari Veronica Jantitya. 2014. "Analisis Risiko Keselamatan dan Kesehatan Kerja dengan Menggunakan Pendekatan *HIRARC* (Studi Kasus: PT Coca Cola Bottling Indonesia Unit Semarang)." *Prosiding SNST Fakultas Teknik* 2014(5):38–42.

- Sagar, Sonera, Kotiya Hiren, Desai Malhar, Bhagat Tejas, dan Hardik Mehta. 2018. “*Design and Fabrication of Combined Drilling and Boring Machine.*” *International Journal for Research in Applied Science & Engineering Technology (IJRASET)* 6(May):6.
- Said, Nor Azinee, Muhammad Afiq Roslan, Norsilawati Ngah, dan Ahmad Joramee Mohamad. 2023. “*Design and Fabrication of Jig and Fixture for Drilling Machine in the Manufacturing Industry to Improve Time Productivity.*” 2(2):304–13.
- Satrya, Lukas, dan Agus Halim. 2023. “Pembuatan Silinder *Pneumatic* di PT Shiba Hidrolik Pratama.” *Jurnal Serina Sains, Teknik dan Kedokteran* 1(1):53–62.
- Sayekti, Elmi Nur, Ali Murtopo, dan Yudhi Arnandha. 2022. “Kekuatan Sambungan Dua Tampang pada *MDF* dengan Alat Sambung Pasak *WPC.*” 27(02):103–12.
- Widyatmoko, Ratmono Hari, Jennifer Ongko Rahardjo, Marfin Caesario Cahyadi, Henricus Pupung Priya Sambada, dan Frans Wijaya. 2020. “Pemilihan Mekanisme *Magazine Carrier Station Unit* pada *Handling Sistem Training Unit.*” *IMDeC / Industrial and Mechanical Design Conference* 2:298–304.
- Zhang, Caiming, Yong Chen, dan Hong Chen. 2021. “*Industry 4.0 and Its Implementation: A Review.*”

LAMPIRAN 1

1. Surat perizinan pengambilan data



PT. YAMAHA ELECTRONICS MANUFACTURING INDONESIA
Kawasan Industri PIER (Kawasan Berikat Nusantara) Jl. Rembang Industri II / 9 - 11, Mojoparou - Rembang
PASURUAN 67152 - INDONESIA Telp. : 62 - 343 - 740284 (Hunting 4 Lines) Fax. : 62 - 343 - 740282

SURAT KETERANGAN

No : 053/YEMI/HR/EKS/X/2024

Kami yang bertandatangan dibawah ini, Bagian Human Resources & General Affairs (HRGA)
PT. YAMAHA ELECTRONICS MANUFACTURING INDONESIA dengan ini menerangkan bahwa :

Nama	: Muhamamad Farel Hawaari Ilyas
Nomor Induk Mahasiswa	: 20525067
Jurusan	: Teknik Mesin
Fakultas	: Teknologi Industri
Alamat	: UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA - YOGYAKARTA

Telah melakukan program Internship melalui penelitian dan pengamatan untuk penyusunan
Tugas Akhir dengan Judul "*Rancang Bangun Multiple Drilling Menggunakan Robot Lengan
dan Handling Station Stacking Magazine Pada Proses Produksi di PT. Yamaha Electronics
Manufacturing Indonesia (YEMI).*"

Program ini dilaksanakan terhitung mulai tanggal 12 Maret 2024 sampai dengan tanggal 30
September 2024. Kami mengucapkan terima kasih atas usaha dan partisipasi yang telah
diberikan.

Demikian surat keterangan ini dibuat untuk dapat dipergunakan sebagaimana mestinya.

Pasuruan, 27 September 2024

HRGA DEPARTEMENT

PT. YAMAHA ELECTRONICS
MANUFACTURING INDONESIA



Manager HRGA

2. Data pengujian kecepatan dan akselerasi robot

Posisi	Speed 10 acel 30	Speed 10 acel 40	Speed 10 acc 50	Speed 10 acc 60	Speed 10 acc 70	Speed 20 acc 30	Speed 20 acc 40	Speed 20 acc 50	Speed 20 acc 60	Speed 20 acc 70	Speed 30 acc 30	Speed 30 acc 40	Speed 30 acc 50	Speed 30 acc 60	Speed 30 acc 70	
Titik 1	2,581	2,533	2,485	2,428	2,396	1,666	1,61	1,551	1,509	1,475	1,31	1,248	1,176	1,126	1,093	
Bor 1	10,452	10,404	10,356	10,31	10,278	10,6	10,544	10,56	10,5	10,466	10,615	10,553	10,509	10,456	10,423	
Titik 2	1,942	1,894	1,846	1,709	1,677	1,563	1,507	1,385	1,298	1,264	1,389	1,327	1,193	1,102	1,069	
Bor 2	10,359	10,311	10,263	10,231	10,199	10,545	10,489	10,459	10,447	10,413	10,519	10,457	10,495	10,431	10,398	
Titik 3	1,384	1,336	1,288	1,205	1,173	1,145	1,089	1,003	0,951	0,917	1,015	0,953	0,858	0,795	0,762	
Bor 3	10,361	10,313	10,265	10,27	10,238	10,545	10,489	10,486	10,46	10,426	10,515	10,453	10,439	10,405	10,372	
Titik 4	1,462	1,414	1,366	1,283	1,251	1,187	1,131	1,044	0,987	0,953	1,056	0,994	0,893	0,825	0,792	
Bor 4	10,36	10,312	10,264	10,26	10,228	10,553	10,497	10,455	10,459	10,425	10,589	10,527	10,483	10,411	10,378	
Titik 5	1,706	1,658	1,61	1,525	1,493	1,311	1,255	1,169	1,109	1,075	1,149	1,087	0,981	0,909	0,876	
Bor 5	10,458	10,41	10,362	10,311	10,279	10,614	10,558	10,533	10,504	10,47	10,708	10,646	10,651	10,486	10,453	
Titik 6	1,373	1,325	1,277	1,17	1,138	1,177	1,121	1,027	0,962	0,928	1,065	1,003	0,905	0,824	0,791	
Bor 6	10,427	10,379	10,331	10,307	10,275	10,647	10,591	10,533	10,499	10,465	10,587	10,525	10,509	10,477	10,444	
Titik 7	1,835	1,787	1,739	1,653	1,621	1,375	1,319	1,231	1,177	1,143	1,192	1,13	1,023	0,951	0,918	
Bor 7	10,364	10,316	10,268	10,237	10,205	10,548	10,492	10,465	10,455	10,421	10,567	10,505	10,483	10,497	10,464	
Titik 8	1,315	1,267	1,219	1,127	1,095	1,118	1,062	0,977	0,917	0,883	1,005	0,943	0,846	0,777	0,744	
Bor 8	10,422	10,374	10,326	10,243	10,211	10,559	10,503	10,457	10,475	10,441	10,548	10,486	10,431	10,477	10,444	
Titik 9	1,414	1,366	1,318	1,227	1,195	1,157	1,101	1,015	0,959	0,925	1,027	0,965	0,871	0,806	0,773	
Bor 9	10,376	10,328	10,28	10,249	10,217	10,541	10,485	10,465	10,431	10,397	10,633	10,571	10,473	10,401	10,368	
Titik 10	1,465	1,417	1,369	1,281	1,249	1,184	1,128	1,041	0,983	0,949	1,052	0,99	0,895	0,823	0,79	
Bor 10	10,285	10,237	10,189	10,187	10,155	10,464	10,408	10,442	10,369	10,335	10,54	10,478	10,368	10,329	10,296	
Titik 11	1,44	1,392	1,344	1,243	1,211	1,167	1,111	1,021	0,965	0,931	1,035	0,973	0,873	0,807	0,774	
Bor 11	10,363	10,315	10,267	10,237	10,205	10,541	10,485	10,463	10,441	10,407	10,522	10,46	10,479	10,474	10,441	
Titik 12	1,35	1,302	1,254	1,153	1,121	1,149	1,093	1,003	0,945	0,911	1,039	0,977	0,873	0,801	0,768	
Bor 12	10,355	10,307	10,259	10,239	10,207	10,538	10,482	10,45	10,447	10,413	10,616	10,554	10,466	10,463	10,43	
Titik 13	1,726	1,678	1,63	1,545	1,513	1,318	1,262	1,176	1,117	1,083	1,16	1,098	0,985	0,916	0,883	
Bor 13	10,459	10,411	10,363	10,323	10,291	10,614	10,558	10,574	10,501	10,467	10,652	10,59	10,504	10,476	10,443	
Titik 14	1,704	1,656	1,608	1,517	1,485	1,322	1,266	1,173	1,113	1,079	1,163	1,101	0,993	0,92	0,887	
Bor 14	10,358	10,31	10,262	10,243	10,211	10,52	10,464	10,518	10,423	10,389	10,525	10,463	10,447	10,453	10,42	
Titik 15	1,712	1,664	1,616	1,527	1,495	1,309	1,253	1,167	1,112	1,078	1,145	1,083	0,98	0,907	0,874	
Bor 15	10,218	10,17	10,122	10,115	10,083	10,407	10,351	10,333	10,296	10,262	10,388	10,326	10,302	10,276	10,243	
Titik 16	1,426	1,378	1,33	1,245	1,213	1,159	1,103	1,02	0,963	0,929	1,031	0,969	0,869	0,804	0,771	
Bor 16	10,252	10,204	10,156	10,111	10,079	10,415	10,359	10,329	10,283	10,249	10,387	10,325	10,333	10,345	10,312	
Titik 17	3,537	3,489	3,441	3,349	3,317	2,245	2,189	2,098	2,035	2,001	1,789	1,727	1,617	1,537	1,504	
Bor 17	10,547	10,499	10,451	10,403	10,371	10,678	10,622	10,579	10,566	10,532	10,701	10,639	10,606	10,623	10,59	
Titik 18	2,117	2,069	2,021	1,913	1,881	1,579	1,523	1,417	1,347	1,313	1,373	1,311	1,192	1,105	1,072	
Bor 18	10,425	10,377	10,329	10,345	10,313	10,613	10,557	10,557	10,5	10,466	10,596	10,534	10,543	10,545	10,512	
Titik 19	1,366	1,318	1,27	1,123	1,091	1,245	1,189	1,071	0,987	0,953	1,137	1,075	0,963	0,884	0,851	
Bor 19	10,375	10,327	10,279	10,251	10,219	10,542	10,486	10,448	10,443	10,409	10,561	10,499	10,46	10,425	10,392	
Time	0	230,071	228,247	226,423	224,095	222,879	225,86	223,732	221,695	219,935	218,643	222,901	220,545	217,967	216,069	214,815
Speed	0	10	10	10	10	10	20	20	20	20	20	30	30	30	30	30
acceleraas	0	30	40	50	60	70	30	40	50	60	70	30	40	50	60	70
waktu ope	0	215	215	215	215	215	215	215	215	215	215	215	215	215	215	215
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

Speed 40 acc 30	Speed 40 acc 40	Speed 40 acc 50	Speed 40 acc 60	Speed 40 acc 70	Speed 50 acc 30	Speed 50 acc 40	Speed 50 acc 50	Speed 50 acc 60	Speed 50 acc 70	Speed 60 acc 30	Speed 60 acc 40	Speed 60 acc 50	Speed 60 acc 60	Speed 60 acc 70
1,117	1,085	1,006	0,95	0,905	1,014	0,988	0,91	0,852	0,774	0,95	0,926	0,843		
10,552	10,52	10,473	10,458	10,413	10,528	10,502	10,58	10,447	10,369	10,565	10,541	10,462	10,46	10,368
1,286	1,254	1,107	1,011	0,966	1,239	1,213	1,071	0,969	0,891	1,207	1,183	1,044	0,943	0,851
10,554	10,522	10,463	10,381	10,336	10,526	10,5	10,447	10,381	10,303	10,491	10,467	10,401	10,384	10,292
0,927	0,895	0,797	0,729	0,684	0,883	0,857	0,761	0,693	0,615	0,849	0,825	0,735	0,669	0,577
10,533	10,501	10,418	10,399	10,354	10,5	10,474	10,437	10,391	10,313	10,457	10,433	10,407	10,377	10,285
0,957	0,925	0,834	0,759	0,714	0,909	0,883	0,787	0,721	0,643	0,876	0,852	0,76	0,691	0,599
10,531	10,499	10,452	10,399	10,354	10,487	10,461	10,434	10,383	10,305	10,474	10,45	10,423	10,384	10,292
1,043	1,011	0,907	0,831	0,786	0,985	0,959	0,859	0,787	0,709	0,942	0,918	0,821	0,753	0,661
10,591	10,559	10,519	10,462	10,417	10,557	10,531	10,515	10,445	10,367	10,557	10,533	10,469	10,447	10,355
0,982	0,95	0,849	0,769	0,724	0,936	0,91	0,81	0,736	0,658	0,903	0,879	0,781	0,712	0,62
10,551	10,519	10,526	10,469	10,424	10,546	10,52	10,504	10,436	10,358	10,542	10,518	10,472	10,461	10,369
1,082	1,05	0,941	0,861	0,816	1,017	0,991	0,889	0,813	0,735	0,973	0,949	0,849	0,777	0,685
10,535	10,503	10,438	10,397	10,352	10,512	10,486	10,434	10,386	10,308	10,534	10,51	10,401	10,387	10,295
0,922	0,89	0,794	0,723	0,678	0,877	0,851	0,761	0,69	0,612	0,843	0,819	0,729	0,665	0,573
11,633	11,601	10,439	10,39	10,345	10,507	10,481	10,419	10,382	10,304	10,533	10,509	10,411	10,377	10,285
0,936	0,904	0,811	0,739	0,694	0,889	0,863	0,769	0,702	0,624	0,859	0,835	0,741	0,675	0,583
10,512	10,48	10,48	10,391	10,346	10,529	10,503	10,443	10,425	10,347	10,504	10,48	10,422	10,365	10,273
0,954	0,922	0,828	0,757	0,712	0,903	0,877	0,784	0,717	0,639	0,872	0,848	0,754	0,685	0,593
10,413	10,381	10,38	10,323	10,278	10,389	10,363	10,426	10,303	10,225	10,447	10,423	10,341	10,317	10,225
0,938	0,906	0,811	0,744	0,699	0,891	0,865	0,771	0,703	0,625	0,861	0,837	0,743	0,678	0,586
10,563	10,531	10,527	10,404	10,359	10,462	10,436	10,434	10,377	10,299	10,5	10,476	10,396	10,363	10,271
0,959	0,927	0,821	0,749	0,704	0,91	0,884	0,821	0,715	0,637	0,879	0,855	0,76	0,694	0,602
10,544	10,512	10,645	10,396	10,351	10,46	10,434	10,419	10,389	10,311	10,506	10,482	10,398	10,368	10,276
1,046	1,014	0,913	0,831	0,786	0,985	0,959	0,861	0,788	0,71	0,941	0,917	0,823	0,754	0,662
10,563	10,531	10,518	10,489	10,444	10,649	10,623	10,501	10,465	10,387	10,575	10,551	10,469	10,45	10,358
1,059	1,027	0,928	0,843	0,798	0,999	0,973	0,872	0,797	0,719	0,956	0,932	0,833	0,765	0,673
10,483	10,451	10,444	10,392	10,347	10,464	10,438	10,459	10,371	10,293	10,46	10,436	10,401	10,383	10,291
1,041	1,009	0,905	0,829	0,784	0,983	0,957	0,859	0,785	0,707	0,937	0,913	0,819	0,751	0,659
10,591	10,559	10,345	10,253	10,208	10,329	10,303	10,311	10,243	10,165	10,305	10,285	10,267	10,235	10,143
0,932	0,9	0,805	0,737	0,692	0,886	0,86	0,765	0,699	0,621	0,853	0,829	0,737	0,671	0,579
10,386	10,354	10,325	10,261	10,216	10,497	10,471	10,295	10,258	10,18	10,313	10,289	10,265	10,237	10,145
1,551	1,519	1,404	1,311	1,266	1,429	1,403	1,276	1,189	1,111	1,344	1,32	1,195	1,107	1,015
10,683	10,651	10,573	10,575	10,53	10,651	10,625	10,592	10,514	10,436	10,61	10,586	10,549	10,515	10,423
1,251	1,219	1,095	1,003	0,958	1,185	1,159	1,037	0,948	0,87	1,144	1,12	0,993	0,905	0,813
10,585	10,553	10,529	10,467	10,422	10,532	10,506	10,512	10,456	10,378	10,532	10,508	10,466	10,446	10,354
1,043	1,011	0,9	0,821	0,776	1,021	0,995	0,872	0,78	0,702	1,02	0,996	0,862	0,772	0,68
10,468	10,436	10,566	10,383	10,338	10,477	10,451	10,442	10,371	10,293	10,454	10,43	10,413	10,369	10,277
221,297	220,081	216,516	213,686	211,976	218,543	217,555	215,139	212,507	209,543	217,568	216,66	213,655	210,992	207,588
40	40	40	40	40	50	50	50	50	50	60	60	60	60	60
30	40	50	60	70	30	40	50	60	70	30	40	50	60	70
215	215	215	215	215	215	215	215	215	215	215	215	215	215	215
16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30

