

PENGEMBANGAN MESIN EKSTRUSI FILAMEN *3D PRINTER*
DENGAN SISTEM KENDALI SEMI OTOMATIS



SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat menyelesaikan
pendidikan diploma empat (D-4) Program Studi Teknik Manufaktur
Jurusan Teknik Mesin
Politeknik Negeri Ujung Pandang

KEVIN	443 19 013
M. ZULHAM FATWA	443 19 015
WIDYA JUFRI	443 19 021

PROGRAM STUDI D-4 TEKNIK MANUFAKTUR
JURUSAN TEKNIK MESIN
POLITEKNIK NEGERI UJUNG PANDANG
MAKASSAR

2023

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini dengan judul Pengembangan Mesin Ekstrusi Filamen *3D Printer* dengan Sistem Kendali Semi Otomatis oleh:

1. Kevin (443 19 013)
2. M. Zulham Fatwa (443 19 015)
3. Widya Jufri (443 19 021)

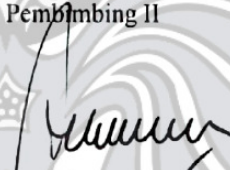
Telah diperiksa dan disahkan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar S1 Terapan (D4) pada Program Studi D4 Teknik Manufaktur Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang.

Makassar, Desember 2023

Pembimbing I


Ir. Mas M., M.T.
NIP. 19670228 199303 1 004

Pembimbing II


Muhammad Arsyad Suvuti, S.T., M.T.
NIP. 19721206 200212 1 004

Mengetahui,
Koordinator Program Studi D4 Teknik Manufaktur


Dr. Eng. Baso Nasrullah, S.ST., M.T.
NIP. 19771015 200604 1 001









HALAMAN PENERIMAAN

Pada hari ini, Selasa tanggal 12 Desember 2023, Tim Penguji Ujian Sidang Skripsi telah menerima dengan baik skripsi oleh mahasiswa: Kevin NIM 443 19 013, M. Zulham Fatwa NIM 443 19 015, dan Widya Jufri NIM 443 19 021 dengan judul “Pengembangan Mesin Ekstrusi Filamen *3D Printer* dengan Sistem Kendali Semi Otomatis”

Makassar, 12 Desember 2023

Tim Penguji Ujian Sidang Skripsi:

1. Ahmad Zubair S., S.T., M.T., Ph.D. Ketua 
2. Dr. Eng. Baso Nasrullah, S.ST., M.T. Sekertaris 
3. Ir. Abdul Salam, M.T. Anggota I 
4. Abram Tangkemanda, S.T., M.T. Anggota II 
5. Ir. Muas M, M.T Pembimbing I 
6. Muhammad Arsyad Suyuti, S.T., M.T Pembimbing II 

KATA PENGANTAR

Assalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.

Puji Syukur kami panjatkan kehadiran Allah SWT karena berkat rahmat dan karunia-Nya, penulisan skripsi ini yang berjudul **“Pengembangan Mesin Ekstrusi Filamen 3D Printer dengan Sistem kendali Semi Otomatis”**.

Skripsi ini merupakan hasil penelitian yang dilaksanakan mulai tanggal 27 Maret sampai tanggal 29 Agustus tahun 2023 bertempat di Bengkel Mekanik Teknik Mesin yang merupakan salah satu syarat bagi Mahasiswa Program Studi Teknik Manufaktur, Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang dalam menyelesaikan studinya.

Dalam penulisan Laporan Skripsi tidak sedikit hambatan yang penulis alami. Namun, berkat kerja keras, doa kedua orang tua dan bantuan berbagai pihak, hambatan tersebut dapat teratasi.

Kesempatan ini penulis menyampaikan penghargaan dan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Ir. Ilyas Mansyur, M.T. selaku Direktur Politeknik Negeri Ujung Pandang.
2. Bapak Dr. Ir. Syaharuddin Rasyid, M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin.
3. Bapak Dr. Eng. Baso Nasrullah, S.ST., M.T. selaku Ketua Program Studi D4 Teknik Manufaktur Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang sekaligus Sekretaris ujian sidang skripsi.
4. Bapak Ahmad Zubair S., S.T., M.T., Ph.D. selaku Ketua Ujian Skripsi.
5. Bapak Ir. Abdul Salam, M.T. sebagai anggota penguji-1 ujian sidang skripsi.
6. Bapak Abram Tangkemanda, S.T., M.T. sebagai anggota penguji-2 ujian sidang skripsi.
7. Bapak Ir. Muas M, M.T. selaku Dosen Pembimbing I skripsi.
8. Bapak Muhammad Arsyad Suyuti, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing II.
9. Bapak/Ibu staf pengajar di Program Studi D-4 Teknik Manufaktur Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang.
10. Teman kelas D4 Teknik Manufaktur angkatan 2019 yang telah menemani hari-hari kami di kampus.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih kurang sempurna, sehingga kami mengharapkan kritik dan saran yang sifatnya membangun untuk perbaikan di masa mendatang. Semoga tulisan ini bermanfaat.

Makassar, 20 September 2023

M. Zulham Fatwa

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
HALAMAN PENERIMAAN.....	iii
KATA PENGANTAR.....	iii
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR TABEL.....	viii
DAFTAR GAMBAR.....	ix
DAFTAR SIMBOL.....	xi
SURAT PERNYATAAN.....	xii
RINGKASAN.....	xv
<i>SUMMARY</i>	xvi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	4
1.3 Ruang Lingkup Penelitian.....	4
1.4 Tujuan Penelitian.....	5
1.5 Manfaat Penelitian.....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	6

2.1 Pengertian Plastik.....	6
2.2 3D Printer dan Filamen.....	12
2.2.1 3D Printer.....	12
2.2.2 Filamen.....	13
2.3 Mesin Ekstruder Filamen.....	14
2.4 Teori Perhitungan.....	15
2.5 Penelitian Terdahulu.....	18
2.6 Optimasi dengan Metode Taguchi.....	19
2.7 Sistem Kendali Semi Otomatis Mesin Ekstrusi Filamen 3D Printer.....	20
2.7.1 Komponen Mekanik.....	20
2.7.2 Komponen Elektronik.....	23
BAB III METODE PENELITIAN.....	29
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian.....	29
3.2 Alat dan bahan.....	29
3.2.1 Alat.....	29
3.2.2 Bahan.....	30
3.3 Diagram alir.....	30
3.4 Prosedur/Langkah Kerja.....	32
3.4.1 Proses Perancangan.....	32
3.4.2 Proses Pembuatan.....	34
3.4.3 Proses Perakitan.....	41
3.5 Langkah-langkah Pengujian.....	42
3.6 Teknik Analisis Data.....	43

3.7 Definisi Operasional.....	43
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	44
4.1 Hasil Rancang Bangun	44
4.1.1 Hasil Perhitungan	45
4.1.2 Hasil Uji Coba Alat	47
4.1.3 Hasil Analisis Data	51
4.1.4 Kontribusi parameter Proses	55
4.2 Pembahasan.....	57
4.2.1 Analisis Hasil Uji Coba Alat	57
4.2.2 Optimasi Mesin Ekstrusi	58
4.3 Perhitungan Biaya Manufaktur Pengembangan Mesin Ekstrusi Filamen 3D Printer dengan Sistem Kendali Otomatis.....	58
4.3.1 Biaya Bahan Langsung.....	58
4.3.2 Biaya Tenaga Kerja	59
4.3.3 Biaya Bahan Tidak Langsung.....	60
4.3.4 Biaya Penyusutan Mesin	63
BAB V PENUTUP.....	70
5.1 Kesimpulan.....	70
5.2 Saran.....	70
DAFTAR PUSTAKA	71
LAMPIRAN.....	73

DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 Perancangan Mesin	33
Tabel 3.2 Komponen Yang Dibuat	35
Tabel 3.3 Komponen Standar.....	39
Tabel 4.1 Tabel <i>Factors and Levels Taguchi</i>	48
Tabel 4.2 Tabel Desain Eksperimen	48
Tabel 4.3 Data Hasil Pengujian Diameter Filamen.....	49
Tabel 4.4 Hasil Pengujian Kekuatan Tarik	49
Tabel 4.5 <i>Response Table for Signal to Noise Ratios</i>	51
Tabel 4.6 <i>Response Table for Means</i>	52
Tabel 4.7 <i>Response Table for Signal to Noise Ratios</i>	54
Tabel 4.8 <i>Response Table for Means</i>	55
Tabel 4.9 <i>Analysis of Variance (ANOVA) for diameter filamen</i>	56
Tabel 4.10 <i>Analysis of Variance (ANOVA) for Uji Tarik</i>	57

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Jenis plastik PETE dan nomor kodenya.....	7
Gambar 2.2 Jenis plastik HDPE dan nomor kodenya.....	8
Gambar 2.3 Jenis plastik PVC dan nomor kodenya.....	8
Gambar 2. 4 Jenis plastik LDPE dan nomor kodenya.....	9
Gambar 2.5 Jenis plastik PP dan nomor kodenya.....	9
Gambar 2. 6 Jenis plastik PS dan nomor kodenya.....	10
Gambar 2.7 Jenis plastik jenis lain dan nomor kodenya.....	11
Gambar 2.8 Filamen yang umum digunakan.....	14
Gambar 2.9 Mesin Ekstruder.....	15
Gambar 2.10 Desain Konstruksi Mesin Ekstrusi Sebelumnya.....	18
Gambar 2.11 Pengembangan Desain Konstruksi Mesin Ekstrusi.....	19
Gambar 2.12 Aluminium <i>Profile</i>	20
Gambar 2.13 Baut dan Mur.....	20
Gambar 2.14 Plat Aluminium.....	21
Gambar 2.15 Plat Besi.....	21
Gambar 2.16 Rantai.....	22
Gambar 2.17 Sekrup <i>Sprockets</i>	22
Gambar 2.18 <i>Bearing</i>	22
Gambar 2.19 AS-ST 42.....	23
Gambar 2.20 Motor <i>Stepper</i>	23
Gambar 2.21 Driver <i>Stepper</i>	24

Gambar 2.22 Arduino Uno R3	24
Gambar 2.23 PID REX-C100	25
Gambar 2.24 Power Supply	25
Gambar 2. 25 Potensio	26
Gambar 2.26 Sensor Max 6675	27
Gambar 2. 27 Heater Band	27
Gambar 2.28 Switch On/Off.....	27
Gambar 3.1 Flowchart Mesin Ekstrusi Filamen 3D Printer.....	31
Gambar 4.1 Mesin ekstrusi filamen 3D Printer	44
Gambar 4.2 Grafik Main Effects Plot for SN Rations	52
Gambar 4.3 Grafik Main Effects Plot for Means.....	53
Gambar 4.4 Grafik Main Effects Plot for Rations	54
Gambar 4.5 Grafik Main Effects Plot for Means.....	55



DAFTAR SIMBOL

Simbol	Satuan	Keterangan
P_{motor}	watt	Daya motor
τ_{total}	Nm	Torsi total
ω	rad/s	kecepatan
V	m^3	volume
π		Konstanta phi
r		Jari-jari <i>hopper</i>
t		Tinggi <i>hopper</i>
V	volt	tegangan
I	Ampere	Arus listrik
σ	Pa/Mpa	kekuatan tarik
F	N	gaya tarik
A	m^2	luas penampang material
r	m	radius
L	m	Panjang sekrup/putaran
o		Derajat
T	$^{\circ}\text{C}$	Suhu
rpm		Revolusi per menit
kg		kilogram
mm		milimeter
m^2		Satuan luas dalam mm
m^3		Satuan volume dalam mm
Mpa		megapascal
%		Persen
t	Detik/s	waktu

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Kevin

NIM : 443 19 013

Menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa segala pernyataan dalam skripsi ini yang berjudul “Pengembangan Mesin Ekstrusi Filamen *3D Printer* dengan Sistem Kendali Semi Otomatis” merupakan gagasan dan hasil karya saya sendiri dengan arahan komisi pembimbing dan belum pernah diajukan dalam bentuk apa pun pada perguruan tinggi dan instansi mana pun.

Semua data dan informasi yang digunakan telah dinyatakan secara jelas dan dapat diperiksa kebenarannya. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya penulis lain telah disebutkan dalam naskah dan dicantumkan dalam skripsi ini.

Jika pernyataan saya tersebut di atas tidak benar, saya siap menanggung risiko yang ditetapkan oleh Politeknik Negeri Ujung Pandang.

Makassar, 12 Desember 2023



Kevin
443 19 013

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : M. Zulham Fatwa

NIM : 443 19 015

Menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa segala pernyataan dalam skripsi ini yang berjudul “Pengembangan Mesin Ekstrusi Filamen *3D Printer* dengan Sistem Kendali Semi Otomatis” merupakan gagasan dan hasil karya saya sendiri dengan arahan komisi pembimbing dan belum pernah diajukan dalam bentuk apa pun pada perguruan tinggi dan instansi mana pun.

Semua data dan informasi yang digunakan telah dinyatakan secara jelas dan dapat diperiksa kebenarannya. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya penulis lain telah disebutkan dalam naskah dan dicantumkan dalam skripsi ini.

Jika pernyataan saya tersebut di atas tidak benar, saya siap menanggung risiko yang ditetapkan oleh Politeknik Negeri Ujung Pandang.

Makassar, 12 Desember 2023



M. Zulham Fatwa
443 19 015

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Widya Jufri

NIM : 443 19 021

Menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa segala pernyataan dalam skripsi ini yang berjudul “Pengembangan Mesin Ekstrusi Filamen 3D Printer dengan Sistem Kendali Semi Otomatis” merupakan gagasan dan hasil karya saya sendiri dengan arahan komisi pembimbing dan belum pernah diajukan dalam bentuk apa pun pada perguruan tinggi dan instansi mana pun.

Semua data dan informasi yang digunakan telah dinyatakan secara jelas dan dapat diperiksa kebenarannya. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya penulis lain telah disebutkan dalam naskah dan dicantumkan dalam skripsi ini.

Jika pernyataan saya tersebut di atas tidak benar, saya siap menanggung risiko yang ditetapkan oleh Politeknik Negeri Ujung Pandang.

Makassar, 12 Desember 2023


METERAL
TEMPEL
D 916AKX797601042
Widya Jufri
443 19 021

Pengembangan Mesin Ekstrusi Filamen 3d Printer Dengan Sistem Kendali Semi Otomatis

RINGKASAN

Penggunaan plastik sangat penting pada kehidupan manusia sehari-hari. Plastik telah muncul sekitar 100 tahun yang lalu, bahan yang sangat diperlukan terutama pada kehidupan rumah tangga. Plastik termasuk bahan serbaguna sehingga kemungkinan penerapannya hampir tidak terbatas karena sifatnya yang praktis, ringan, serta tahan terhadap korosi. Perkembangan teknologi terutama pada bidang *additive manufacturing* menggunakan *3D printer* cukup pesat. *3D printer* adalah alat pembuatan benda yang dikendalikan oleh komputer sesuai produk yang diinginkan dengan cara menggabungkan atau memadatkan material tanpa proses permesinan lanjut yang dalam penggunaannya membutuhkan filamen. Mesin ekstrusi adalah alat yang digunakan untuk membuat filamen. Pada penelitian terdahulu, belum dilakukan optimasi parameter proses menggunakan metode Taguchi. Oleh karena itu, penelitian ini akan melakukan optimasi parameter menggunakan metode Taguchi dengan tujuan untuk memperoleh hasil dengan ukuran filamen 1.75 mm. Penelitian ini menggunakan desain eksperimen orthogonal arrays $L9(3^2)$ terdapat Sembilan percobaan dan dua parameter proses yang digunakan yaitu suhu pemanasan dan kecepatan penggulung. Suhu pemanasan (120°C , 125°C , dan 130°C) dan kecepatan penggulung (2 rpm, 4,5 rpm, dan 6 rpm). Respon yang digunakan pada penelitian ini adalah diameter filamen dan uji Tarik filamen dengan variable responnya adalah larger is better. Data hasil pengujian kemudian dianalisis menggunakan software minitab dengan metode TaguchiSNR dan ANOVA. Hasil analisis SNR dan ANOVA menunjukkan urutan kombinasi parameter proses yang berpengaruh adalah kecepatan penggulung dan suhu pemanasan.

Kata kunci: Plastik, Mesin Ekstrusi, Metode Taguchi

***DEVELOPMENT OF 3D PRINTER FILAMENT EXTRUSION MACHINE
WITH SEMI AUTOMATIC CONTROL SYSTEM***

SUMMARY

The use of plastic is very important in everyday human life. Plastic appeared about 100 years ago, as an indispensable material, especially in household life. Plastic is a versatile material so its application possibilities are almost unlimited because of its practicality, lightness, and resistance to corrosion. Technological developments, especially in the field of additive manufacturing using 3D printers, are quite rapid. A 3D printer is a tool for making objects controlled by a computer according to the desired product by combining or compressing materials without further machining processes which require filament to be used. An extrusion machine is a tool used to make filament. In previous research, the parameter optimization process using the Taguchi method had not been carried out. Therefore, this research will carry out parameter optimization using the Taguchi method to obtain results with a filament size of 1.75 mm. This research uses an orthogonal arrays L9(3²) experimental design, there are nine experiments and two process parameters used, namely heating temperature and rolling speed. Heating temperature (120°C, 125°C, and 130°C) and winding speed (2 rpm, 4.5 rpm, and 6 rpm). The responses used in this research are filament diameter and filament tensile test and the response variable is the bigger the better. The test result data was then analyzed using Minitab software with the Taguchi SNR and ANOVA methods. The results of SNR and ANOVA analysis show that the order of combination of process parameters that influence rolling speed and heating temperature.

Keywords: Plastic, Extrusion Machine, Taguchi Method

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Penggunaan plastik sangat penting pada kehidupan manusia sehari-hari. Plastik telah muncul sekitar 100 tahun yang lalu, bahan yang sangat diperlukan terutama pada kehidupan rumah tangga. Plastik termasuk bahan serbaguna sehingga kemungkinan penerapannya hampir tidak terbatas karena sifatnya yang praktis, ringan, serta tahan terhadap korosi (Mikula et al., 2021). Plastik juga banyak digunakan dalam produksi industri maupun industri otomotif dan bidang lainnya. Plastik yang ada dimana-mana menghasilkan sumber limbah dalam jumlah yang besar (Chusnul Azhari, 2018).

Meningkatnya sampah plastik akan berdampak bagi lingkungan jika tidak dilakukan pengolahan dengan serius. Proses daur ulang merupakan salah satu metode yang secara efisien dipakai dalam mengolah limbah plastik menjadi barang yang lebih beragam (Prakoso, 2022). Salah satunya dibuat menjadi filamen *3D printer*.

Mesin *3D printer* adalah alat pembuatan benda yang dikendalikan oleh komputer sesuai produk yang diinginkan dengan cara menggabungkan atau memadatkan material tanpa proses permesinan lanjut yang dalam penggunaannya membutuhkan filamen. Filamen *3D printer* terbuat dari material plastik dalam bentuk gulungan dengan diameter 1,75 mm dan 2,95 mm yang memiliki harga cukup mahal dipasaran yaitu Rp 200.000,00 per kilogram tergantung jenis dan kualitasnya. Dibandingkan

dengan memanfaatkan biji plastik dalam memproduksi filamen, dimana harga dipasaran hanya

sekitar Rp 15.000,00 per kilogram bahkan lebih ekonomis dan untuk pembuatan filamen tersebut membutuhkan mesin ekstruder (Parahdiba dkk., 2022).

Pada umumnya mesin ekstruder atau ekstrusi adalah sebuah mesin pencetakan yang cara kerjanya cukup mudah yaitu cukup menekan plastik yang kemudian dipanaskan pada suhu tinggi yang kemudian didorong kearah nozel dan hasilnya berupa benang (Mahfud dkk, 2020). Ekstruder termoplastik merupakan sebuah alat yang digunakan dalam proses ekstrusi atau mengubah bentuk cacahan plastik menggunakan temperatur tinggi dalam proses peleburan limbah plastik yang selanjutnya dibentuk kembali dengan cetakan/moulding menjadi suatu bentuk cetakan yang dibutuhkan (Hanafi dkk., 2022).

