

**UJI PERFORMA *WATERJET THRUSTER* TERHADAP GAYA DORONG
DENGAN MENGGUNAKAN MATERIAL *THERMOPLASTIC
POLYURETHANE* (TPU)**

PROYEK AKHIR

Laporan akhir ini dibuat dan diajukan untuk memenuhi salah satu syarat kelulusan Sarjana Terapan Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung



Disusun Oleh :

Muhamad Aris

NIM 1072216

**POLITEKNIK MANUFAKTUR NEGERI
BANGKA BELITUNG
TAHUN 2024/2025**

LEMBARAN PENGESAHAN

UJI PERFORMA *WATERJET THRUSTER* TERHADAP GAYA DORONG DENGAN MENGGUNAKAN MATERIAL *THERMOPLASTIC POLYURETHANE (TPU)*

Oleh:

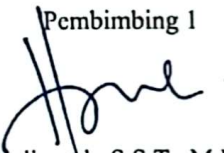
Muhamad Aris

NIM 1072216

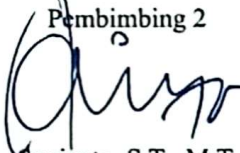
Laporan akhir ini telah disetujui dan disahkan sebagai salah satu syarat
kelulusan Program Sarjana Terapan Politeknik Manufaktur Negeri Bangka
Belitung

Menyetujui,

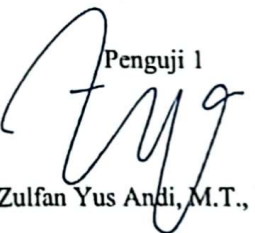
Pembimbing 1


Hasdiansah, S.S.T., M.Eng.

Pembimbing 2


Sugianto, S.T., M.T.

Penguji 1


Zulfan Yus Andi, M.T., Ph.D.

Penguji 2


Subkhan, S.T., M.T.

PERNYATAAN BUKAN PLAGIAT

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama Mahasiswa : Muhamad

NIM: 1072216

Dengan Judul : *UJI PERFORMA WATERJET THRUSTER TERHADAP GAYA DORONG DENGAN MENGGUNAKAN MATERIAL THERMOPLASTIC POLYURETHANE (TPU)*

Menyatakan bahwa laporan akhir ini adalah hasil kerja kami sendiri dan bukan merupakan plagiat. Pernyataan ini kami buat dengan sebenarnya dan bila ternyata dikemudian hari ternyata melanggar pernyataan ini, kami bersedia menerima sanksi yang berlaku.

Sungai liat, 15 Juli 2025

Mahasiswa



Muhamad Aris

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh. Assalamu'alaikum

Warahmatullahi Wabarakatuh.

Puji dan syukur kami panjatkan ke hadirat Allah SWT, berkat rahmat dan hidayah Nya, Laporan Proyek Akhir yang berjudul *UJI PERFORMA WATERJET THRUSTER TERHADAP GAYA DORONG DENGAN MENGGUNAKAN MATERIAL THERMOPLASTIC POLYURETHANE* (TPU) ini dapat diselesaikan dengan baik dan tepat pada waktunya. Laporan ini disusun sebagai salah satu syarat kelulusan dalam menyelesaikan program pendidikan Sarjana Terapan di Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung, serta sebagai bentuk penerapan ilmu dan keterampilan yang telah diperoleh selama masa perkuliahan.

Dalam proses penyusunan laporan ini, penulis menyadari bahwa terselesaikannya laporan ini tidak lepas dari bantuan dan dukungan berbagai pihak. Oleh karena itu, ucapan terima kasih sebesar-besarnya kami sampaikan kepada:

1. Kedua orang tua saya Bapak Hazan dan Ibu Sumarni yang selalu memberikandoa dan dukungan, juga keluarga yang selalu memberikan semangat dan bantuan penuh dalam penyusunan serta perbaikan proyek akhir ini.
2. Bapak I Made Andik Setiawan, M.Eng., Ph.D., selaku Direktur Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung.
3. Bapak Dr. Ilham Ary Wahyudie, M.T selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin di Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung.

4. Bapak Idiar S.S.T., M.T., selaku Kordinator Program Studi D-IV Teknologi Rekeyasa Perancangan Manufaktur di Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung.
5. Bapak Hasdiansah, S.S.T.,M.Eng.selaku Pembimbing I yang telah banyak memberikan saran dan solusi dari masalah yang dihadapi selama proses penyusunan laporan ini.
6. Bapak Sugianto S.T., M.T. selaku Pembimbing II yang telah banyak memberikan pengarahan dalam penulisan laporan ini.
7. Seluruh dosen dan staff di Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung.
8. Tim Proyek Akhir, Ferzy Ersandy dan Alpian yang selalu membantu dan berjuang Bersama dalam proses pengerjaan Proyek Akhir dalam kondisi suka dan duka.

Penulisan laporan ini masih jauh dari kata sempurna, maka dari itu kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan agar lebih baik untuk selanjutnya. Semoga laporan ini dapat berguna bagi pribadi dan orang lain serta dipergunakan sebagaimana mestinya.

Akhir kata, semoga Allah SWT. membalas kebaikan semua pihak yang telah berkontribusi dalam penyelesaian laporan ini. Atas perhatiannya, penulis mengucapkan terima kasih.

Wassalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.

Sungai liat, 15 Juli 2025

Mahasiswa



Muhamad Aris

ABSTRAK

Provinsi Kepulauan Bangka Belitung memiliki potensi kelautan yang besar, namun pemanfaatan sistem propulsi konvensional seperti mesin tempel masih dominan di kalangan nelayan. Seiring perkembangan teknologi, sistem waterjet thruster mulai dikembangkan sebagai alternatif penggerak kapal karena efisiensinya yang lebih tinggi dan getaran akustik yang rendah. Penelitian ini bertujuan untuk menguji performa waterjet thruster yang dibuat menggunakan teknologi pencetakan 3D dengan material Thermoplastic Polyurethane (TPU), khususnya dalam menghasilkan gaya dorong. Metode eksperimen digunakan dengan variasi tipe nozzle untuk mengetahui pengaruhnya terhadap gaya dorong, serta dilakukan uji tarik dan uji impact untuk menilai sifat mekanik material TPU. Hasil pengujian menunjukkan bahwa nozzle tipe 3 menghasilkan gaya dorong tertinggi sebesar 70,632 N, sedangkan tanpa nozzle hanya menghasilkan 48,363 N. Uji tarik menunjukkan tegangan maksimum hingga 17 MPa dan uji impact menunjukkan nilai energi serap 1,503 J/mm². Hasil ini membuktikan bahwa material TPU dapat menjadi alternatif yang layak dan ekonomis untuk komponen sistem propulsi laut ringan.

Kata kunci: *Waterjet thruster; Thermoplastic Polyurethane (TPU), 3D Printing, Gaya Dorong, Sistem Propulsi.*

ABSTRACT

The Bangka Belitung Islands Province has significant marine potential, but the use of conventional propulsion systems such as outboard engines is still dominant among fishermen. With the advancement of technology, waterjet thruster systems are being developed as an alternative ship propulsion due to their higher efficiency and lower acoustic vibration. This study aims to test the performance of a waterjet thruster made using 3D printing technology with Thermoplastic Polyurethane (TPU) material, particularly in generating thrust. An experimental method was used with variations in nozzle types to determine their effect on thrust force, along with tensile and impact tests to assess the mechanical properties of TPU material. The test results showed that nozzle type 3 produced the highest thrust force of 70.632 N, while the version without a nozzle only produced 48.363 N. The tensile test showed a maximum stress of up to 17 MPa, and the impact test showed an energy absorption value of 1.503 J/mm². These results demonstrate that TPU material can be a feasible and economical alternative for light marine propulsion system components.

Keywords: *Waterjet thruster, Thermoplastic Polyurethane (TPU), 3D Printing, Thrust Force, Propulsion System.*

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
LEMBARAN PENGESAHAN.....	ii
PERNYATAAN BUKAN PLAGIAT	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
ABSTRAK	vi
ABSTRACT	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xv
BAB I.....	16
PENDAHULUAN.....	16
1.1 Latar Belakang	16
1.2 Rumusan Masalah	18
1.3 Tujuan Penelitian.....	18
1.4 Batasan Masalah.....	19
BAB II	20
DASAR TEORI	20
2.1. <i>Waterjet Thruster</i>	20
2.1.1. Pengertian <i>Waterjet</i>	20
2.1.2. Perinsip dasar <i>Waterjet Thruster</i>	20
2.2. Gaya dorong	21
2.2.1. Pengertian Gaya dorong	21

2.3. TPU (Thermoplastic Polyurethane)	22
2.4. Uji Impact Charpy.....	23
2.5. Uji Tarik	23
2.5.1. Pengertian Uji Tarik	23
2.5.2. Prinsip Dasar	24
2.5.3. Standar Uji Tarik	24
2.6.1. Pengertian solidwork 2021	25
2.7. Kajian Terdahulu	26
BAB III.....	27
METODE PELAKSANAAN.....	27
3.1 Metodologi Penelitian	27
3.2. Diagram Alir Penelitian.....	27
3.3. Studi Literatur	28
3.4. Tempat Pelaksanaan Penelitian	28
3.5. Perencanaan.....	28
3.5.1. Perencanaan Mekanisme <i>Waterjet Thruster</i>	28
3.5.2. Perencanaan Mekanisme Insert Nozzle	29
3.5.3. Perencanaan Spesimen Uji Impact.....	29
3.5.4. Perencanaan spesimen uji tarik	30
3.5.5. Perencanaan Sistem Pengujian.....	31
BAB IV	32
PEMBAHASAN	32
4.1. Desain.....	32
4.1.1. Desain Inlet Turbo Waterjet Thruster	32
4.1.2. Desain Outlet Turbo Waterjet Thruster	32

4.1.3. Desain Impeller Waterjet Thruster	33
4.1.4. Desain Nozzle type 1	33
4.1.5. Desain Nozzle type 2	34
4.1.6. Desain Nozzle type 3	34
4.1.7. Desain Nozzle type 4	34
4.1.8. Desain Spesimen Uji Impact.....	35
4.1.9. Desain Spesimen Uji Tarik.....	35
4.2. Persiapan Alat dan Material	35
4.2.1. Material penelitian	35
4.2.2. Alat Penelitian.....	36
4.3. Proses Manufaktur.....	42
4.3.1. Proses Manufaktur Part 3D Printing	42
4.3.2. Tahapan manufaktur waterjet thruster.....	43
4.3.3. Pembuatan Dudukan <i>Engine</i>	46
4.3.4. Pembuatan alat uji	46
4.4. Proses Assembly	47
4.5. Peroses Pengujian	48
4.5.1. Pengujian Uji <i>Impact Charpy</i> (ASTM D6110)	48
4.5.2. Pengujian Uji Tarik	49
4.5.3. Pengujian Gaya Dorong	49
4.6. Pengambilan Data Pengujian	50
4.6.1. Pengambilan Data Uji Impact Charpy	Error! Bookmark not defined.
4.6.2. Pengambilan data Uji Tarik.....	Error! Bookmark not defined.
4.6.3. Pengambilan Data Gaya Dorong.....	Error! Bookmark not defined.