3. Datasheet Fuji FRD-6s-3

DRILLS

STRAIGHT TYPE



GLOBAL SPECIFICATIONS

Model	Drilling Capacity		Stall Torque		Free Speed	Type and Size of Spindle		Chuck Capacity			Side to Center		Power		Overall Length		Weight		Max. Air Consumption		Air Hose Size	
	mm	in	N.m	ft.lb		mm	Thread	Taper	mm	mm	in	W	hp	mm	in	kg	lb	ft ³ /min	l/min	mm	in	
FRD-5S-1	5	3/16	2	1.5	3200	3/8-24UNF		6.5	18.5	3/4	180	0.24	188	7.4	0.6	1.32	0.60	21.2	6.3	1/4		
	5	3/16	0.3	0.2	24000		Jacobs Taper D	5	18.5	3/4	180	0.24	174	6.85	0.5	1.1	0.60	21.2	6.3	1/4		
	3	1/8	0.6	0.44	21000		Jacobs Taper 1	6.5	21	17/20	280	0.39	177	6.97	0.7	1.52	0.54	19.2	9.5	3/8		
FRD-6S-2	5	3/16	2.5	1.8	4300	3/8-24UNF		6.5	21	17/20	280	0.39	209	8.23	0.9	1.98	0.68	24	9.5	3/8		
FRD-6S-3	8	5/16	2.9	2.1	2800	3/8-24UNF		8	21	17/20	280	0.39	218	8.56	1	2.21	0.68	24	9.5	3/8		
FRD-6S-5	10	7/16	7	5.2	1300	3/8-24UNF		10	23	29/32	290	0.39	237	9.31	1.1	2.43	0.68	24	9.5	3/8		
●FRD-6S-7	13	1/2	16	11.8	600	1/2-20UNF		13	21	17/20	290	0.39	271	10.7	1.7	3.75	0.68	24	9.5	3/8		

● Marked ● are furnished with Dead Handle

4. Datasheet Dynabrade 52202

Hp	• 0.4 hp (298 W)
Max. RPM	• 30000
Air Inlet Thread	• 1/4" NPT
Hose I.D. [inches]	• 1/4" (6 mm)
Vacuum Type	• Non-Vacuum
Air Pressure	• 90 PSIG (6.2 Bar)
Max. Air Flow [SCFM]	• 20 SCFM (566 L/Min)
Item Weight [kg]	• 0.4725
Tool Style	• Straight Line
Quantity per Box	• 1
Sound Level	• 83 dB(A)
Tool Weight	• 0.8 lb (0.4 kg)
Tool Length	• 5.2" (132 mm)
Housing Material	• Composite Housing
Collet Insert	• 1/4"
Sound Level	• 83 dB(A)
Tool Weight	• 0.8 lb (0.4 kg)
Tool Length	• 5.2" (132 mm)
Housing Material	• Composite Housing
Collet Insert	• 1/4"
Handle Dia.	• 1.4" (35 mm)
Tool Height	• 1-5/8" (41 mm)

5. Datasheet Westlake ZQD 4125

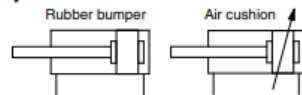
Max Drilling Capacity	25mm
Diameter of column	85mm
Spindle Travel	110mm
Distance spindle axis to column surface	200mm
Max. Distance spindle nose to worktable	490mm
Max. Distance spindle nose to nose	1240mm
Spindle Taper	MT3
Spindle Speeds Range	200 - 2600rpm
Spindle speeds	9
Dimensions of worktable surface	Ø 360mm
Dimension of base worktable surface	300mm x 300mm
Overall Height	1680mm
Motor	750W

6. Datasheet MBB32-250Z

Air Cylinder: Standard Type **MB Series** Double Acting, Single Rod



Symbol



Made to Order

Made to Order: Individual Specifications
(For details, refer to page 523.)

Symbol	Specifications
-X1184	Cylinder with heat resistant reed auto switch (-10 to 120°C)

Specifications

Bore size [mm]	32	40	50	63	80	100	125
Action	Double acting, Single rod						
Fluid	Air						
Proof pressure	1.5 MPa						
Maximum operating pressure	1.0 MPa						
Minimum operating pressure	0.05 MPa						
Ambient and fluid temperature	Without auto switch: -10 to 70°C With auto switch: -10 to 60°C (No freezing)						
Lubricant	Not required (Non-lube)						
Piston speed	50 to 1000 mm/s						
Stroke length tolerance	Up to 250: $^{+1.0}_0$, 251 to 1000: $^{+1.4}_0$, 1001 to 1500: $^{+1.8}_0$, 1501 to 2000: $^{+2.2}_0$						
Cushion	Air cushion or Rubber bumper						
Port size (Rc)	1/8	1/4	3/8				1/2
Mounting	Basic, Axial foot, Rod flange, Head flange Single clevis, Double clevis, Center trunnion						

7. Datasheet SMC CXS 2 Series

Dual Rod Cylinder Basic Type **CXS2 Series**



Specifications

Bore size [mm]	6	10	16	20	25	32
Fluid	Air (Non-lube)					
Proof pressure	1.05 MPa					
Max. operating pressure	0.7 MPa					
Min. operating pressure	0.15 MPa	0.1 MPa	0.05 MPa			
Ambient and fluid temperatures	-10 to 60°C (No freezing)					
Piston speed	30 to 800 mm/s		30 to 700 mm/s		30 to 600 mm/s	
Cushion	Rubber bumper					
Stroke adjustable range	0 to -5 mm compared to the standard stroke					
Port size	M5 x 0.8				Rc (NPT, G) 1/8	
Bearing type	Slide bearing, Ball bushing bearing (Same dimensions for both)					
Allowable kinetic energy	0.016 J	0.064 J	0.095 J	0.17 J	0.27 J	0.32 J

Standard Stroke Range

Model	Stroke range	Standard stroke
CXS2□6	1 to 100	10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 75, 80, 90, 100
CXS2□10	1 to 150	10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 60, 70, 75, 80, 90, 100, 110, 120, 125, 150
CXS2□16	1 to 200	10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 60, 70, 75, 80, 90, 100, 110, 120, 125, 150, 175, 200
CXS2□20		10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 60, 70, 75, 80, 90, 100, 110, 120, 125, 150, 175, 200
CXS2□25		10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 60, 70, 75, 80, 90, 100, 110, 120, 125, 150, 175, 200
CXS2□32		10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 60, 70, 75, 80, 90, 100, 110, 120, 125, 150, 175, 200

* Intermediate strokes are available as special orders.

Refer to page 19 for cylinders with auto switches.

- Auto Switch Proper Mounting Position (Detection at stroke end)
- Operating Range
- Auto Switch Mounting Dimensions
- Auto Switch Mounting

Moisture Control Tube IDK Series

When operating an actuator with a small bore size and a short stroke at a high frequency, dew condensation (water droplets) may occur inside the piping depending on the conditions. Simply connecting the moisture control tube to the actuator will prevent dew condensation from occurring. For details, refer to the **Web Catalog**.

Theoretical Output

Model	Rod size [mm]	Operating direction	Piston area [mm ²]	Operating pressure [MPa]								
				0.1	0.15	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	
CXS2□6	4	OUT	56	—	8.4	11.2	16.8	22.4	28.0	33.6	39.2	
		IN	31	—	4.6	6.2	9.3	12.4	15.5	18.6	21.7	
CXS2□10	6	OUT	157	15.7	—	31.4	47.1	62.8	78.5	94.2	110	
		IN	100	10.0	—	20.0	30.0	40.0	50.0	60.0	70.0	
CXS2□16	8	OUT	402	40.2	—	80.4	121	161	201	241	281	
		IN	301	30.1	—	60.2	90.3	120	151	181	211	
CXS2□20	10	OUT	628	62.8	—	126	188	251	314	377	440	
		IN	471	47.1	—	94.2	141	188	236	283	330	
CXS2□25	12	OUT	982	98.2	—	196	295	393	491	589	687	
		IN	756	75.6	—	151	227	302	378	454	529	
CXS2□32	16	OUT	1608	161	—	322	482	643	804	965	1126	
		IN	1206	121	—	241	362	482	603	724	844	

* Theoretical output [N] = Pressure [MPa] x Piston area [mm²]

Weight

Model	Stroke range [mm]																				
	10	15	20	25	30	35	40	45	50	60	70	75	80	90	100	110	120	125	150	175	200
CXS2M6	0.08	—	0.10	—	0.11	—	0.12	—	0.14	0.15	0.17	0.17	0.18	0.19	0.21	—	—	—	—	—	—
CXS2L6	0.08	—	0.10	—	0.11	—	0.12	—	0.14	0.15	0.17	0.17	0.18	0.19	0.21	—	—	—	—	—	—
CXS2M10	0.14	0.15	0.16	0.17	0.18	0.19	0.20	0.21	0.22	0.24	0.26	0.27	0.28	0.30	0.32	0.34	0.36	0.37	0.42	—	—
CXS2L10	0.14	0.15	0.16	0.17	0.18	0.19	0.20	0.21	0.22	0.24	0.26	0.27	0.28	0.30	0.32	0.34	0.36	0.37	0.42	—	—
CXS2M16	0.24	0.26	0.27	0.28	0.30	0.31	0.32	0.34	0.35	0.38	0.40	0.42	0.43	0.45	0.48	0.51	0.53	0.55	0.61	0.68	0.75
CXS2L16	0.26	0.27	0.29	0.30	0.31	0.33	0.34	0.35	0.37	0.39	0.42	0.43	0.45	0.47	0.50	0.53	0.55	0.57	0.63	0.70	0.77
CXS2M20	0.40	0.41	0.43	0.45	0.47	0.49	0.50	0.52	0.54	0.58	0.61	0.63	0.65	0.69	0.72	0.76	0.79	0.81	0.90	0.99	1.09
CXS2L20	0.41	0.42	0.44	0.46	0.48	0.50	0.51	0.53	0.55	0.59	0.62	0.64	0.66	0.70	0.73	0.77	0.80	0.82	0.91	1.00	1.10
CXS2M25	0.59	0.62	0.65	0.67	0.70	0.72	0.75	0.78	0.80	0.86	0.91	0.94	0.96	1.02	1.07	1.12	1.17	1.20	1.33	1.47	1.60
CXS2L25	0.60	0.63	0.66	0.68	0.71	0.73	0.76	0.79	0.81	0.87	0.92	0.95	0.97	1.03	1.08	1.13	1.18	1.21	1.34	1.48	1.61
CXS2M32	1.09	1.13	1.18	1.22	1.26	1.30	1.34	1.38	1.43	1.51	1.59	1.64	1.68	1.76	1.84	1.93	2.01	2.05	2.26	2.47	2.68
CXS2L32	1.11	1.15	1.19	1.23	1.28	1.32	1.36	1.40	1.44	1.53	1.61	1.65	1.69	1.78	1.86	1.94	2.03	2.07	2.28	2.49	2.69



8. Datasheet EPSON T6

Model name		T6
Model number		T6-602S
Arm length	Arm #1, #2	600 mm
Payload (Load) *1	Rated	2 kg
	Max.	6 kg
Repeatability	Joints #1-2	± 0.04 mm
	Joint #3	± 0.02 mm
	Joint #4	± 0.02 deg
Standard cycle time*2		0.49 sec
Max. operating speed	Joints #1-2	4180 mm/sec
	Joint #3	1000 mm/sec
	Joint #4	1800 deg/sec
Joint #4 allowable moment of inertia*3	Rated	0.01 kg-m ²
	Max.	0.08 kg-m ²
Joint #3 down force		83 N
Installation Environment		Standard (IP20)
Mounting type		Table Top
Weight (cables not included)		22 kg
Applicable Controller		Built in controller
Installed wire for customer use		Hand I/O: IN6/OUT4 (D-sub 15 pin) , 24 V User I/O:IN18/OUT12
Installed pneumatic tube for customer use		Φ6 mm x 2, Φ4 mm x 1 : 0.59 MPa (6 kgf/cm ²)
Power		AC100-240 V
Power Consumption*4		1.2 kVA
Cable length		5 m
Safety standard		CE, KC

*1: Do not apply the load exceeding the maximum payload.

*2: Cycle time based on round-trip arch motion (300mm horizontal, 25mm vertical) with 2 kg payload (path coordinates optimized for maximum speed) .

*3: If the center of gravity is at the center of each arm. If the center of gravity is not at the center of each arm, set the eccentric quantity using INERTIA command.

*4: Varies according to operating environment and program.

9. Datasheet EPSON VT-6L



VT6L All-in-One 6-Axis Robot

Robot
6-Axis

Specifications

Mounting Type¹ Tabletop (AC or DC), Ceiling (AC) or Wall (AC)
Arm Length 920 mm
Repeatability Joints #1 - 6 ±0.1 mm
Payload
 Rated 3 kg
 Max. 6 kg
Standard Cycle Time² 0.60 sec
Max. Motion Range
 Joint #1 ±170 deg
 Joint #2 -160 deg ~ +65 deg (225 deg)
 Joint #3 -51 deg ~ +190 deg (241 deg)
 Joint #4 ±200 deg
 Joint #5 ±125 deg
 Joint #6 ±360 deg
Max. Reach
 P Point: Joints #1-5 Center 920 mm
 P Point: Joints #1-6 Flange Surface 1,000 mm
Allowable Moment of Inertia³
 Joint #4 0.3 kg-m²
 Joint #5 0.3 kg-m²
 Joint #6 0.1 kg-m²
Standard I/O In 24/Out 16
Remote I/O In 8/Out 8
 (Remote function assigned to standard I/O)
Brake All axes

Other

Power AC: 100 V-240 V Single Phase, DC: 48 V
Power Consumption AC: 1.2 kVA, DC: 1.2 kW
Power Cable Length AC: 5 m, DC: 2 m
Weight (cables not included) 40 kg (88 lb), IP rated 42 kg (92 lb)
Applicable Controller Built-in
Installation Environment Standard (AC or DC), Cleanroom ISO Class 4 (AC), Protected IP67 (AC)

Safety Standard

CE Mark: EMC directive, machinery directive, RoHS directive
 ANSI/RIA R15.06-2012
 NFPA 79 (2007 Edition)

What's Included

VT6L All-in-One 6-Axis Robot
 Robot power cable
 Epson RC+ and Epson RC+ Express development software
 USB cable
 E-Stop unit with cable
 VT6L Robot System Safety & Installation Manual
 Connector set (I/O, hand I/O and safety circuit connectors)