Penelitian yang dilakukan oleh Alfara dkk (2021) telah membuat mesin pencetak plastik dengan menggunakan silinder pneumatik sebagai actuator penggerak atau alat penekan plastik. Dimana produk yang dihasilkan masih dalam lelehan plastik. Penelitian selanjutnya yang dilakukan oleh Fahmi dkk (2022) juga telah membuat mesin pencetak plastik dengan sistem *screw conveyor* dengan menggunakan motor AC sebagai penggeraknya. Mesin ekstrusi tersebut untuk membuat filamen *3D printer*. Dimana filamen yang dihasilkan ukurannya tidak seragam karena menggunakan penggulung manual yang putarannya tidak konstan. Selain itu, parameter proses yang berpengaruh pada alat ekstruder tersebut adalah variasi suhu

pemanasan, waktu pemanasan, dan putaran *screw* dimana suhu dan waktu pemanasan telah dilakukan beberapa variasi pengujian dan diperoleh temperatur yang terbaik 100°C dengan waktu pemanasan 16 menit 30 detik. Sedangkan motor yang digunakan adalah transmisi motor AC yang dipasangkan reduser dengan putaran konstan sebesar 31,81 rpm. Berdasarkan hasil pembuatan filament terbaik dengan parameter proses tersebut dinilai berdasarkan ciri-ciri filamen yang dihasilkan tidak terlalu cair dan tidak cepat mengeras dan ukuran filamen yang dihasilkan sesuai dengan ukuran *nozzle*'.

Penelitian lain juga dilakukan oleh Muis (2017) tentang aplikasi motor stepper pada alat pencetak bangun ruang tiga dimensi yang digerakkan oleh 3 motor stepper melalui driver motor A4988 yang menggunakan Arduino mega 2560 sedangkan bahan yang digunakan pada alat pencetak ini menggunakan bahan filamen yang dapat dicairkan pada mesin ekstruder yang membutuhkan sebuah motor *stepper* untuk mendorong filamen ke dalam mesin peleburan yang ada pada mesin ekstruder.

Motor *stepper* menghasilkan 10 putaran yang spesifik dengan cara mengkonversi sinyal elektrik. Pergerakan tersebut menciptakan sinyal masing-masing yang dapat diulang dengan tepat, itulah sebabnya mengapa motor *stepper* sangat efektif untuk aplikasi pergerakan posisi (Putra, 2011). Sehingga dengan ekstruder plastik menggunakan sistem penggerak motor stepper yang diprogram menggunakan Arduino uno memungkinkan untuk dilakukan pemilihan sebagai putaran *screw* yang terbaik sehingga menghasilkan filamen dengan dimensi yang seragam dan sifat mekanik (kekuatan tarik) terbaik.

Berdasarkan uraian diatas maka akan dilakukan pengembangan mesin ekstrusi melalui perbaikan desain konstruksi, sistem penggerak *screw* dan penggulung. Sehingga dilakukan penelitian skripsi dengan judul “Pengembangan Mesin Ekstrusi Filamen *3D Printer* dengan Sistem Kendali Semi Otomatis”.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah berdasarkan latar belakang diatas yakni:

1. Bagaimana membuat mesin ekstrusi filamen *3D printer* yang mampu menghasilkan filamen dengan diameter seragam 1.75 mm sesuai standar umum, serta memiliki kekuatan mekanik (kekuatan tarik) yang terbaik.
2. Bagaimana mengidentifikasi dan menganalisis perhitungan biaya manufaktur yang terkait dengan pengembangan mesin ekstrusi filamen *3D printer* dengan sistem kendali semi otomatis.

1.3 Ruang Lingkup Penelitian

1. Material yang digunakan adalah berbentuk biji plastik HDPE.
2. Produk yang dapat dihasilkan berupa benang filamen dengan $\text{Ø}1,75$ mm.
3. Pengujian benang filamen dengan kekuatan uji tarik.
4. Putaran *screw* yang digunakan konstan 150 rpm.
5. Putaran penggulung yang digunakan bervariasi yaitu 2 rpm, 4,5 rpm, dan 6 rpm.
6. Suhu yang digunakan yaitu suhu 120°C, 125°C, dan 130°C.
7. Jarak mesin ekstrusi dengan mesin penggulung 250 mm.

1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian berdasarkan rumusan masalah yakni:

1. Membuat mesin ekstrusi filamen *3D printer* yang mampu menghasilkan filamen dengan diameter seragam 1.75 mm sesuai standar umum, serta memiliki kekuatan mekanik (kekuatan tarik) terbaik.
2. Mengidentifikasi dan menganalisis perhitungan biaya produksi yang terkait dengan pengembangan mesin ekstrusi filamen *3D printer* dengan sistem kendali semi otomatis.

1.5 Manfaat Penelitian

Dengan penelitian ini diharapkan bisa memberikan manfaat sebagai berikut.

1. Mahasiswa bisa menerapkan ilmu yang terkait dengan proyek tugas akhir yang dilaksanakan.
2. Dapat menjadi alternatif pemakaian filamen *3D printer*.
3. Dapat menjadi alternatif dalam mendaur ulang limbah plastik menjadi filamen *3D printer*.
4. Dapat menjadi alternatif dalam mencetak filamen dengan biaya yang lebih terjangkau.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengertian Plastik

Plastik adalah senyawa kimia organik sintetis yang dihasilkan oleh polimerisasi beberapa unit berulang yang disebut monomer. Sebagian besar monomer yang digunakan dalam proses produksi plastik adalah hidrokarbon yang berasal dari bahan bakar fosil seperti batu bara dan minyak bumi. Plastisitas plastik memungkinkan untuk dibentuk, diekstrusi, dan dicetak menjadi berbagai bentuk yang berbeda-beda (Shiferaw, 2021).

Menurut Wicaksana, plastik adalah kumpulan dari polimer yang saling mengikat dan membentuk rantai panjang dengan molekul yang berulang. Plastik digolongkan menjadi 2 macam yaitu:

1. *Thermoplastic*

Thermoplastic adalah jenis plastik yang melebur jika dipanaskan dan akan mengeras jika didinginkan. Proses ini dapat dilakukan berulang-ulang sehingga plastik ini dapat didaur ulang. Jenis plastik yang termasuk *thermoplastic* adalah HDPE, LDE, PE, PVC, dan PS.

2. *Thermoset*

Thermoset adalah jenis plastik yang tidak bisa didaur ulang kembali. Hal ini dikarenakan jika jenis plastik ini dipanaskan akan menimbulkan kerusakan pada molekul-molekulnya. Contoh jenis plastik ini adalah resin dan bakelit.

Pada umumnya plastik banyak digunakan dalam kehidupan manusia sehari-hari. Plastik berguna untuk melindungi suatu produk dan tentunya pemakainnya tidak membahayakan kesehatan konsumennya. Berikut jenis-jenis plastik yang sering digunakan, diantaranya:

a. Polyethylene Terephthalate (PET)

Jenis plastik ini digunakan dalam kemasan wadah makanan, minuman ringan, dan air botol yang memiliki sifat jernih, kekuatan dan kekakuan yang baik, tahan panas sehingga digunakan dalam industri bangunan dan peralatan (Byan & Nim, 2022). Adapun gambar plastik jenis *Polyethylene Terephthalate* sebagai berikut.



Gambar 2.1 Jenis plastik PETE dan nomor kodenya
(Sumber: <https://images.app.goo.gl/>)

b. High Density Poliethelene (HDPE)

Jenis plastik ini digunakan dalam berbagai jenis wadah, botol air, pipa, dan lain-lain. Jenis plastik ini memiliki kemampuan proses yang baik, kekakuan dan kelakuan benturan yang sangat baik, ketahanan kimia yang baik, titik leleh 130-135°C dan penghalang uap air yang sangat baik (Byan & Nim, 2022). Adapun gambar plastik jenis *High Density Poliethelene* sebagai berikut.



Gambar 2.2 Jenis plastik HDPE dan nomor kodenya
(Sumber: <https://images.app.goo.gl/>)

c. Polivinilklorida (PVC)

Jenis plastik ini digunakan dalam industri seperti bangunan dan konstruksi, medis, pertanian, transportasi, untuk membuat kabel, furnitur, alas kaki dan peralatan rumah tangga. Jenis plastik ini mampu beradaptasi dengan perubahan waktu dan lingkungan, penghematan energi, dan tahan api (Byan & Nim, 2022). Adapun gambar plastik jenis *Polivinilklorida* sebagai berikut.



Gambar 2.3 Jenis plastik PVC dan nomor kodenya
(Sumber: <https://images.app.goo.gl/>)

d. Low Densyty Polyethylene (LDPE)

Jenis plastik ini digunakan dalam tas tugas berat, tas pembibitan, pemerasan kecil botol yang memiliki kemampuan proses yang mudah, kepadatan rendah,

rentang titik leleh rendah, penghalang kelembapan rendah (Byan & Nim, 2022).

Adapun gambar plastik jenis *Low Density Polyethylene* sebagai berikut.



Gambar 2. 4 Jenis plastik LDPE dan nomor kodenya
(Sumber: <https://images.app.goo.gl/>)

e. Polypropylen (PP)

Jenis plastik ini digunakan untuk membuat botol, pipa, sedotan, peralatan rumah tangga dan lain-lain. Plastik *polypropylen* memiliki sifat titik leleh yang tinggi, kemampuan proses yang baik dan ketahanan mulur (Byan & Nim, 2022).

Adapun gambar plastik jenis *Polypropylen* sebagai berikut.



Gambar 2.5 Jenis plastik PP dan nomor kodenya
(Sumber: <https://images.app.goo.gl/>)

f. Polystyrene (PS)

Jenis plastik ini digunakan untuk membuat wadah, mainan, keranjang, peralatan makan, piring, cangkir, gelas, wadah susu dan lain-lain. Namun sifatnya kaku dan keras (Byan & Nim, 2022). Adapun gambar plastik jenis *Polystyrene* sebagai berikut.



Gambar 2. 6 Jenis plastik PS dan nomor kodenya
Sumber: <https://images.app.goo.gl/>

g. Plastik Jenis-jenis lain

Plastik jenis ini terdapat empat jenis plastik yaitu *Styrene acrylonitrile*, *Acrylonitrile butadiene*, *Polycarbonate*, dan Nylon. Penggunaan plastik ini hanya digunakan satu kali saja biasanya digunakan untuk tempat minuman atau makanan seperti botol minum bayi, *gallon* dan *sports bottles*. Adapun gambar plastik jenis lain-lain sebagai berikut.



Gambar 2.7 Jenis plastik jenis lain dan nomor kodenya

Sumber: <https://images.app.goo.gl/>

Material atau jenis plastik yang akan digunakan dalam proses pengerjaan adalah *High Density Polyethylene* (HDPE). Jenis plastik daur ulang dengan nomor identifikasi resin 2 yang memiliki kekuatan tekan dan tarik yang tinggi, ketangguhan dan keuletan yang tinggi dan ketahanan benturan yang unggul yang banyak digunakan untuk menghasilkan pipa tahan korosi, pipa air rumah tangga, wadah kosmetik botol deterjen, botol sampo dan lain-lain (Parahdiba dkk, 2022).

Tabel 2.1 Temperature Leleh Proses Termoplastik

Processing Temperature Rate		
Material	°C	°F
ABS	180-240	356-464
Acetal	185-225	365-437
Acrylic	180-250	356-482
Nylon	260-290	500-554
Poly Carbonat	280-310	536-590
LDPE	160-240	320-464
HDPE	200-280	392-536
PP	200-300	392-572

Processing Temperature Rate		
Material	°C	°F
PS	180-260	356-500
PVC	160-180	320-365

Sumber: (Iman Mujiarto, 2005)

Polypropylene (PE) dapat dibagi menurut massa jenisnya menjadi dua jenis, yaitu: Low Density Polyethylene (LDPE) dan High Density Polyethylene (HDPE). LDPE mempunyai massa jenis antara 0.91 – 0.94 gmLl, separuhnya berupa kristalin (50-60%). (Billmeyer, 1971)

Titik leleh HDPE biasanya berkisar antara 120°C hingga 180°C (248°F hingga 365°F), dengan titik leleh rata-rata 130°C (266°F). HDPE dapat memiliki kristalinitas berkisar antara 30% hingga 90%. Kristalisasi berarti derajat keteraturan dan susunan rantai polimer dalam suatu material.

2.2 3D Printer dan Filamen

2.2.1 3D Printer

Konsep 3D printing telah muncul pada tahun 1970-an tetapi percobaan pertama dilakukan pada tahun 1981. Percobaan pertama dilakukan oleh Dr. Kodoma untuk pengembangan teknik pembuatan rapid-protipe. Beberapa tahun terakhir *3D printing* berkembang pesat penggunaannya seperti halnya penggunaan teknologi lain, banyak perusahaan kecil maupun besar memanfaatkan *3D printing* karena harga yang

ditawarkan rendah dalam pembuatan prototipnya. Sekarang, *3D printing* sudah berevolusi ke sektor-sektor besar seperti otomotif, arsitektur, atau medis.

3D printer atau lebih dikenal sebagai *additive manufacturing* yang berarti proses pembuatan *prototype* dimana objek nyata dibuat dari desain *3D*. Proses ini juga digunakan sebagai alternatif dari teknik manufaktur industri lainnya, seperti ekstrusi dan pengecoran. Material yang umum digunakan untuk pencetakan *3D* adalah plastik, resin, keramik dan logam. Proses *3D printing* terbagi menjadi 3 bagian yaitu *make 3D Model*, *Printing Process* dan *Finishing Process*.

Material untuk membuat *3D printing* yang paling umum digunakan adalah *Acrylonitrile Butadiene Styrene* dan *Polylactic Acid Polylactic*. Kedua material ini termasuk jenis *Thermoplastic*, jenis plastik yang melebur jika dipanaskan dan akan mengeras jika didinginkan. Proses ini dapat dilakukan berulang-ulang sehingga plastik ini dapat didaur ulang (Mawardi, 2020).

2.2.2 Filamen

Filamen adalah material yang digunakan dalam mencetak hasil desain yang telah dibuat melalui perangkat di komputer pada mesin *3D printing*. Filamen memiliki berbagai ukuran diameter yaitu 1.75 mm yang umum digunakan, 2.85 mm dan 3 mm. Material *thermoplastic* yang memiliki sifat yang kuat, tangguh, dan mudah dibentuk merupakan hal yang penting dalam menentukan kualitas filamen. Ada dua jenis filamen yang banyak digunakan saat ini yaitu *Acrylonitrile Butadiene Styrene* dan *Polylactic Acid Polylactic* (Tondi, 2019).



Gambar 2.8 Filamen yang umum digunakan
(Sumber: <https://images.app.goo.gl/>)

2.3 Mesin Ekstruder Filamen

Mesin ekstruder menjadi yang paling populer di industri plastik. Pada mesin ekstruder, sekrup berputar dan menaikkan tekanan yang cukup untuk memaksa material melewati cetakan dan menghasilkan produk dengan geometri yang berbeda-beda. Tergantung pada jumlah sekrup, mesin ekstruder dapat diklasifikasikan menjadi tiga yaitu mesin ekstruder sekrup tunggal, sekrup ganda, dan multi sekrup. Dalam proses ekstrusi ada beberapa tahapan yang dilakukan sebagai berikut.

1. Proses memasukkan biji plastik ke dalam *hopper*. Pada tahapan ini biji plastik akan terdorong oleh *screw* ke tempat pemanasan dan pelepasan plastik.
2. Proses pemanasan plastik. Pada tahap ini biji plastik dipanaskan di dalam barrel maka biji plastik yang diteruskan keluar barrel melalui cetakan.
3. Proses pencetakan. Pada tahapan ini biji plastik telah meleleh sekaligus dicetak sesuai yang diinginkan.

Pada proses pencetakan inilah plastik dapat diubah bentuk sesuai yang diinginkan seperti filamen *3D printer*. Mesin ekstruder penghasil filamen sendiri masih dirancang dalam skala industri.



Gambar 2.9 Mesin Ekstruder
(Sumber: <https://images.app.goo.gl/>)

2.4 Teori Perhitungan

Dalam perancangan mesin ekstrusi memerlukan data yang pasti dalam pemilihan komponen yang akan digunakan. Data yang diperlukan dapat diperhitungkan sebagai berikut:

1. Pemilihan Motor *Stepper*

Motor stepper menghasilkan torsi yang tinggi pada kecepatan yang rendah sehingga dipilih sebagai penggerak utama yang diperlukan agar *screw* pada mesin dapat berputar dengan baik dan cocok untuk perancangan yang memerlukan kepresisian tinggi dengan kontrol kecepatan rendah. Pemilihan daya motor *stepper* yang tepat akan memastikan bahwa mesin dapat bekerja dengan efisien dan akurat. Daya motor stepper dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut (Yulianto, n.d.).

$$P_{\text{motor}} = \tau_{\text{total}} \times \omega$$

Di mana:

$$P_{\text{motor}} = \text{daya motor}$$

τ_{total} = torsi total (Nm)

ω = kecepatan (rad/s)

2. Volume biji plastik HDPE yang dimasukkan ke *hopper*

Menghitung volume biji plastik yang akan dimasukkan ke dalam *hopper* merupakan hal yang penting dalam proses ekstrusi karena mesin ekstrusi memiliki kapasitas barel yang terbatas dan memungkinkan untuk mengendalikan parameter seperti diameter, kekuatan, dan tekstur filamen (Parahdiba et al., 2022).

$$V = \pi r^2 t$$

Di mana:

V = volume (m^3)

π = konstanta (3,14)

r^2 = jari-jari *hopper*

t = tinggi *hopper*

3. Daya *Heater band* untuk mencairkan biji plastik

Untuk mencairkan biji plastik diperlukan elemen pemanas untuk memanaskan barel. Jenis elemen pemanas yang digunakan adalah *heater Band*. Untuk mengetahui jumlah yang akan digunakan maka harus menghitung daya yang dibutuhkan (Parahdiba et al., 2022).

$$P = V.I$$

Di mana:

P = daya (watt)

V = tegangan (volt)

I = arus listrik (A)

4. Kekuatan mekanik (kekuatan tarik)

Kekuatan mekanik adalah kemampuan material untuk menahan gaya atau beban yang bekerja tanpa mengalami deformasi permanen atau kegagalan struktural. Salah satu sifat mekanik yang digunakan untuk mengukur parameter pengujian material adalah kekuatan uji tarik. Berikut rumus yang dapat digunakan untuk menghitung kekuatan uji tarik (Salindeho et al., 2013).

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

σ = kekuatan tarik (Pa/Mpa)

F = gaya tarik (N)

A = luas penampang melintang material (m²)

Untuk menghitung penampang melintang material dalam mesin ekstrusi, maka dapat menggunakan rumus luas penampang melintang lingkaran berikut:

$$A = \frac{1}{4}\pi r^2$$

Di mana:

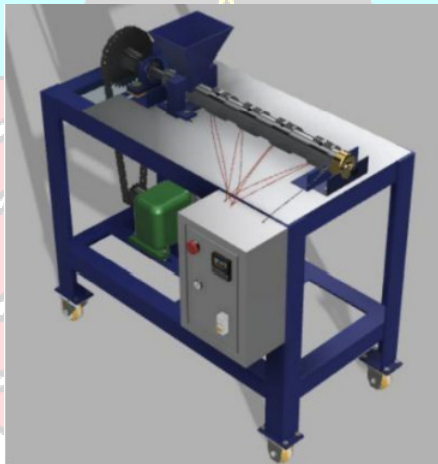
A = luas penampang melintang (m²)

π = konstanta phi (3,14)

r = jari-jari lingkaran (m)

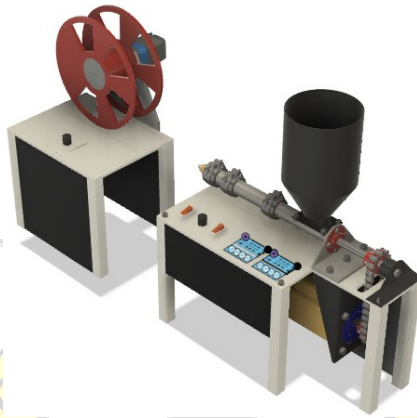
2.5 Penelitian Terdahulu

Di bawah ini desain konstruksi penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Parahdiba dkk (2022). Dengan kapasitas kerja mesin 800 mm x 400 mm x 600 mm yang telah membuat mesin pencetak plastik dengan sistem *screw conveyor* yang menghasilkan filamen dengan menggunakan motor AC sebagai penggerak. Mesin ekstrusi tersebut untuk membuat filamen *3D printer*. Dimana filamen yang dihasilkan ukurannya tidak seragam karena menggunakan penggulung manual yang putarannya tidak konstan sesuai dengan putaran reduser yaitu sebesar 31,81 rpm.