4.7. Pengolahan Data dan Analisi Hasil Pengujian	Error! Bookmark not defined.
4.7.1. Analisi Hasil Pengujian Impact Charpy	Error! Bookmark not defined.
4.7.2. Analisi Hasil Pengujian Tarik	Error! Bookmark not defined.
4.7.3. Analisi Hasil Pengujian Gaya Dorong	Error! Bookmark not defined.
BAB V	51
PENUTUP	51
5.1. Kesimpulan	51
5.2. Saran.....	51
DAFTAR PUSTAKA	52



DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 rincian teknis komponen	28
Tabel 3. 2 Variasi Nozzle.....	29
Tabel 3. 3 Standar ASTM D6110	29
Tabel 3. 4 Standar ASTM D638 Type IV	30
Tabel 4. 1 Parameter 3D yang direkomendasikan.....	43
Tabel 4. 2 Test results	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4. 3 Data Uji	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4. 4 Hasil Perhitungan Gaya Dorong	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4. 5 Statistics	Error! Bookmark not defined.

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3. 1 diagram alir	27
Gambar 4. 1 inlet turbo 12 blade.....	32
Gambar 4. 2 outlet turbo 12 blade.....	33
Gambar 4. 3 impeller 4 blade	33
Gambar 4. 4 Nozzle type 1.....	33
Gambar 4. 5 Nozzle type 2.....	34
Gambar 4. 6 Nozzle type 3.....	34
Gambar 4. 7 Nozzle type 4.....	34
Gambar 4. 8 spesimen uji impact.....	35
Gambar 4. 9 spesimen uji tarik	35
Gambar 4. 10 mesin 3D printing.....	36
Gambar 4. 11 software Solidwork 2020.....	37
Gambar 4. 12 Laptop Lenovo Ideapad Slim 3	37
Gambar 4. 13 Mesin bakar 13 HP	38
Gambar 4. 14 Perahu.....	38
Gambar 4. 15 Timbangan.....	39
Gambar 4. 16 Caliper	39
Gambar 4. 17 Gerinda tangan	40
Gambar 4. 18 Mesin las	40
Gambar 4. 19 Mesin gergaji potong DoAL	41
Gambar 4. 20 Digital Tachometer	42
Gambar 4. 21 Pemotongan pipa stainslees.....	44
Gambar 4. 22 Proses pencetakan pada mesin 3D printing.....	44
Gambar 4. 23 Pengeleman Outlet	45
Gambar 4. 24 Penggerindaan	45

Gambar 4. 25 pembuatan dudukan mesin	46
Gambar 4. 26 Pembuatan alat uji	47
Gambar 4. 27 Skema alat uji	47
Gambar 4. 28 perakitan atau assembly	48
Gambar 4. 29 hasil pengujian spesimen uji impact charpy.....	48
Gambar 4. 30 hasil pengujian spesimen uji tarik	49
Gambar 4. 31 proses pengujian gaya dorong	50
Gambar 4. 32 Hasil pengujian spesimen impact....	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4. 33 grafik hasil gaya dorong.....	Error! Bookmark not defined.



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1.	Riwayat Hidup
Lampiran 2.	Gambar Kerja dan Assembly
Lampiran 3.	Proses Manufaktur
Lampiran 4.	Proses Pengujian
Lampiran 5.	Perhitungan manual rata-rata dan gaya dorong
Lampiran 6.	Data uji tarik ASTM D638 type D IV
Lampiran 7.	From bimbingan dan monitoring
Lampiran 8.	Tidak Plagiarisme
Lampiran 9.	Poster

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang.

Provinsi Kepulauan Bangka Belitung yang dikelilingi oleh wilayah perairan dan pulau-pulau kecil memiliki potensi besar dalam bidang kelautan, di mana sebagian besar nelayan masih memanfaatkan mesin tempel konvensional sebagai alat transportasi laut. Dengan kemajuan teknologi yang pesat, sistem propulsi alternatif seperti *turbojet drive* atau *water jet propulsion* mulai dikembangkan karena menawarkan efisiensi kerja dan tingkat keamanan yang lebih tinggi, terutama untuk kapal dengan kecepatan tinggi. Salah satu komponen utama dalam sistem ini adalah stator, yang berfungsi untuk mengarahkan aliran fluida serta meningkatkan efisiensi gaya dorong. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi jumlah bilah (blade) pada stator turbo terhadap kekuatan dorong turbojet drive yang diproduksi menggunakan teknologi pencetakan tiga dimensi (3D printing) dengan material ST-PLA. Berdasarkan hasil pengujian, stator turbo dengan 8 bilah menghasilkan gaya dorong tertinggi sebesar 44,145 N, diikuti oleh stator dengan 6 bilah sebesar 34,335 N, dan stator 4 bilah dengan gaya dorong terendah sebesar 24,525 N. Temuan ini mengindikasikan bahwa jumlah bilah pada stator memiliki pengaruh signifikan terhadap efisiensi daya dorong dan dapat dijadikan referensi dalam pengembangan sistem penggerak kapal yang lebih optimal bagi kebutuhan nelayan di masa depan. (Farandi et al., 2021)

Waterjet thruster dapat diartikan sebagai inovasi Teknologi pada mesin penggerak kapal yang berperan penting dalam operasi kapal karena menghasilkan gaya dorong utama oleh kinerja dan kecepatan kapal sangat dipengaruhi oleh sistem propulsinya, salah satunya adalah waterjet thruster dikenal dengan performanya dalam tingkat yang tinggi, sifat pencegah kavitasi, serta

getaran akustik yang rendah, menjadikannya sangat unggul untuk aplikasi digunakan dalam kendaraan militer, sistem waterjet thruster meliputi beberapa komponen, yaitu komponennya meliputi inlet, pompa waterjet, serta outlet turbo. Pompa waterjet dalam sistem ini bertugas berfungsi sebagai komponen inti yang menghasilkan fluida melalui saluran outlet turbo . Unit pompa waterjet menggunakan impeller, yang pada sistem penggerak kapal konvensional setara dengan sistem propeller. Situasi pada impeller sangat berpengaruh terhadap kinerja sistem propulsi secara keseluruhan. Secara umum, waterjet thruster bekerja dengan cara menarik air masuk lewat saluran inlet menggunakan impeller yang berputar, lalu mengeluarkannya melewati saluran keluar outlet turbo dengan memanfaatkan variasi diameter nozzle dimana diperkecil untuk meningkatkan momentum yang dihasilkan.(Thala Viniolita et al., 2024)

Untuk meningkatkan *ability* kapal, banyak pihak yang meningkatkan kapasitas mesin yang digunakan. Namun metode ini justru dapat membebani biaya operasional kapal karena semakin tinggi kapasitas dengan mesin yang diterapkan, maka makin tinggi juga penggunaan bahan bakarnya. Hal ini mengakibatkan upaya peningkatan efisiensi belum berhasil. Maka dari itu, dilakukan modifikasi pada sistem propulsi dianggap sebagai proses yang lebih akurat. Dorongan yang dihasilkan oleh sistem penggerak berperan penting dalam menghadapi tantangan atau gaya hambat permukaan antara kapal dan air. Hal ini dikarenakan kecepatan kapal sejalan dengan besarnya gaya dorong (Suzen et al., 2025)

Dalam perkembangan industri manufaktur saat ini, teknologi terus mengalami kemajuan guna mendukung proses produksi, salah satunya kemampuan 3D Printing. Metode yang paling umum digunakan dalam proses ini adalah Fused Deposition Modeling (FDM). FDM merupakan teknik pencetakan tiga dimensi yang dilakukan dengan menambahkan material termoplastik secara bertahap sesuai bentuk yang telah dirancang secara digital menggunakan software CAD.

Proses FDM bekerja dengan cara melelehkan filamen plastik menggunakan nozzle yang dipanaskan, kemudian material yang telah mencair tersebut disusun lapis demi lapis oleh print head yang bergerak secara presisi dalam tiga arah (X, Y, dan Z). Setelah mendingin, material akan mengeras dan membentuk objek sesuai

desain. Salah satu keuntungan dari metode ini yaitu prosesnya mudah dilakukan, hemat biaya, serta mendukung penggunaan berbagai jenis material, sehingga cocok digunakan untuk membuat prototipe maupun komponen yang siap pakai. (Priedeman & Turley, n.d.)

Thermoplastic Polyurethane (TPU) merupakan jenis polimer termoplastik yang memiliki sifat elastis, tahan aus, serta memiliki kekuatan mekanik dan termal yang baik. Material ini telah digunakan secara luas di berbagai sektor industri, seperti otomotif dan tekstil. Meskipun penggunaannya belum sebanyak jenis poliuretan lainnya, TPU tetap menjadi material yang penting karena fleksibilitas dan ketahanannya. Salah satu contoh limbah TPU adalah limbah filamen 3D printing, yang hingga kini belum memiliki sistem daur ulang yang efisien. Padahal, limbah tersebut sebenarnya masih memiliki potensi untuk dimanfaatkan kembali melalui proses daur ulang mekanis, seperti pencetakan 3D. Oleh karena itu, pengembangan metode daur ulang TPU sangat diperlukan guna membantu mewujudkan konsep ekonomi berkelanjutan serta menekan dampak lingkungan yang merugikan. (Calvo-Correas et al., 2022)

1.2 Rumusan Masalah.

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan, terdapat beberapa permasalahan yang perlu diteliti lebih lanjut terkait performaa waterjet thruster yang menggunakan material TPU (Thermoplastic Polyurethane), yaitu:

1. Sebarapa besar gaya dorong yang dihasilkan oleh waterjet thruster yang menggunakan filamen TPU pada putaran 1.000 hingga 3.650 rpm?
2. Bagaimana ketahanan material filamen TPU terhadap kondisi operasional waterjet theruster, terutama saat menerima putaran tinggi dalam rentang 1.000 hingga 3.650 rpm?

1.3 Tujuan Penelitian.

Tujuan dari penelitian Uji Performa Waterjet Thruster Terhadap Gaya Dorong Menggunakan Material Thermoplastic Polyurethane (TPU), yaitu:

1. Menghitung gaya dorong yang dihasilkan waterjet thruster dengan bahan Thermoplastic Polyurethane.
2. Menghitung ketahanan wjt (Waterjet Thruster) menggunakan material TPU ketika menerima putaran 1.000 hingga 3.650 rpm.

1.4 Batasan Masalah.

Batasan berikut dibuat agar penelitian ini dapat mencapai tujuan yang diharapkan:

1. Waterjet Thruster dengan material TPU dengan dimensi 4 inch.
2. Dimensi panjang impeller 50 mm dengan type 4 blade.
3. Menggunakan inlet turbo 12 blade dan outlet turbo 12 blade.
4. Pengujian dengan putaran mesin 1.000 hingga 3.650 rpm dengan mesin 13 hp.