Support

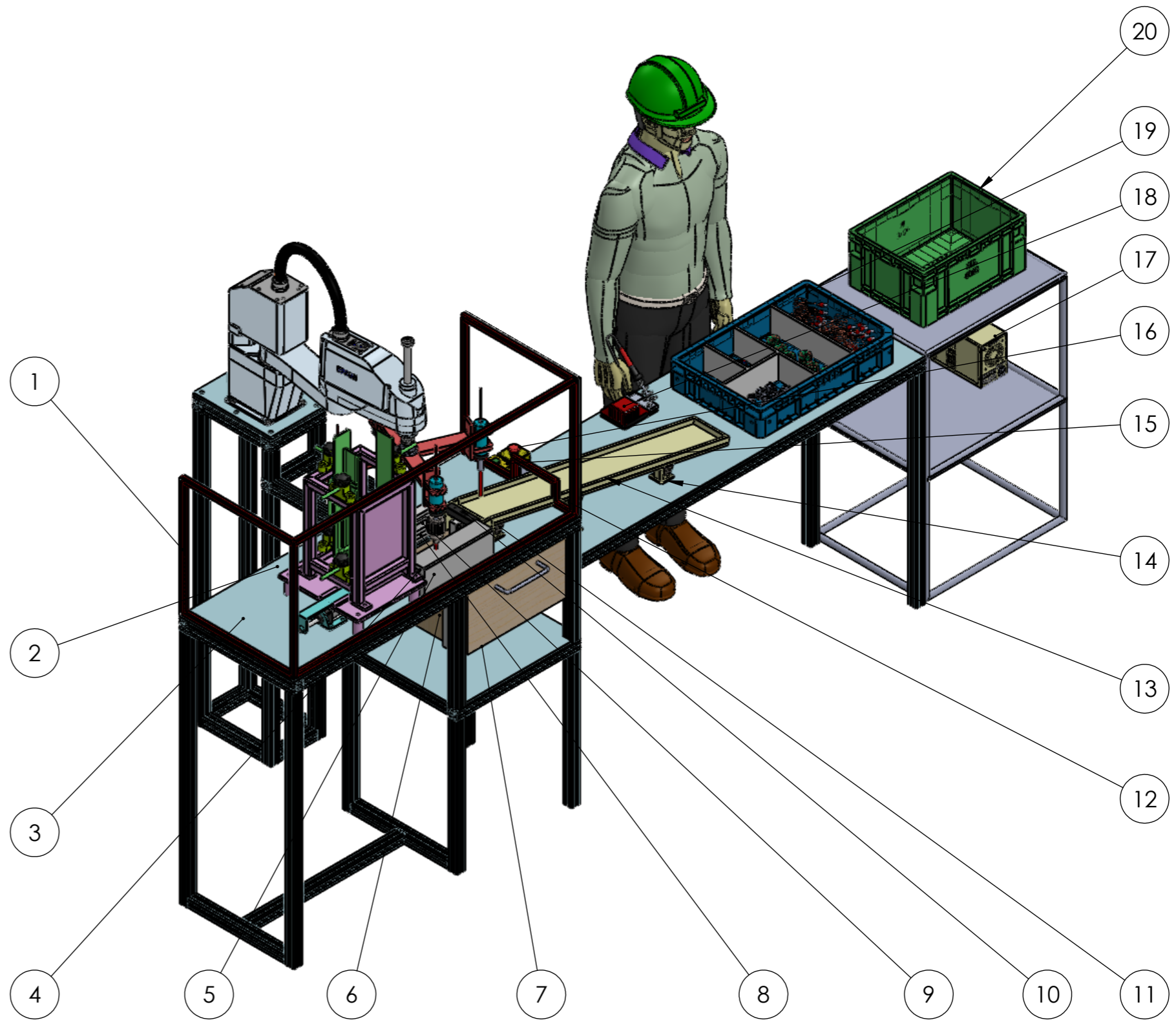
Customer Service (562) 290-5920
 service@robots.epson.com
Applications Support (562) 290-5930
 applications@robots.epson.com
Sales Inquiries (562) 290-5997
 info@robots.epson.com

Ordering Information

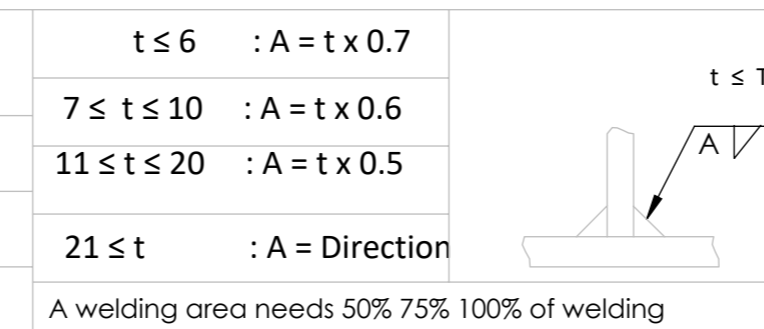
Product Name	Product Code
VT6L - Standard	VT6L-A901SS
VT6L - Cleanroom ISO Class 4	VT6L-A901CS
VT6L - Protected IP67	VT6L-A901PS
VT6L - DC 48 V	VT6L-A901DS
Options	
Vision Guide CV2	Available
Vision Guide PV1	Available
VT6L External Cable Mounting Plates	R12NZ900ZW
VT6L Camera Mounting Bracket	R12NZ900ZZ
OCR (for use with Vision Guide)	R12NZ920H3
Epson RC+ 7.0 API	R12NZ920AE
GUI Builder 7.0	R12NZ900AH
External Control Point (ECP) Option	R12NZ900AF
TP3 - Teach Pendant	R12NZ900N3
TP2 - Teach Pendant	R12NZ900L9
Ethernet/IP Fieldbus I/O (Slave)	R12NZ900TH
Ethernet/IP Fieldbus I/O (Master)	R12NZ900NZ
DeviceNet Fieldbus I/O (Slave)	R12NZ900TE
DeviceNet Fieldbus I/O (Master)	R12NZ900NX
PROFINET Fieldbus I/O (Slave)	R12NZ900TG
PROFIBUS Fieldbus I/O (Slave)	R12NZ900TF
PROFIBUS Fieldbus I/O (Master)	R12NZ900NY
EtherCAT Fieldbus I/O (Slave)	R12NZ900TX
CC-Link Fieldbus I/O (Slave)	R12NZ900TD

LAMPIRAN 2 GAMBAR TEKNIK
MULTIPLE DRILING DAN HANDLING STATION
STACKINGMAGAZINE

NO	PART NAME	QTY
1	FRAME ACRYLIC CASE	1
2	MODULE RELAY	2
3	MAINFRAME WORK TABLE	1
4	ROLLER	1
5	BASE ROLLER	1
6	BASE CONTAINER	1
7	VACUM CONTAINER	1
8	BASE TEFLON CLAMPING	3
9	TEFLON CLAMPING	1
10	PNEUMATIC CYLINDER SQUARE	2
11	SLIDSLIDER MOUNTING	6
12	HIGH SLIDER POLES	2
13	SLIDER	1
14	LOW SLIDER POLES	4
15	ON-OFF PUSH BUTTON	1
16	EMERGENCY BUTTON	1
17	POWER SUPPLY	1
18	STAND SOLDER	1
19	UNFINISH BOX CONTAINER	1
20	FINISH BOX CONTAINER	1

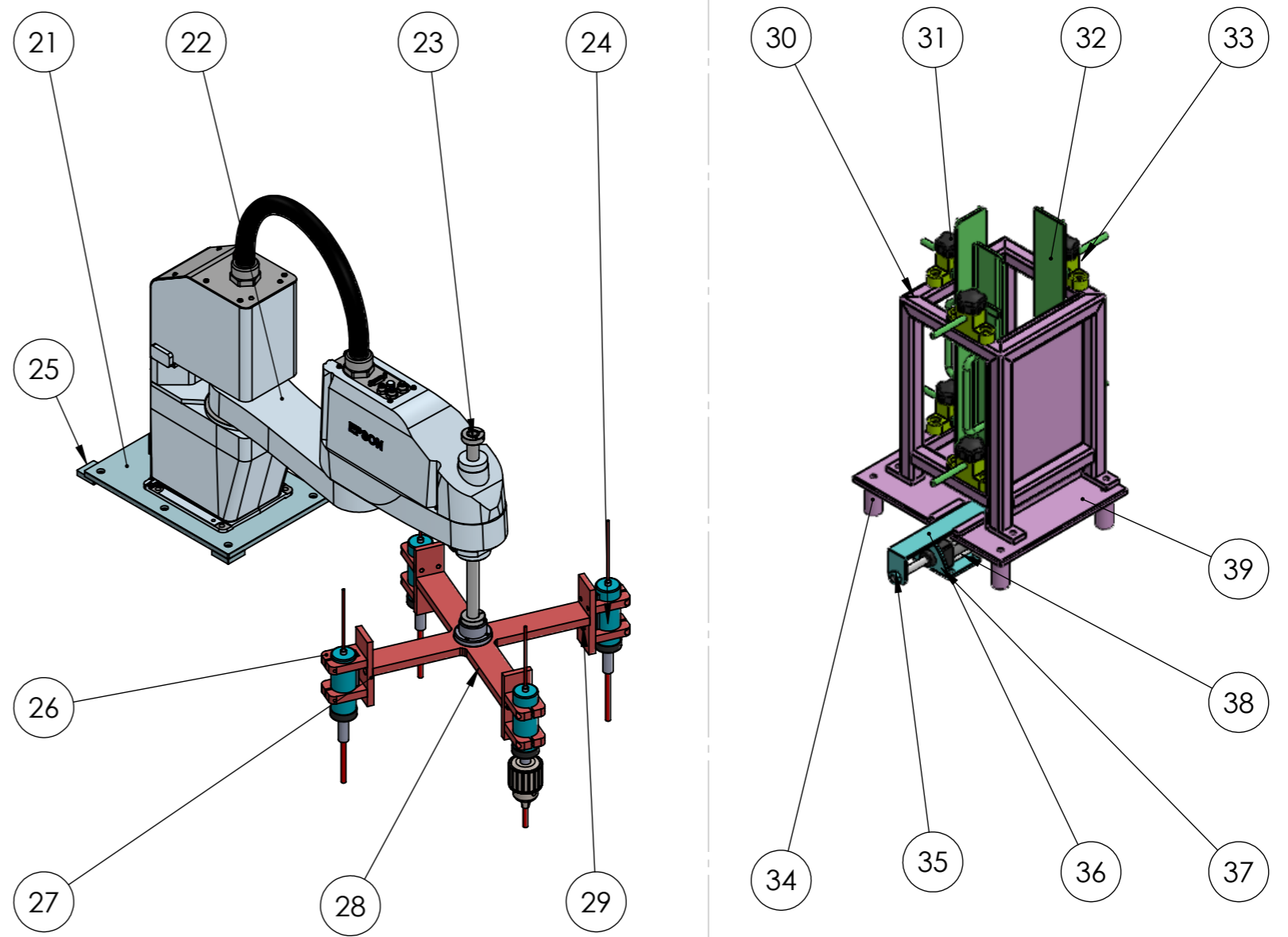


General Tolerance For Machinning				Surfaces Roughness	
1 to 4	± 0.1	63 to 250	± 0.5	6.3/√	6s
4 to 16	± 0.2	250 to 1000	± 0.8	25/√	25s
16 to 63	± 0.3	1000 to 2000	± 1.2	50/√	50s

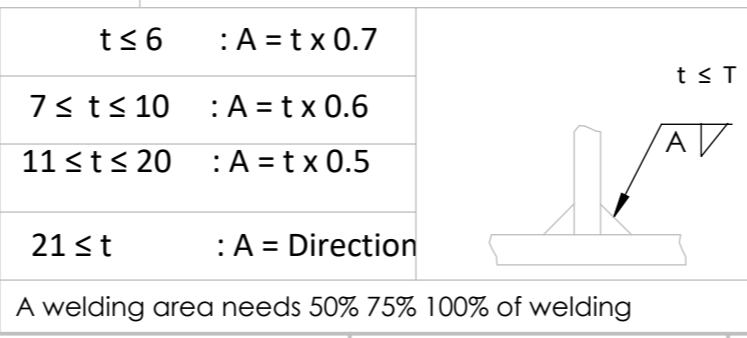


TUGAS AKHIR		Name		Date	
NIM 20525067		M.Farel Haw		22/08/2024	
A3	Drawn	APPVD			
	Check	Angga			
Scale:	1:15				
MMGS	TEKNIK MESIN FTI UII				
HANDLING STATION STACKING MAGAZINE & MULTIPLE SPINDLE DRILLING ROBOT LENGAN				Material:	
Noted:				Sheet 1/1	

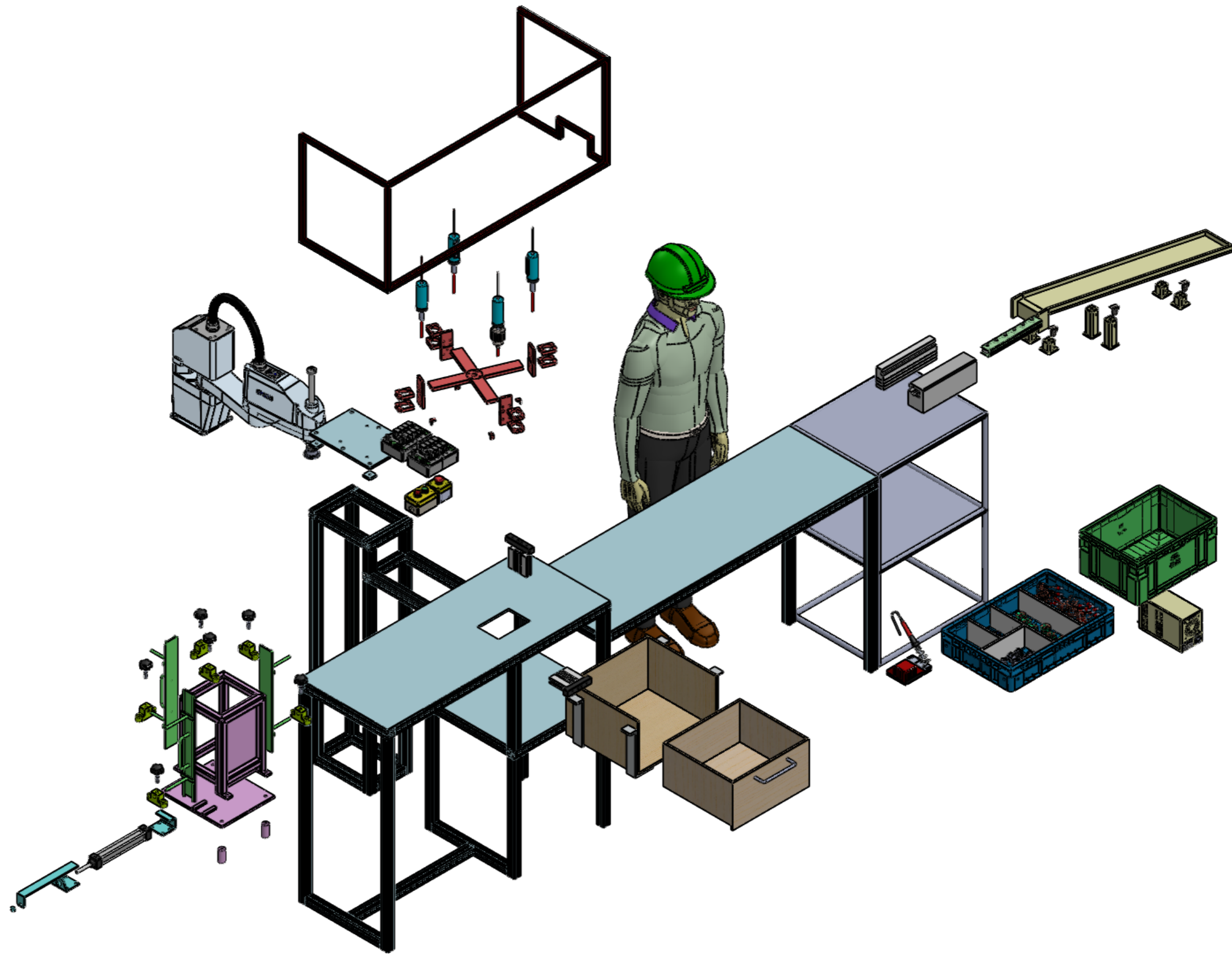
NO	PART NAME	QTY
21	BASEPLATE	1
22	EPSON SCARA T6 ARM ROBOT	1
23	SHAFT T6	1
24	AIR DRILLING TOOLS MACHINE	4
25	CONE BASEPLATE	4
26	BRACKET DRILL	8
27	DRILL STAND	4
28	MOUNTING TOOLS	1
29	SUPPORT STAND	4
30	STACKING FRAME	1
31	KNOB	6
32	STACKER	3
33	STACKER BRACKET	6
34	SPACER	4
35	NUT	1
36	PUSHER EXTENDER	1
37	FRONT BRACKET	1
38	AIR PNEUMATIC	1
39	BACK BRACKET	1



General Tolerance For Machinning				Surfaces Roughness	
1 to 4	± 0.1	63 to 250	± 0.5	6.3/√	6s
4 to 16	± 0.2	250 to 1000	± 0.8	25/√	25s
16 to 63	± 0.3	1000 to 2000	± 1.2	50/√	50s



TUGAS AKHIR		Name		Date	
NIM 20525067		M.Farel Haw		22/08/2024	
A3	Drawn	Noted :			
	Check	Material :			
Scale : 1:10	APPVD				
MMGS	TEKNIK MESIN FTI UII				Sheet 1/2