Gambar 2.10 Desain Konstruksi Mesin Ekstrusi Sebelumnya

Pengembangan yang dilakukan saat ini adalah konstruksi mesin dengan kapasitas kerja mesin 400 x 170 x 350 mm lebih kecil dari konstruksi mesin sebelumnya bertujuan untuk meminimalisir penggunaan bahan/material yang berlebihan. Dimana penggerak screw menggunakan motor *stepper* dengan putaran konstan 150 rpm.



Gambar 2.11 Pengembangan Desain Konstruksi Mesin Ekstrusi

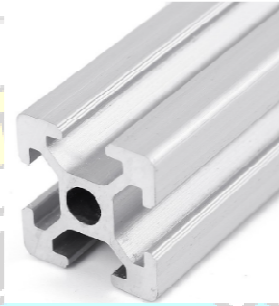
2.6 Optimasi dengan Metode Taguchi

Metode taguchi adalah pendekatan terstruktur yang bertujuan untuk menentukan kombinasi input terbaik karena banyak faktor variabel/input yang harus dipertimbangkan sehingga penggunaan metode Taguchi sangat mempengaruhi dalam menghasilkan produk berkualitas tinggi. Metode Taguchi memiliki tiga karakteristik kualitas untuk menghitung Signal to Noise Ratio dalam menentukan parameter optimal dan berpengaruh yaitu smaller is better, larger is better, dan nominal is best. Penelitian ini menggunakan karakteristik kualitas nominal is best yang berarti tertuju pada nilai tertentu sesuai dengan ukuran filamen yang dituju yaitu 1,75 mm. Diharapkan dengan menggunakan metode Taguchi pada penelitian ini dapat diketahui parameter optimal yang digunakan dalam proses pembuatan filamen dengan mesin ekstruder yang telah dibuat (FA Tabrani, 2020).

2.7 Sistem Kendali Semi Otomatis Mesin Ekstrusi Filamen 3D Printer

2.7.1 Komponen Mekanik

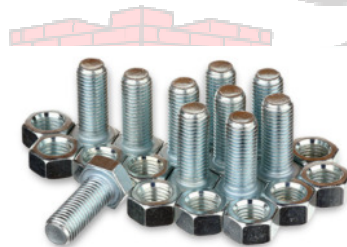
1) Aluminium Profile



Gambar 2.12 Aluminium Profile
(Sumber: <https://shopee.co.id>)

Aluminium profile adalah jenis aluminium yang berbentuk batangan dengan berbagai macam bentuk penampang. Aluminium profil adalah bagian yang berbeda dari produk aluminium melalui proses ekstrusi aluminium. Dari bahan baku aluminium ingot, setelah peleburan panas, dapatkan *billet* aluminium.

2) Baut dan Mur



Gambar 2.13 Baut dan Mur
(Sumber: www.monotaro.id)

Mur merupakan campuran logam yang berbentuk segi enam serta di tengahnya ada lubang ulir. Mur berfungsi sebagai pengencang antara baut terhadap objek suatu benda. Sedangkan Baut digunakan untuk membuat suatu sambungan konstruksi bersifat tetap, sementara, serta sambungan bergerak yang bisa dibongkar, dilepas, atau dirubah.

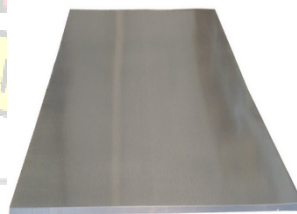
3) Plat Aluminium



Gambar 2.14 Plat Aluminium
(Sumber: <https://maeda-indonesia.co.id>)

Plat Aluminium memiliki sifat tahan karat saat terkena air, sementara besi lebih rentan berkarat ketika tidak dibersihkan secara rutin dari kotoran yang menempel.

4) Plat Besi



Gambar 2.15 Plat Besi
(Sumber: udhargabangunan.com)

Plat besi adalah logam berbentuk lembaran yang terbuat dari besi.

5) Rantai



Gambar 2.16 Rantai
Sumber: www.istockphoto.com

Rantai adalah pasangan dari sproket yang berfungsi untuk meneruskan gaya gerak dari suatu sproket ke sproket lainnya.

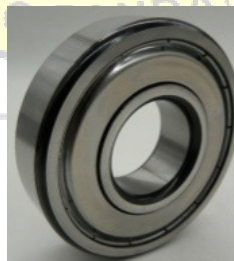
6) Sekrup *sprockets*



Gambar 2.17 Sekrup *Sprockets*
(Sumber: <https://shopee.co.id>)

Sproket adalah sebuah roda yang memiliki gigi yang berguna untuk mencengkram rantai agar bisa mentransmisikan gerakan putar.

7) *Bearing* 6901 2Z



Gambar 2.18 *Bearing*
(Sumber: <https://shopee.co.id>)

Komponen pendukung untuk menyokong poros agar dapat berputar dengan baik.

8) AS-ST 42



Gambar 2.19 AS-ST 42
(Sumber: <https://biggo.id>)

Baja ST 42 adalah baja yang mempunyai kekuatan atau tegangan tarik maksimum lebih kurang 42 N/mm^2 .

2.7.2 Komponen Elektronik

1) Motor *Stepper* Nema 34 dan Nema 17



Gambar 2.20 Motor *Stepper*
(Sumber: <https://www.amazon.com>)

Motor stepper adalah perangkat elektromekanis yang bekerja dengan mengubah pulsa elektronis menjadi gerakan mekanis diskrit. Motor stepper bergerak berdasarkan urutan pulsa yang diberikan kepada motor. Karena itu,

untuk menggerakkan motor stepper diperlukan pengendali motor stepper yang membangkitkan pulsa-pulsa periodik.

2) Driver Stepper DM556 dan TB 6600



Gambar 2.21 Driver Stepper
(Sumber: <https://shopee.co.id>)

DM556 adalah penggerak loncatan serba digital serbaguna berdasarkan DSP dengan algoritma kontrol tingkat lanjut. DM556 adalah generasi berikutnya dari kontrol motor loncatan digital. DM556 menyediakan rentang tegangan yang besar dan arus keluaran yang lebih tinggi agar mampu menggerakkan lebih banyak jenis motor stepper. Selain itu, DSP DM556 mampu menggerakkan motor pada kecepatan lebih tinggi (di atas 3000 RPM) yang menawarkan kinerja seperti servo.

3) Arduino Uno R3



Gambar 2.22 Arduino Uno R3
(Sumber: <https://shopee.co.id>)

Arduino dapat beroperasi dengan sumber daya melalui koneksi kabel USB atau melalui catu daya eksternal power jack 2.1 mm. Arduino memiliki pin digital dan analog. Pin digital digunakan sebagai output dengan variasi tegangan 0-5 Volt, pin analog mengukur dari 0-5 Volt kedua sistem tersebut harus memiliki referensi ground yang sama dengan kombinasi sistem agar bisa berfungsi. Analog to Digital Converter (ADC) merupakan nilai resolusi sebesar 10 bit (0-1023) yaitu nilai ADC 0 merepresentasikan 0 Volt dan nilai ADC 1023 merepresentasikan 5 Volt.

4) PID REX-C100



Gambar 2.23 PID REX-C100
(Sumber: <https://shopee.co.id>)

PID Controller adalah sistem kontrol yang berfungsi untuk memberikan umpan balik (feedback) dari sensor agar bisa mengatur nilai output.

5) Power Supply



Gambar 2.24 Power Supply
(Sumber: <https://shopee.co.id>)

Power Supply atau dalam bahasa Indonesia disebut dengan Catu Daya adalah suatu alat listrik yang dapat menyediakan energi listrik untuk perangkat listrik ataupun elektronika lainnya. Pada dasarnya Power Supply atau Catu daya ini memerlukan sumber energi listrik yang kemudian mengubahnya menjadi energi listrik yang dibutuhkan oleh perangkat elektronika lainnya.

6) Potensio Mono 10K



Gambar 2. 25 Potensio
(Sumber: <https://www.google.com>)

Potensimeter adalah alat yang digunakan untuk mengukur massa elektron. Potensiometer terdiri dari tiga buah terminal dan sebuah tuas yang dapat diputar untuk mengatur besar resistensi. Sehingga potensiometer berfungsi untuk mengatur resistensi, tegangan, dan juga arus listrik yang mengalir dalam suatu rangkaian listrik

7) Sensor Max 6675



Gambar 2.26 Sensor Max 6675
(Sumber: <https://shopee.co.id>)

MAX 6675 adalah komponen pengubah sinyal *termocouple* menjadi digital dengan masukan data 12-bit ADC (Analog to Digital Converter).

8) *Heater Band*



Gambar 2. 27 Heater Band
(Sumber: <https://shopee.co.id>)

Elemen pemanas berbentuk gelang yang berfungsi untuk mengubah energi listrik menjadi energi kalor.

9) Switch On/Off



Gambar 2.28 Switch On/Off
(Sumber: <https://www.google.com>)

Toggle switch dioperasikan dengan cara menaikkan atau menurunkan tuas toggle. Fungsi operasional toggle switch pada umumnya memiliki fungsi ON-OFF, yaitu untuk menyalakan dan mematikan suatu alat listrik.



BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Kegiatan Pengembangan Mesin Ekstrusi Filamen *3D Printer* dilaksanakan di Bengkel Mekanik dan bengkel Las Politeknik Negeri Ujung Pandang dengan estimasi waktu pengerjaan dimulai dari bulan Februari hingga bulan September 2023.

3.2 Alat dan bahan

3.2.1 Alat

Alat yang digunakan dalam pengembangan mesin ekstrusi filamen 3D printer merupakan alat standar yang biasa digunakan dalam permesinan. Adapun alat yang digunakan sebagai berikut.

- | | |
|--------------------|----------------------|
| 1) Mesin Bubut | 10) Tap M6 |
| 2) Mesin Bor Duduk | 11) Penggaris Siku L |
| 3) Mesin Las SMAW | 12) Penggores |
| 4) Ragum | 13) Penitik |
| 5) Kikir | 14) Sikat Besi |
| 6) Tang | 15) Thermogun |
| 7) Obeng | 16) Spidol |
| 8) Kunci Inggris | 17) Kunci |
| 9) Palu Besi | |

Adapun alat pelindung diri yang digunakan adalah sebagai berikut:

- 1) Baju Bengkel

- 2) Sepatu *Safety*
- 3) Sarung Tangan
- 4) Kaca Mata *Safety*

3.2.2 Bahan

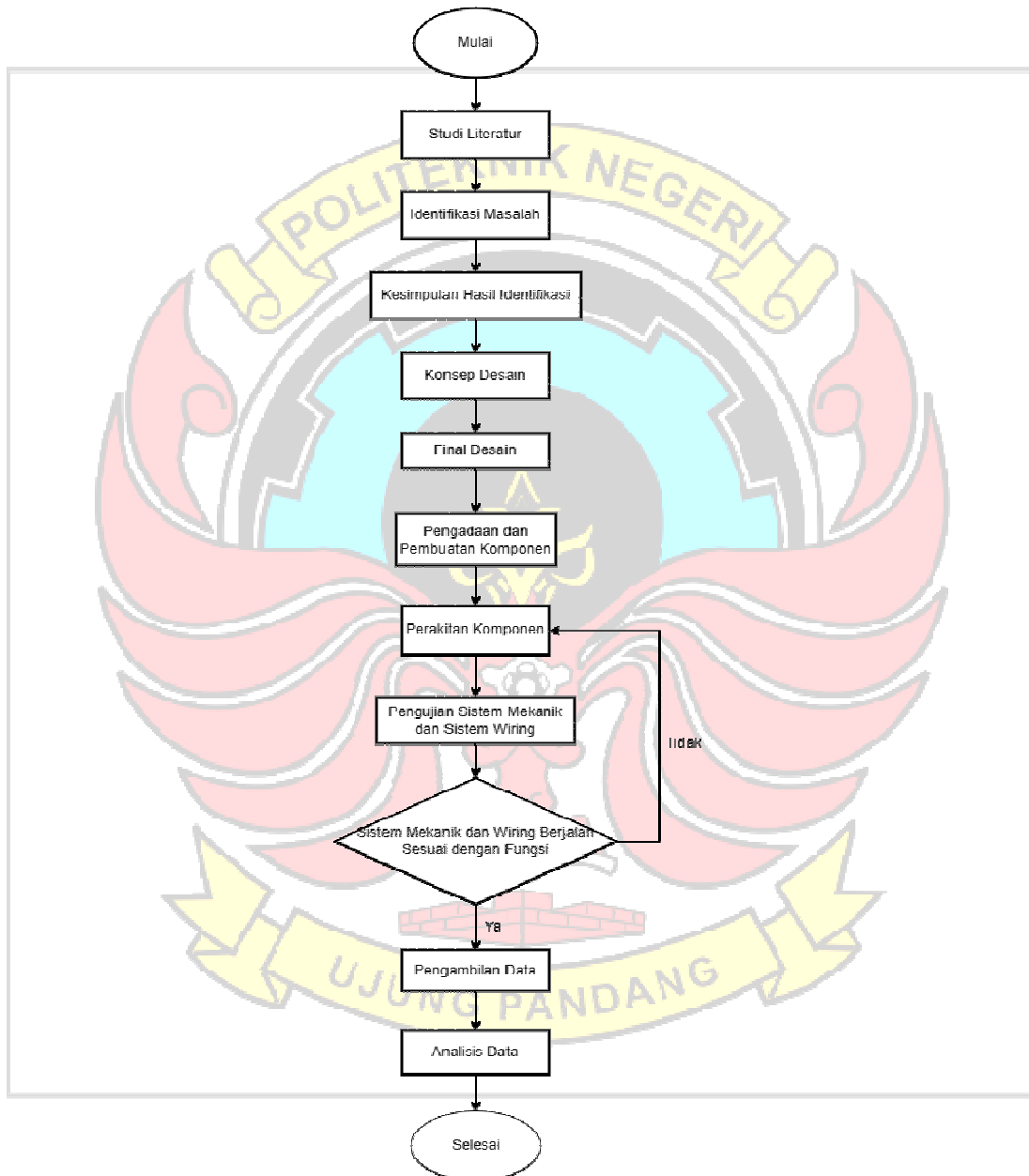
Bahan yang digunakan untuk membuat mesin ekstrusi filamen *3D printer* sebagai berikut:

- | | |
|--|--------------------------------------|
| 1) Plat Aluminium 100X400 (5 mm) | 12) Cat Hitam |
| 2) Plat Besi (1 mm) | 13) <i>Thermostat + Thermocouple</i> |
| 3) AS-ST 42 (25 mm) | 14) <i>Bearing 6901 2Z</i> |
| 4) Besi <i>Hollow</i> 2x2 cm | 15) <i>Digital Speed Control</i> |
| 5) <i>Roler Chain sprockets</i> (1/2") | 16) Plat Besi 3 mm |
| 6) Motor <i>Stepper</i> Nema 34 | 17) Mata Gerinda Potong |
| 7) Motor <i>Stepper</i> Nema 17 | 18) Mata Gerinda Kasar |
| 8) Rantai / <i>Chain</i> | 19) Panel Control |
| 9) Baut M6 | 20) Arduino Uno |
| 10) <i>Nozzle Heater</i> Ø25 mm | 21) Driver Motor <i>Stepper</i> |
| 11) Kawat Las SMAW | 22) Mata Bor Ø6 |

3.3 Diagram alir

Dalam proses Pengembangan Mesin Ekstrusi Filamen *3D Printer* ini diperlukan suatu gambaran proses yang akan dilaksanakan sebagai dasar pelaksanaan dalam

bekerja. Untuk *flowchart* yang menunjukkan tahapan yang dilakukan penelitian ini adalah sebagai berikut:



Gambar 3.1 *Flowchart* Mesin Ekstrusi Filamen 3D Printer

3.4 Prosedur/Langkah Kerja

Dalam Proses Pengembangan Mesin Ekstrusi Filamen *3D Printer* terdapat 4 proses yang dilakukan sebagai berikut.

3.4.1 Proses Perancangan

Penulis mengumpulkan data kepustakaan yang terkait dengan perancangan mesin yang akan dibuat dengan mencari beberapa sumber seperti jurnal atau artikel guna mendapatkan gambaran umum mesin yang akan dibuat. Setelah itu, melakukan beberapa langkah-langkah penting dalam perancangan mesin ekstrusi filamen *3D printer*. Adapun tahap-tahapannya sebagai berikut:

- 1) Membuat desain mesin ekstrusi filamen *3D Printer* (lihat pada gambar 4.1).
- 2) Memilih bahan atau material (lihat sub bab 3.2).
- 3) Merancang dimensi konstruksi dan kekuatan rangka mesin (lihat pada tabel 3.3 kolom komponen).
- 4) Membuat gambar desain kerja mesin pada Software Autodesk Fusion 360 (lihat pada lampiran).

Untuk perbandingan perancangan desain sebelumnya dan rencana pengembangan desain yang dibuat sekarang dapat dilihat pada tabel berikut.

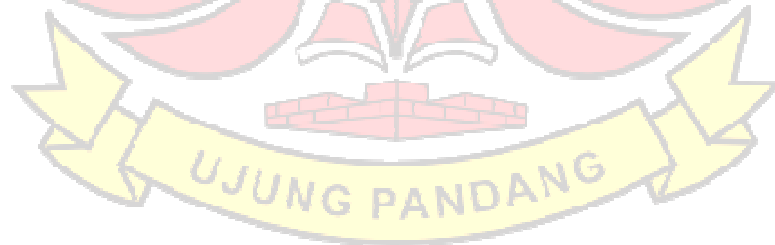
Tabel 3. 1 Perancangan Mesin

No.	Desain Sebelumnya	Pengembangan Desain	Keterangan
1.			<p>Pengembangan desain konstruksi mesin yang sebelumnya memiliki ukuran dimensi mesin; 800 x 400 x 600 mm menjadi 400 x 170 x 350 mm bertujuan untuk meminimalisir penggunaan bahan/material yang berlebihan.</p>
2.			<p>Pengembangan pada sistem penggerak screw sebelumnya dari motor AC ke Motor Stepper Nema 34 sehingga menghasilkan filamen dengan diameter yang seragam dan sifat mekanik (kekuatan tarik)</p>

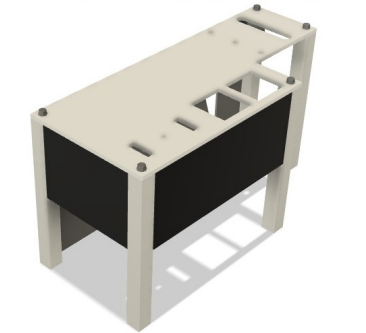
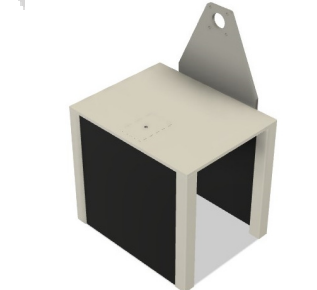
			terbaik.
3.			Pengembangan penggulung filamen yang sebelumnya manual menjadi otomatis berbasis <i>arduino uno</i> dengan penggerak motor stepper Nema 17.