BAB II

DASAR TEORI

2.1. *Waterjet Thruster.*

2.1.1. *Pengertian Waterjet.*

Waterjet thruster adalah inovasi teknologi dalam sistem penggerak kapal masa kini. Cara kerjanya dimulai dengan menghisap air dari bawah lambung kapal melalui saluran inlet, lalu air tersebut dipercepat menggunakan impeller sebagai pompa, dan akhirnya dialirkan keluar melalui nozzle (outlet turbo) untuk menghasilkan dorongan. Penyempitan diameter pada bagian outlet meningkatkan kecepatan aliran air, sehingga menghasilkan gaya dorong yang menggerakkan kapal ke arah sebaliknya.

(Seva et al., 2024) menyatakan bahwa sistem turbojet drive memiliki prospek yang signifikan sebagai alternatif pengganti mesin tempel konvensional, terutama dalam sektor transportasi laut seperti yang digunakan oleh nelayan. Keunggulan sistem ini terletak pada rancangan yang kompak serta kemampuannya dalam menghasilkan daya dorong tinggi melalui pemanfaatan variasi stator yang diproduksi dengan teknologi pencetakan 3D. Efektivitas kinerja, khususnya pada konfigurasi stator delapan bilah, menjadikan turbojet drive ini layak diterapkan pada aplikasi yang memerlukan efisiensi tinggi dan struktur yang terukur.

2.1.2. *Perinsip dasar Waterjet Thruster.*

Prinsip dasar pengoperasian waterjet thruster mengacu pada hukum kedua Newton, yang menyatakan bahwa gaya yang bekerja pada suatu objek berbanding lurus dengan laju perubahan momentum. Dalam hal ini, waterjet thruster menghasilkan gaya dorong dengan cara mempercepat aliran massa air dari kecepatan rendah pada saluran masuk (inlet) menjadi kecepatan tinggi pada saluran keluar (nozzle).

2.2. Gaya dorong.

2.2.1. Pengertian Gaya dorong.

Sistem propulsi berperan penting dalam memberikan gaya dorong pada pesawat tanpa awak (UAV). Salah satu sistem yang umum digunakan adalah propeller, yaitu baling-baling yang digerakkan oleh motor listrik dan menghasilkan gaya dorong melalui putaran bilahnya di udara. Salah satu konfigurasi yang efisien adalah contra rotating propeller, di mana terdapat dua buah baling-baling yang berputar secara berlawanan arah pada satu sumbu. Konfigurasi ini mampu meningkatkan efisiensi gaya dorong sekaligus mengurangi efek torsi yang biasanya muncul pada sistem propulsi Tunggal. (Alfaridzi & Kurniawan, 2022)

Secara matematis, gaya dorong dapat dinyatakan dengan rumus berikut:

$$F = \frac{m}{g}$$

Keterangan :

F = Gaya Dorong (N)

m = Massa (Kg)

g = Percepatan Gravitasi (m/s²)

menjelaskan bahwa performa gaya dorong pada sistem propulsi perahu tempel sangat dipengaruhi oleh kecepatan putaran propeller. Melalui simulasi menggunakan metode Computational Fluid Dynamics (CFD), ditemukan bahwa semakin tinggi putaran propeller, maka gaya dorong, torsi, dan kecepatan aliran fluida juga meningkat secara linier. Hal ini menunjukkan bahwa efisiensi propulsi berkorelasi langsung dengan optimalisasi desain dan putaran kerja propeller, serta karakteristik pola aliran fluida yang berubah dari laminar menjadi turbulen seiring peningkatan kecepatan putar.

Dalam aplikasi kelautan, gaya dorong merupakan salah satu parameter krusial dalam menentukan kemampuan manuver kapal, kecepatan jelajah, serta efisiensi konsumsi energi. (Lu et al., 2022) menemukan bahwa peningkatan efisiensi sistem propulsi tidak hanya dipengaruhi oleh besarnya gaya dorong yang

dihasilkan, tetapi juga oleh kestabilan dan arah distribusi gaya tersebut terhadap sumbu gerak kapal.

2.3.TPU (Thermoplastic Polyurethane).

Thermoplastic Polyurethane (TPU) merupakan salah satu jenis polimer elastomerik yang bersifat termoplastik dan biodegradable, dengan struktur linier yang memberikan sifat elastisitas tinggi dan kekuatan mekanik yang baik. TPU jenis ini banyak dimanfaatkan dalam bidang biomedis, khususnya sebagai bahan scaffold untuk perbaikan dan regenerasi jaringan lunak, karena mampu meniru sifat mekanik jaringan tubuh serta dapat diolah menjadi struktur tiga dimensi (3D) menggunakan berbagai teknik fabrikasi modern.(Xu & Hong, 2022)

(Krawiec et al., 2020) menyatakan bahwa Thermoplastic Polyurethane (TPU) memiliki kombinasi sifat mekanik dan elastisitas yang baik, termasuk ketahanan terhadap abrasi, pelumas, kotoran, serta berbagai bahan kimia, dengan stabilitas suhu operasional antara $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ hingga $+80\text{ }^{\circ}\text{C}$. Karakteristik ini menjadikan TPU sangat cocok digunakan sebagai bahan untuk komponen transmisi seperti V-belt termozgrzewal (heat-welded), yang membutuhkan fleksibilitas tinggi dan keandalan operasional dalam berbagai kondisi kerja.

(Lin et al., 2020) mengemukakan bahwa sifat reologi dan karakteristik pencampuran material TPU sangat dipengaruhi oleh proses melt-blending dan penambahan compatibilizer seperti PP-g-MA. Penggunaan compatibilizer tersebut terbukti mampu meningkatkan kompatibilitas antara PP dan TPU yang secara alami tidak sejenis, serta mencegah terjadinya dispersi fase yang buruk. Oleh karena itu, untuk memperoleh performa mekanik yang optimal, seperti kekuatan impak dan fleksibilitas yang lebih tinggi, diperlukan pengaturan komposisi dan parameter pemrosesan yang cermat dalam proses daur ulang dan pencetakan ulang material termoplastik.

2.4.Uji Impact Charpy.

Uji impact Charpy merupakan suatu teknik yang digunakan untuk menentukan kemampuan material dalam menyerap energi sebelum mengalami kerusakan terhadap beban kejut. Nilai kekuatan impact dari suatu bahan dipengaruhi oleh berbagai faktor, termasuk sifat material serta bentuk dan ukuran spesimen uji. Faktor-faktor seperti ketebalan, keberadaan takik (notch), dan kelengkungan spesimen dapat memengaruhi hasil pengujian. Oleh karena itu, geometri spesimen perlu diperhatikan agar hasil pengujian mencerminkan karakteristik material secara akurat.(Graupner et al., 2021)

Uji impact Charpy dipengaruhi oleh ukuran spesimen dan kecepatan pembebanan. Berdasarkan penelitian(Jia et al., 2022), peningkatan ukuran spesimen dapat menurunkan ketangguhan, sedangkan kecepatan palu tidak berpengaruh signifikan terhadap energi tumbukan. Pembagian energi benturan menjadi beberapa tahap penting untuk memahami perilaku fraktur secara lebih akurat.

Uji impact Charpy mengukur energi serapan material saat patah akibat benturan. Metode ini berkembang menjadi versi instrumentasi yang merekam beban dan defleksi selama pengujian. Sistem CAI yang dikembangkan Kobayashi memungkinkan analisis ketangguhan retak dinamis secara lebih akurat, dengan memperhitungkan titik retak awal dan koreksi energi. Kalibrasi alat juga diperlukan untuk menjamin ketelitian hasil.(Kobayashi, 2002)

Pengujian impak Charpy berfungsi untuk mengetahui Tingkat energi maksimum yang mampu ditahan material sebelum mengalami kerusakan akibat beban benturan, sehingga dapat digunakan untuk menilai tingkat ketangguhan material, khususnya pada bahan tough PLA hasil pencetakan 3D.(Tunçel, 2024)

2.5.Uji Tarik.

2.5.1. Pengertian Uji Tarik.

Uji tarik merupakan salah satu prosedur pengujian mekanik yang dirancang untuk mengetahui seberapa besar kekuatan material dalam menahan gaya tarik

hingga mengalami kerusakan atau putus. Pada penelitian ini, uji tarik dimanfaatkan untuk mengukur kekuatan tarik spesimen PLA+ yang dicetak menggunakan berbagai variasi bentuk infill dan suhu nozzle, dengan mengacu pada standar ASTM D638 Type IV.(Suzen, n.d.)

2.5.2. Prinsip Dasar.

Pada pengujian tarik, spesimen umumnya dibuat dalam bentuk standar, seperti bentuk “dog-bone”, dan dipasang pada mesin uji tarik. Mesin ini memberikan gaya tarik secara aksial dengan kecepatan tetap hingga spesimen mengalami kerusakan atau patah. Selama pengujian berlangsung, besarnya gaya yang diberikan serta perubahan panjang spesimen dicatat secara terus-menerus. Data hasil pengujian ini kemudian disajikan dalam bentuk kurva tegangan-regangan (stress-strain curve), yang menunjukkan hubungan antara tegangan (σ) dan regangan (ϵ) pada material.

Beberapa parameter utama yang dapat diperoleh dari kurva karakteristik mekanik material antara lain:

- Kekuatan tarik maksimum (Ultimate Tensile Strength), yaitu nilai tegangan tertinggi yang dicapai material sebelum mengalami patah.
- Modulus elastisitas (Young's Modulus), yang ditunjukkan oleh kemiringan kurva pada daerah elastis, mencerminkan tingkat kekakuan material.
- Panjang patah dan regangan maksimum, yang menggambarkan sejauh mana material mampu mengalami deformasi sebelum putus, serta menunjukkan tingkat fleksibilitasnya.

2.5.3. Standar Uji Tarik.

Pada material polimer seperti Esun PLA+, pengujian tarik biasanya dilakukan menggunakan standar ASTM D638 tipe IV untuk mengetahui sifat mekaniknya. Berdasarkan penelitian oleh (Pratama, n.d.), diketahui bahwa suhu

nozzle, kecepatan cetak, ketebalan layer, serta arah orientasi cetakan berperan penting dalam memengaruhi hasil uji tarik, khususnya pada sampel uji yang dibuat sesuai standar melalui proses pencetakan tiga dimensi dengan metode Fused Deposition Modeling (FDM)

Uji tarik memiliki peranan penting untuk mengetahui apakah suatu material layak digunakan dalam aplikasi teknik, terutama pada bagian-bagian yang menerima gaya tarik, seperti sambungan, konektor, atau komponen cetakan 3D. Di samping itu, pengujian ini juga bermanfaat supaya melihat nilai pengaruh parameter proses seperti ketebalan layer, suhu nozzle, dan flowrate terhadap kekuatan mekanik material. Penelitian oleh (Subakti et al., n.d.) menunjukkan bahwa variasi parameter tersebut berpengaruh signifikan terhadap hasil uji tarik pada material ST-PLA yang dicetak dengan metode FDM.