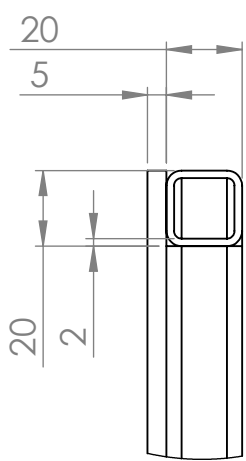
General Tolerance For Machinning				Surfaces Roughness	
1 to 4	± 0.1	63 to 250	± 0.5	6.3/√	6s
4 to 16	± 0.2	250 to 1000	± 0.8	25/√	25s
16 to 63	± 0.3	1000 to 2000	± 1.2	50/√	50s

t ≤ 6 : A = t x 0.7	
7 ≤ t ≤ 10 : A = t x 0.6	
11 ≤ t ≤ 20 : A = t x 0.5	
21 ≤ t : A = Direction	

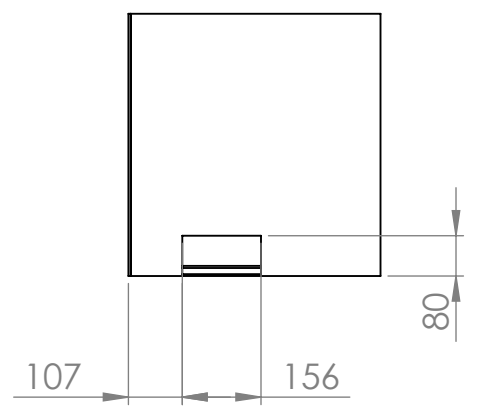
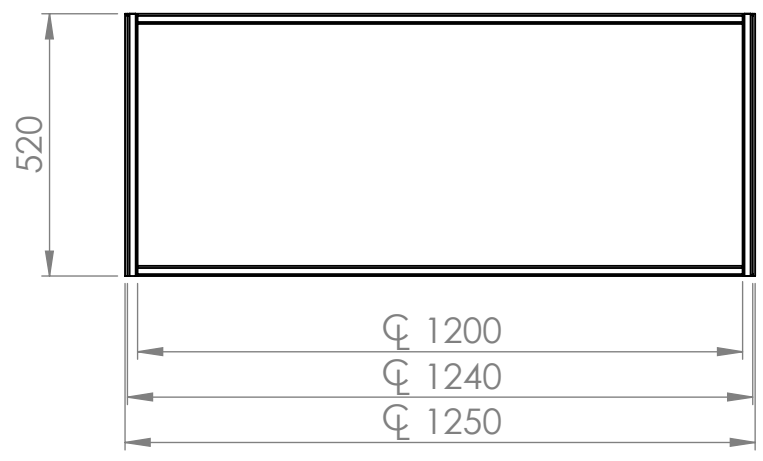
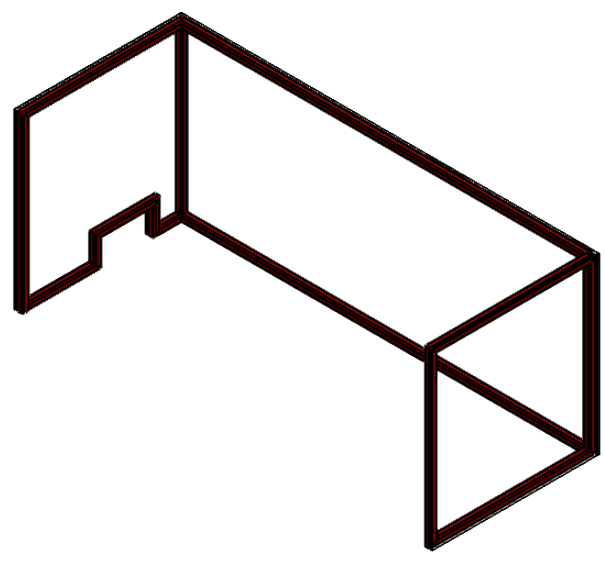
A welding area needs 50% 75% 100% of welding

TUGAS AKHIR			
NIM 20525067	Name	Date	
A3	Drawn	M.Farel Haw	22/08/2024
	Check	Angga	
Scale: 1:17	APPVD		
MMGS	TEKNIK MESIN FTI UII		

EXPLODE VIEW HANDLING STATION STACKING MAGAZINE & MULTIPLE SPINDLE DRILLING ROBOT LENGAN	
Noted :	Material :
Sheet 1/3	



DETAIL A
SCALE 1 : 2



TUGAS AKHIR				TEKNIK MESIN FTI UII	
				FRAME ACRYLIC CASE	
A4	Scale : 1:15	Drawn Check APPVD	Name M.Farel Haw Angga	Date 22/08/2024	Note :
Sheet 2/1		Material :	NIM	20525067	

4

3

2

1

F

F

E

E

D

D

C

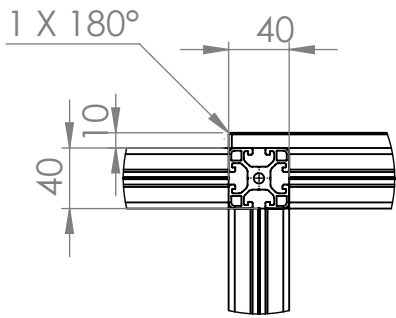
C

B

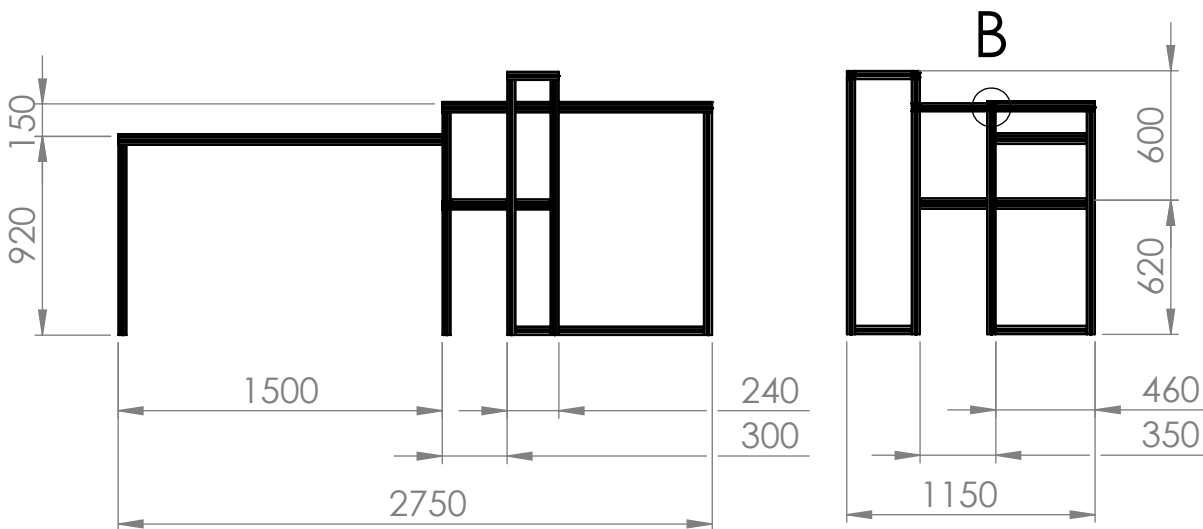
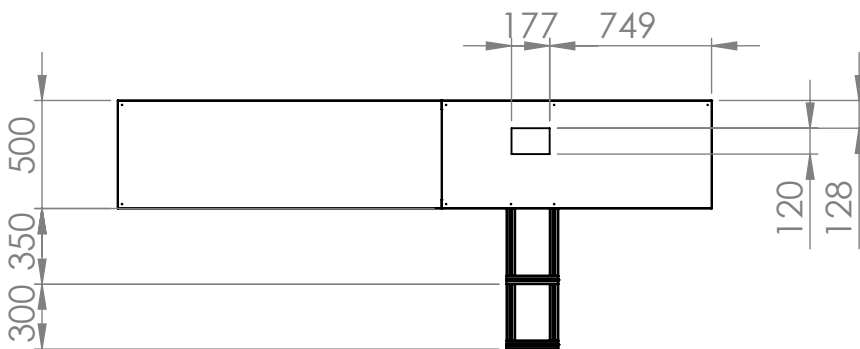
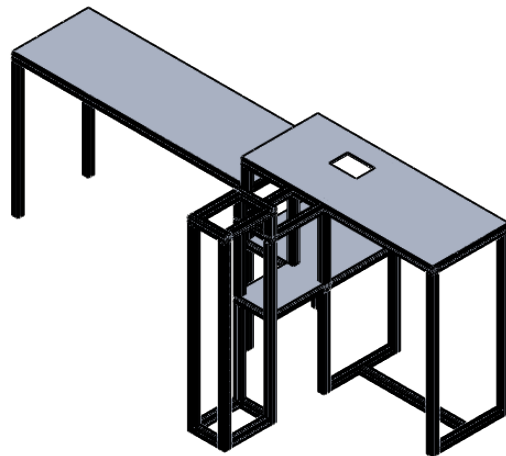
B

A

A



DETAIL B
SCALE 1 : 5



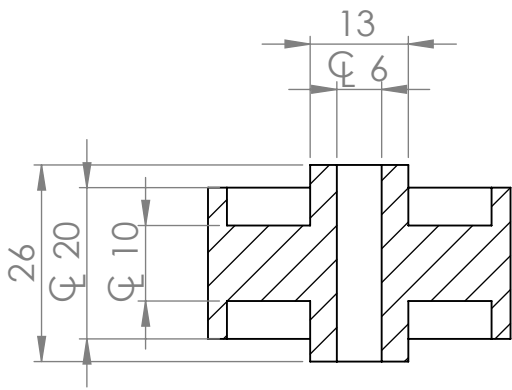
TUGAS AKHIR				TEKNIK MESIN FTI UII	
				MAINFRAME WORK TABLE	
A4	Scale : 1:35	Drawn Check APPVD	Name M.Farel Haw Angga	Date 22/08/2024	Note :
Sheet 2/2		Material :	NIM	20525067	

4

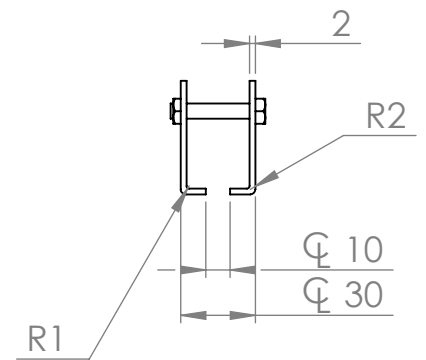
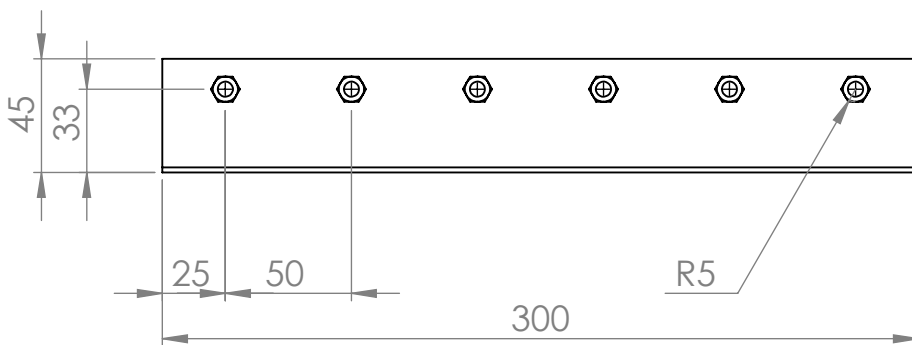
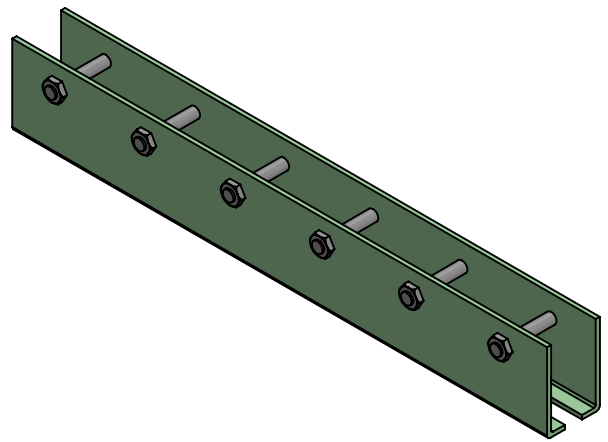
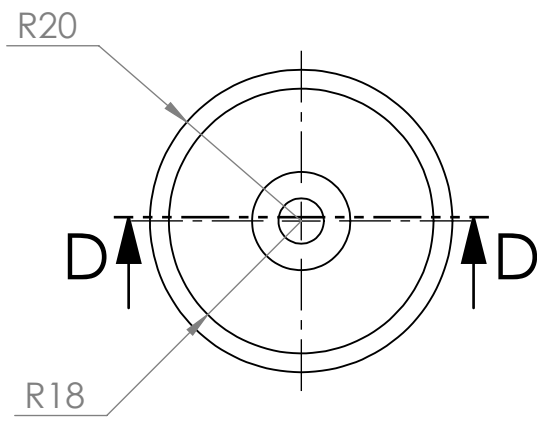
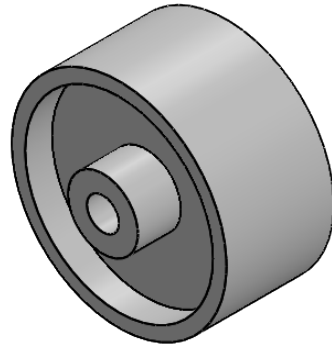
3

2

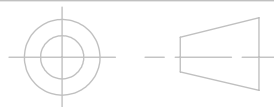
1



SECTION D-D
SCALE 1 : 1



TUGAS AKHIR



TEKNIK MESIN FTI UII

Name

Date

A4

Scale :
1:3

Drawn
Check
APPVD

M.Farel Haw
Angga

22/08/2024

ROLLER

Sheet 2/3

Material :

NIM 20525067

Note :

4

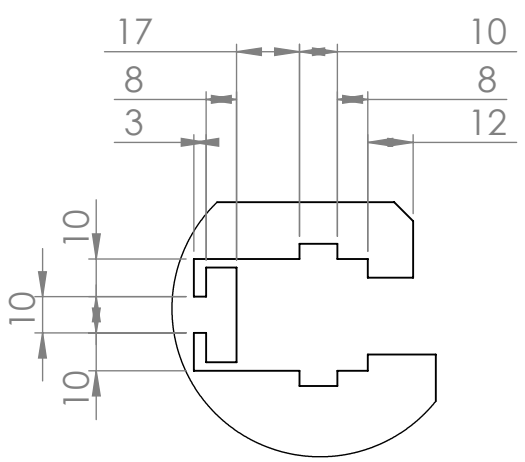
3

2

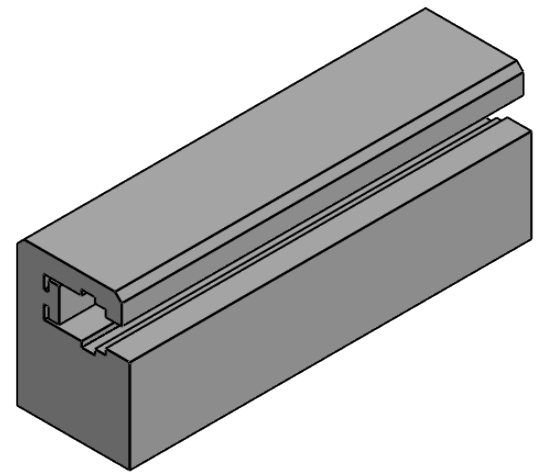
1

F

F



DETAIL F
SCALE 1 : 2



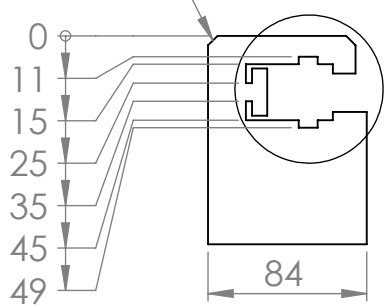
E

E

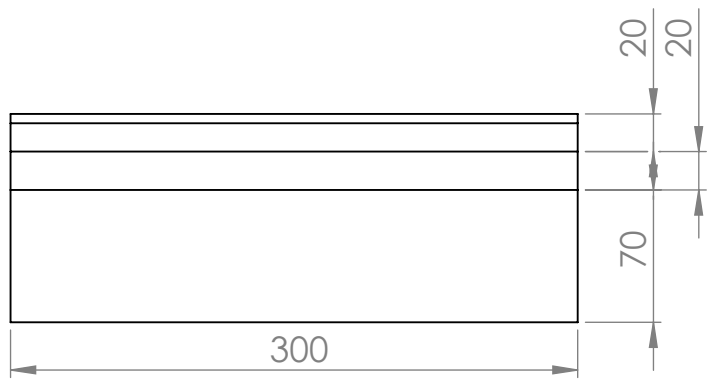
D

D

5 X 45°



F



C

C

B

B

TUGAS AKHIR				TEKNIK MESIN FTI UII	
				BASE ROLLER	
A4	Scale : 1:4	Drawn Check APPVD	Name M.Farel Haw Angga	Date 22/08/2024	Note :
Sheet 2/4		Material :	NIM	20525067	