3.4.2 Proses Pembuatan

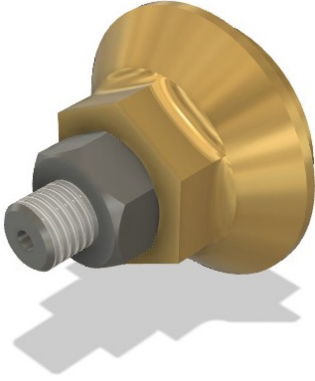
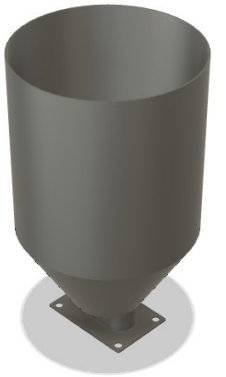
Tahap pembuatan Mesin Ekstrusi Filamen *3D Printer* penulis melakukan pengelompokkan masing-masing komponen untuk memudahkan dalam proses pengerjaan. Adapun tahapan pembuatan mesin ekstrusi penggerak motor *stepper*, dapat dilihat pada tabel berikut:

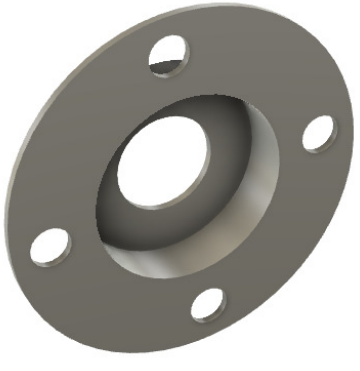


Tabel 3.2 Komponen Yang Dibuat

No.	Komponen	Proses Pengerjaan	Alat dan Bahan
1	<p>Rangka mesin :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Mesin Ekstrusi  <ul style="list-style-type: none"> - Mesin Penggulung 	<p>Tahap pertama dilakukan pemotongan besi hollow 2x2 cm sepanjang 200 mm sebagai kaki. Selanjutnya memotong plat aluminium 5 mm dengan ukuran 400x170 mm untuk mesin ekstrusi dan 230x180 mm untuk mesin penggulung. Plat aluminium yang telah dipotong kemudian di lubangi untuk sambungan baut dan tempat control seperti; <i>speed control</i>, <i>temperetur control</i> dan <i>switch ON/OFF</i>.</p>	<p>Besi <i>Hollow</i> 2x2 cm, plat aluminium 5 mm, mesin gerinda, mata gerinda potong, mata bor 5 mm dan 10 mm, dan baut M6.</p>



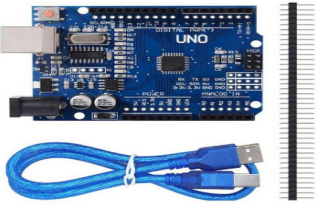
No.	Komponen	Proses Pengerjaan	Alat dan Bahan
2	- <i>Bracket motor stepper</i>	 <p>Memotong plat besi (3 mm) berukuran 205 x 100 mm. selanjutnya melubangi plat besi untuk sambungan baut menggunakan mesin bor dengan diameter 6 mm dan diameter 73 mm untuk dudukan motor <i>stepper</i>. Kemudian plat dibending.</p>	<p>Plat besi (3 mm), mesin gerinda, mata gerinda potong, mata bor 6 mm, baut M6, kikir, dan alat bending plat.</p>
3	- Barel	 <p>AS-ST42 (25 mm) sepanjang 270 mm dibubut membentuk silinder dengan diameter 20 mm. Kemudian membuat lubang masuknya biji plastik dengan diameter 15 mm. membuat breacket dudukan barel dari plat besi dengan tebal 3 mm. Plat besi dibentuk sesuai ukuran pada gambar dan di bor dengan ukuran diameter 6 mm untuk sambungan baut dan diameter 12 mm untuk</p>	<p>AS-ST 42 (25 mm), Plat besi (3 mm), mesin bubut, mesin bor, mata bor 15mm dan 12mm, mesin gerinda, mesin las SMAW,</p>






No.	Komponen	Proses Pengerjaan	Alat dan Bahan
		<i>Screw</i> extruder. AS-ST42 yang telah dibubut kemudian dilas dengan breacket pada titik yang telah ditentukan.	kawat las.
4	- Nozzle 	Nozzle dibuat menggunakan baut M20 yang dimodifikasi menggunakan mesin bubut dan dilubangi menggunakan bor dengan diameter 1,75mm untuk keluaran hasil ekstrusi biji plastik.	Baut M20, mesin bubut, mata bor 1,75 mm
5	- Hopper 	Dibuat dari plat besi (1 mm) yang dibending membentuk pipa dengan diameter 115 mm dan ujung <i>hopper</i> yang terhubung dengan <i>barel</i> berdiameter 25 mm. Lalu dibuatkan <i>bracket</i> 30x30 mm dari plat besi (1 mm) untuk menyambungkan <i>barel</i> dengan <i>hopper</i> . Kemudian <i>bracket</i> dilas pada pipa <i>hopper</i> yang	Plat besi (1 mm), alat bending, mesin bor, mata bor 5mm, mesin las SMAW, dan kawat las.


No.	Komponen	Proses Pengerjaan	Alat dan Bahan
		berdiameter 25 mm.	
6	<p data-bbox="418 449 691 485">- <i>Housing Bearing</i></p> 	<p data-bbox="781 449 1157 554">membuat 3 potongan plat besi, potongan pertama</p> <p data-bbox="781 596 1157 919">membentuk lingkaran dengan diameter luar 45 mm, diameter dalam 26 mm, dan pinggirannya dibor dengan diameter 5 mm, potongan kedua membentuk</p> <p data-bbox="781 961 1157 1213">lingkaran dengan diameter luar 26 mm dan diameter dalam 12 mm, potongan ketiga membentuk strip</p> <p data-bbox="781 1255 1157 1507">yang dibending menjadi lingkaran berdiameter 26 mm.</p>	<p data-bbox="1180 449 1360 554">Plat besi (1 mm), mesin</p> <p data-bbox="1180 596 1360 701">gerinda, mata gerinda</p> <p data-bbox="1180 743 1360 848">potong, mesin bor,</p> <p data-bbox="1180 890 1360 995">mata bor 5 mm dan 12 mm, mesin</p> <p data-bbox="1180 1037 1360 1142">las SMAW, dan kawat las</p>

Dalam pembuatan Mesin Ekstrusi Filamen *3D Printer* ini terdapat komponen standar. Komponen standar adalah komponen yang harus dibeli. Adapun komponen-komponen yang harus dibeli, dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 3.3 Komponen Standar

No.	Nama Komponen	Spesifikasi
1	<p>Motor Stepper Nema 34 dan Driver Motor Stepper</p> 	<ul style="list-style-type: none"> - stepper motor nema 34 - 4.5N.m diameter shaft 12 mm - DM860 driver CNC control KIT AO01
2	<p>Motor Stepper Nema 17 dan Driver Motor Stepper</p> 	<ul style="list-style-type: none"> - NEMA 17 1.5A torque 0.4 N.m, shaft 12 mm - DM860 driver CNC control KIT AO01
3	<p>Arduino Uno R3</p> 	<ul style="list-style-type: none"> - <i>Operating Voltage: 5V</i> - <i>Input Voltage (recommended) = 7-12 V</i> - <i>Input Voltage (limit) = 6-20 V</i> - 14 pin digital input/output

No.	Nama Komponen	Spesifikasi
4	<p data-bbox="565 363 743 394"><i>Power Supply</i></p> 	<ul data-bbox="959 363 1230 468" style="list-style-type: none"> - Input Volt: 220 V - Output: 24 V 10A
5	<p data-bbox="545 669 764 701"><i>Bearing 6901 2Z</i></p> 	<ul data-bbox="959 674 1159 842" style="list-style-type: none"> - ID 12mm - OD 24mm - Width 6 mm
6	<p data-bbox="509 978 800 1010"><i>Roler Chain Sprockets</i></p>  <p data-bbox="500 1209 581 1241">(1/2'')</p>	<ul data-bbox="959 978 1122 1083" style="list-style-type: none"> - ID 12mm - Type 9 T
7	<p data-bbox="570 1287 740 1318"><i>Heater Band</i></p> 	<ul data-bbox="959 1287 1300 1318" style="list-style-type: none"> - 220 volt, Ø 25 x 40 mm
8	<p data-bbox="565 1556 743 1587"><i>Baut dan Mur</i></p> 	<ul data-bbox="959 1556 1247 1587" style="list-style-type: none"> - Baut M5, M6, M20

No.	Nama Komponen	Spesifikasi
9	<i>Thermostat dan Thermocouple</i> 	<ul style="list-style-type: none"> - Range: 0-1300°C - Output: Relay - Supply: 100-240V AC, 50/60 Hz
11	Rantai 	<ul style="list-style-type: none"> - 428 H / 104 L

3.4.3 Proses Perakitan

Dalam proses perakitan mesin ekstrusi filamen *3D Printer* ini perlu diperhatikan prosedurnya, komponen yang telah dibuat berdasarkan gambar kerja dan yang telah dibeli yang dirakit secara berurut. Adapun tahapan perakitan mesin ekstrusi adalah sebagai berikut:

1) Merakit rangka utama. Adapun komponen-komponen rangka utama yaitu: kaki meja, plat aluminium, breacket, barel, dan *hopper* kemudian menghubungkan satu sama lain menggunakan baut M6.

2) Merakit komponen screw ekstruder, bearing, dan nozzle.

- 3) Selanjutnya perakitan sistem penggerak yaitu motor stepper, *Roler Chain Sprockets*, dan rantai.
- 4) Merakit instalasi kelistrikan berupa komponen elektrik seperti; *Power Supply*, *Digital Speed Control*, *Thermostat*, *Thermocouple*, *Heater*, *Driver Motor Stepper*, *Arduino Uno*.

3.5 Langkah-langkah Pengujian

Dilakukannya tahap pengujian terhadap mesin atau alat yang telah dibuat bertujuan untuk mengetahui kinerja yang optimal dari mesin. Sebelum tahap pengujian dilakukan terlebih dahulu dilakukan pemeriksaan terhadap alat seperti pemeriksaan sambungan-sambungan baut dan las yang ada pada mesin apakah sudah baik atau tidak. Kemudian memeriksa instalasi komponen elektrik.

Pengujian terhadap mesin dilakukan secara bertahap mulai dari dimensi ukuran mesin apakah telah sesuai dengan rancangan desain yang dibuat sebelumnya. Kemudian pengujian terhadap sistem penggerak mesin seperti motor stepper, *Roler Chain Sprockets*, rantai, dan *screw extruder* dengan menghidupkan mesin. Pengujian dilanjutkan dengan memeriksa apakah *heater band* dapat berfungsi menghasilkan panas yang dikontrol pada *Thermostat digital*. Pengujian tahap akhir yaitu pengujian alat pada saat beroperasi mengolah biji plastik menjadi filamen. Pada tahap pengujian ini hal yang perlu diperhatikan adalah berapa lama waktu yang dibutuhkan untuk memanaskan barel untuk mencapai suhu yang diinginkan, berapa kecepatan putaran

antara mesin ekstrusi dan putaran mesin penggulung agar filamen yang dihasilkan memiliki ukuran yang seragam sehingga layak untuk dipergunakan.

3.6 Teknik Analisis Data

Setelah melakukan proses perancangan, pembuatan dan perakitan, maka diperoleh data hasil pengujian dengan melihat apakah mesin mampu menghasilkan filamen dengan diameter seragam 1.75 mm sesuai standar umum, serta memiliki kekuatan mekanik (kekuatan tarik) terbaik. Variasi yang diukur adalah putaran penggulung dan suhu pemanasan. Pengujian ini menggunakan metode Taguchi.

3.7 Definisi Operasional

Setelah proses *assembly* maka dilakukan percobaan pembuatan filamen dari biji plastik HDPE untuk mengetahui apakah alat dapat bekerja sesuai dengan fungsinya atau tidak. Adapun langkah-langkah dalam pengoperasian mesin ekstrusi ini sebagai berikut:

1. Menghidupkan saklar utama.
2. Mengatur suhu pada PID *controller*.
3. Menunggu hingga barel mencapai panas yang diinginkan.
4. Menghidupkan motor *stepper*.
5. Memasukkan biji plastik ke dalam *hopper*.
6. Menunggu sampai hasil ekstrusi filamen keluar.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Rancang Bangun

Dari hasil studi literatur yang penulis lakukan dengan metode pengumpulan data dan informasi yang didapatkan melalui jurnal dan bacaan, baik dari perpustakaan maupun e-jurnal yang dapat dilihat pada daftar pustaka dan tinjauan pustaka. Berikut hasil pengembangan mesin ekstrusi filamen *3D Printer* dengan sistem kendali semi otomatis.



(a) Desain mesin ekstrusi filamen *3D Printer* (b) Mesin ekstrusi filamen *3D Printer*

Gambar 4.1 Mesin ekstrusi filamen *3D Printer*

Adapun spesifikasi mesin ekstrusi filamen *3D printer* dengan sistem kendali sistem otomatis sebagai berikut:

Dimensi Mesin = 400 x 170 x 350 mm

Material = Biji Plastik HDPE

Putaran Screw = 150 rpm

Daya Pemanas = 600 watt

Temperatur = maks. 130°C

4.1.1 Hasil Perhitungan

1) Pemilihan Motor Stepper

$$P_{\text{motor}} = \tau_{\text{total}} \times \omega$$

a) Konversi diameter sekrup ke radius

$$r = d/2r = 0,022\text{m} / 2r = 0,011\text{m}$$

b) Hitung panjang sekrup per putaran

$$L = \pi D_{\text{sekrup}} = 3,14 \times 0,022 \text{ m} = 0,0691 \text{ m}$$

c) Hitung jumlah langkah per putaran

$$N_{\text{step/putaran}} = 360^\circ / 1,8 \text{ derajat/langkah} = 200 \text{ langkah/putaran}$$

d) Hitung jumlah langkah per meter

$$N_{\text{step/m}} = N_{\text{step/putaran}} / (L_{\text{putaran}})$$

$$= 200 \text{ langkah/putaran} / 0,0691$$

$$= 2890,18 \text{ langkah/m}$$

e) Hitung torsi yang diperlukan untuk menggerakkan sekrup

$$\tau_{\text{load}} = mgr$$

$$= 0,950 \text{ kg/m}^3 \times 9,81 \text{ m/s}^2 \times 0,011 \text{ m}$$

$$= 0,103 \text{ Nm}$$

f) Hitung torsi total yang diperlukan

$$\tau_{\text{total}} = \tau_{\text{motor}} + \tau_{\text{load}}$$

$$= 8,5 \text{ Nm} + 0,103 \text{ Nm}$$

$$= 8,603 \text{ Nm}$$

g) Hitung daya yang dibutuhkan

$$\begin{aligned}\omega &= 2\pi r/60 \\ &= 2\pi \times 20 / 60 \\ &= 2.094 \text{ rad/s}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}P_{\text{motor}} &= \tau_{\text{motor}} \times \omega \\ &= 8,603 \text{ Nm} \times 2,094 \text{ rad/s} \\ &= 18,02 \text{ watt}\end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan diatas daya motor yang dibutuhkan adalah 18,02 watt pada kecepatan 20rpm

2) Volume biji plastik HDPE yang dimasukkan ke *barel*

Dik. $D = 25 \text{ mm}$

$$r = 12,5$$

$$t = 270 - 25$$

$$= 245 \text{ mm}$$

Jadi,

$$V = \pi r^2 t$$

$$= 3,14 \times 12,5^2 \times 245 \text{ mm}$$

$$= 120,203.125 \text{ mm}^3 > 0,12 \times 10^{-3} \text{ m}^3$$

3) Daya *Band Heater* untuk mencairkan biji plastik

Dik. $P = 200 \text{ watt}$ $V = 220 \text{ volt}$

$$I = \frac{P}{V} = \frac{200}{220} = 0,90 \text{ A}$$

Karena menggunakan 3 *band Heater* maka arus dikalikan maka hasilnya 2,72 A, maka daya keseluruhan adalah

$$P = V.I$$

$$= 220.2,72$$

$$= 600 \text{ watt}$$

Berdasarkan perhitungan diatas daya yang dibutuhkan sebesar 600 watt

4) Menguji kekuatan mekanik (Kekuatan Tarik)

$$\text{Dik. } F_{11} = 25.2$$

$$A = \frac{1}{4} \pi d^2$$

$$A = \frac{1}{4} \times 3.14 \times 25.2^2$$

$$A = 2.2687 \text{ m}^2$$

Jadi, kuat tariknya adalah

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

$$\sigma = \frac{25.2}{2.2687}$$

$$\sigma = 11.108 \text{ Mpa}$$

4.1.2 Hasil Uji Coba Alat

Dalam uji coba alat untuk memperoleh hasil yang optimal maka digunakan salah satu metode optimasi yaitu metode Taguchi. Sebelum menggunakan metode tersebut terlebih dahulu ditentukan parameter yang akan digunakan melalui uji pendahuluan. Berdasarkan uji pendahuluan maka dipertimbangkan dua parameter yang

dikombinasikan dalam uji coba yaitu Suhu pemanasan (Faktor A) dan kecepatan penggulung (Faktor B). Masing-masing faktor dipertimbangkan menggunakan 3 level (tingkat) yang ditunjukkan pada tabel 4.3 berikut ini:

Tabel 4.1 *Tabel Factors and Levels Taguchi*

Faktor	Parameter	Satuan	Level		
			1	2	3
A	Suhu Pemanasan	°C	120	125	130
B	Kecepatan Penggulung	Rpm	2	4.5	6

Berdasarkan faktor dan level yang dipertimbangkan pada tabel diatas maka selanjutnya dibuat rancangan eksperimen dengan menggunakan minitab 21. Dari hasil rancangan eksperimen maka didapatkan kombinasi faktor dan level yang akan diuji cobakan seperti ditunjukkan pada tabel 4.4 berikut ini:

Tabel 4.2 *Tabel Desain Eksperimen*

exp. Run	Faktor dan Level		Respon	
	A	B	Diameter	Kuat Tarik
1	1	1		
2	1	2		
3	1	3		
4	2	1		
5	2	2		
6	2	3		
7	3	1		
8	3	2		
9	3	3		

Setelah perencanaan eksperimen untuk uji coba pada tabel diatas maka selanjutnya dilakukan uji coba. Filamen yang dihasilkan dari uji coba selanjutnya




diukur diameternya dan diuji tarik. Hasil pengukuran diameter dapat dilihat pada tabel

4.3 dan hasil uji tarik dapat dilihat pada tabel 4.4 sebagai berikut:

Tabel 4.3 Data Hasil Pengujian Diameter Filamen

Run	Faktor dan Level		Respon			Rata-rata
	A	B	Dia 1	Dia 2	Dia 3	
1	120	2	1.7	1.72	1.7	1.70
2	120	4.5	1.38	1.22	1.3	1.3
3	120	6	1.2	1.08	1.1	1.12
4	125	2	1.53	1.73	1.75	1.67
5	125	4.5	1.26	1.27	1.32	1.28
6	125	6	1	1.15	1.07	1.07
7	130	2	1.65	1.63	1.57	1.61
8	130	4.5	1.23	1.32	1.35	1.3
9	130	6	1	1.17	1.17	1.11

Tabel 4.4 Hasil Pengujian Kekuatan Tarik

Run	Faktor dan Level		Respon			Rata-rata	Hasil
	A	B	Ts 1	Ts 2	Ts 3		
1	120	2	23.715	22.693	11.108	19.172	
2	120	4.5	23.345	24.564	16.131	21.347	
3	120	6	24.151	21.297	21.793	22.414	

Run	Faktor dan Level		Respon			Rata-rata	Hasil
	A	B	Ts 1	Ts 2	Ts 3		
4	125	2	25.958	24.219	26.414	25.530	
5	125	4.5	21.665	25.116	18.936	21.906	
6	125	6	28.917	23.888	21.919	24.908	
7	130	2	22.179	22.774	23.618	22.857	
8	130	4.5	26.692	22.006	23.276	23.991	
9	130	6	25.987	23.451	17.774	22.404	

4.1.3 Hasil Analisis Data

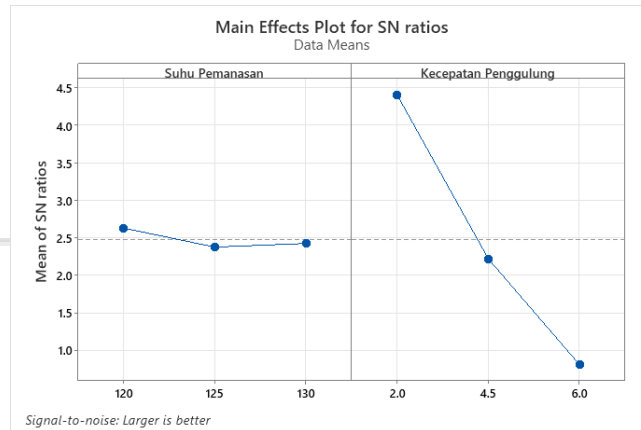
Hasil data pengujian yang telah dikumpulkan pada tabel 4.3 dan 4.4 untuk menentukan diameter filamen dan kekuatan tarik optimal terhadap parameter suhu pemanasan dan kecepatan penggulung selanjutnya dianalisis melalui metode Taguchi menggunakan software minitab 21.

1) Analisis Diameter Filamen

Dengan menggunakan data uji coba pada tabel 4.3, analisis diameter filemen yang memperoleh hasil yang optimal terdapat pada suhu pemanasan 120°C dengan kecepatan penggulung 2 rpm. Pada tabel 4.5 menunjukkan bahwa pengaruh terkuat dari faktor eksperimen mengacu pada nilai delta, dimana nilai delta faktor eksperimen yang lebih tinggi signifikan. Nilai delta ini dihitung dengan mengurangkan antara nilai rasio S/N maksimum dan nilai rasio S/N minimum pada setiap faktor.