2.6.1. Pengertian solidwork 2021.

SolidWorks merupakan perangkat lunak Computer-Aided Design (CAD) berbasis Windows yang digunakan untuk merancang dan memodelkan objek 3D secara parametrik. Selain dapat menghasilkan gambar teknik 2D, SolidWorks juga dilengkapi dengan fitur simulasi untuk analisis teknis. Dikembangkan oleh Dassault Systèmes, software ini banyak digunakan dalam berbagai sektor industri seperti manufaktur, otomotif, kedirgantaraan, dan bidang teknik lainnya.

Dengan kemampuan pemodelan geometri yang lengkap, SolidWorks mendukung perancangan komponen mekanik secara detail, serta menyediakan fitur lanjutan seperti analisis gerakan, simulasi struktur menggunakan metode elemen hingga (FEM), dan estimasi biaya produksi melalui modul SolidWorks Costing. Pada versi 2012, ditambahkan fitur Feature Freeze yang memungkinkan bagian tertentu dari model dikunci agar tidak ikut dihitung ulang saat desain diubah. Fitur lain seperti Large Design Review dan Command Search turut meningkatkan efisiensi dalam pengelolaan assembly berskala besar secara lebih cepat dan terorganisir. (Solidwork, n.d.)

2.7.Kajian Terdahulu.

Penelitian yang dilakukan oleh (Hasdiansah et al., 2024) menggunakan material 3D printing ST PLA bertujuan untuk mengkaji pengaruh variasi jumlah bilah pada inlet turbo terhadap gaya dorong yang dihasilkan oleh prototipe waterjet thruster. Dalam penelitian ini, dilakukan pengujian terhadap variasi jumlah bilah sebanyak 11 hingga 15 buah. Hasilnya menunjukkan bahwa jumlah bilah pada inlet turbo memiliki pengaruh signifikan terhadap besar gaya dorong. Konfigurasi dengan 11 bilah menghasilkan gaya dorong terendah sebesar 0,71 N, sedangkan konfigurasi dengan 14 bilah menghasilkan gaya dorong tertinggi sebesar 1,79 N.

Penelitian yang dilakukan oleh Stevanus Seva et al. (2024) bertujuan untuk mengoptimalkan desain waterjet thruster dengan menerapkan metode Taguchi. Penelitian ini menganalisis pengaruh beberapa variabel, yaitu jumlah bilah inlet, tipe impeller, dan jumlah bilah outlet, terhadap peningkatan gaya dorong. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kombinasi terbaik untuk menghasilkan gaya dorong maksimum diperoleh dengan menggunakan impeller tipe 2, lima bilah inlet, dan tiga bilah outlet, yang mampu menghasilkan gaya dorong sebesar 2,281 N. Menariknya, variabel impeller terbukti menjadi faktor yang paling dominan dalam menentukan besar kecilnya gaya dorong. Penelitian ini menyimpulkan bahwa konfigurasi geometris pada komponen-komponen waterjet thruster memberikan pengaruh signifikan terhadap performa dorong, dan dapat dioptimalkan secara efektif melalui penerapan metode Taguchi. Dengan demikian, penelitian ini memberikan kontribusi penting dalam pengembangan teknologi waterjet thruster yang lebih efisien dan berkinerja tinggi.

Penelitian yang dilakukan oleh Viniolita (2024) mengevaluasi pengaruh variasi jumlah bilah pada inlet turbo terhadap gaya dorong yang dihasilkan oleh waterjet thruster. Hasil penelitian menunjukkan bahwa perbedaan jumlah bilah inlet memberikan dampak terhadap besar kecilnya gaya dorong, di mana konfigurasi dengan jumlah bilah tertentu mampu menghasilkan gaya dorong tertinggi.

BAB III

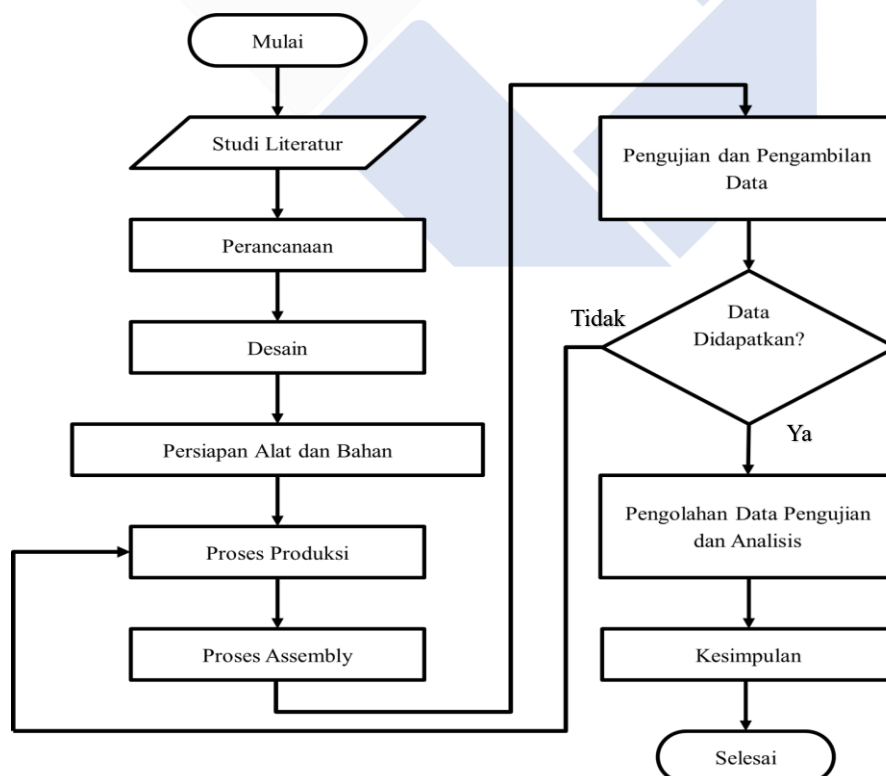
METODE PELAKSANAAN

3.1 Metodologi Penelitian.

Metode penelitian yang diterapkan dalam studi ini adalah metode eksperimen. Pendekatan eksperimen digunakan untuk mengetahui pengaruh variasi jumlah tipe nozzle terhadap besarnya gaya dorong yang dihasilkan oleh sistem waterjet thruster.

3.2. Diagram Alir Penelitian.

Tahapan-tahapan dalam penelitian ini disusun sebagai pedoman guna mempermudah proses perancangan dan pembuatan Waterjet Thruster, sehingga tujuan penelitian dapat tercapai secara sistematis dan terarah.



Gambar 3. 1 diagram alir

3.3.Studi Literatur.

Studi literatur merupakan tahap krusial dalam penelitian yang bertujuan untuk mengumpulkan teori-teori relevan dari berbagai sumber, seperti jurnal ilmiah dan buku, guna memperkuat dasar teoritis penelitian yang akan dilaksanakan.

3.4.Tempat Pelaksanaan Penelitian.

Pelaksanaan penelitian ini dilakukan di Laboratorium Teknik Mesin, Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung. Pelaksanaan di mulai dari menentukan variable penelitian hingga pengambilan data.

3.5.Perencanaan.

Tahapan perencanaan merupakan langkah awal yang krusial dalam setiap proses penelitian, serta mencakup penentuan desain penelitian, perencanaan system waterjet thruster, serta penyusunan system pengujian yang efektif.

3.5.1. Perencanaan Mekanisme *Waterjet Thruster*.

Pengembangan bagian mekanis pada sistem Penggunaan waterjet thruster dilakukan guna Menentukan standar desain teknis serta perancangan sistem desain yang sesuai dengan kebutuhan riset. Adapun Elemen inti yang digunakan dalam sistem ini mencakup inlet turbo, impeller, dan outlet turbo, dengan rincian teknis komponen dalam Tabel 3.1, dilihat pada Gambar 3.2 Rancangan sistem waterjet thruster dan dilihat pada Gambar 3.3 Komponen *waterjet thruster*.

Tabel 3. 1 rincian teknis komponen

Spesifikasi	Inlet turbo	Impeller	Outlet turbo
Panjang	30 mm	50 mm	50 mm
Diameter	110 mm	55 mm	110 mm
Blade	12	4	12

3.5.2. Perencanaan Mekanisme Insert Nozzle.

Berdasarkan rincian teknis komponen yang digunakan, maka dari Studi ini akan dilakukan empat produk nozzle waterjet thruster pada reducer yang mempunyai 4 perbedaan jumlah nozzle yang variatif. Variasi dari sistem rangkaian nozzle pada reducer Pada riset ini disajikan pada Table 3.2

Tabel 3. 2 Variasi Nozzle

Variasi Nozzle	
Type	Ukuran Diameter
Tanpa Nozzle	2 inchi
1	2 inchi
2	2 inchi x 1 ½ inchi
3	2 inchi x 1 ¼ inchi
4	2 inchi x 1 inchi

3.5.3. Perencanaan Spesimen Uji Impact.

Perencanaan spesimen uji impact dilakukan berdasarkan standar ASTM D6110 dengan menggunakan spesimen berbentuk balok berlekuk (notched specimen). Spesimen ini dirancang untuk mengukur ketangguhan impak material termoplastik melalui metode Charpy dengan dimensi dan takik yang telah ditentukan dalam standar.

Tabel 3. 3 Standar ASTM D6110

Parameter	Dimensi	Keterangan
Panjang total	127 mm	Sesuai standar spesimen uji Charpy
Lebar (b)	12,7 mm	Bagian melintang

Tebal (d)	3,2 mm – 12,7 mm	Tergantung jenis material dan pengujian
Takik (Notch)	45° sudut V-notch	Digunakan untuk konsentrasi tegangan
Kedalaman takik	2,54 mm	Jarak dari permukaan ke dasar takik
Radius dasar takik	0,25 ± 0,05 mm	Sesuai ketentuan standar ASTM D6110

3.5.4. Perencanaan spesimen uji tarik.

Perencanaan spesimen uji tarik mengacu pada standar ASTM D638 Type IV, yang digunakan untuk mengukur sifat mekanik material termoplastik. Spesimen didesain berbentuk dogbone dengan dimensi tertentu agar hasil pengujian konsisten dan sesuai standar internasional.

Tabel 3. 4 Standar ASTM D638 Type IV

Parameter	Dimensi (mm)	Keterangan
Panjang total	115	Panjang keseluruhan spesimen
Panjang gage (daerah uji)	33	Bagian sempit tempat regangan diukur
Lebar gage	6	Lebar bagian sempit
Lebar total (di bagian pegangan)	19	Lebar maksimum spesimen di ujung
Tebal spesimen	3,2	Ketebalan spesimen uji
Radius transisi (antara lebar besar dan kecil)	14	Peralihan gradual agar tegangan merata
Panjang antara penjepit (clamp length)	65	Area yang dijepit selama pengujian

3.5.5. Perencanaan Sistem Pengujian.

Penyusunan rencana system dilakukan pengujian demi menentukan pendekatan pengambilan data terhadap gaya dorong yang dihasilkan dilakukan melalui metode pengujian yang menggunakan bak perahu diuji memakai system Yang disertai oleh Kait kawat untuk menyalurkan gaya tarik dari besi holo ke timbangan, sedangkan plat digunakan sebagai penahan yang memastikan posisi keluarnya nozzle.