4

3

2

1

A

A

4

3

2

1

F

F

E

E

D

D

C

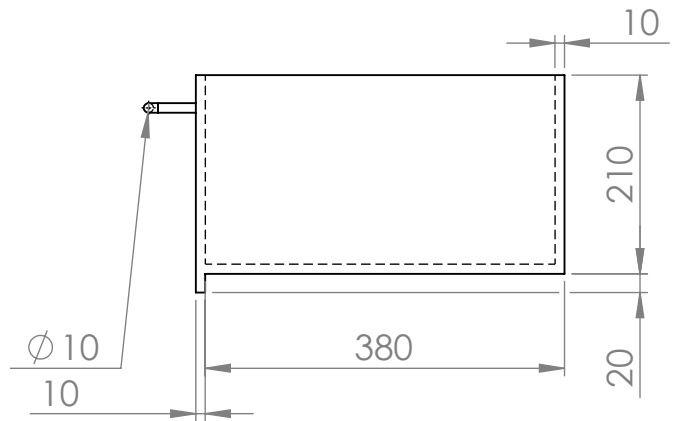
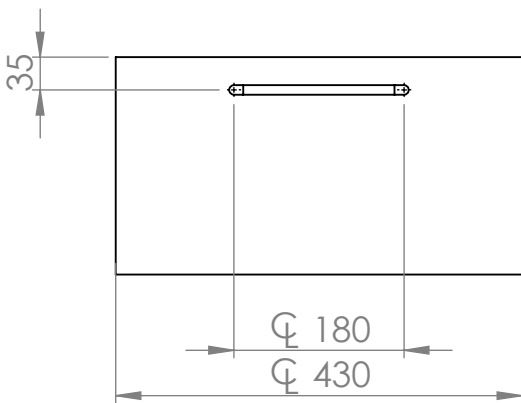
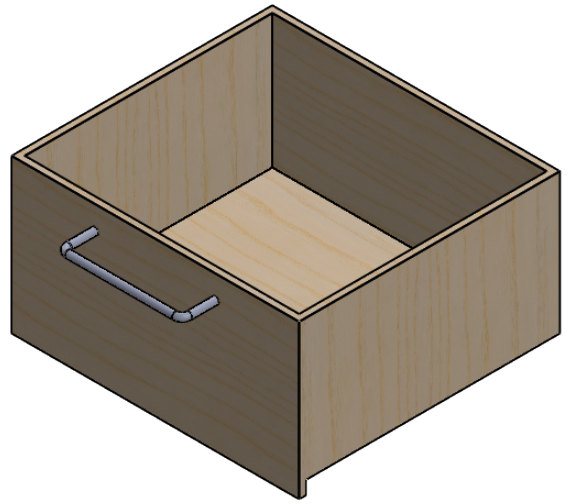
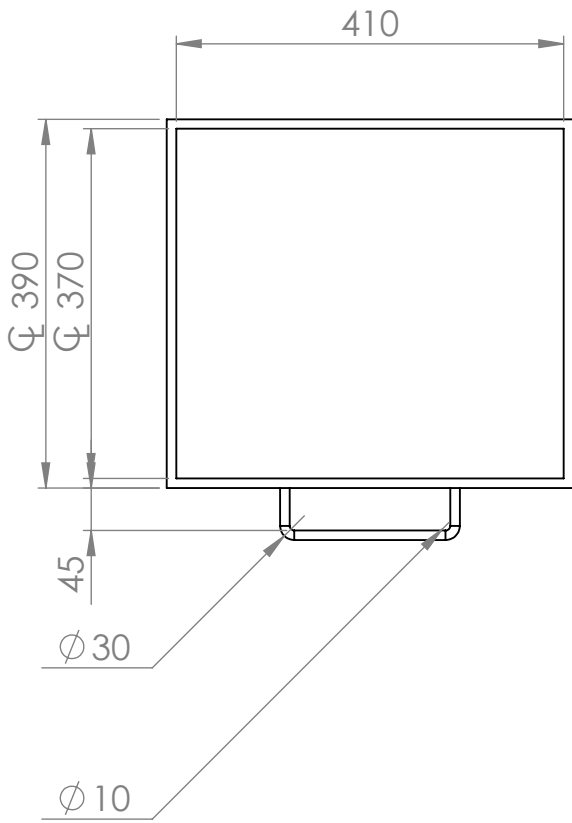
C

B

B

A

A



TUGAS AKHIR



TEKNIK MESIN FTI UII

Name

Date

A4

Scale :

1:8

Drawn
Check
APPVD

M.Farel Haw
Angga

22/08/2024

VACUM CONTAINER

Sheet 2/5

Material :

NIM 20525067

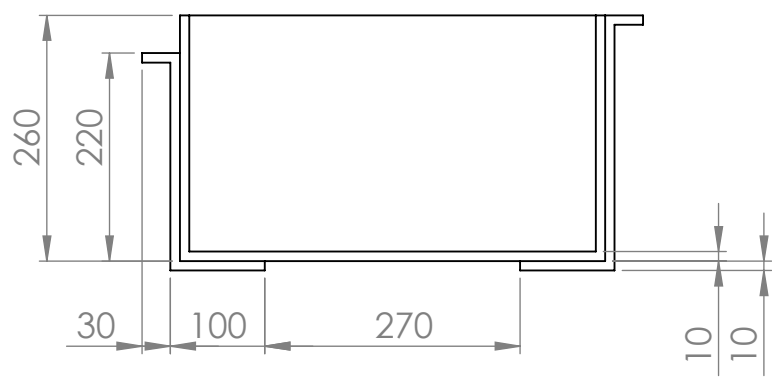
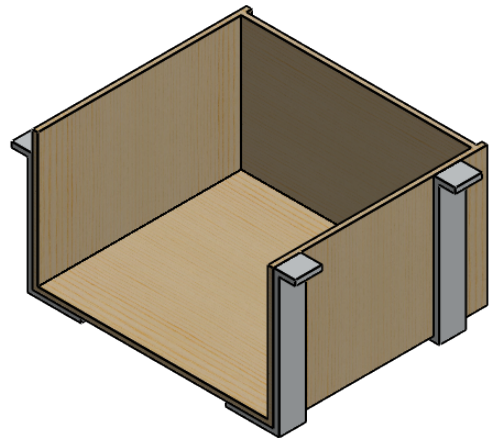
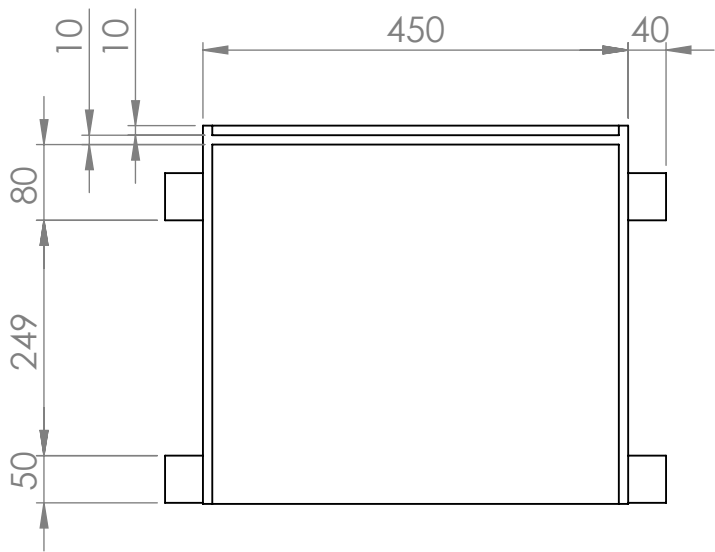
Note :

4

3

2

1



TUGAS AKHIR				TEKNIK MESIN FTI UII	
		Name	Date	BASE CONTAINER	
A4	Scale: 1:10	M.Farel Haw	22/08/2024		
Sheet 2/6		Angga			
		Material :	NIM 20525067	Note :	

4

3

2

1

F

F

E

E

D

D

C

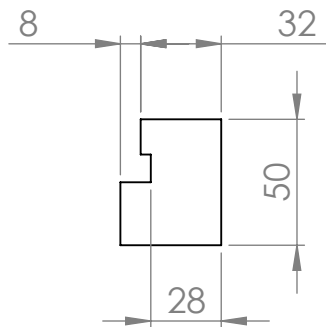
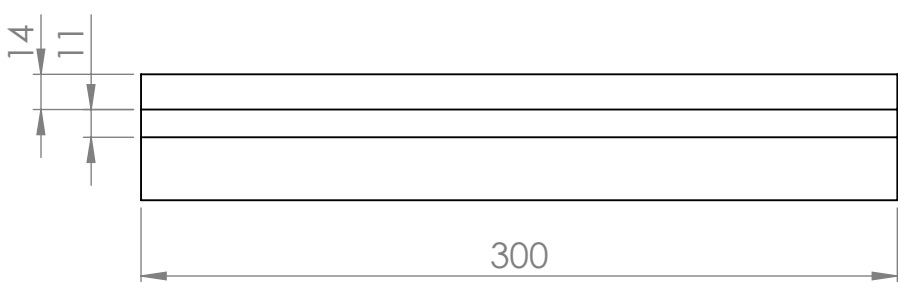
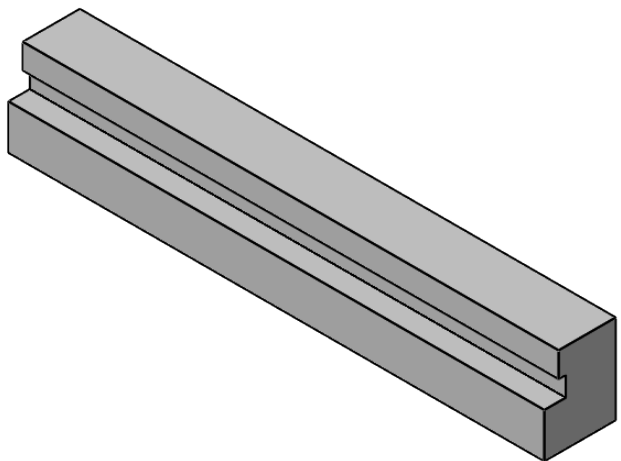
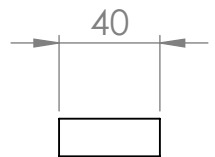
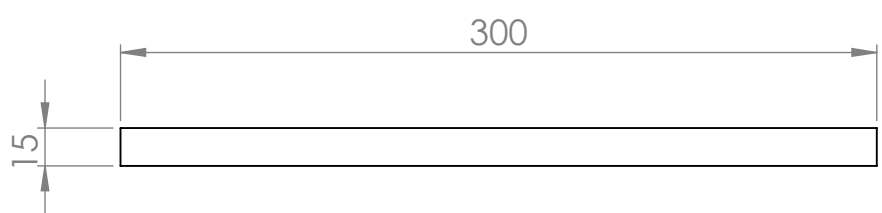
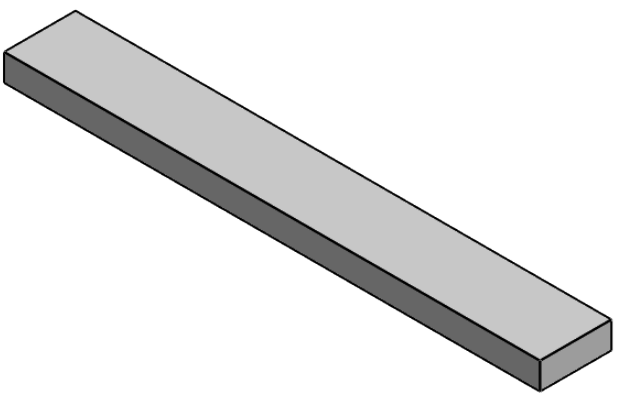
C

B

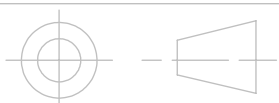
B

A

A



TUGAS AKHIR



TEKNIK MESIN FTI UII

A4
Scale :
1:3

Drawn
Check
APPVD

Name
M.Farel Haw
Angga

Date
22/08/2024

BASE TEFLON CLAMPING &
TEFLON CLAMPING

Sheet 2/7

Material :

NIM 20525067

Note :

4

3

2

1

4

3

2

1

F

F

E

E

D

D

C

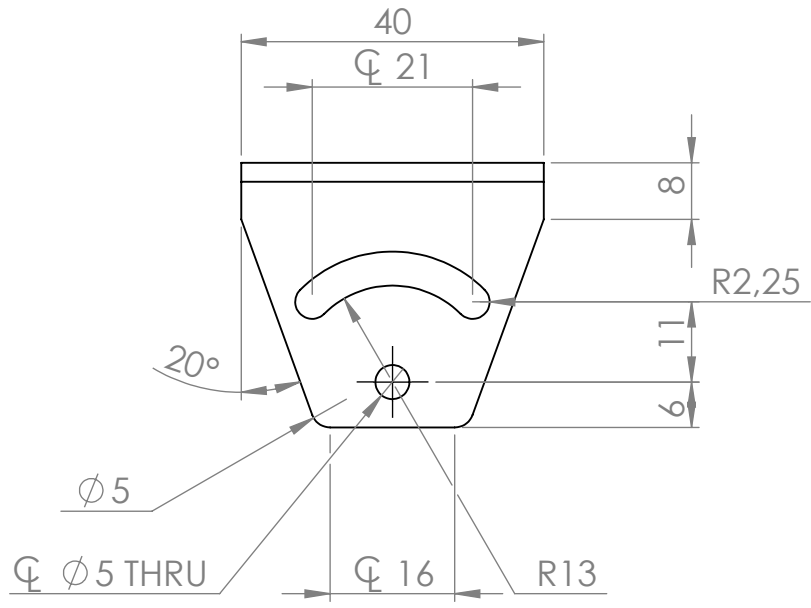
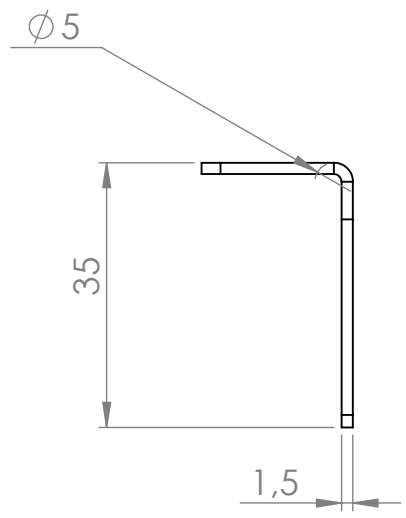
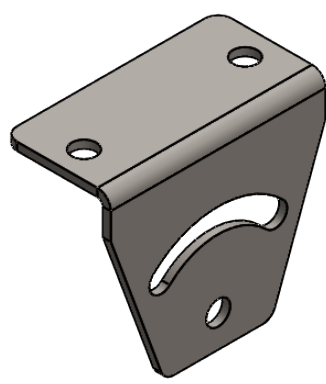
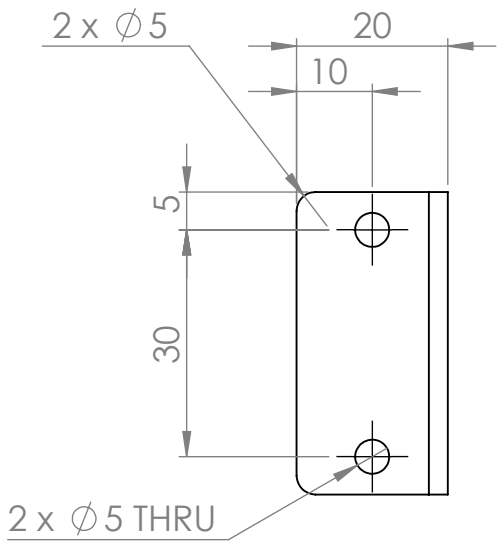
C