Tabel 4.5 *Response Table for Signal to Noise Ratios*

Level	Suhu Pemanasan	Kecepatan Penggulung
1	2.6324	4.4049
2	2.3798	2.2219
3	2.4283	0.8137
Delta	0.2526	3.5912
Rank	2	1

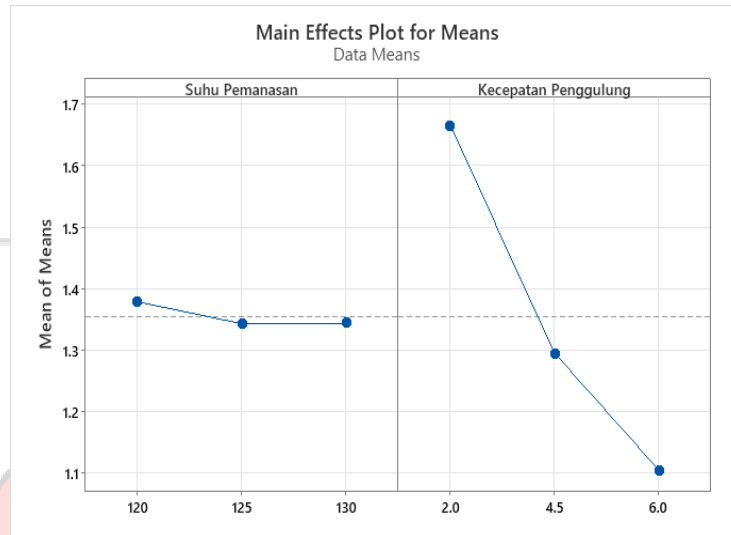


Gambar 4.2 Grafik Main Effects Plot for SN Ratios

Pada tabel 4.5 faktor eksperimen yang pengaruhnya terkuat yaitu kecepatan penggulung (faktor B) dan yang pengaruhnya paling rendah diberikan oleh suhu pemanasan. Gambar 4.2 adalah grafik rata-rata dari *rasio signal-to-noise* (S/N), sebagai fungsi dari tingkat faktor yang memberikan pengaruh terhadap nilai diameter yang terbentuk. Dari grafik ini ditentukan tingkat optimal setiap faktor secara mudah sebagai fungsi dari karakteristik kinerja Taguchi dengan *signal larger is better* untuk setiap faktor. Dapat juga dilihat melalui grafik 4.2 menunjukkan bahwa yang memiliki pengaruh signifikan adalah kecepatan penggulung dibandingkan suhu pemanasan.

Tabel 4.6 Response Table for Means

	Suhu Pemanasan	Kecepatan Penggulung
1	1.378	1.664
2	1.342	1.294
3	1.343	1.104
Delta	0.036	0.560
Rank	2	1



Gambar 4.3 Grafik *Main Effects Plot for Means*

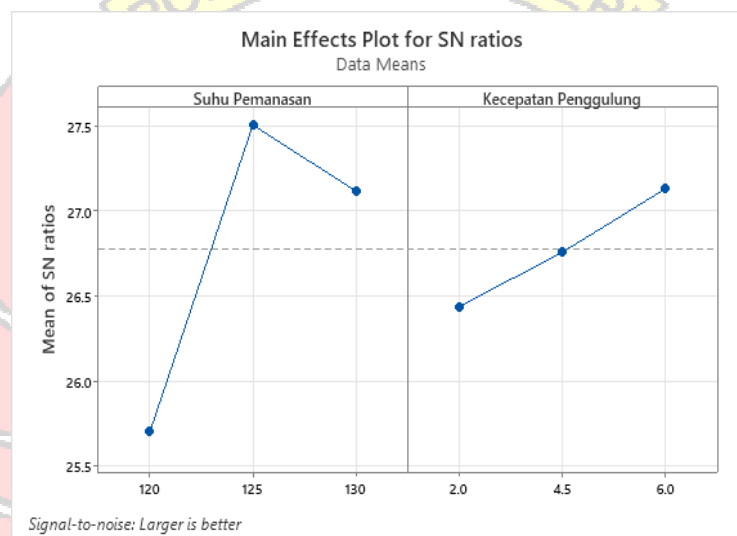
Pada tabel 4.6 dan gambar 4.3 untuk pengoptimalan diameter terbentuk dari *main effects plot for means* diperoleh solusi dengan kombinasi variasi parameter A1B1 (A1 = 120°C, B1 = 2 rpm)

2) Kekuatan Tarik

Dengan menggunakan data uji coba pada tabel 4.4, analisis uji Tarik yang memperoleh hasil yang optimal terdapat pada suhu pemanasan 125°C dengan kecepatan penggulung 6 rpm. Pada tabel 4.7 menunjukkan bahwa pengaruh terkuat dari factor eksperimen mengacu pada nilai delta, dimana nilai delta faktor eksperimen yang lebih tinggi signifikan. Nilai delta ini dihitung dengan mengurangi antara nilai rasio S/N maksimum dan nilai rasio S/N minimum pada setiap faktor.

Tabel 4.7 *Response Table for Signal to Noise Ratios*

Level	Suhu Pemanasan	Kecepatan Penggulung
1	25.70	26.44
2	27.51	26.76
3	27.12	27.13
Delta	1.81	0.70
Rank	1	2

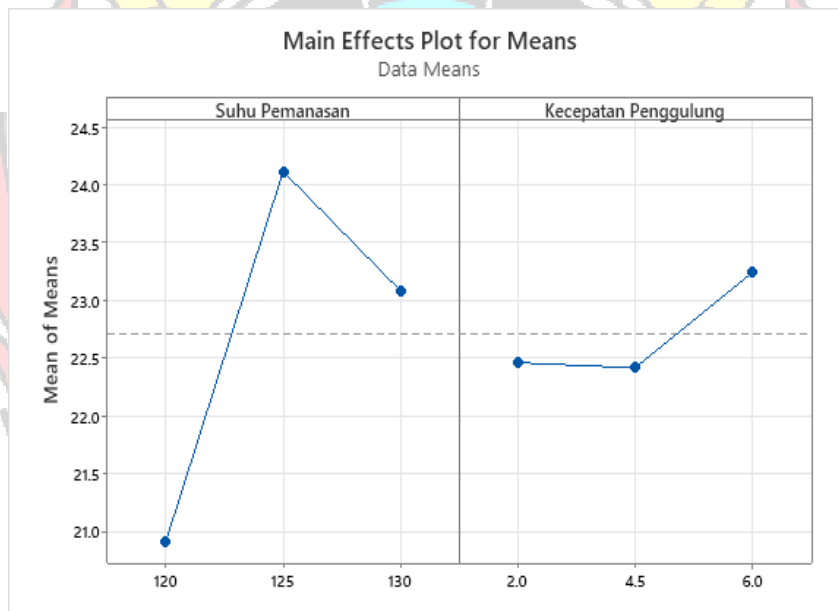


Gambar 4.4 Grafik *Main Effects Plot for Ratios*

Pada tabel 4.7 faktor eksperimen yang pengaruhnya terkuat yaitu suhu pemanasan (faktor A) dan yang pengaruhnya paling rendah diberikan oleh kecepatan penggulung. Gambar 4.4 adalah grafik rata-rata dari rasio signal-to-noise (S/N), sebagai fungsi dari tingkat faktor yang memberikan pengaruh terhadap nilai uji tarik. Dari grafik ini ditentukan tingkat optimal setiap faktor secara mudah sebagai fungsi dari karakteristik kinerja Taquchi dengan signal *larger is better* untuk setiap faktor.

Tabel 4.8 *Response Table for Means*

Level	Suhu Pemanasan	Kecepatan Peggulung
1	20.92	22.46
2	24.11	22.41
3	23.08	23.24
Delta	3.20	0.83
Rank	1	2



Gambar 4.5 Grafik *Main Effects Plot for Means*

Pada tabel 4.8 dan gambar 4.5 untuk pengoptimalan uji tarik terbentuk dari *main effects plot for means* diperoleh solusi dengan kombinasi variasi parameter A2B3 (A2 = 125°C, B3 = 6 rpm).

4.1.4 Kontribusi parameter Proses

- 1) Parameter proses terhadap diameter filamen

Pengaruh parameter proses terhadap diameter filamen yang diperoleh dari hasil analisis (ANOVA) seperti yang ditunjukkan pada tabel 4.9. tinjauan kolom presentase *contribution* menunjukkan bahwa faktor kecepatan penggulung memberikan pengaruh paling signifikan. Parameter kecepatan penggulung berkontribusi 98.82% dan parameter suhu pemanasan berkontribusi 0.50% terhadap pembentukan diameter filamen.

Tabel 4.9 *Analysis of Variance* (ANOVA) for diameter filamen

Source	D F	Seq SS	Contribution	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Suhu Pemanasan	2	0.002452	0.50%	0.002452	0.001226	1.45	0.335
Kecepatan Penggulung	2	0.486600	98.82%	0.486600	0.243300	288.75	0.000
Error	4	0.003370	0.68%	0.003370	0.000843		
Total	8	0.492422	100.00%				

2) Parameter proses terhadap uji Tarik

Pengaruh parameter proses terhadap uji tarik yang diperoleh dari hasil analisis (ANOVA) seperti yang ditunjukkan pada tabel 4.10. tinjauan kolom presentase *contribution* menunjukkan bahwa faktor suhu pemanasan memberikan pengaruh paling signifikan. Parameter suhu pemanasan berkontribusi 51.61% dan parameter kecepatan penggulung berkontribusi 4.19% terhadap uji Tarik filamen.

Tabel 4.10 *Analysis of Variance* (ANOVA) for Uji Tarik

Source	DF	Seq SS	Contribution	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Suhu Pemanasan	2	15.979	51.61%	15.979	79.894	2.34	0.213
Kecepatan Penggulung	2	1.298	4.19%	1.298	0.6491	0.19	0.834
Error	4	13.682	44.19%	13.682	34.206		
Total	8	30.959	100.00%				

4.2 Pembahasan

4.2.1 Analisis Hasil Uji Coba Alat

Pengujian yang telah dilakukan menggunakan material biji plastik HDPE dengan 2 variasi yakni suhu pemanasan dan kecepatan penggulung. Hasil pengujian dapat dilihat pada tabel 4.1 dan tabel 4.2. Untuk mendapatkan hasil pengujian tersebut dilakukan langkah-langkah sebagai berikut:

- 1) Menghidupkan PID *controller*.
- 2) Mengatur suhu pada PID *controller*.
- 3) Menunggu hingga barel mencapai suhu pemanasan yang telah ditentukan.
- 4) Menghidupkan motor stepper.
- 5) Memasukkan biji plastik HDPE ke dalam *hopper*.
- 6) Menunggu sampai hasil ekstrusi filamen keluar.

Dari proses tersebut maka akan didapatkan hasil ekstrusi filamen *3D Printer* berdasarkan ukuran diameter yang diinginkan.

4.2.2 Optimasi Mesin Ekstrusi

Metode Taguchi memiliki tiga karakteristik kualitas untuk menghitung *Signal to Noise Ratio* dalam menentukan parameter optimal dan berpengaruh yaitu smaller is better, larger is better, dan nominal is best. Penelitian ini menggunakan karakteristik kualitas larger is better yang berarti tertuju pada nilai tertentu sesuai dengan ukuran filamen yang dituju yaitu 1,75 mm. Berdasarkan grafik 4.3 diameter filemen yang memperoleh hasil yang optimal terdapat pada suhu pemanasan 120°C dengan kecepatan penggulung 2 rpm. Pada grafik 4.5 uji Tarik yang memperoleh hasil yang optimal terdapat pada suhu pemanasan 125°C dengan kecepatan penggulung 6 rpm. Parameter kecepatan penggulung berkontribusi 98.82% dan parameter suhu pemanasan berkontribusi 0.50% terhadap pembentukan diameter filamen. Parameter suhu pemanasan berkontribusi 51.61% dan parameter kecepatan penggulung berkontribusi 4.19% terhadap uji tarik filamen.

4.3 Perhitungan Biaya Manufaktur Pengembangan Mesin Ekstrusi Filamen 3D

Printer dengan Sistem Kendali Otomatis

4.3.1 Biaya Bahan Langsung

Tabel 4.1 Biaya Bahan Langsung

No	Nama Komponen	Quantity	Harga Satuan (Rp)	Jumlah (Rp)
1.	Aluminium Profile 2020 T-Slot	180 cm	600	108.000
2.	Arduino Uno (Atmega328)	1	155.000	155.000
3.	AS-ST 42 1 m	1 m	100.000	100.000

No	Nama Komponen	Quantity	Harga Satuan (Rp)	Jumlah (Rp)
4.	Baut M6 x 2 cm	30	1.200	36.000
5.	<i>Bearing 6901 2Z</i>	1	25.000	25.000
6.	Biji plastik HDPE	2 kg	51.700	103.400
7.	<i>Digital Speed Control</i>	2	130.000	260.000
8.	Driver Stepper DM556	1	285.000	285.000
9.	Heater Band	4	85.000	340.000
10.	Kabel Dupon 10p 20cm famele-male	1	8.500	8.500
11.	Kabel Dupon 10p 20cm male	2	8.500	17.000
12.	Lem Besi	1	18.000	18.000
13.	Mata Bor Beton	1	245.000	245.000
14.	Mata Gergaji Besi	1	10.000	10.000
15.	Motor Stepper Nema 17	1	208.000	208.000
16.	Motor Stepper Nema 34	1	1.154.900	1.154.900
17.	Power Supply 10A 12V	1	92.000	92.000
18.	Power Supply 10A 24V	1	170.000	170.000
19.	Potensio Mono 10K A-Plus	1	3.500	3.500
20.	Plat Aluminium 230x180 mm	1	175.000	175.000
21.	Plat Aluminium 400x170mm	1	115.000	115.000
22.	Plat Besi 1 mm	1	20.000	20.000
23.	Rantai	1	25.000	25.000
24.	<i>Sekrup Sprocket 12 Teeth bore 12 mm</i>	2	62.806	125.612
25.	Sensor MAX6675	1	45.000	45.000
26.	Switch ON/OFF	1	3.000	3.000
27.	Switch Push ON DS-227 Red	1	3.000	3.000
28.	TB6600	1	150.000	150.000
29.	<i>Temperature Thermostat Thermocouple Control C100 Relay</i>	2	79.000	158.000
Total				Rp4,158,912

4.3.2 Biaya Tenaga Kerja

Estimasi biaya tenaga kerja dihitung berdasarkan Upah Minimum Provinsi (UMP) Sulawesi Selatan Tahun 2022 yaitu sebesar Rp3.385.145/bulan dengan

estimasi jam kerja perminggu selama 40 jam atau 160 jam/bulan sehingga upah tenaga kerja diketahui sebesar:

$$\frac{\text{Gaji UMP per bulan}}{\text{Jumlah Jam Kerja Per bulan}} = \frac{\text{Rp3.385.145}}{160} = \text{Rp21.157.156/jam}$$

Berdasarkan hasil perhitungan diketahui estimasi upah tenaga kerja minimal sebesar Rp21.000 per jam. sedangkan waktu pengerjaan pemotongan dan pembentukan permesinan ditentukan berdasarkan estimasi pengerjaan waktu tersebut meliputi waktu persiapan, waktu *setting*, waktu proses dan waktu penyelesaian. Adapun estimasi rincian biaya tenaga kerja minimum untuk setiap pengerjaan dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 4.2 Biaya Pengerjaan

No	Jenis Pengerjaan	Waktu Pengerjaan	Upah/jam (Rp)	Upah Minimum Pengerjaan (Rp)
1.	Pemotongan	2jam	21.000	42.000,00
2.	Pengeboran	10jam	21.000	315.000,00
3.	Pengelasan	10jam	21.000	210.000,00
4.	Pembubutan	20jam	21.000	420.000,00
5.	Pengefraisan	2jam	21.000	42.000,00
Total				1.029.000,00

4.3.3 Biaya Bahan Tidak Langsung

Biaya bahan tidak langsung merupakan elemen biaya yang tidak dihubungkan secara langsung kepada unit yang diproduksi, tetapi mempunyai kontribusi terhadap

penyelesaian produk. Biaya bahan tidak langsung mencakup tiga yaitu biaya bahan tidak langsung, biaya listrik, dan biaya penyusutan mesin.

Berikut tabel rincian biaya bahan tidak langsung dalam proses produksi Mesin

Ekstrusi Filamen 3D Printer dengan Sistem Kendali Semi Otomatis.

Tabel 4.3 Biaya Bahan Tidak Langsung

No	Nama Mesin/Pekerjaan	Bahan	Jumlah Satuan	Harga per Satuan (Rp)	Harga (Rp)
1.	Mesin Gerinda	Mata Gerinda	6 buah	4.000,00	24.000,00
		Mata Gerinda Tebal	1 buah	10.000,00	10.000,00
		Amplas Kupas	1 buah	8.000,00	8.000,00
2.	Mesin Bor	Mata Bor 1.5 mm	1 buah	19.000	19.000,00
			1 buah	19.000	19.000,00
		Mata Bor 2 mm	1 buah	8.000,00	8.000,00
		Mata bor 6 mm			
3.	Mesin Las	Elektroda	1 buah	7.000,00	7.000,00
4.	Mesin Bubut	Pahat HSS	1 buah	146.000	146.000,00
		Oli Dromus	1 liter	72.000,00	72.000,00
		Kuas 4"	1 buah	8.000,00	8.000,00
		Majun	1 buah	10.000,00	10.000,00
5.	Mesin Frais	Endmill	1 buah	412.500	412.500,00
Total					743.500,00

1) Biaya Listrik

Perhitungan biaya pemakaian listrik merupakan salah satu kategori dalam data biaya tidak langsung untuk proses produksi. Adapun perhitungan estimasi

pemakaian biaya listrik pada proses permesinan yaitu biaya listrik = Daya x TDL x lama waktu pengerjaan. Dimana TDL (Tarif Daya Listrik) pada tahun 2023 resmi dari kementerian ESDM dan PLN digolongkan konsumen layanan khusus

adalah sebesar Rp1.444,7/Kw. Dibawah ini estimasi perhitungan dari biaya pemakaian listrik pada Mesin Ekstrusi Filamen 3D Printer dengan Sistem Kendali Semi Otomatis.