BAB IV

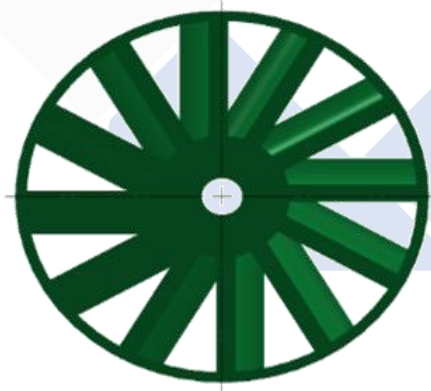
PEMBAHASAN

4.1.Desain.

Usai proses perencanaan penelitian, tahap selanjutnya yaitu merancang komponen waterjet thruster beserta sistem uji sesuai skema yang telah disusun. Geometri dan ukuran objek cetak dirancang menggunakan software pemodelan 3D software Solidwork 2020.

4.1.1. Desain Inlet Turbo Waterjet Thruster.

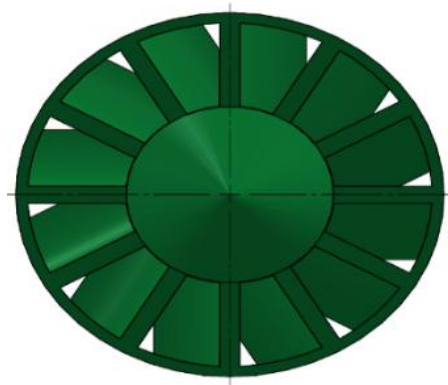
Inlet turbo yang digunakan memiliki jumlah blade inlet turbo 12 blade. Gambar inlet turbo dapat dilihat pada Gambar 4.1 dan desain detail inlet turbo dapat dilihat pada Lampiran.



Gambar 4. 1 inlet turbo 12 blade

4.1.2. Desain Outlet Turbo Waterjet Thruster.

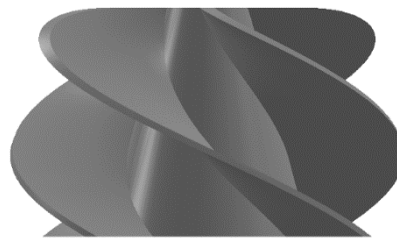
Outlet turbo yang dilengkapi dengan sejumlah bilah (blade) outlet turbo 12 blade. Tampilan outlet turbo disajikan pada Gambar 4.2 Sementara itu, rancangan detail outlet turbo dilihat pada bagian Lampiran.



Gambar 4. 2 outlet turbo 12 blade

4.1.3. Desain Impeller Waterjet Thruster.

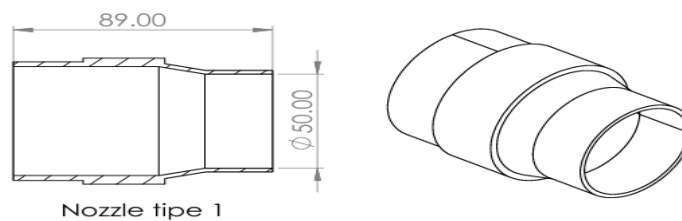
Impeller yang digunakan memiliki jumlah 4 bilah (blade). Tampilan impeller disajikan pada Gambar 3.6 Sementara itu, rancangan impeller dilihat pada bagian Lampiran.



Gambar 4. 3 impeller 4 blade

4.1.4. Desain Nozzle type 1.

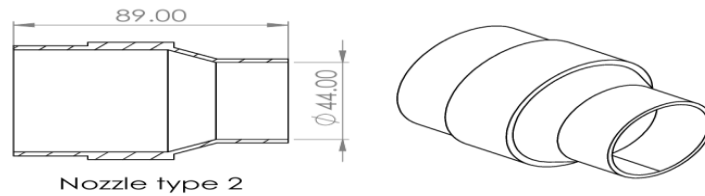
Desain Nozzle type 1 yang digunakan memiliki ukuran diameter fluida 50mm dan Panjang nozzle 89mm. Tampilan Nozzle type 1 dilihat pada gambar 4.4.



Gambar 4. 4 Nozzle type 1

4.1.5. Desain Nozzle type 2.

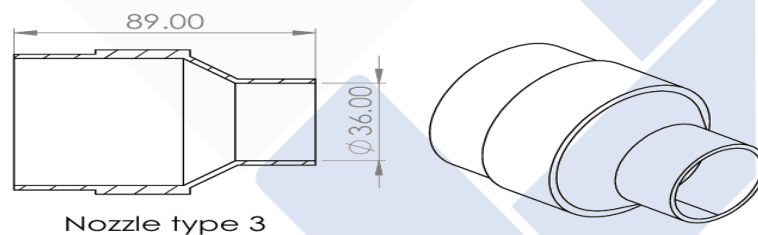
Desain Nozzle type 2 yang digunakan memiliki ukuran diameter fluida 44mm dan Panjang nozzle 89mm. Tampilan Nozzle type 2 dilihat pada gambar 4.5.



Gambar 4. 5 Nozzle type 2

4.1.6. Desain Nozzle type 3.

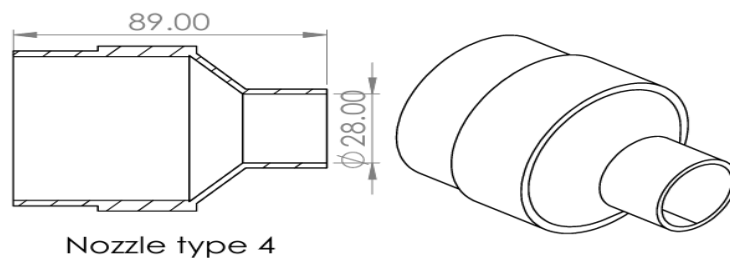
Desain Nozzle type 3 yang digunakan memiliki ukuran diameter fluida 36mm dan Panjang nozzle 89mm. Tampilan Nozzle type 2 dilihat pada gambar 4.6.



Gambar 4. 6 Nozzle type 3

4.1.7. Desain Nozzle type 4.

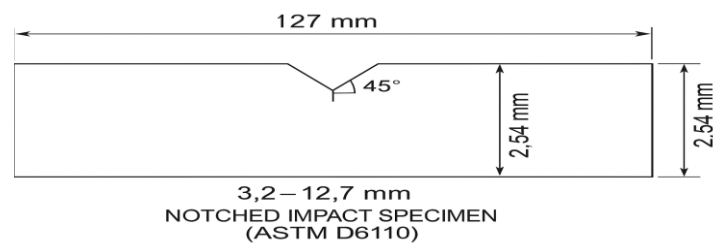
Desain Nozzle type 4 yang digunakan memiliki ukuran diameter fluida 28mm dan Panjang nozzle 89mm. Tampilan Nozzle type 2 dilihat pada gambar 4.7.



Gambar 4. 7 Nozzle type 4

4.1.8. Desain Spesimen Uji Impact.

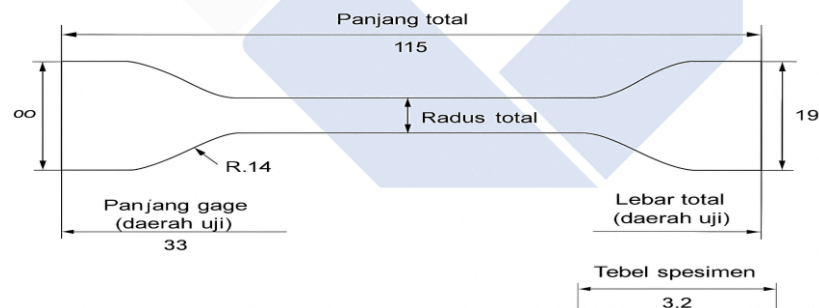
Desain spesimen uji impact mengacu pada standar ASTM D6110 dengan bentuk balok takik (notched) berukuran 127 mm × 12,7 mm × 3,2 mm, guna memastikan kesesuaian pengujian terhadap ketentuan standar. Tampilan spesimen uji impact dilihat pada gambar 4.8.



Gambar 4. 8 spesimen uji impact

4.1.9. Desain Spesimen Uji Tarik.

Desain spesimen uji tarik mengikuti standar ASTM D638 Type IV dengan dimensi dan bentuk yang telah ditentukan untuk pengujian material termoplastik secara akurat dan konsisten. Tampilan spesimen uji Tarik dilihat pada gambar 4.9.



Gambar 4. 9 spesimen uji tarik

4.2. Persiapan Alat dan Material.

4.2.1. Material penelitian.

Material yang digunakan untuk mendukung pelaksanaan penelitian ini adalah:

1. Material pencetak 3D TPU (Thermoplastic Polyurethane) berdiameter 1.75mm

2. Lem super serbaguna digunakan sebagai perekat tambahan untuk memperkuat ikatan antar lapisan hasil cetakan 3D pada komponen-komponen waterjet setelah proses pencetakan selesai dilakukan.
3. Material stainless steel dimanfaatkan sebagai poros untuk komponen cetak 3D, meliputi outlet turbo, impeller, dan inlet turbo, guna mendukung fungsi rotasi dan kekuatan struktural untuk mccccenuju ke komponen penggerak utama.
4. Material poros berbahan kuningan yang memiliki panjang 9 mm berdiameter 15 mm dan digunakan sebagai bushing pada komponen hasil 3D printing.
5. Pipa stainlees Ukuran 4 inci digunakan sebagai penutup pelindung untuk baling-baling hasil cetak 3D.
6. Komponen reducer berukuran 4x2 inci berfungsi sebagai saluran pengarah keluarnya fluida dari sistem.

4.2.2. Alat Penelitian.

Perangkat yang digunakan untuk mendukung pelaksanaan penelitian ini meliputi:

1. Mesin 3D Printing berteknologi FDM

Mesin cetak yang digunakan untuk memproduksi komponen-komponen waterjet.thruster menggunakan mesin pencetak 3D dengan metode Fused Deposition Modeling (FDM) yaiu Anet Alapan +PRO. Tampilan mesin 3D printing dilihat pada Gambar 4.10.



Gambar 4. 10 mesin 3D printing

2. Software Solidwork 2020

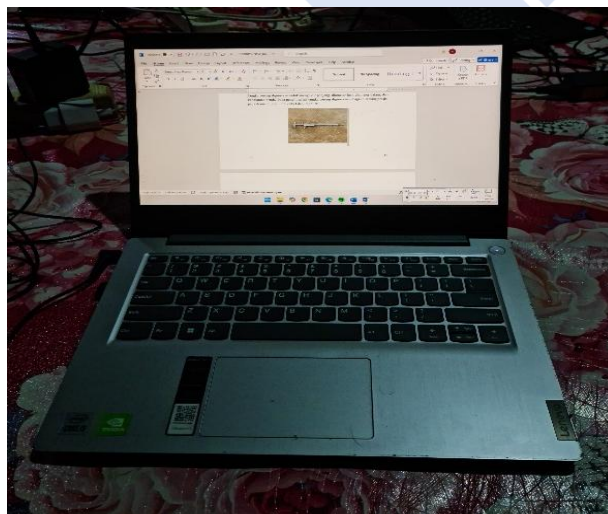
Perangkat lunak yang digunakan untuk mendukung pembuatan model CAD dalam proses pencetakan 3D pada penelitian ini adalah Solidwork 2020 dan tempat penelitian Laboratorium CAD CEM Polman Babel. Tampilan software Solidwork 2020 dilihat pada Gambar 4.11.