B

B

A

A



TUGAS AKHIR				TEKNIK MESIN FTI UII	
				SLIDER MOUNTING	
A4	Scale: 1:1	Drawn	Name	Date	Note:
		Check	M.Farel Haw	22/08/2024	
		APPVD	Angga		
Sheet 2/8		Material:	NIM	20525067	

4

3

2

1

4

3

2

1

F

F

E

E

D

D

C

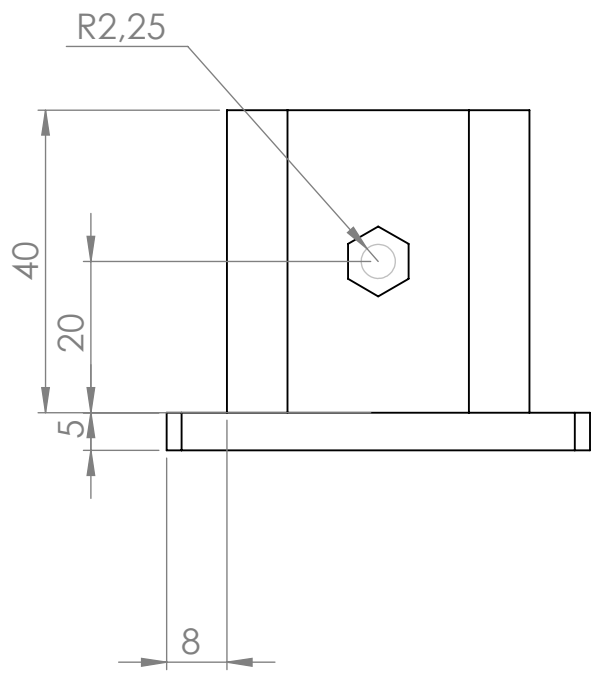
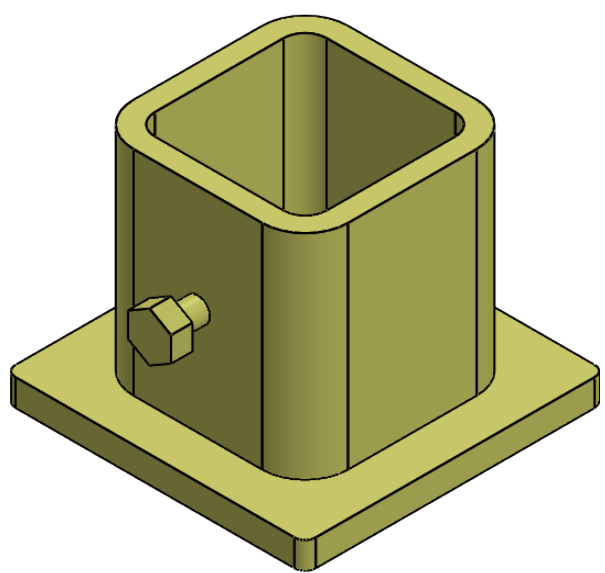
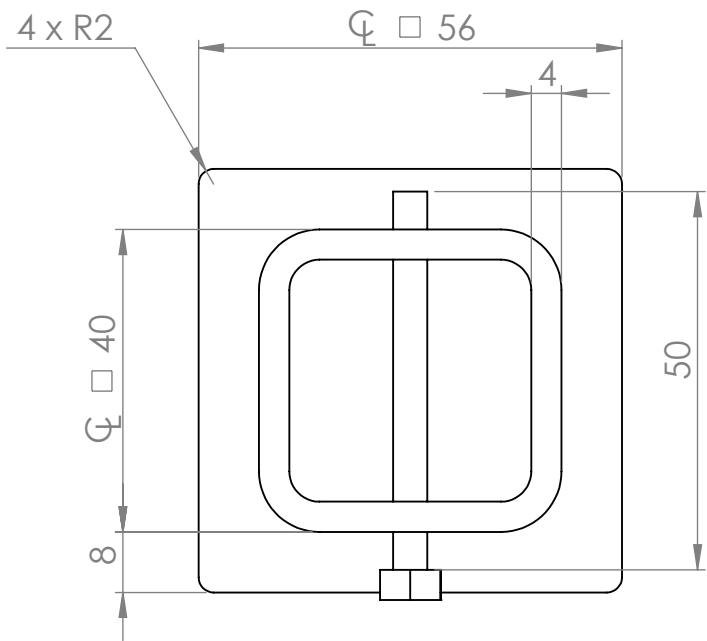
C

B

B

A

A



TUGAS AKHIR				TEKNIK MESIN FTI UII	
				LOW SLIDER POLES	
A4	Scale : 1:1	Drawn Check APPVD	Name M.Farel Haw Angga	Date 22/08/2024	Note :
Sheet 2/9		Material :	NIM	20525067	

4

3

2

1

4

3

2

1

F

F

E

E

D

D

C

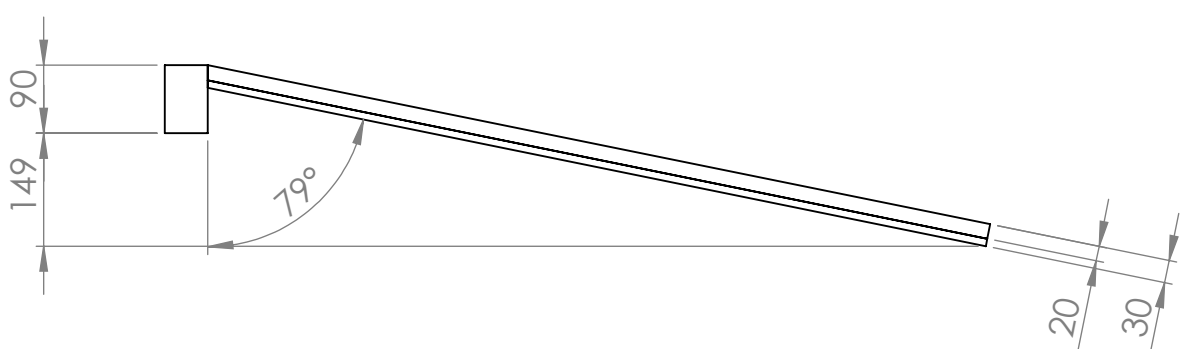
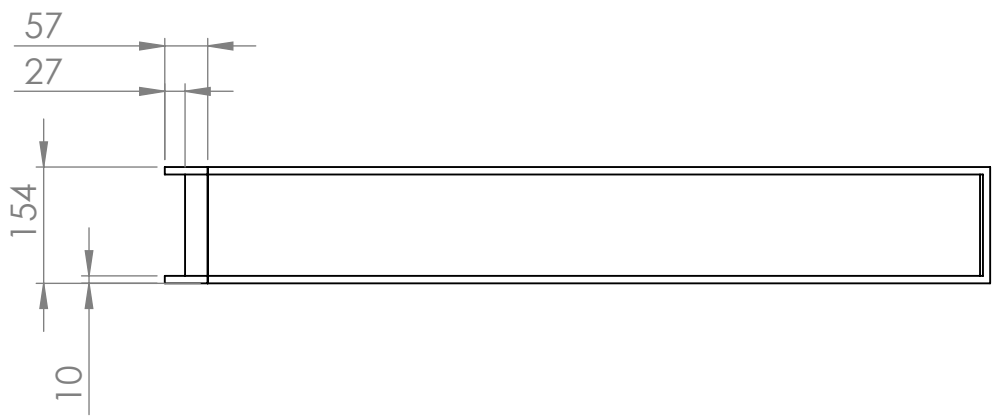
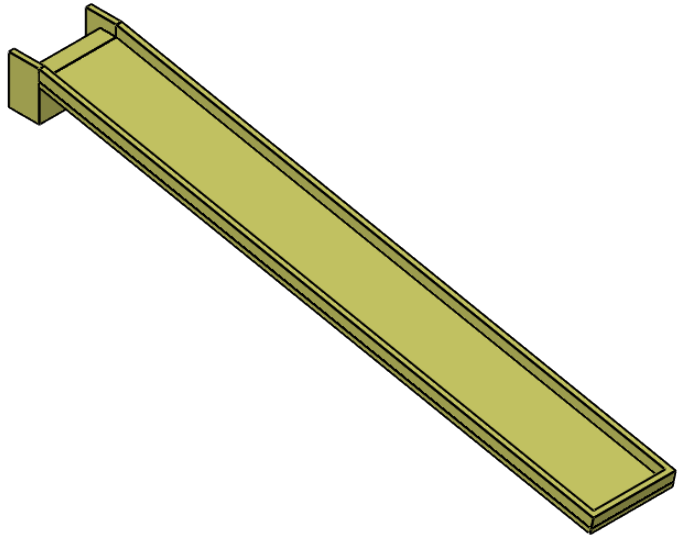
C

B

B

A

A



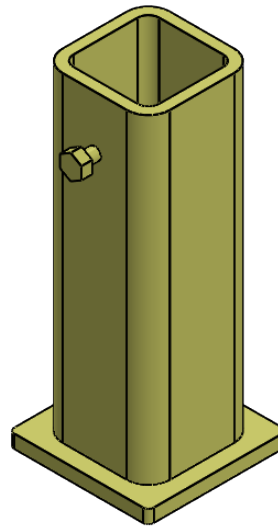
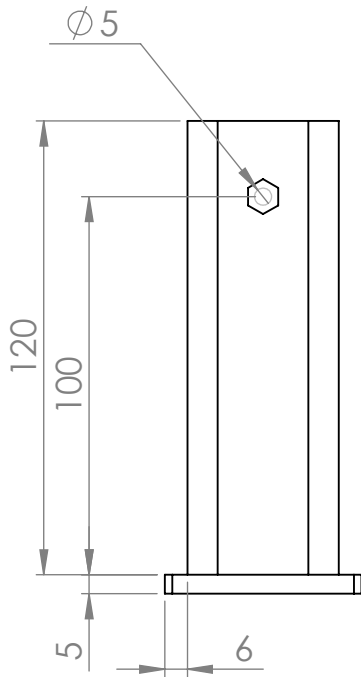
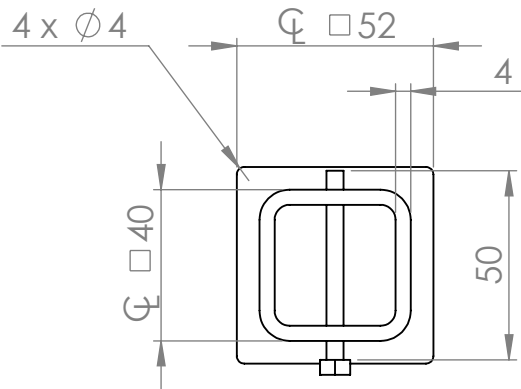
TUGAS AKHIR				TEKNIK MESIN FTI UII	
				SLIDER	
A4	Scale : 1:10	Drawn Check APPVD	M.Farel Haw Angga	22/08/2024	
Sheet 2/10		Material :		NIM 20525067	Note :

4

3

2

1



TUGAS AKHIR				TEKNIK MESIN FTI UII	
				HIGH SLIDER POLES	
A4	Scale: 1:2	Drawn Check APPVD	Name M.Farel Haw Angga	Date 22/08/2024	Note:
Sheet 2/11		Material:	NIM	20525067	

4

3

2

1

F

F

E

E

D

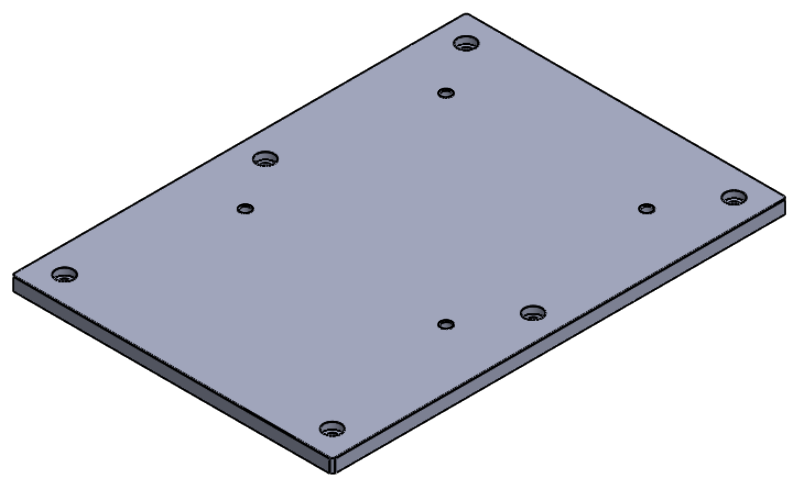
D

C

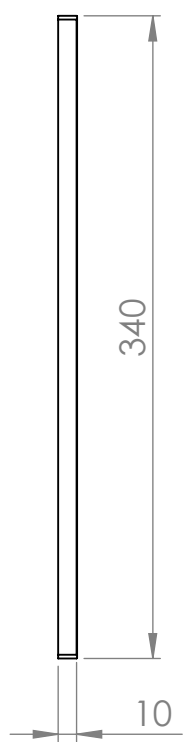
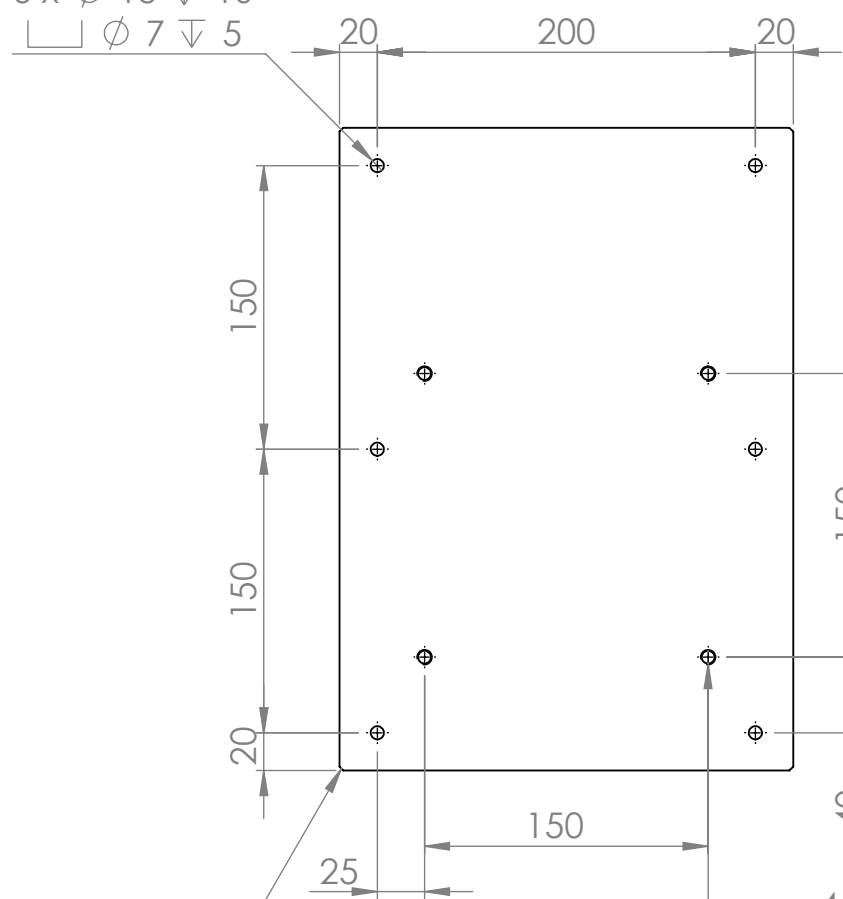
C

B

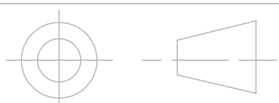
B



6 x ϕ 13 ∇ 10
 \square ϕ 7 ∇ 5



TUGAS AKHIR



TEKNIK MESIN FTI UII

Name

Date

A4

Scale :
 1:4

Drawn
 Check
 APPVD

M.Farel Haw
 Angga

22/08/2024

BASEPLATE

Sheet 2/12

Material :

NIM 20525067

Note :