1) Tarif listrik mesin Gerinda

$$\begin{aligned} \text{Daya mesin} &= 0,54 \text{ kW} \\ \text{Lama waktu pengerjaan} &= 2 \text{ jam} \\ \text{Biaya listrik} &= (\text{daya} \times \text{TDL}) \times \text{lama pengerjaan} \\ &= 0,54 \times 1.444,7 \times 2 \\ &= \text{Rp}1.560,27 \end{aligned}$$

2) Tarif Listrik mesin bor

$$\begin{aligned} \text{Daya mesin} &= 0,5 \text{ kW} \\ \text{Lama waktu pengejaan} &= 10 \text{ jam} \\ \text{Biaya listrik} &= (\text{daya} \times \text{TDL}) \times \text{lama pengerjaan} \\ &= 0,5 \times 1.444,7 \times 10 \\ &= \text{Rp}7.223,5 \end{aligned}$$

3) Tarif listrik mesin las

$$\begin{aligned} \text{Daya mesin} &= 0,9 \text{ kW} \\ \text{Lama waktu pengerjaan} &= 10 \text{ jam} \\ \text{Biaya listrik} &= (\text{daya} \times \text{TDL}) \times \text{lama pengerjaan} \\ &= 0,9 \times 1.444,7 \times 10 \\ &= \text{R p}13.002,3 \end{aligned}$$

4) Tarif listrik mesin bubut

Daya mesin = 0,75 kW

Lama waktu pengerjaan = 20 jam

Biaya listrik = (daya x TDL) x lama pengerjaan

$$= 0,75 \times 1.444,7 \times 20$$

$$= \text{Rp}21.670,5$$

5) Tarif listrik mesin frais

Daya mesin = 1,1 kW

Lama waktu pengerjaan = 2 jam

Biaya listrik = (daya x TDL) x lama pengerjaan

$$= 1,1 \times 1.444,7 \times 2$$

$$= \text{Rp}3.178,34$$

Tabel 4.4 Biaya Listrik

No	Mesin	Daya (kW)	TDL (Rp)	Lama Pengerjaan (jam)	Tarif listrik (Rp)
1.	Pemotongan	0,54	1.444,7	2	1.560,27
2.	Pengeboran	0,5	1.444,7	10	7.223,5
3.	Pengelasan	0,9	1.444,7	10	13.002,3
4.	Pembubutan	0,75	1.444,7	20	21.670,5
5.	Pengefraisan	1,1	1.444,7	2	3.178,34
Total					46.634,91

4.3.4 Biaya Penyusutan Mesin

1) Biaya Penyusutan Mesin Gerinda

Diketahui:

Harga mesin gerinda = Rp575.000,00

Umur mesin = 3 Tahun

Persentase penyusutan = 10%

Nilai sisa = (harga mesin x presentasi penyusutan)

$$= \text{Rp}575.000,00 \times 10\%$$

$$= \text{Rp}57.500,00$$

Biaya penyusutan pertahun = (harga mesin – nilai sisa) x $\frac{1}{\text{umur mesin}}$

$$= (\text{Rp}575.000,00 - \text{Rp}57.500,00) \times (1/3)$$

$$= \text{Rp}517.500,00 \times 1/3$$

$$= \text{Rp}172.500,00/\text{tahun}$$

Jadi = Rp172.500/12

Biaya Penyusutan perbulan = Rp14.375/bulan

Biaya penyusutan mesin gerinda selama proses pengerjaan adalah:

$$= \text{Rp}14.375/30$$

$$= \text{Rp}479,16 \times 2/24$$

$$= \text{Rp}40,91$$

2) Biaya Penyusutan Mesin Bor Duduk

Diketahui:

Harga mesin bor duduk = Rp1.850.000,00

Umur mesin = 10 Tahun

$$\begin{aligned} \text{Persentase penyusutan} &= 10\% \\ \text{Nilai sisa} &= (\text{harga mesin} \times \text{presentasi penyusutan}) \\ &= \text{Rp}1.850.000,00 \times 10\% \\ &= \text{Rp}185.000,00 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Biaya penyusutan pertahun} &= (\text{harga mesin} - \text{nilai sisa}) \times \frac{1}{\text{umur mesin}} \\ &= (\text{Rp}1.850.000,00 - \text{Rp}185.000,00) \times 1/10 \\ &= \text{Rp}166.500,00/\text{tahun} \end{aligned}$$

$$\text{Jadi} = \text{Rp}166.500,00/12$$

$$\text{Biaya Penyusutan perbulan} = \text{Rp}13.875,00$$

Biaya penyusutan mesin bor selama proses pengerjaan adalah:

$$\begin{aligned} &= \text{Rp}13.875/30 \\ &= \text{Rp}462,5 \times 2/24 \\ &= \text{Rp}38,54 \end{aligned}$$

3) Biaya Penyusutan Mesin Las

Diketahui:

$$\text{Harga mesin las} = \text{Rp}1.200.000,00$$

$$\text{Umur mesin} = 10 \text{ tahun}$$

$$\text{Persentase penyusutan} = 10\%$$

$$\begin{aligned} \text{Nilai sisa} &= (\text{harga mesin} \times \text{presentasi penyusutan}) \\ &= \text{Rp}1.200.000,00 \times 10\% \\ &= \text{Rp}120.000,00 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Biaya penyusutan pertahun} &= (\text{harga mesin} - \text{nilai sisa}) \times \frac{1}{\text{umur mesin}} \\
 &= (\text{Rp}1.200.000,00 - \text{Rp}120.000,00) \times 1/10 \\
 &= \text{Rp}108.000/\text{tahun}
 \end{aligned}$$

$$\text{Jadi} = \text{Rp}108.000/12$$

$$\text{Biaya Penyusutan perbulan} = \text{Rp}9.000,00$$

Biaya penyusutan mesin las selama proses pengerjaan adalah:

$$= \text{Rp}9.000/30$$

$$= \text{Rp}300 \times 2/24$$

$$= \text{Rp}25$$

4) Biaya Penyusutan Mesin Bubut

Diketahui:

$$\text{Harga mesin bubut} = \text{Rp}96.000.000,00$$

$$\text{Umur mesin} = 30$$

$$\text{Persentase penyusutan} = 10\%$$

$$\text{Nilai sisa} = (\text{harga mesin} \times \text{presentasi penyusutan})$$

$$= \text{Rp}96.000.000,00 \times 10\%$$

$$= \text{Rp}9.600.000,00$$

$$\text{Biaya penyusutan pertahun} = (\text{harga mesin} - \text{nilai sisa}) \times \frac{1}{\text{umur mesin}}$$

$$= (\text{Rp}96.000.000,00 - \text{Rp}9.600.000,00) \times$$

$$1/10$$

$$= \text{Rp}8.640.000/\text{tahun}$$

Jadi = Rp8.640.000/12

Biaya Penyusutan perbulan = Rp720.000,00

Biaya penyusutan mesin bubut selama proses pengerjaan adalah:

= Rp720.000,00/30

= Rp24.000 x 2/24

= Rp2.000

5) Biaya penyusutan Mesin Frais

Diketahui:

Harga mesin Frais = Rp23.500.000,00

Umur mesin = 10 tahun

Persentase penyusutan = 10%

Nilai sisa = (harga mesin x presentasi penyusutan)

= Rp23.500.000,00 x 10%

= Rp2.350.000,00

Biaya penyusutan pertahun = (harga mesin – nilai sisa) x $\frac{1}{\text{umur mesin}}$

= (Rp23.500.000 – Rp2.350.000,00) x 1/10

= 2.115.000/tahun

Jadi = Rp176.250/12

Biaya Penyusutan perbulan = Rp14.688,00

Biaya penyusutan mesin frais selama proses pengerjaan adalah:

= Rp14.688,00/30

$$= \text{Rp}489,6 \times 2/24$$

$$= \text{Rp}40,8$$

Berikut ini rincian biaya penyusutan mesin pada proses produksi.

Tabel 4.5 Nilai sisa

No	Mesin	Harga Mesin (Rp)	Umur Mesin (thn)	Waktu Pengerjaan (jam)	Nilai Sisa (Rp)
1.	Gerinda	575.000	3	2	Rp57.500
2.	Bor duduk	1.850.000	2	10	Rp185.000
3.	las	1.200.000	10	10	Rp120.000
4.	Bubut	96.000.000	30	20	Rp9.600.000
5.	Frais	23.500.000	10	2	Rp2.350.000

Tabel 4.6 Biaya penyusutan

Biaya Penyusutan					
No	Mesin	Pertahun (Rp)	Perbulan (Rp)	Perhari (Rp)	Proses Pengerjaan (Rp)
1.	Gerinda	172.500	14.375	479,16	40,91
2.	Bor duduk	166.500	13.875	462,5	38,54
3.	Las	108.000	9.000	300	25
4.	Bubut	8.640.000	720.000	24.000	2.000
5.	Frais	2.115.000	14.688	489,6	40,8
Total					2.145,25

Tabel 4.7 Biaya Bahan Tidak Langsung

No	Biaya Tidak Langsung	Harga (Rp)
1.	Biaya bahan tidak langsung	743.500
2.	Biaya listrik	46.634,91
3.	Biaya penyusutan mesin	2.145,25
Total		792.280,12

Berdasarkan data diatas biaya yang diperoleh dari pembuatan mesin Ekstrusi Ekstrusi Filamen 3D Printer dengan Sistem Kendali Semi Otomatis dapat diketahui dengan menjumlahkan biaya tidak langsung, biaya tarif listrik, dan biaya penyusutan mesin yaitu Rp792.280,12.

Adapun biaya untuk pembuatan mesin Ekstrusi Filamen 3D Printer dengan Sistem Kendali Semi Otomatis dapat diketahui dari jumlah biaya bahan langsung, biaya tenaga kerja, dan biaya tidak langsung.

Tabel 4.8 Estimasi biaya minimum produksi mesin Ekstrusi Filamen 3D Printer

No	Biaya	Harga (Rp)
1.	Biaya bahan langsung	4.158.912
2.	Biaya tenaga kerja	1.029.000
3.	Biaya bahan tidak langsung	792.280,12
Total		5,980,192.12

Dilihat dari hasil perhitungan diatas telah diketahui biaya untuk pembuatan mesin Ekstrusi Filamen 3D Printer dengan Sistem Kendali Semi Otomatis yaitu **Rp5,980,192.12.**

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

1. Parameter optimal mesin ekstrusi filament *3D Printer* dengan sistem kendali otomatis diperoleh pada suhu pemanasan 120°C dengan kecepatan penggulung 2 rpm dengan diameter 1.70 mm. sedangkan kekuatan Tarik yang memperoleh hasil yang optimal terdapat pada suhu pemanasan 125°C dengan kecepatan penggulung 6 rpm sebesar 24.908 N/mm^2 .
2. Biaya produksi pengembangan mesin ekstrusi filamen *3D Printer* dengan sistem kendali semi otomatis sebesar Rp5,980,192.12.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil rancang bangun dan uji coba mesin ekstrusi, penulis ingin memberikan saran atau masukan: hasil pengembangan mesin ekstrusi filamen *3D Printer* dengan sistem kendali semi otomatis masih membutuhkan penelitian lebih lanjut yaitu meeneliti lubang nozzel dan kecepatan penggulung yang tepat agar mendapatkan diameter sesuai dengan standar 1.75 mm dengan toleransi 0.05 mm.

DAFTAR PUSTAKA

- Byan, D., & Nim, E. (2022). Rancang Bangun Mesin Blow Molding Menggunakan Penggerak Motor Stepper Dengan Hasil Cetakan Botol 30ml Material.
- Chusnul Azhari, D. M. (2018). Perancangan Mesin Pencacah Plastik Tipe Crusher Kapasitas 50 kg/jam. *Isu Teknologi STT Mandala*, 13(2), 7–14.
- Devo, M. alfar, Adhani Yunus, M. A., & Ikhlusal Amal, M. (2021). Rancang Bangun Mesin Injeksi Plastik dengan Sistem Penekan Pneumatik. *Jurnal Teknik Mesin Sinergi*, 19(2), 244. <https://doi.org/10.31963/sinergi.v19i2.3387>
- FA Tabrani. (2020). Optimasi Parameter Proses Ekstrusi Filament 3D Printing dengan Metode Taguchi. 2(1), 1–4.
- Hanafi, Sujana, I., & Wicaksono, R. A. (2022). Rancang Bangun Alat Ekstruder Dengan Pemanfaatan Limbah Plastik Polypropylene dan Polyethylene Terephthalate Untuk Menghasilkan Filamen 3D Printing (Vol. 3, Issue 1).
- Iman Mujiarto. (2005). Sifat dan Karakteristik Material Plastik Dan Bahan Aditif. *Traksi*, 3(2), 65–74.
- Mahfud, R., Setyoadi, Y., Burhanudin, dan A., Pusat Lantai, G., & Sidodadi Timur, J. (2020). Rancang Bangun Mesin Filament Extruder Yang Berbasis Arduino Mega2560 Dengan Metode Penarik Dan Penggulung Otomatis. In *Science And Engineering National Seminar* (Vol. 5).
- Mawardi, C. (2020). *Pengantar 3D Printing*. repository.polimedia.ac.id
- Mikula, K., Skrzypczak, D., Izydorczyk, G., Warchoł, J., Moustakas, K., Chojnacka, K., & Witek-Krowiak, A. (2021). 3D printing filament as a second life of waste plastics—a review. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(10), 12321–12333. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-10657-8>
- Muis, D. U. (2017). Aplikasi Motor Stepper Pada Alat Pencetak Bangun Ruang Tiga Dimensi Untuk Peleburan Filament Pada Motor Extruder Laporan. 1–14.
- Parahdiba, N. P., Abdullah, I., Roji, D. F., Sahriana, S., & Mansur, I. (2022). Rancang Bangun Mesin Ektrusi Pembuat Filamen dengan Sistem Screw Conveyor. *Jurnal Teknik Mesin Sinergi*, 20(1), 67. <https://doi.org/10.31963/sinergi.v20i1.3433>
- Prakoso, A. T. (2022). Pemanfaatan Limbah Plastik Dalam Pembuatan Filamen 3D Printer Menggunakan Mesin Ekstrusi Pada Lab Konversi Energi Universitas. 1(2), 43–52.

Putra, W. (2011). *Sistem Kendali Motor Stepper Sebagai Penggerak Horizontal Dan Vertikal*. 1–115.

Salindeho, R. D., Soukota, J., & Poeng, R. (2013). Pemodelan Pengujian Tarik Untuk Menganalisis Sifat Mekanik Material. *Jurnal Poros Teknik Mesin Unsrat*, 2(2), 1–11.

Shiferaw, Z. (2021). *Developing Filament Extruder Machine and Characterization of Recycled High Density Polyethylene (HDPE) for 3D Printing Filament Material*. <http://dspace.orghttp//ir.bdu.edu.et/handle/123456789/13347>

Tondi, H. (2019). Rancang Bangun Mesin Ekstruder Filamen 3D *PRINTER*.

Yulianto, D. (n.d.). BAB IV Dodik. Perancangan Sistem Mekanik Pada Mesin Potong Dengan Sensor Pembaca Pola, 2, 43–66. <http://repository.unj.ac.id/574/>