Gambar 4. 11 software Solidwork 2020

3. Laptop

Laptop Lenovo Ideapad Slim 3 Yang dimanfaatkan untuk merancang model 3D komponen waterjet melalui perangkat lunak Solidwork 2020 maupun digunakan untuk Melakukan pengolahan serta analisis data hasil pengujian. Tampilan Laptop Lenovo Ideapad Slim 3 dilihat pada Gambar 4.12.



Gambar 4. 12 Laptop Lenovo Ideapad Slim 3

4. Mesin Bakar

Mesin bakar 13 HP Digunakan sebagai sistem penggerak kapal, dengan spesifikasi putaran mesin mencapai 1.000 sp 3.650 nilai RPM yang telah ditentukan sebelumnya. Tampilan Mesin bakar 13 HP dapat dilihat pada Gambar 4.13.



Gambar 4. 13 Mesin bakar 13 HP

5. Perahu

Perahu berupa bak uji berisi air dimanfaatkan untuk menguji performa dorongan waterjet thruster. Tampilan Perahu dilihat pada Gambar 4.14.



Gambar 4. 14 Perahu

6. Timbangan

Timbangan digunakan untuk mengukur gaya tarik yang kemudian dikonversi menjadi besaran gaya dorong yang dihasilkan oleh mesin. Tampilan timbangan dilihat pada Gambar 4.15.



Gambar 4. 15 Timbangan

7. Caliper

Caliper digunakan untuk mengukur panjang, diameter luar, diameter dalam, dan kedalaman benda. Pada penelitian ini caliper digunakan sebagai alat ukur presisi pada diameter luar inlet, outlet dan impeller. Tampilan caliper dilihat pada Gambar 4.16.



Gambar 4. 16 Caliper

8. Gerinda tangan

Gerinda tangan digunakan untuk menghaluskan permukaan benda kerja yang tajam pada selongsong waterjet thruster. Tampilan Gerinda tangan dilihat pada Gambar 4.17.



Gambar 4. 17 Gerinda tangan

9. Mesin las

Mesin Las digunakan untuk penyambungan shaft waterjet thruster pada shaft engine dan pembuatan alat uji. Tampilan Mesin las dilihat pada Gambar 4.18.



Gambar 4. 18 Mesin las

10. Mesin gergaji potong DoAL

Mesin gergaji potong DoAL digunakan sebagai alat bantu yang penting untuk memotong material logam dengan presisi yang ditentukan. Pada penelitian ini, mesin gergaji potong digunakan untuk memotong pipa stainless steel berdiameter 4 inchi sebagai langkah awal dalam pembuatan waterjet thruster. Tampilan Mesin gergaji potong DoAL dilihat pada Gambar 4.19.



Gambar 4. 19 Mesin gergaji potong DoAL

11. Digital Tachometer

Digital tachometer merupakan alat ukur yang digunakan untuk mengetahui kecepatan putaran poros (RPM) secara akurat dan real-time. Dalam pengujian ini, digital tachometer digunakan untuk mengukur kecepatan putaran impeller pada sistem waterjet thruster. Alat ini bekerja dengan mendeteksi pantulan sinar laser dari stiker reflektif yang ditempel pada poros yang berputar, kemudian menampilkan hasil pengukuran secara digital pada layar. Tampilan Digital tachometer dilihat pada Gambar 4.20.



Gambar 4. 20 Digital Tachometer

4.3. Proses Manufaktur.

Pada tahapan ini dilakukan pembuatan waterjet thruster salah satu aspek terpenting dalam penelitian ini. Proses manufaktur waterjet thruster ini dilakukan melalui beberapa tahap utama, yaitu pencetakan 3D printing untuk menciptakan bentuk yang kompleks dan detail, pemotongan material yang presisi dan pengeleman komponen untuk penggabungan yang kuat. Selama tahap assembly ditemukan beberapa komponen-komponen pendukung yang diproses bertujuan untuk menunjang performa dari sistem waterjet thruster. Proses tersebut dilakukan melalui beberapa tahapan yang terstruktur Pada sistem waterjet thruster, tahap ini dilakukan dengan merakit setiap komponen secara bertahap hingga membentuk satu kesatuan yang utuh.

4.3.1. Proses Manufaktur Part 3D Printing.

Tahapan-tahapan proses pada pencetakan part waterjet thruster pada mesin 3D printing Anet Alapan +PRO sebagai berikut:

1. Langkah awal dimulai dengan menyalakan mesin 3D printing melalui tombol ON.
2. Selanjutnya, filamen dipasang pada jalur pemasukan filamen yang terdapat pada mesin.

3. Sebelum proses pencetakan dimulai, dilakukan proses kalibrasi pada meja cetak untuk memastikan permukaannya rata dan menjaga jarak ideal antara nozzle dengan permukaan meja.
4. Proses dilanjutkan dengan menyisipkan media penyimpanan yang memuat file G-code sebagai instruksi pencetakan ke dalam mesin yang telah diproses melalui tahapan slicing menggunakan perangkat lunak Ultimaker Cura. ketempat Kartu memori digunakan sebagai media penyimpanan eksternal pada mesin 3D printing.
5. Selanjutnya, lakukan pengaturan terhadap parameter proses yang telah direkomendasikan Pada unit printer 3D printing separate suhu nozzel, suhu bed, printing speed, cooling fan, serta printing speed.

Tabel 4. 1 Parameter 3D yang direkomendasikan

Suhu nozzle (°C)	230
Suhu Bed (°C)	70
Cooling fan (%)	0
Printing Speed (mm/s)	30
Layer thickness	0,27

6. Tahap berikutnya adalah mencetak komponen, yang dilakukan secara berlapis sesuai urutan struktur desain.
7. Setelah seluruh part waterjet thruster selesai dicetak, tahap berikutnya adalah proses pengeleman pada masing-masing komponen. Setelah proses pengeleman selesai, langkah selanjutnya yaitu tahap manufaktur lanjutan dan perakitan komponen menjadi satu kesatuan sistem waterjet thruster.

4.3.2. Tahapan manufaktur *waterjet thruster*.

1. Pemotongan pipa Stainslees

Tahap ini mencakup pemotongan pipa PVC berdiameter 4 inci dengan panjang 20 mm, pipa Stainslees berfungsi sebagai cover pelindung untuk inlet turbo,

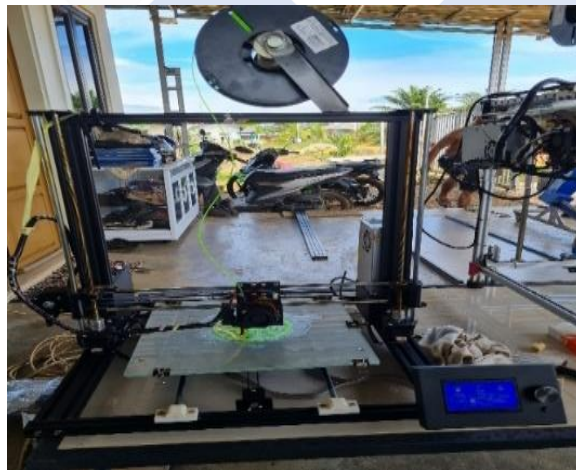
impeller, dan outlet turbo. Tampilan Pemotongan pipa stainless dilihat pada Gambar 4.21.



Gambar 4. 21 Pemotongan pipa stainless

2. Pencetakan inlet turbo, outlet turbo dan impeller pada mesin 3D printing

Pada proses ini dilakukan pencetakan inlet turbo, outlet turbo dan impeller menggunakan mesin 3D printing yang telah di desain . Tampilan Pencetakan inlet turbo, outlet turbo dan impeller pada mesin 3D printing dilihat pada Gambar 4.22.



Gambar 4. 22 Proses pencetakan pada mesin 3D printing

3. Perekatan outlet turbo ke pipa dilakukan terlebih dahulu, kemudian komponen reducer dipasang untuk melanjutkan alur sistem. Pada tahap ini, proses pengeleman dilakukan menggunakan lem super serbaguna untuk merekatkan part outlet turbo ke pipa yang telah dipotong sebelumnya. Selanjutnya,

pengeleman juga dilakukan pada komponen reducer berukuran 4x2 inci. Tampilan Pengeleman dilihat pada Gambar 4.23.



Gambar 4. 23 Pengeleman Outlet

4. Penggerindaan pada bagian luas penampang pipa Stainless
Pada proses ini dilakukan penggerindaan pada bagian luas penampang pipa stainless supaya ukuran Waterjet Thruster menjadi persisi. Gambar penggerindaan dilihat pada Gambar 4.24.



Gambar 4. 24 Penggerindaan

4.3.3. Pembuatan Dudukan *Engine*.

Pembuatan dudukan mesin untuk pengujian waterjet dilakukan dengan menggunakan material kayu dan papan sebagai bahan utama. Dudukan dirancang untuk menopang mesin berkapasitas 13 HP, dengan struktur yang kokoh dan stabil. Proses dimulai dengan pemotongan kayu dan papan sesuai dengan ukuran desain, kemudian dilanjutkan dengan perakitan menggunakan paku dan perekat kayu untuk memastikan kekuatan sambungan. Dudukan juga dilengkapi dengan penyangga tambahan di bagian bawah gunanya untuk menahan getaran dan beban mesin saat beroperasi. Tampilan Pembuatan dudukan mesin dilihat pada Gambar 4.25.



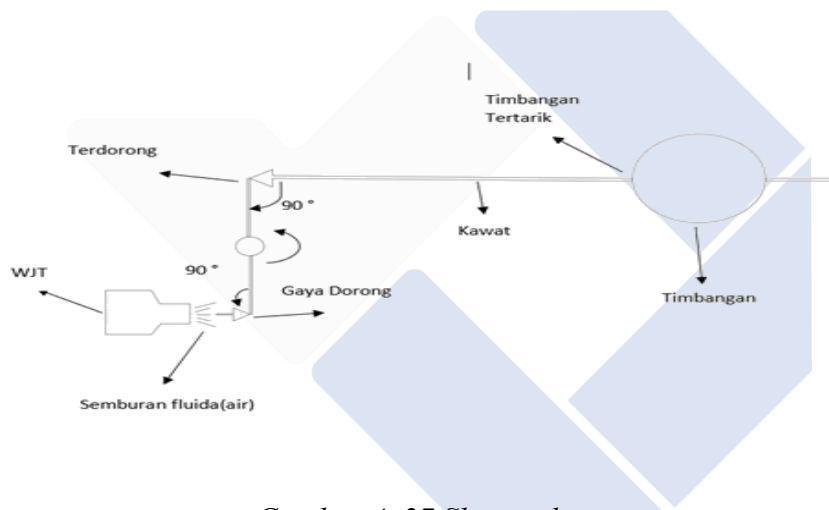
Gambar 4. 25 pembuatan dudukan mesin

4.3.4. Pembuatan alat uji.

Alat uji ini dirancang menggunakan kait kawat yang terhubung dengan plat dan besi holo sebagai media penahan beban. Kait kawat berfungsi untuk menyalurkan gaya tarik dari besi holo ke timbangan, sedangkan plat digunakan sebagai penahan yang memastikan posisi keluarnya nozzle selama proses pengujian berlangsung. Tampilan Alat uji dilihat pada Gambar 3.24 dan tampilan skema alat uji dilihat pada gambar 4.27.