4

3

2

1

A

A

4

3

2

1

F

F

E

E

D

D

C

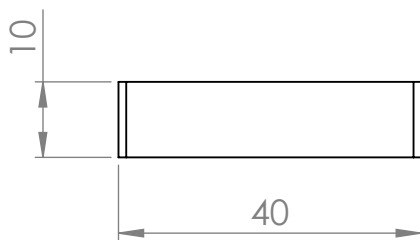
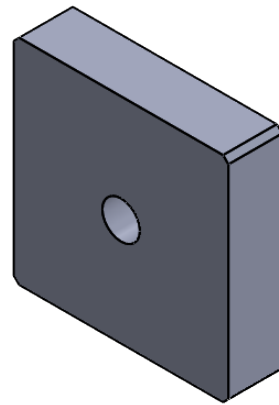
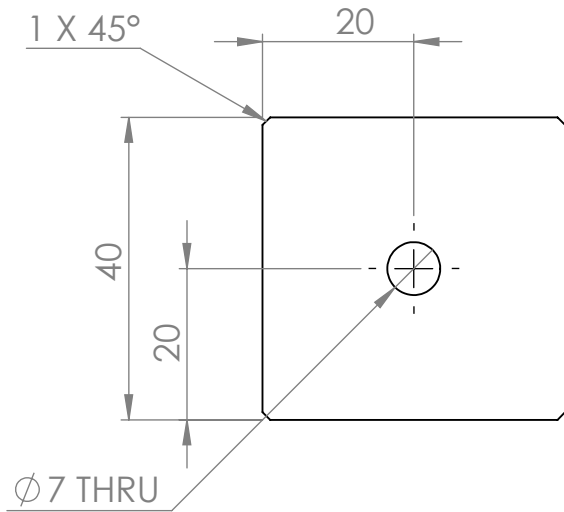
C

B

B

A

A



TUGAS AKHIR				TEKNIK MESIN FTI UII	
				CONE BASEPLATE	
A4	Scale : 1:1	Drawn Check APPVD	Name M.Farel Haw Angga	Date 22/08/2024	Note :
Sheet 2/13		Material :	NIM	20525067	

4

3

2

1

4

3

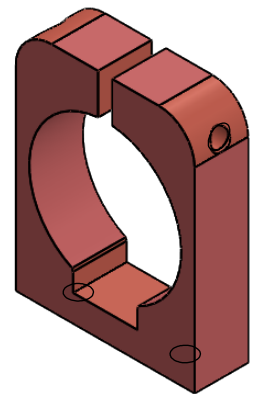
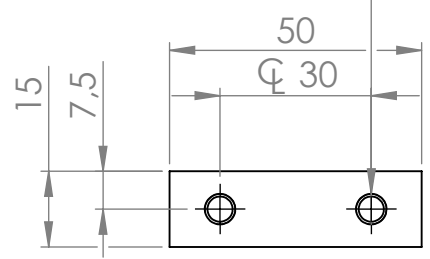
2

1

F

F

2 x ϕ 5 ∇ 13,00
 M6x1.0 - 6H ∇ 10,00
 \surd ϕ 6,05 X 90°, Near Side

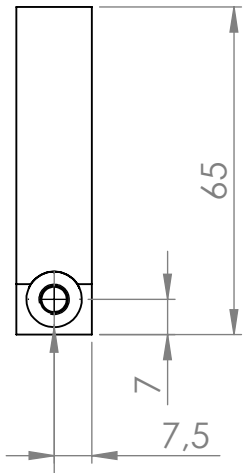
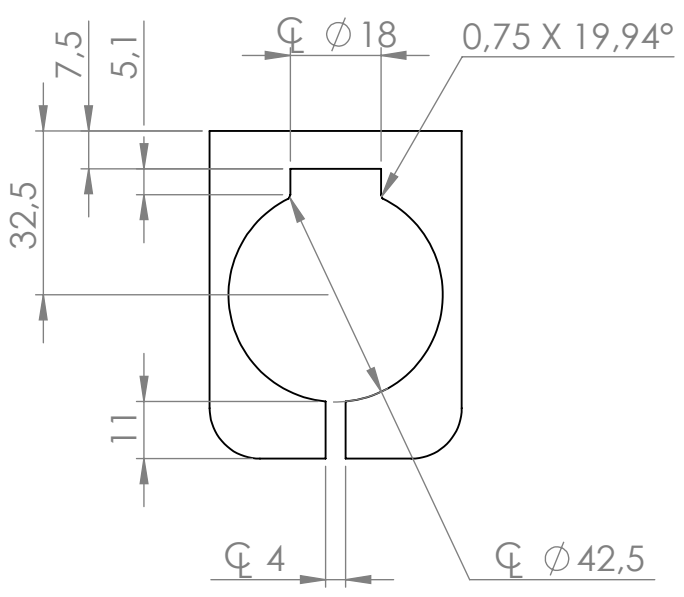


E

E

D

D



ϕ 5,50 THRU
 \surd ϕ 11,00 ∇ 15,00
 \surd ϕ 11,05 X 90°, Near Side

C

C

B

B

A

A

TUGAS AKHIR				TEKNIK MESIN FTI UII	
				BRACKET DRILL	
A4	Scale : 1:1.5	Drawn Check APPVD	Name M.Farel Haw Angga	Date 22/08/2024	Note :
Sheet 2/14		Material :	NIM	20525067	

4

3

2

1

4

3

2

1

F

F

E

E

D

D

C

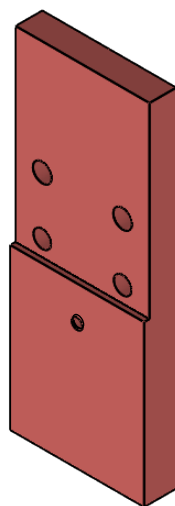
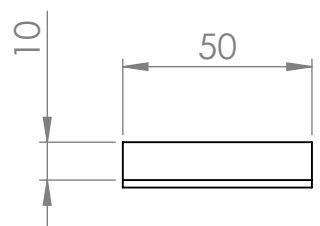
C

B

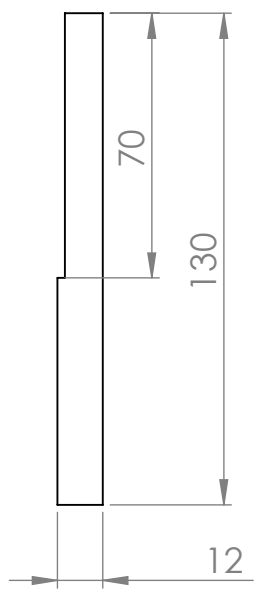
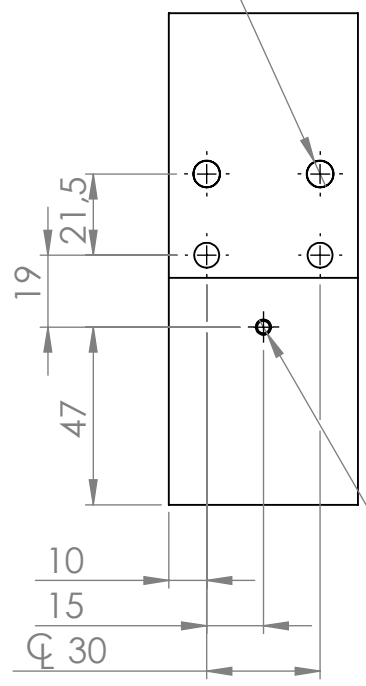
B

A

A



4 x ϕ 7,00 ∇ 15,00
 \surd ϕ 7,05 X 90°, Near Side



ϕ 3,30 ∇ 7,10
 M4x0.7 - 6H ∇ 5,00
 \surd ϕ 4,05 X 90°, Near Side

TUGAS AKHIR				TEKNIK MESIN FTI UII	
				DRILL STAND	
A4	Scale : 1:2	Drawn Check APPVD	Name M.Farel Haw Angga	Date 22/08/2024	Note :
Sheet 2/15		Material :	NIM	20525067	

4

3

2

1

4

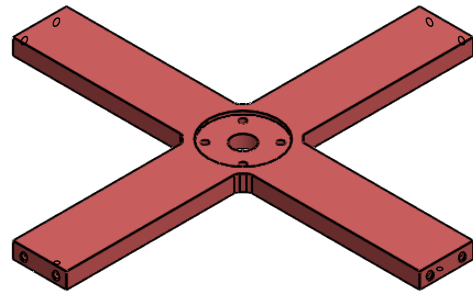
3

2

1

F

F



E

E

4 x \varnothing 6 THRU ALL

 \varnothing 11 ∇ 4
 \varnothing 65 ∇ 3

165

 \varnothing 50 \varnothing 35

D

D

 \varnothing 20 THRU

165

4 x cir 90°

R40

4 x R5

C

C

2 x \varnothing 5 ∇ 15M6x1.0 - 6H ∇ 12

 \varnothing 6 X 90°, Near Side

15

 \varnothing 30 \varnothing 50

380

B

B

A

A

TUGAS AKHIR



TEKNIK MESIN FTI UII

Name

Date

A4

Scale :

1:5

 Drawn
 Check
 APPVD

 M.Farel Haw
 Angga

22/08/2024

MOUNTING TOOLS

Sheet 2/16

Material :

NIM 20525067

Note :

4

3

2

1

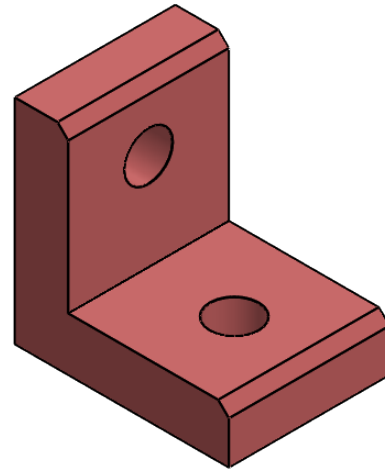
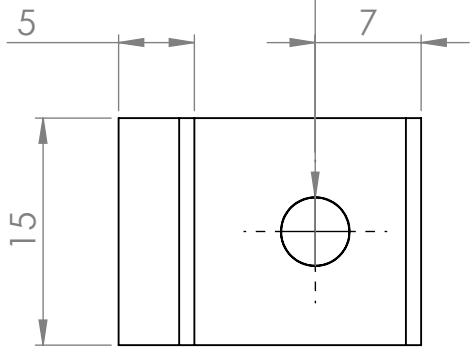
4

3

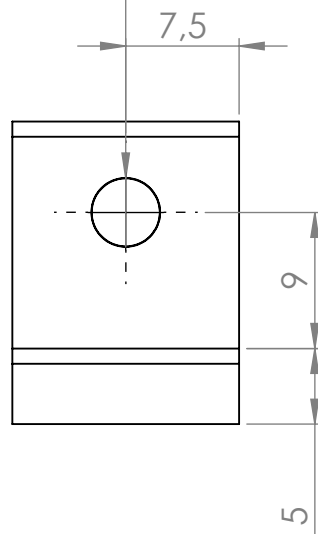
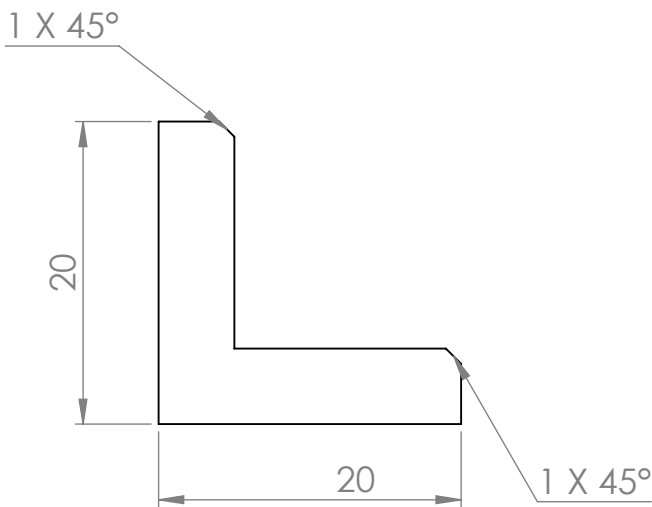
2

1

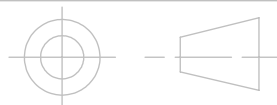
$\varnothing 5$ THRU ALL
 $\varnothing 5 \times 90^\circ$, Near Side



$\varnothing 5$ THRU ALL
 $\varnothing 5 \times 90^\circ$, Near Side



TUGAS AKHIR



TEKNIK MESIN FTI UII

Name

Date

A4

Scale :
2:1

Drawn
Check
APPVD

M.Farel Haw
Angga

22/08/2024

SUPPORT STAND

Sheet 2/17

Material :

NIM 20525067

Note :

4

3

2

1

F

E

D

C

B

A

F

E

D

C

B

A

4

3

2

1

F

F

E

E

D

D

C

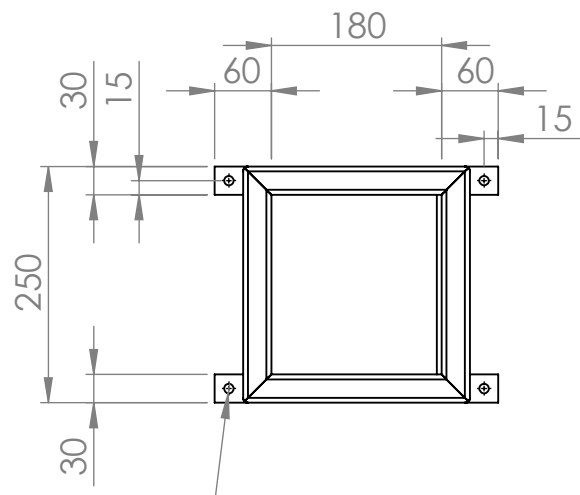
C

B

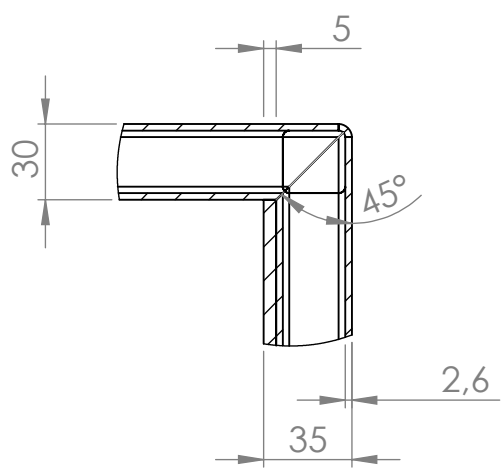
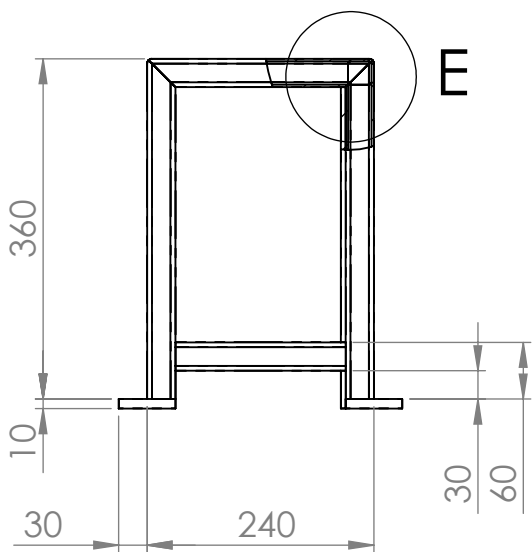
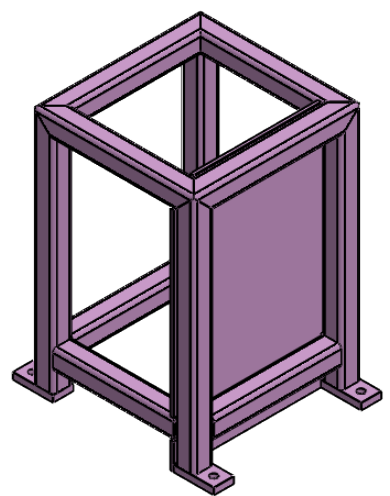
B

A

A



4 x Ø 10 THRU



DETAIL E
SCALE 1 : 3

TUGAS AKHIR				TEKNIK MESIN FTI UII	
				STACKING FRAME	
A4	Scale : 1:8	Drawn Check APPVD	Name M.Farel Haw Angga	Date 22/08/2024	Note :
Sheet 2/18		Material :	NIM	20525067	