LAMPIRAN

Lampiran 1. Proses Manufaktur



Proses Pengeboran plat aluminium



Proses Pembubutan barel



Proses Pengeboran barel



Proses Pembubutan Nozzel



Proses Pengelasan ujung *nozzle*



Proses Pengelasanudukan *hopper*



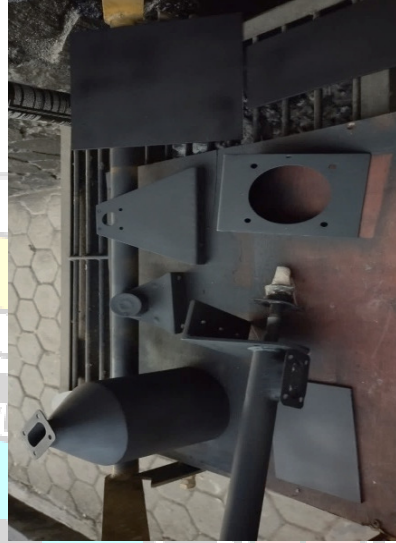
Proses Pengelasan ujung *hopper*



Proses Pengefraisan lubang masuknya biji plastik



Proses Pengefraisan



Proses Pengecetan



Proses Pemasangan *bracket*



Proses Pemasangan *hopper*

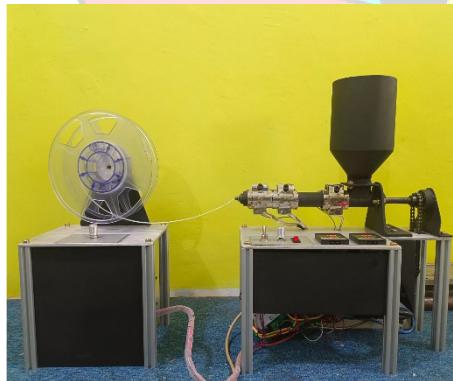


Perakitan elektrik penggulung

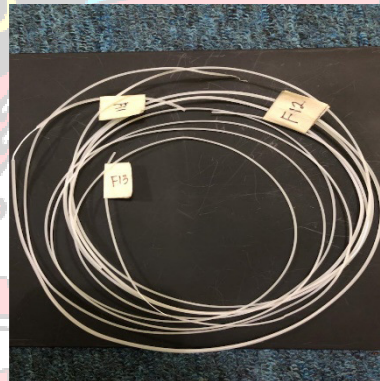


Perakitan elektrik ekstrusi

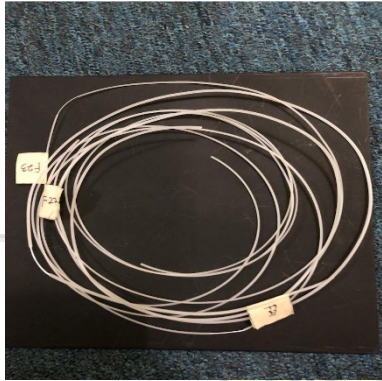
Lampiran 2. Uji Coba Alat



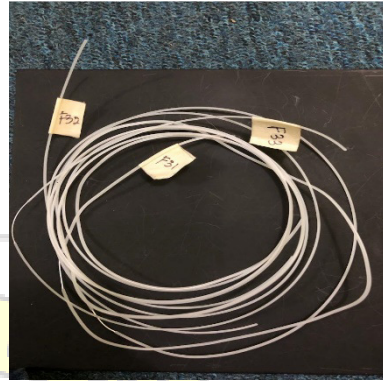
Proses Ekstrusi



Hasil Uji Coba 1



Hasil Uji Coba 2



Hasil Uji Coba 3



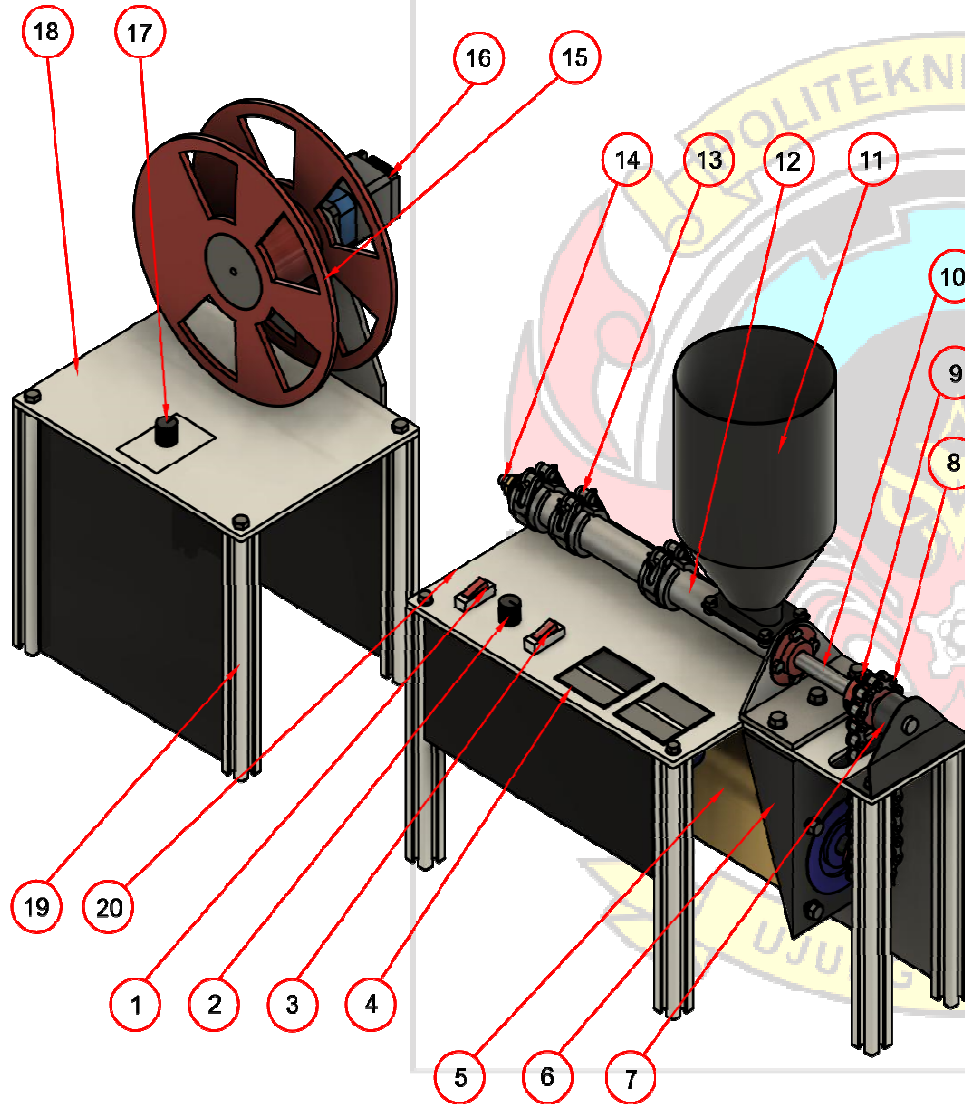
Proses Uji Tarik



Proses Uji Tarik

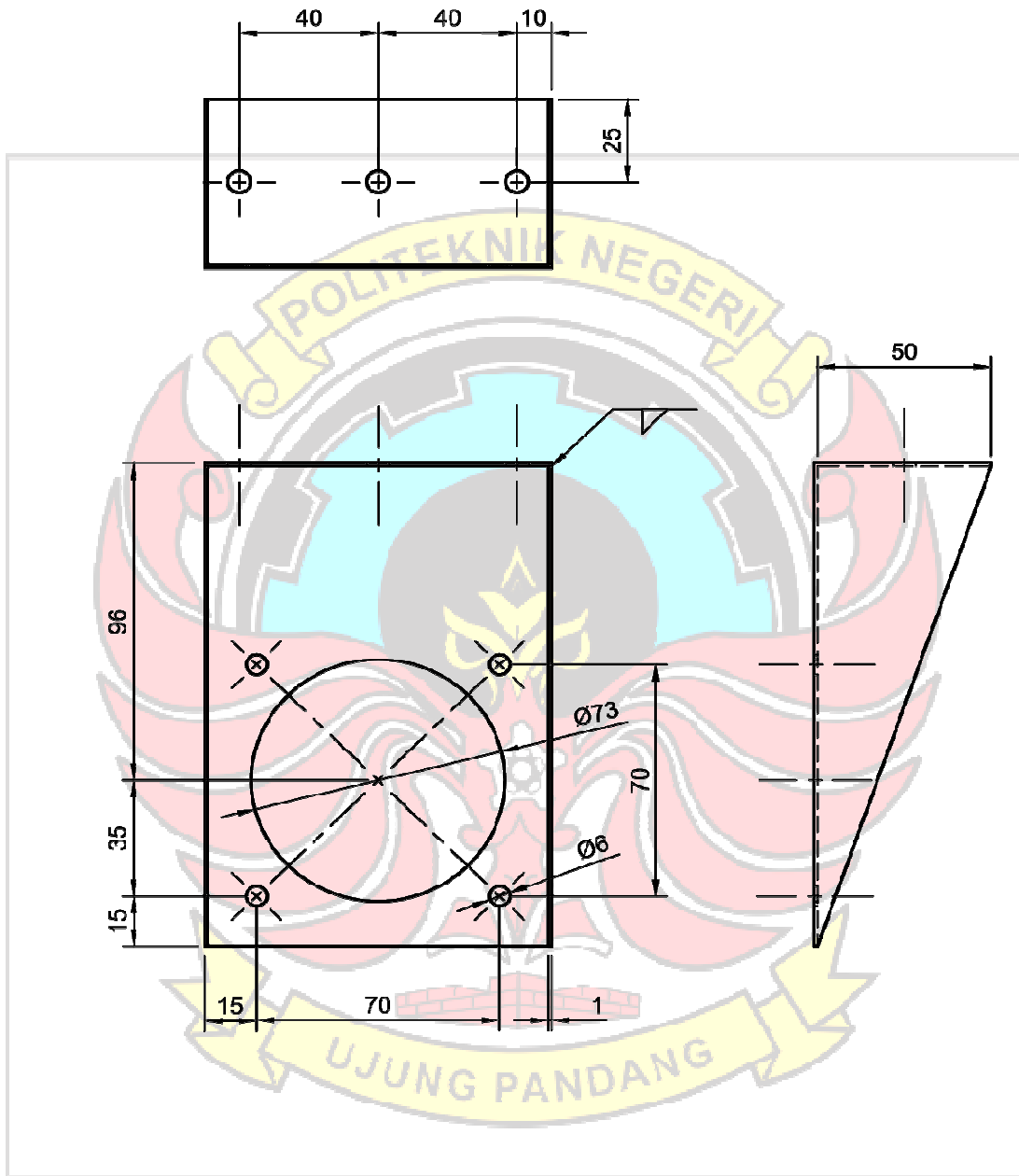


Tol. Sedang



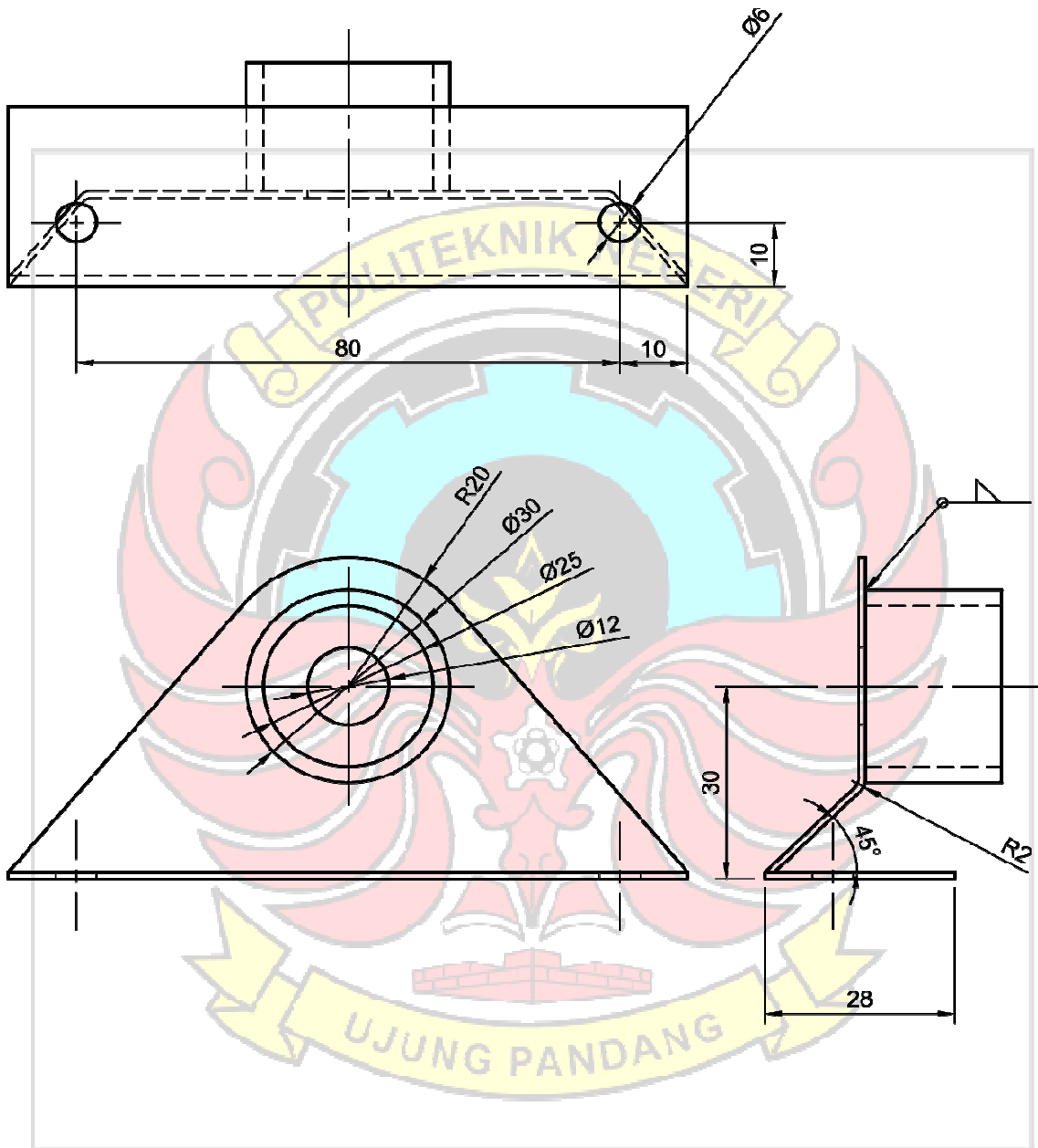
1	Plat Meja Ekstrusi	20	Aluminium	400x170x5 mm		
9	Kaki Meja	19	Aluminium	20x20x210 mm		
1	Plat Meja Penggulung	18	Aluminium	230x180x5 mm		
1	Potensiometer Speed Control NEMA17	17	Aluminium	Ø15 x 15 mm		
1	NEMA 17	16	Aluminium	42x42x68 mm		
1	Penggulung	15	Akriik	Ø200x64 mm		
1	Nozzle	14	St-37	M20		
3	Hooter	13	Stainless steel	Ø25 mm		
1	Barrel	12	St-42	Ø25x270 mm		
1	Hopper	11	St-37	Ø115x200 mm		
1	Screw Ekstruder	10	St-42	Ø12X364 mm		
2	Roller Chain, Sprockets	9	Carbon Steel	Ø42mm 9T		
1	Rantai	8	Carbon Steel	420 - 104		
1	Dudukan Bearing Screw Ekstruder	7	St-37	100x28x48 mm		
1	Breacket NEMA 34	6	St-37	100x150x55 mm		
1	NEMA 34	5	Aluminium	86x86x130 mm		
2	Temperatur Control	4	Plastik	50x50x100mm		
2	Switch ON / OFF	3	Plastik rubber	30x10x10 mm		
1	Potensiometer Speed Control NEMA34	2	Aluminium	Ø15 x 15 mm		
1	Switch ON / OFF Motor	1	Plastik rubber	30x10x10 mm		
	Jumlah	Nama Bagian	No. Bag	Bahan	Ukuran	Keterangan
I	II	III				
PENGEMBANGAN MESIN EKSTRUSI FILAMEN 3D PRINTER DENGAN SISTEM KENDALI SEMI OTOMATIS				A3	Digambar Disekika	TCAM MMM
POLITEKNIK NEGERI UJUNG PANDANG				TMG /	44319013 44319015 44319021	/ 07 - 12

Tol. Sedang



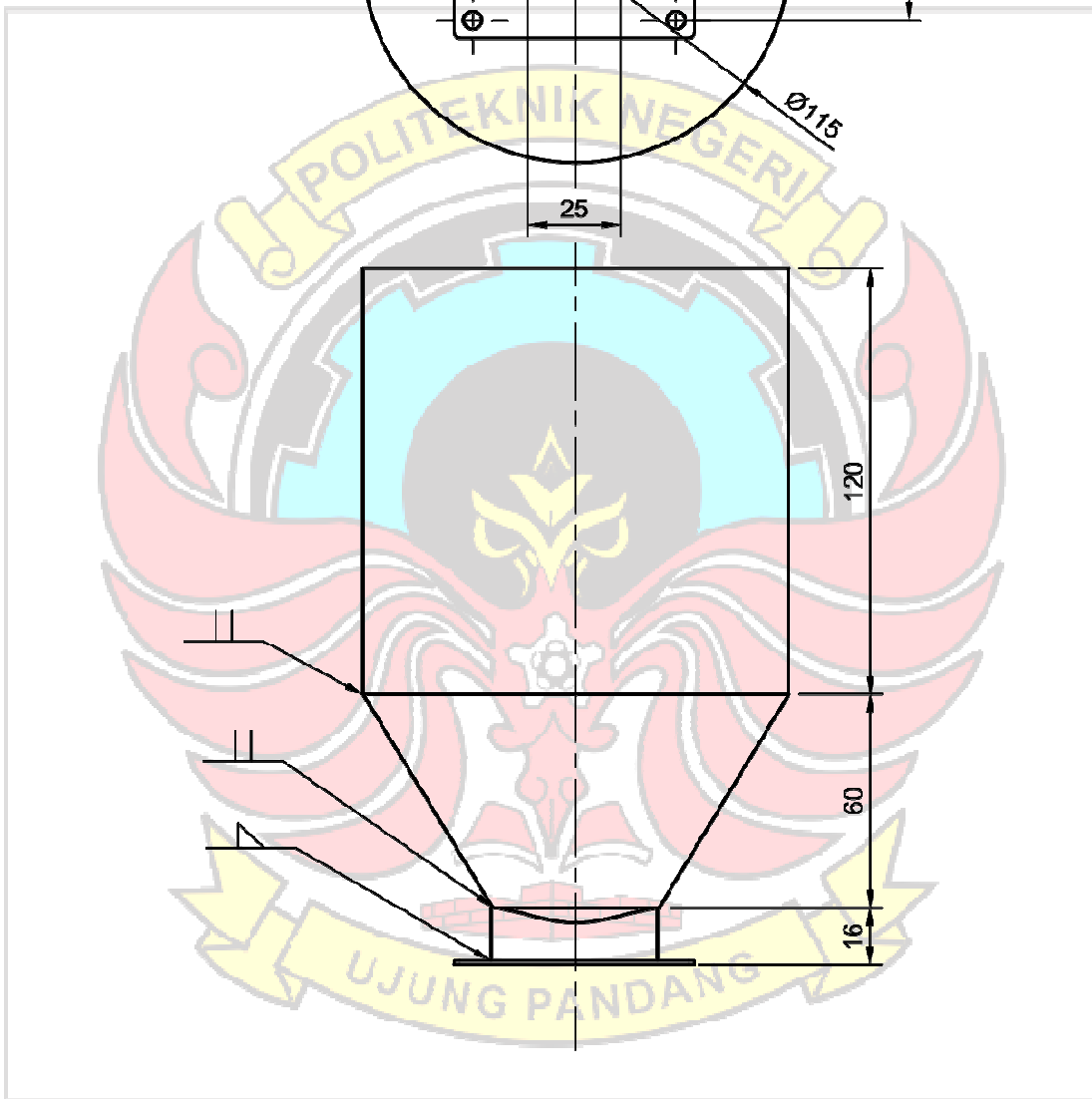
	1	Bracket NEMA 34	6	St-37	100x150x55 mm	
Jumlah		Nama Bagian	No.Bag	Bahan	Ukuran	Keterangan
III	II	I				
		PENGEMBANGAN MESIN EKSTRUSI FILAMEN 3D PRINTER DENGAN SISTEM KENDALI SEMI OTOMATIS			Skala 1:2	Digambar MZF Diperiksa MMM
		POLITEKNIK NEGERI UJUNG PANDANG			TMG /	44319013 44319015 / 11 - 12 44319021

Tol. Sedang

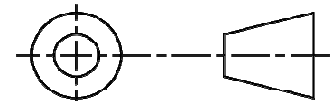


		1	Dudukan Bearing Screw	7	St-37	100x150x55 mm	
Jumlah		Nama Bagian		No.Bag	Bahan	Ukuran	Keterangan
III	II	I					
PENGEMBANGAN MESIN EKSTRUSI FILAMEN 3D PRINTER DENGAN SISTEM KENDALI SEMI OTOMATIS						Skala 1:1	Digambar MZF Diperiksa MMM
POLITEKNIK NEGERI UJUNG PANDANG						TMG /	44319013 44319015 / 07 - 12 44319021

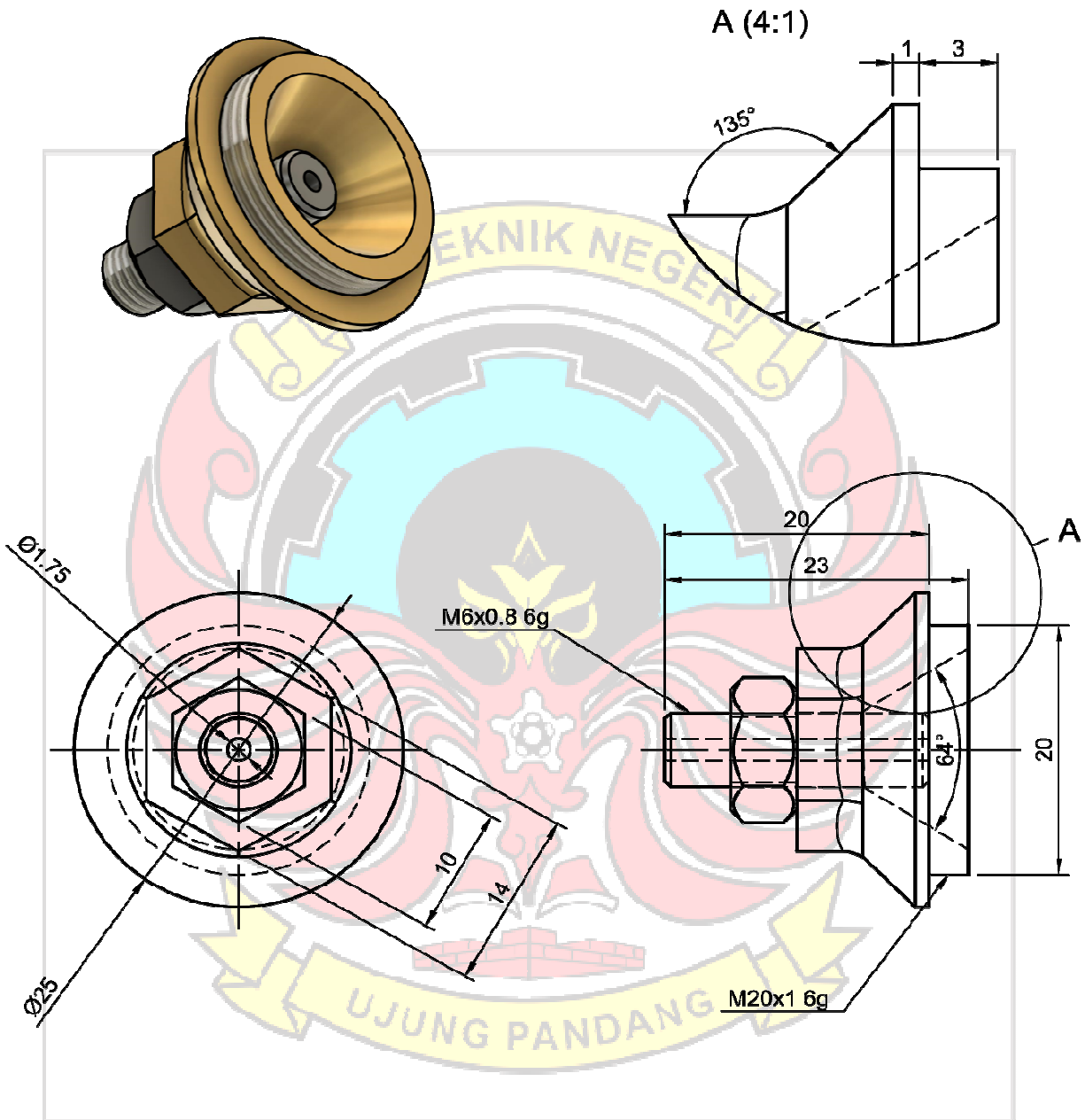
Tol. Sedang



		1	Hopper	11	St-37	Ø115x200 mm		
Jumlah			Nama bagian	No.Bag	Bahan	Ukuran	Keterangan	
III	II	I	PENGEMBANGAN MESIN EKSTRUSI FILAMEN 3D PRINTER DENGAN SISTEM KENDALI SEMI OTOMATIS				Skala 1:2	Digambar MZF
POLITEKNIK NEGERI UJUNG PANDANG						44319013 TMG / 44319015 / 07 - 12 44319021		