Gambar 4. 26 Pembuatan alat uji



Gambar 4. 27 Skema alat uji

4.4. Proses Assembly.

Proses perakitan (assembly) waterjet thruster menggunakan material Thermoplastic Polyurethane (TPU) diawali dengan pemeriksaan dimensi dan kualitas setiap komponen hasil cetakan. Setelah itu, komponen utama seperti impeller, inlet turbo, dan outlet turbo yang terbuat dari TPU dirakit secara berurutan sesuai desain. Penyambungan antar komponen dilakukan dengan metode press-fit dan penguncian tambahan menggunakan baut atau lem khusus jika diperlukan, untuk memastikan kedap dan kekuatan struktur. Selama proses assembly, dilakukan pengecekan kesesuaian antar komponen guna menghindari celah atau

deformasi yang dapat mempengaruhi performa thruster saat diuji. Tampilan perakitan atau assembly dilihat pada Gambar 4.28.

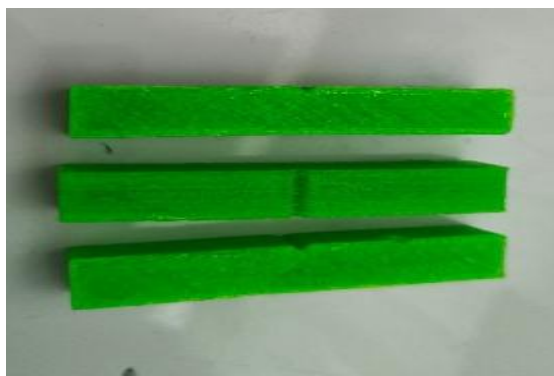


Gambar 4. 28 perakitan atau assembly

4.5. Proses Pengujian.

4.5.1. Pengujian Uji *Impact Charpy* (ASTM D6110).

Proses pengujian uji impact Charpy ASTM D6110 pada material Thermoplastic Polyurethane (TPU) dilakukan di Laboratorium Mesin Polman Babel. Spesimen diuji menggunakan alat uji impact tipe Charpy dengan prosedur yang sesuai standar ASTM D6110, di mana pendulum dijatuhkan untuk memukul spesimen hingga patah, dan energi serapan yang terjadi selama proses patahan dicatat sebagai indikator ketangguhan material. Tampilan specimen uji impact charpy dilihat pada Gambar 4.29.



Gambar 4. 29 hasil pengujian specimen uji impact charpy

4.5.2. Pengujian Uji Tarik.

Proses pengujian uji tarik ASTM D638 tipe IV pada material Thermoplastic Polyurethane (TPU) dilakukan di Laboratorium Mesin Polman Babel. Pengujian dilakukan menggunakan mesin uji tarik dengan spesimen berbentuk tipe IV sesuai standar ASTM, di mana beban tarik diberikan secara bertahap hingga spesimen mengalami putus, dan data berupa tegangan, regangan, serta modulus elastisitas direkam selama proses berlangsung. Tampilan pengujian uji tarik dilihat pada Gambar 4.30.



Gambar 4. 30 hasil pengujian spesimen uji tarik

4.5.3. Pengujian Gaya Dorong.

Proses pengujian gaya dorong waterjet thruster dilakukan di dalam bak perahu yang di isi air dengan menggunakan mesin berdaya 13 Hp dan tiga tipe nozzle yang berbeda. Setiap tipe nozzle diuji secara bergantian untuk mengetahui pengaruhnya terhadap besar gaya dorong yang dihasilkan. Gaya dorong diukur menggunakan timbangan yang dipasang pada ujung perahu, sementara putaran mesin diamati menggunakan tachometer digital guna memastikan konsistensi kondisi pengujian. Tampilan Proses pengujian gaya dorong dilihat pada Gambar 4.31.



Gambar 4. 31 proses pengujian gaya dorong

4.6. Pengambilan Data Pengujian.

Tahap ini meliputi proses pengambilan dan pengolahan data, di mana setelah dilakukan pengujian, hasil performa waterjet thruster akan dianalisis. Data yang diperoleh bertujuan untuk menentukan rancangan yang paling optimal dalam menghasilkan gaya dorong tertinggi.

BAB V

PENUTUP

5.1.Kesimpulan.

Penelitian ini berhasil menunjukkan bahwa sistem waterjet thruster yang diproduksi menggunakan teknologi 3D printing dengan material Thermoplastic Polyurethane (TPU) memiliki kinerja yang layak dan efektif untuk menghasilkan gaya dorong pada kapal ringan. Berdasarkan hasil pengujian, konfigurasi nozzle tipe 3 menghasilkan gaya dorong tertinggi sebesar 70,632 N, menunjukkan adanya pengaruh signifikan dari variasi desain nozzle terhadap performa sistem propulsi.

Material TPU menunjukkan karakteristik mekanik yang baik berdasarkan uji tarik dan impact, dengan tegangan tarik maksimum hingga 17 MPa dan nilai ketangguhan impak 1,503 J/mm², menandakan bahwa material ini cukup tangguh dan elastis untuk menahan beban dinamis selama pengoperasian.

Dengan demikian, penggunaan TPU sebagai bahan cetak komponen waterjet thruster dinilai efisien, ekonomis, dan ramah lingkungan, serta berpotensi dikembangkan lebih lanjut untuk aplikasi sistem propulsi laut yang lebih luas.

5.2.Saran.

Untuk penelitian selanjutnya, disarankan agar dilakukan pengujian lanjutan terhadap ketahanan jangka panjang material TPU saat digunakan dalam kondisi operasional yang lebih ekstrem dan terus-menerus. Selain itu, perlu dilakukan eksplorasi terhadap variasi desain nozzle, impeller, serta konfigurasi sistem propulsi lainnya untuk memperoleh gaya dorong yang lebih optimal. Penggunaan material alternatif atau campuran TPU juga dapat dipertimbangkan guna meningkatkan kekuatan mekanik dan umur pakai komponen.

DAFTAR PUSTAKA

- Alfaridzi, A. Y., & Kurniawan, A. (2022). Analisis Computational Fluid Dynamic Pengaruh Jarak Propeller Pada Contra Rotating Propeller Terhadap Gaya Dorong Pesawat Tanpa Awak. *Jtm-Iti (Jurnal Teknik Mesin Iti)*, 6(2), 87. <https://doi.org/10.31543/Jtm.V6i2.755>
- Calvo-Correas, T., Benitez, M., Larraza, I., Ugarte, L., Peña-Rodríguez, C., & Eceiza, A. (2022). Advanced And Traditional Processing Of Thermoplastic Polyurethane Waste. *Polymer Degradation And Stability*, 198, 109880. <https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2022.109880>
- Farandi, N., & Harahap, D. R. (N.D.). *Pengaruh Variasi Stator Turbo Blade Terhadap Kekuatan Dorong Turbojet Drive Produk 3d Printing Material St-Pla*.
- Graupner, N., Kühn, N., & Müssig, J. (2021). Influence Of Sample Thickness, Curvature And Notches On The Charpy Impact Strength—An Approach To Standardise The Impact Strength Of Curved Test Specimens And Biological Structures. *Polymer Testing*, 93, 106864. <https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2020.106864>
- Hasdiansah, H., Seva, M. S., Ahadiatullah, W., Viniolita, T., Oktavianto, M., & Maulidiansyah, M. A. (2024). Pengaruh Variasi Jumlah Blade Inlet Turbo Pada Waterjet Thruster Terhadap Gaya Dorong. *Jurnal Ilmiah Momentum*, 20(1), 64. <https://doi.org/10.36499/Jim.V20i1.10774>
- Jia, W., Pi, A., Zhao, Z., Wang, S., Wei, C., Jie, Z., & Huang, F. (2022). Study On Intrinsic Influence Law Of Specimen Size And Loading Speed On Charpy Impact Test. *Materials*, 15(11), 3855. <https://doi.org/10.3390/Ma15113855>
- Kobayashi, T. (2002). Progress In The Instrumented Charpy Impact Test. *Journal Of The Society Of Materials Science, Japan*, 51(9appendix), 141–150. https://doi.org/10.2472/Jsms.51.9appendix_141
- Krawiec, P., Róžański, L., Czarnecka-Komorowska, D., & Warguła, Ł. (2020). Evaluation Of The Thermal Stability And Surface Characteristics Of Thermoplastic Polyurethane V-Belt. *Materials*, 13(7), 1502. <https://doi.org/10.3390/Ma13071502>
- Lin, T. A., Lin, J.-H., & Bao, L. (2020). Polypropylene/Thermoplastic Polyurethane Blends: Mechanical Characterizations, Recyclability And Sustainable Development Of Thermoplastic Materials. *Journal Of Materials Research And Technology*, 9(3), 5304–5312. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2020.03.056>