4

3

2

1

4

3

2

1

F

F

E

E

D

D

C

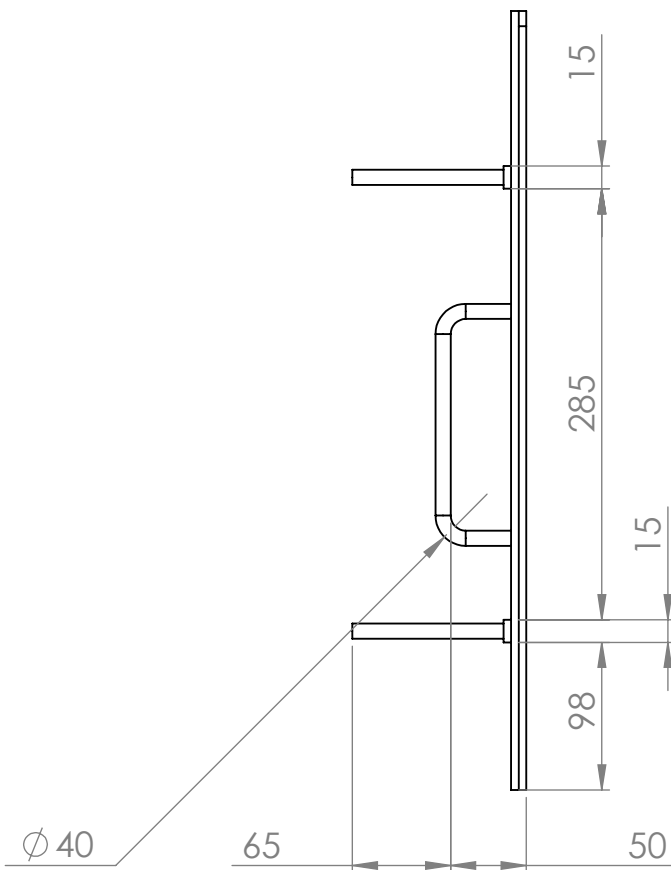
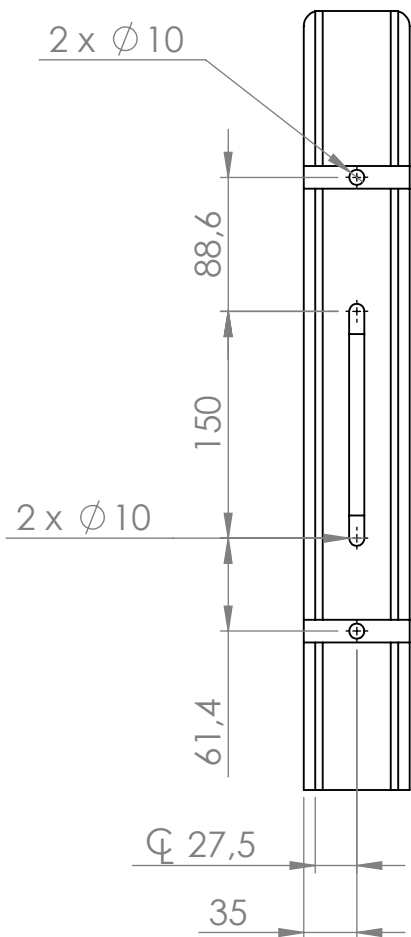
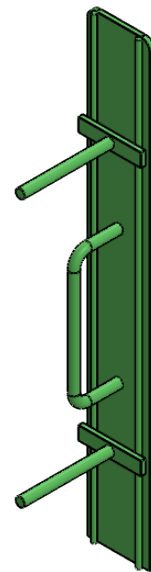
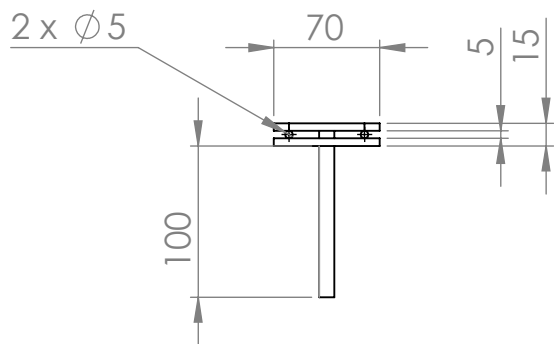
C

B

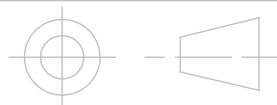
B

A

A



TUGAS AKHIR



TEKNIK MESIN FTI UII

Name

Date

A4

Scale :

1:5

Drawn
Check
APPVD

M.Farel Haw
Angga

22/08/2024

STACKER

Sheet 2/19

Material :

NIM 20525067

Note :

4

3

2

1

4

3

2

1

F

F

E

E

D

D

C

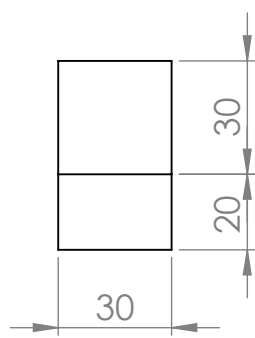
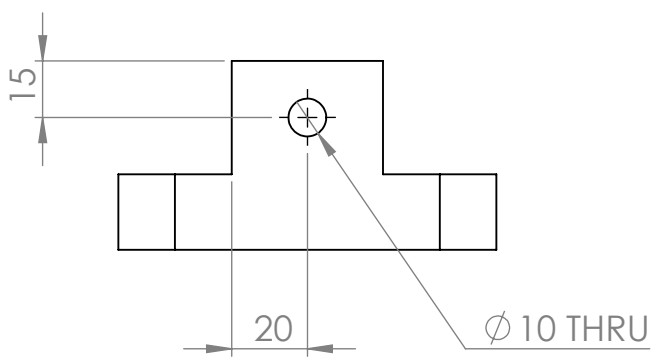
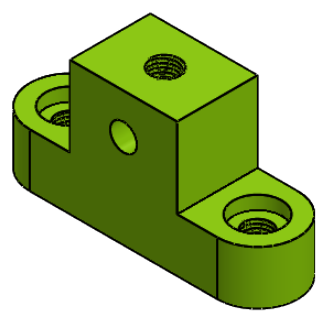
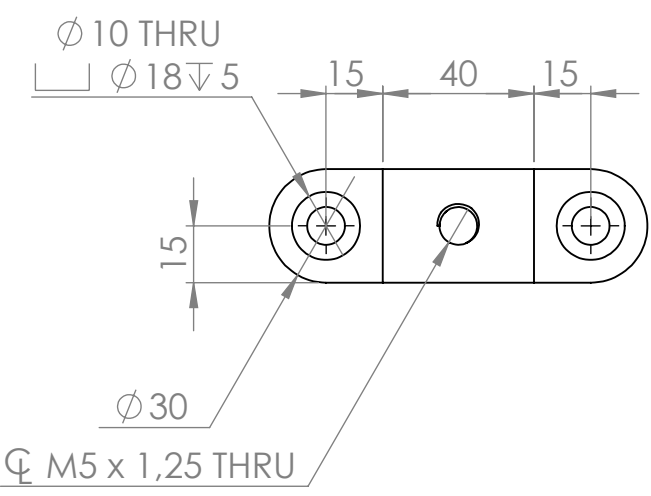
C

B

B

A

A



TUGAS AKHIR				TEKNIK MESIN FTI UII	
				STACKER BRACKET	
A4	Scale: 1:2	Drawn	Name	Date	
		Check	M.Farel Haw	22/08/2024	
		APPVD	Angga		
Sheet 2/20		Material :	NIM	20525067	Note :

4

3

2

1

4

3

2

1

F

F

E

E

D

D

C

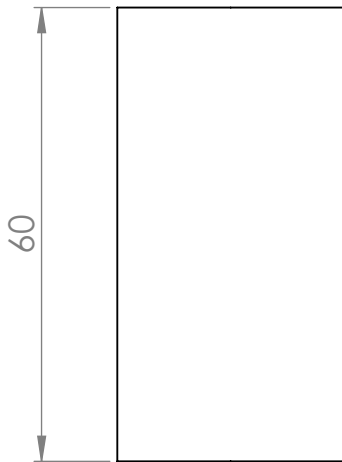
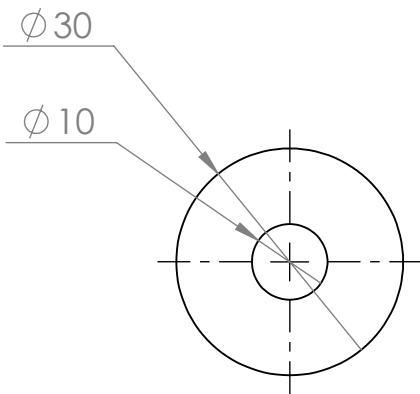
C

B

B

A

A



TUGAS AKHIR				TEKNIK MESIN FTI UII	
				SPACER	
A4	Scale : 1:1	Drawn Check APPVD	M.Farel Haw Angga	22/08/2024	
Sheet 2/21		Material :		NIM 20525067	Note :

4

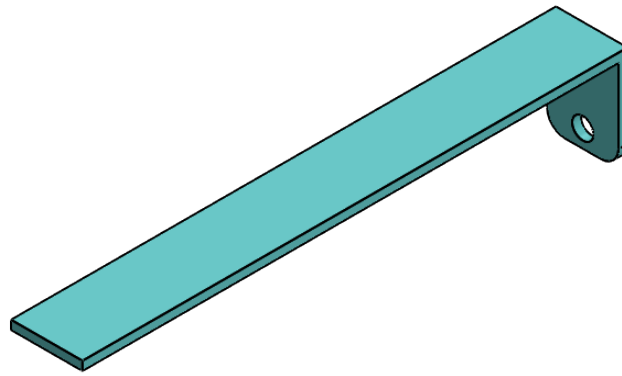
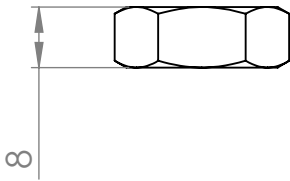
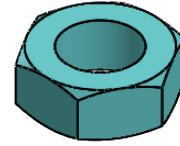
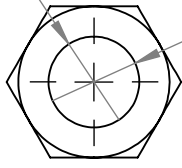
3

2

1

M8 x 1 THRU

Ø12



Ø12 THRU

10

2 x R10

40

305

57

5

TUGAS AKHIR



TEKNIK MESIN FTI UII

A4

Scale :

1:3

Drawn
Check
APPVD

Name
M.Farel Haw
Angga

Date
22/08/2024

NUT & PUSHER EXTENDER

Sheet 2/22

Material :

NIM 20525067

Note :

4

3

2

1

F

F

E

E

D

D

C

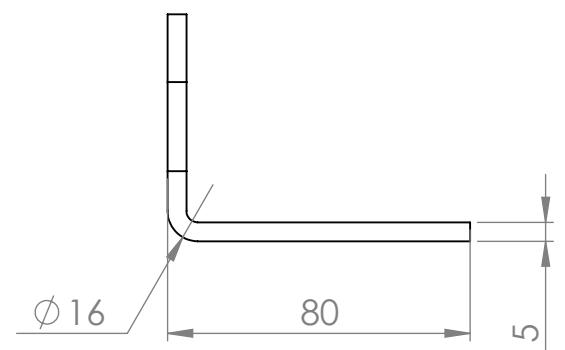
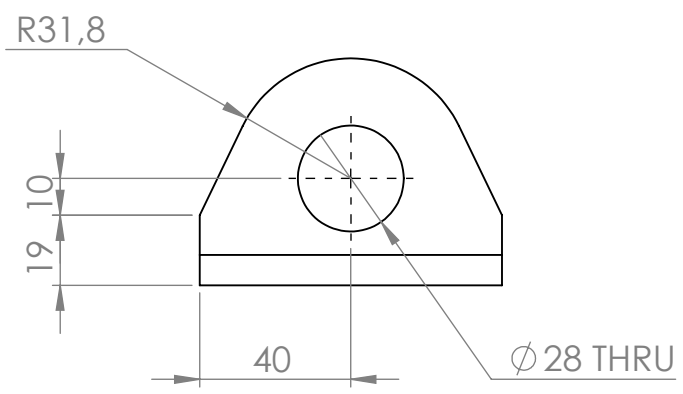
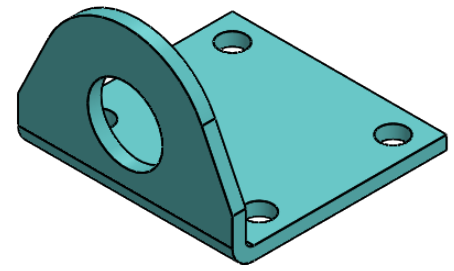
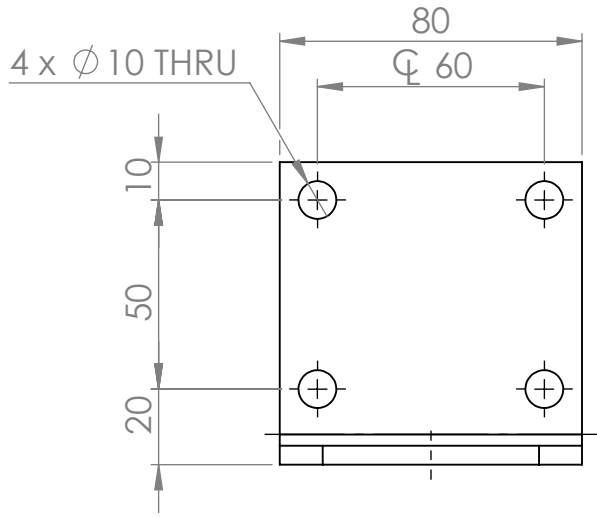
C

B

B

A

A



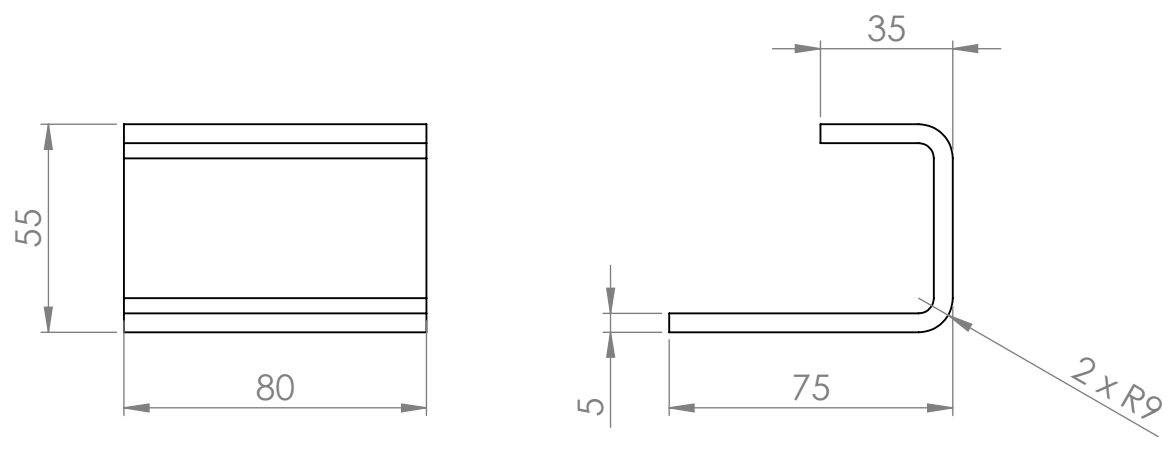
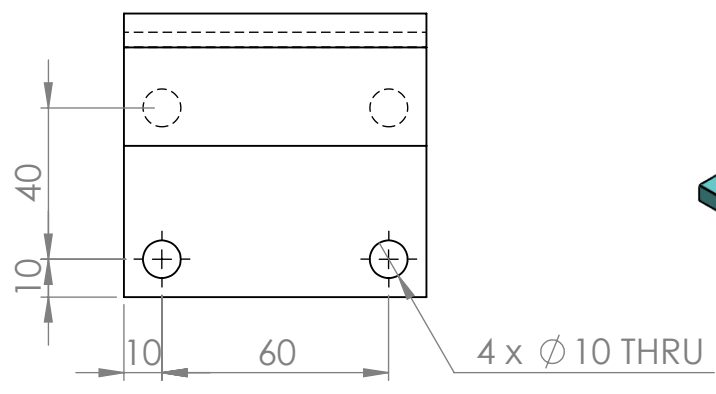
TUGAS AKHIR				TEKNIK MESIN FTI UII	
				Name	
A4	Scale: 1:2	Drawn	M.Farel Haw	22/08/2024	FRONT BRACKET
		Check	Angga		
Sheet 2/23		APPVD	Material :		
			NIM	20525067	Note :

4

3

2

1



TUGAS AKHIR				TEKNIK MESIN FTI UII	
				BACK BRACKET	
A4	Scale : 1:2	Drawn Check APPVD	Name M.Farel Haw Angga	Date 22/08/2024	Note :
Sheet 2/24		Material :	NIM	20525067	