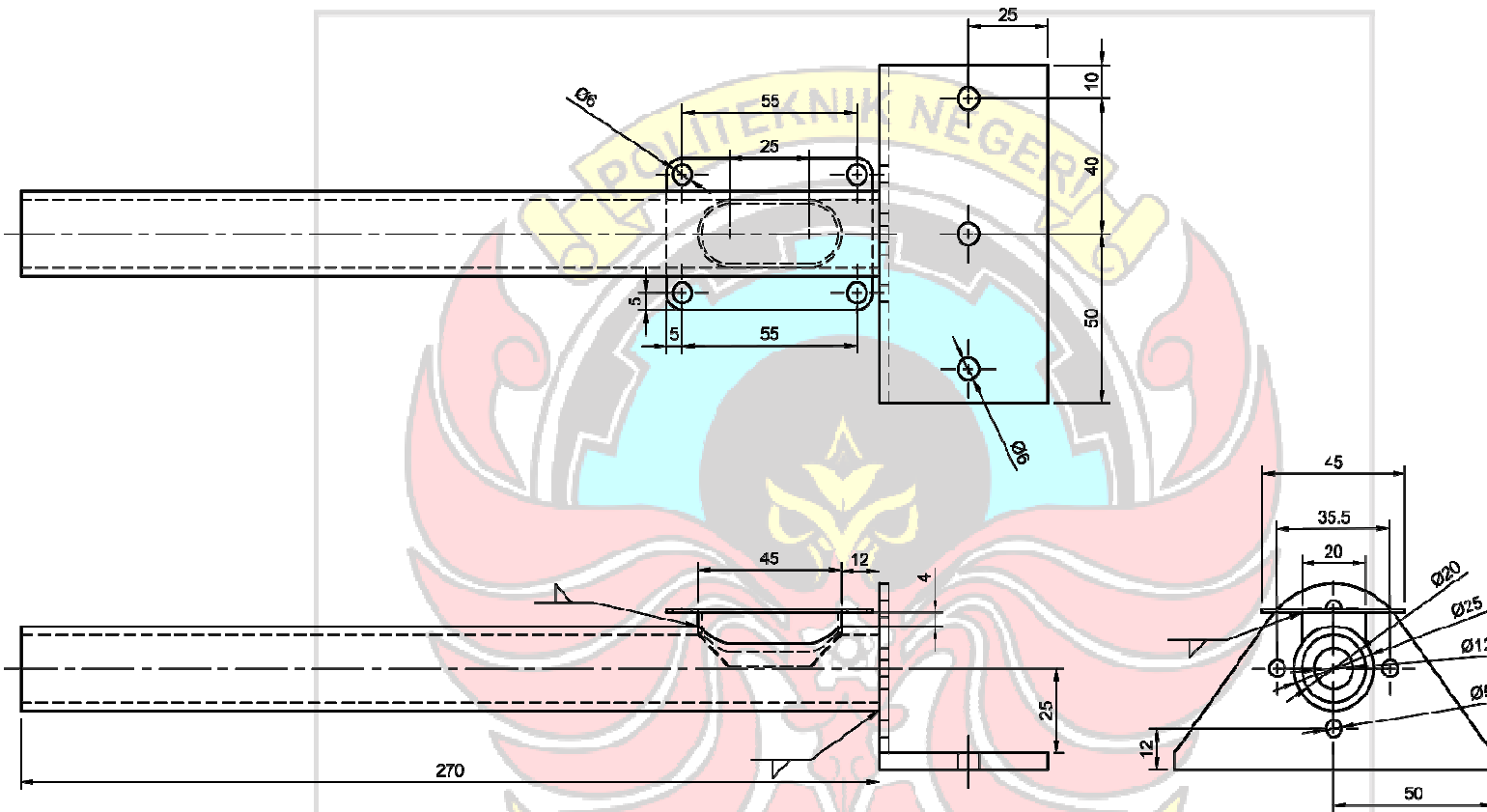


Tol. Sedang



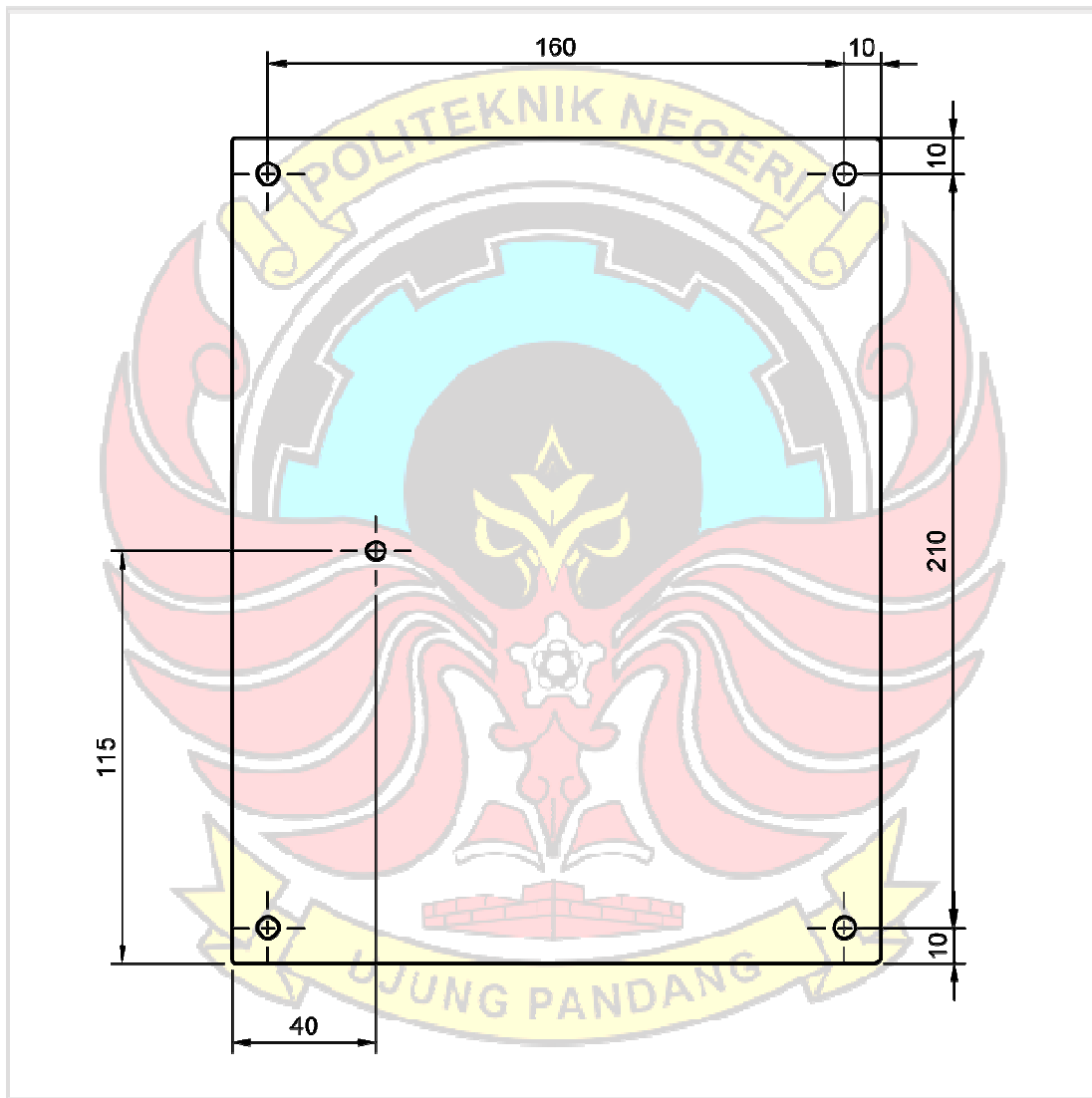
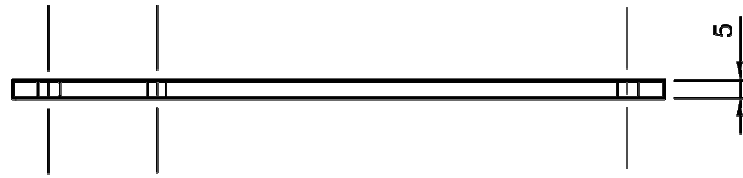
		1	Nozzle	14	St-37	M20xM6	
Jumlah			Nama Bagian	No.Bag	Bahan	Ukuran	Keterangan
III	II	I					
PENGEMBANGAN MESIN EKSTRUSI FILAMEN 3D PRINTER DENGAN SISTEM KENDALI SEMI OTOMATIS						Skala 2:1	Digambar MZF Diperiksa MMM
POLITEKNIK NEGERI UJUNG PANDANG						TMG /	44319013 44319015 / 11 - 12 44319021

Tol. Sedang



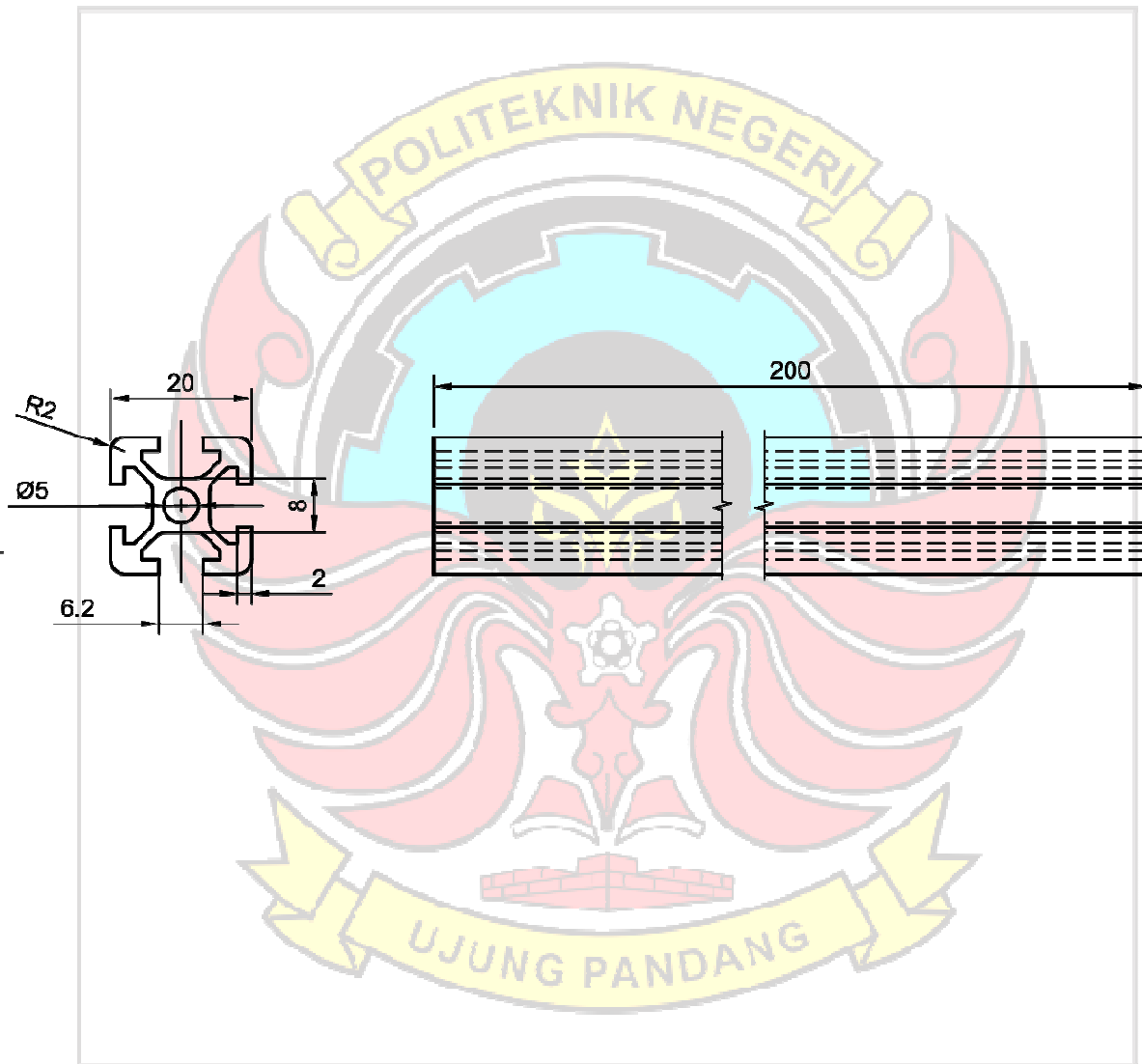
Jumlah	Nama Bagian	No.Bag	Bahan	Ukuran	Keterangan
1	Barrel	12	St-42	Ø25x270 mm	
III					
II					
I					
PENGEMBANGAN MESIN EKSTRUSI FILAMEN 3D PRINTER DENGAN SISTEM KENDALI SEMI OTOMATIS				Skala 1:2	Digambar MZF Diperiksa MMM
POLITEKNIK NEGERI UJUNG PANDANG				TMG /	44319013 / 11-17 44319015 / 11-17 44319021

Tol. Sedang



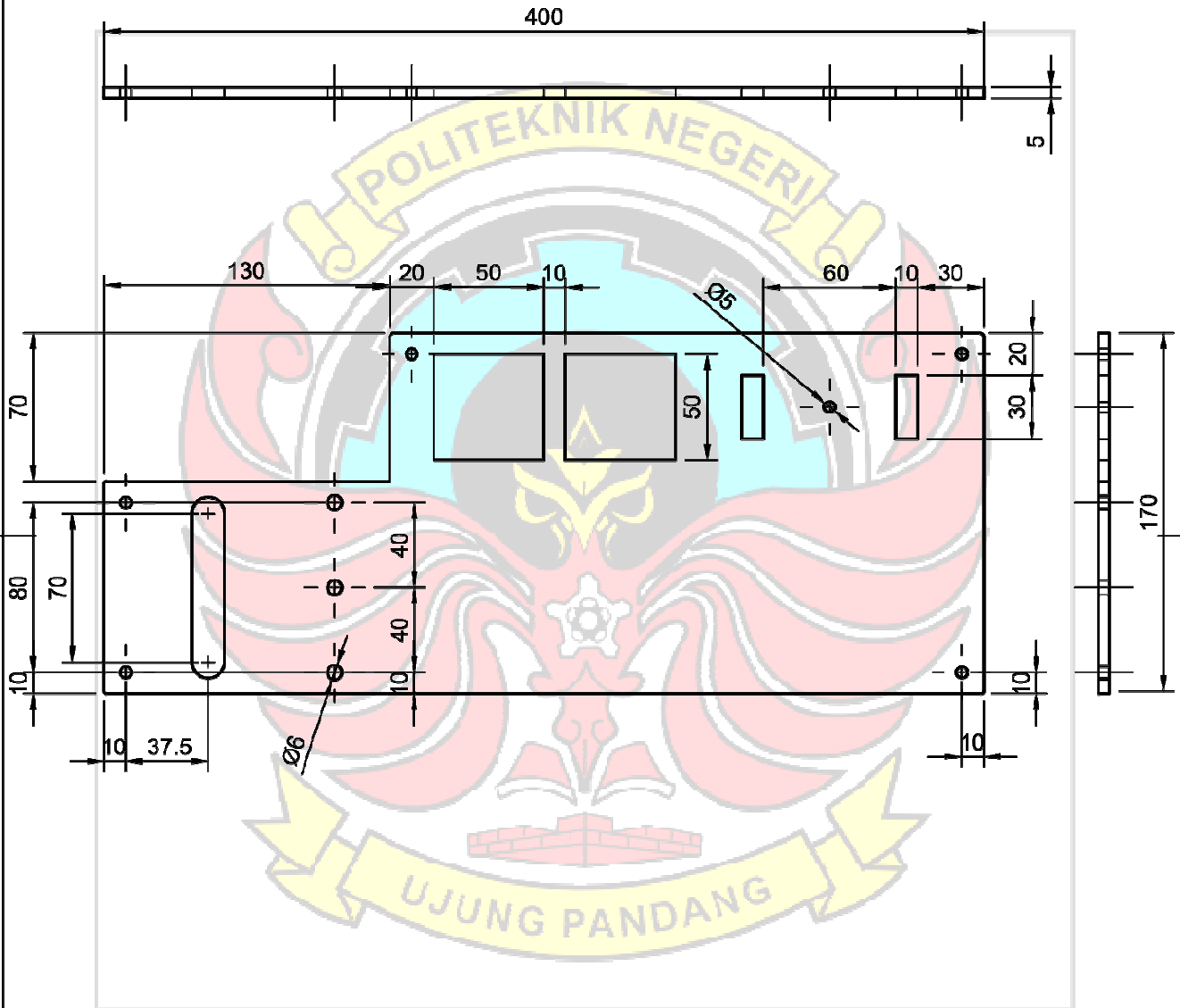
Jumlah	Nama Bagian	No.Bag	Bahan	Ukuran	Keterangan	
1	Plat Meja Penggulung	18	Aluminium	230x180x5 mm		
III	PENGEMBANGAN MESIN EKSTRUSI FILAMEN 3D PRINTER DENGAN SISTEM KENDALI SEMI OTOMATIS			Skala 1 : 2	Digambar	MZF
II					Diperiksa	MMM
I					POLITEKNIK NEGERI UJUNG PANDANG	

Tol. Sedang



		9	Kaki Meja	19	Aluminium	20x20x200 mm	
Jumlah		Nama Bagian		No.Bag	Bahan	Ukuran	Keterangan
III	II	I					
PENGEMBANGAN MESIN EKSTRUSI FILAMEN 3D PRINTER DENGAN SISTEM KENDALI SEMI OTOMATIS					Skala 1:1	Digambar MZF	
POLITEKNIK NEGERI UJUNG PANDANG					TMG /	44319013 44319015 44319021	/ 11 - 12

Tol. Sedang



	1	Plat Meja Ekstrusi	20	Aluminium	400x170x5 mm	
Jumlah		Nama Bagian	No. Bag	Bahan	Ukuran	Keterangan
III	II					
		PENGEMBANGAN MESIN EKSTRUSI FILAMEN 3D PRINTER DENGAN SISTEM KENDALI SEMI OTOMATIS			Skala 1:3	Digambar MZF Diperiksa MMM
		POLITEKNIK NEGERI UJUNG PANDANG			TMG /	44319013 44319015 / 07 - 12 44319021



**KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
POLITEKNIK NEGERI UJUNG PANDANG**

Jalan Perintis Kemerdekaan Km. 10 Tamalanrea, Makassar 90245
Telp. 0411-585365, 585367 Fax. 0411-586043

E-mail: puup@poliupg.ac.id

Home page: <https://www.poliupg.ac.id>

**LEMBAR ASISTENSI SKRIPSI TUGAS AKHIR
PENGEMBANGAN MESIN EKSTRUSI FILAMEN *JD PRINTER* DENGAN
SISTEM KENDALI SEMI OTOMATIS**

Nama : 1. Kevin (44319013)
2. M. Zulham Fatwa (44319015)
3. Widya Jufri (44319021)

Program Studi : D-4 Teknik Manufaktur

Jurusan : Teknik Mesin

No	Tanggal	Uraian	Paraf
1.	23 Agustus 2023	Penempatan halaman berada ditengah, Bab 1 sampai Bab 5 berada disebelah kanan dan Perbaiki Tujuan Penelitian.	
2.	25 Agustus 2023	Semua kata analisa diganti dengan analisis. Tujuan Penelitian ditambahkan terkait dengan Perhitungan biaya manufaktur.	
3.	27 Agustus 2023	Memperbaiki sub bab dan sub-sub bab Sesuaikan dengan pedoman skripsi.	
4.	30 Agustus 2023	Kata manufaktur diganti dengan "produksi"	
5.	2 September 2023	Rumusan Masalah ditambahkan sesuai dengan Tujuan Penelitian.	
6.	11 September 2023	Daftar Simbol, Daftar Tabel dilengkapi.	
7.	15 September 2023	Analisis data dan pembahasan & lengkapi.	
8.	19 September 2023	lengkapi daftar isi, daftar pustaka, dan Lampiran.	

Makassar, September 2023
Pembimbing I,

Ir. Muas M, M.T

NIP. 19670228 199303 1 004



**KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
POLITEKNIK NEGERI UJUNG PANDANG**

Jalan Perintis Kemerdekaan Km. 10 Tamalanrea, Makassar 90245

Telp. 0411-585365, 585367 Fax. 0411-586043

E-mail: group@poliupg.ac.id

Home page: <https://www.poliupg.ac.id>

**LEMBAR ASISTENSI SKRIPSI TUGAS AKHIR
PENGEMBANGAN MESIN EKSTRUSI FILAMEN 3D PRINTER DENGAN
SISTEM KENDALI SEMI OTOMATIS**

Nama : 1. Kevin (44319013)
2. M. Zulham Fatwa (44319015)
3. Widya Jufri (44319021)

Program Studi : D-4 Teknik Manufaktur

Jurusan : Teknik Mesin

No	Tanggal	Uraian	Paraf
1.	21-08-23	- Perbaiki latar belakang - Perbaiki remasan motor	
2.	24-08-23	- Tujuan & perbaiki untuk mencapai hasil terbaik	
3.	28-08-23	- Diagram alir penelitian & buat - Jadwal penelitian diteliti	
4.	31-08-23	- Tambahkan perhitungan motor dan heater	
5.	04-09-23	- Buat pembahasan sesuai data	
6.	07-09-23	- Data penelitian & optimasi	
7.	11-09-23	- Buat gambar kerja	
8.	14-09-23	- Kesimpulan & perbaikan kesimpulan, daftar isi, lampiran	
9.	19-09-23	- OK Sudah layak seminar	

Hon. Ujian Skripsi

Makassar, 19 September 2023

Pembimbing II,




Muhammad Arsyad Savuti, S.T., M.T.

NIP. 19721206 200212 1 004

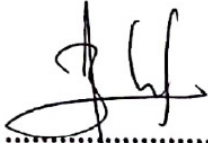
LEMBAR REVISI JUDUL PROYEK / TUGAS AKHIR

NAMA MAHASISWA : Kevin / M. Zulham Fatwa / Widya Jufri
STAMBUK : 443 19 013 / 443 19 015 / 443 19 021

Catatan Penguji :

No	Nama	Uraian	Tanda Tangan
		MAT : - tabel penitilan temperatur pada (150 - 200°C)	
		MBA : - lengkapi gambar detail perkomponen	
		MBS : - kerjakan uraian bab 2 (plastic, fitamen, aktuasly sistem kendali dan pengendalian daya)	

Makassar,
Ketua / Sekretaris Penguji,


.....
Ahmad Zubair S., S.T., M.T., Ph.D.

Catatan: Jika ada perubahan Judul Tugas Akhir konfirmasi secepatnya ke bagian Akademik.