- Lu, D., Theotokatos, G., Zhang, J., Zeng, H., & Cui, K. (2022). Comparative Assessment And Parametric Optimisation Of Large Marine Two-Stroke Engines With Exhaust Gas Recirculation And Alternative Turbocharging Systems. *Journal Of Marine Science And Engineering*, 10(3), 351. <https://doi.org/10.3390/Jmse10030351>
- Pratama, W. H. (N.D.). *Pengaruh Parameter Proses Terhadap Kuat Tarik Spesimen Uji Astm D638 Type Iv Menggunakan Filamen Esun Pla+*.
- Priedeman, W. R., & Turley, P. W. (N.D.). *Fdm® Technology Process Improvements*.
- Seva, M., Kurniawan, Z., & Hasdiansah, H. (2024). Optimasi Karakteristik Komponen Waterjet Thruster Terhadap Gaya Dorong Menggunakan Metode Taguchi. *Jurnal Inovasi Teknologi Terapan*, 2(2). <https://doi.org/10.33504/Jitt.V2i2.145>
- Solidwork. (N.D.).
- Subakti, Y., Kunci, K., & Tarik, U. (N.D.). *Pengaruh Parameter Proses Terhadap Kekuatan Tarik Filamen St-Pla Menggunakan Metode Taguchi*.
- Suzen, Z. S. (N.D.). Pengaruh Geometri Infill Terhadap Kekuatan Tarik Spesimen Uji Tarik Astm D638 Type Iv Menggunakan Filamen Pla+ Sugoi. *Jurnal Rekayasa Mesin*.
- Suzen, Z. S., Oktavianto, M., & Subhan, M. (2025). Pengaruh Variasi Jumlah Blade Impeller Pada Waterjet Thruster Terhadap Gaya Dorong. *Jurnal Teknik Mesin*, 1.
- Thala Viniolita, Hasdiansah, H., & Suzen, Z. S. (2024). Optimasi Variasi Jumlah Blade Inlet Turbo Pada Waterjet Thruster Mini Produk 3d Printing Dengan Filamen St Pla Terhadap Gaya Dorong Menggunakan Metode Taguchi. *Jurnal Inovasi Teknologi Terapan*, 2(1), 15–23. <https://doi.org/10.33504/Jitt.V2i1.139>
- Tunçel, O. (2024). Optimization Of Charpy Impact Strength Of Tough Pla Samples Produced By 3d Printing Using The Taguchi Method. *Polymers*, 16(4), 459. <https://doi.org/10.3390/Polym16040459>
- Xu, C., & Hong, Y. (2022). Rational Design Of Biodegradable Thermoplastic Polyurethanes For Tissue Repair. *Bioactive Materials*, 15, 250–271. <https://doi.org/10.1016/J.Bioactmat.2021.11.029>

Lampiran 1

DAFTAR RIWAYAT HIDUP

1.Data Pribadi

Nama Lengkap : Muhamad Aris

Tempat & Tanggal lahir : Puding Besar, 23 Maret 2003

Alamat : jln. Labu puding besar

Telp : -

Hp : 085766953625

E-Mail : m.aris230303@gmail.com

Jenis Kelamin : Laki-laki

Agama : Islam



2. Riwayat Pendidikan

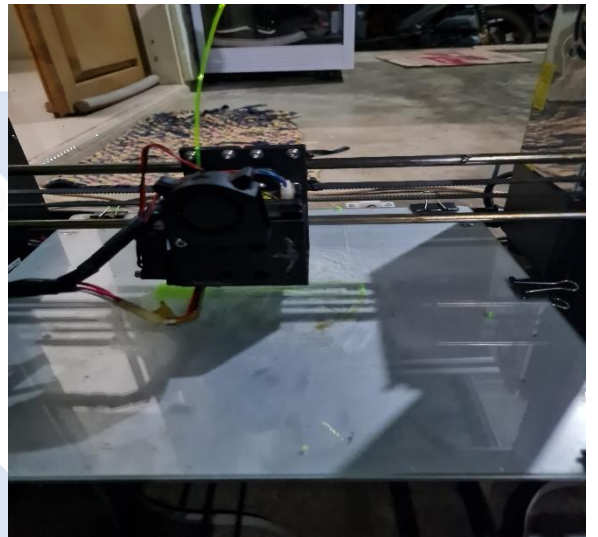
SD Negeri 3 Puding Besar : Lulus Tahun 2016

SMP Negeri 1 Puding Besar : Lulus Tahun 2019

SMA Negeri 1 Puding Besar : Lulus Tahun 2022

Lampiran 2. Gambar Kerja dan Assembly

Lampiran 3. Proses Manufaktur



Lampiran 4. Proses Pengujian





Lampiran 5. Perhitungan Manual Rata-rata dan Gaya Dorong



Lampiran 6. Data Uji Tarik ASTM D638 type D IV

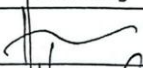
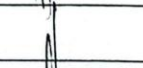
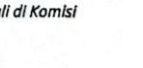


Lampiran 7. Form bimbingan dan Monitoring

 FORM BIMBINGAN PROYEK AKHIR TAHUN AKADEMIK 2025			
JUDUL	Uji performa waterjet Thruster Terhadap Gaya dorong menggunakan Material Thermoplastic polyurethane (TPU)		
Nama Mahasiswa	Muhamad Anir NIM: 1072216		
Nama Pembimbing	1. <u>Hasdiansah, S.T., M. Eng</u> 2. <u>Sugianto, S.T., M.T.</u> 3. _____		
Pertemuan Ke	Tanggal	Topik Bimbingan	Paraf dan nama Pembimbing
1	06/02/2025	- Portingan dan pengumpulan slot dan keperluan bahan water jet	
2	15/02/2025	- Perbuskan Rancangan Desain untuk (WJT)	
3	26/02/2025	- Sistematis Pencetakan pipa standar - Dan pemotongan pipa 4 buah ukuran 20cm	
4	01/03/2025	- Pemberian dan pengecatan body uji	
5	08/03/2025	- Sistematis Pencetakan inlet untuk WJT - Pencetakan inlet di 3D Printing	
6	09/03/2025	- Pencetakan Outlet untuk water jet	
7	10/03/2025	- Pencetakan outlet untuk (WJT)	
8	14/03/2025	- Sistematis pencetakan produk uji tarik	
9	19/03/2025	- Sistematis dan pencetakan produk uji impact	
10	22/03/2025	- Asambely Produk water jet	

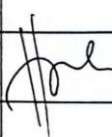
Catatan:

- Jika pertemuan bimbingan lebih dari sepuluh kali, dapat mengambil Form kembali di Komisi Proyek Akhir

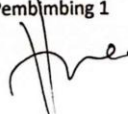
		FORM BIMBINGAN PROYEK AKHIR TAHUN AKADEMIK 2025	
JUDUL	UJI PERFORMA WATERJET THRUSTER TERHADAP GAYA DOKONK DENGAN MATERI BUKTIKAN MATERIAL TERMOPLASTIC POLYURETHANE (TPU)		
Nama Mahasiswa	MULHAMAD AKIS NIM: (0722161)		
Nama Pembimbing	1. <u>HASDIANSAM, S.S.T., M. Eng.</u> 2. <u>SUGIANTO, S.T., M.T.</u> 3. _____		
Pertemuan Ke	Tanggal	Topik Bimbingan	Paraf dan nama Pembimbing
1	28/2025/03	Pengalaman WJT ke seawings	
2	05/2025/04	Assembly WJT	
3	04/2025/04	Pembuatan duplikat WJT	
4	12/2025/04	Pembuatan duplikat WJT	
5	13/2025/04	Perakitan WJT ke engine	
6	26/2025/04	Persiapan alat dan bahan WJT	
7	28/2025/04	Pengocotan WJT dan dok WJT	
8	03/2025/05	Pembuatan Alat uji	
9	11/2025/05	Pembuatan Alat uji	
10	17/2025/05	Pembuatan Alat uji	

Catatan:

- Jika pertemuan bimbingan lebih dari sepuluh kali, dapat mengambil Form kembali di Komisi Proyek Akhir

		FORM MONITORING PROYEK AKHIR TAHUN AKADEMIK 2025	
JUDUL		Uji performa katrol-jat: Thruster Terhadap Gaya Dorong Menggunakan Material Thermoplastik poliurethane (TPU)	
Nama Mahasiswa		1. <u>Muhammad Arr</u> /NIM: <u>1072216</u> 2. /NIM: 3. /NIM: 4. /NIM: 5. /NIM:	
Monitoring ke	Tanggal	Progress Alat	Paraf Pembimbing
1.	17 / 03 2025	- Persiapan dan pengumpulan alat dan bahan - Persiapan varian produk (WRT) - Pencetakan injekt, cetak produk (WRT) - Progress Alat 50% - Penulisan 0%	 Sate
2	02 / 06 2025	- Progress Alat 95% - Penulisan 30%	

KESIAPAN ALAT UNTUK SIDANG: SIAP / BELUM (coret yang tidak terpenuhi)

Mengetahui		
Pembimbing 1  (Hardiansyah, S.T, M.Eng)	Pembimbing 2 (Sugianto, S.T, M.Eng)	Pembimbing 3 (.....)

Silahkan diatur kolom baru jika jumlah pembimbing lebih dari yang tersedia.

FORM-PPR-3-4: Bimbingan Proyek Akhir

 FORM BIMBINGAN PROYEK AKHIR TAHUN AKADEMIK			
JUDUL	Uji Performa Waterjet Ekster Bernadap pada logam dengan menggunakan material termoplastik polietilene (TPU)		
Nama Mahasiswa	 NIM:		
Nama Pembimbing	1. <u>Hasdiansah S.S.T.M. Eng</u> 2. <u>Sugianto S.T.M.T</u> 3. _____		
Pertemuan Ke	Tanggal	Topik Bimbingan	Paraf dan nama Pembimbing
21	20/05	Pembuatan alat Uji	#
22	10/06	Pembuatan Dubukan mesin	#
23	4/06	Disleksi manual	#
24	15/06	Disleksi pemasangan alat Uji	#
25	16/06	Uji Coba mesin	#
26	19/06	Pengalaman pada impeller yang selip	#
27	20/06	Uji coba WOT pada mesin	#
28	21/06	Tatacara Pengambilan Data	#
29	24/06	Pengambilan Data	#
30	26/06	Pengambilan Data	#

Catatan:

- Jika pertemuan bimbingan lebih dari sepuluh kali, dapat mengambil Form kembali di Komis' Proyek Akhir

Lampiran 8. Bukan Plagiarisme

ORIGINALITY REPORT			
14%	14%	1%	3%
SIMILARITY INDEX	INTERNET SOURCES	PUBLICATIONS	STUDENT PAPERS
PRIMARY SOURCES			
1	repository.polman-babel.ac.id Internet Source	7%	
2	pustaka.sttw.ac.id Internet Source	2%	
3	Submitted to Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung Student Paper	1%	
4	digilib.unila.ac.id Internet Source	<1%	
5	docplayer.info Internet Source	<1%	
6	www.pricepaaji.com Internet Source	<1%	
7	pt.scribd.com Internet Source	<1%	
8	zombiedoc.com Internet Source	<1%	
9	Andika Eka Putra, Tedy Rismawan. "Klasifikasi Kualitas Udara Berdasarkan Indeks Standar Pencemaran Udara (ISPU) Menggunakan Metode Fuzzy Tsukamoto", Coding Jurnal Komputer dan Aplikasi, 2023 Publication	<1%	

10	www.scribd.com Internet Source	<1 %
11	media.neliti.com Internet Source	<1 %
12	Submitted to Universitas Negeri Surabaya The State University of Surabaya Student Paper	<1 %
13	Submitted to LL Dikti IX Turnitin Consortium Student Paper	<1 %
14	Submitted to Universitas Raharja Student Paper	<1 %
15	ayobelajarilmugratis.blogspot.com Internet Source	<1 %
16	lib.unnes.ac.id Internet Source	<1 %
17	repository.trisakti.ac.id Internet Source	<1 %
18	amateur-physics.blogspot.com Internet Source	<1 %
19	bosstester.com Internet Source	<1 %
20	bunonk57.blogspot.com Internet Source	<1 %
21	repository.its.ac.id Internet Source	<1 %
22	text-id.123dok.com Internet Source	<1 %
23	wargamasyarakat.org Internet Source	<1 %