

**Pengembangan Alat Uji Tarik Mini Untuk Pengujian Material Pada
Produk Bilah Turbin Angin**

Tugas Akhir

Disusun sebagai salah satu syarat untuk
Menyelesaikan Pendidikan Sarjana Terapan Diploma IV

Bidang Kajian

Product Design

Oleh:

Alfitra Zulfiqhar

221421004



**PROGRAM STUDI TEKNOLOGI REKAYASA PERANCANGAN MANUFAKTUR
JURUSAN TEKNIK PERANCANGAN MANUFAKTUR
POLITEKNIK MANUFAKTUR BANDUNG**

2025

LEMBAR PENGESAHAN

Tugas Akhir yang berjudul:

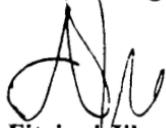
Pengembangan Alat Uji Tarik Mini Untuk Pengujian Material Pada Produk Bilah Turbin Angin

Diusulkan oleh
Alfitra Zulfiqhar
221421004

Telah disetujui, dan disahkan sebagai Tugas Akhir penutup program pendidikan
Sarjana Terapan (Diploma IV)
Politeknik Manufaktur Bandung

Bandung, 23 Juli 2025
Disetujui,

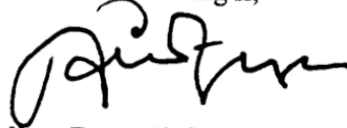
Pembimbing I,



Ayunisa Fitriani Jilan, S.T., M.T.

NIP. 199709092024062001

Pembimbing II,



M. Aditya Rovandi, S.Tr., M.Sc., Ph.D.

NIP. 199411122024061002

Disahkan,

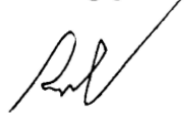
Penguji I,



Hanif Azis Budiarto, S.T., M.T

NIP. 199310042024061001

Penguji II,



M. Rizal Ardiansyah, S.Tr.T., M.T.

NIP. 199808252024061001

Penguji III,



Riona Ihsan Media, SST., MSc

NIP. 198802062010121006

PERNYATAAN ORISINALITAS

Sebagai Civitas Akademika Politeknik Manufaktur Bandung, saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Alfitra Zulfiqhar
NIM : 221421004
Jurusan : Teknik Perancangan Manufaktur
Program Studi : Teknologi Rekayasa Perancangan Manufaktur
Jenjang Studi : Diploma 4
Jenis Karya : Tugas Akhir
Judul Karya : Pengembangan Alat Uji Tarik Mini Untuk Pengujian Material Pada Produk Bilah Turbin Angin

Menyatakan bahwa:

1. Tugas akhir ini adalah hasil karya saya sendiri (orisinal) atas bimbingan para Pembimbing.
2. Dalam tugas akhir ini tidak terdapat keseluruhan atau sebagian tulisan orang lain yang saya ambil dengan cara menyalin atau meniru dalam bentuk rangkaian kalimat atau simbol yang menunjukkan gagasan atau pendapat atau pemikiran dari penulis lain, yang saya akui seolah-olah sebagai tulisan saya sendiri, dan/atau tidak terdapat bagian atau keseluruhan tulisan yang saya salin, tiru, atau yang saya ambil dari tulisan orang lain tanpa memberikan pengakuan penulis aslinya (referensi).
3. Bila kemudian terbukti bahwa saya melakukan tindakan yang bertentangan dengan hal tersebut di atas, baik disengaja atau tidak, saya bersedia menerima akibatnya sesuai dengan ketentuan yang berlaku.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Bandung
Pada tanggal : 03 Juli 2025
Yang Menyatakan,



Alfitra Zulfiqhar
NIM 221421004

PERNYATAAN HAK KEKAYAAN INTELEKTUAL (HKI)

Sebagai Civitas Akademika Politeknik Manufaktur Bandung, saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Alfitra Zulfiqhar
NIM : 221421004
Jurusan : Teknik Perancangan Manufaktur
Program Studi : Teknologi Rekayasa Perancangan Manufaktur
Jenjang Studi : Diploma 4
Jenis Karya : Tugas Akhir
Judul Karya : Pengembangan Alat Uji Tarik Mini Untuk Pengujian Material Pada Produk Bilah Turbin Angin

Menyatakan/menyetujui bahwa:

1. Segala bentuk Hak Kekayaan Intelektual terkait dengan tugas akhir tersebut menjadi milik Institusi Politeknik Manufaktur Bandung, yang selanjutnya pengelolaanya berada dibawah Jurusan dan Program Studi, dan diatur sesuai dengan ketentuan yang berlaku.
2. Memberikan kepada Politeknik Manufaktur Bandung Hak Bebas Royalti Noneklusif (Non-exclusive Royalty-Free Right) atas hasil tugas akhir saya tersebut. beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneklusif ini, maka Politeknik Manufaktur Bandung berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama-nama Dosen Pembimbing dan nama saya sebagai anggota penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Bandung
Pada tanggal : 03 Juli 2025
Yang Menyatakan,



Alfitra Zulfiqhar
NIM 221421004

MOTTO PRIBADI

إذا لم تكن معلما للناس فكن طالبا للعلم بتواضع

“Jika belum mampu menjadi guru bagi sesama, setidaknya jadilah pelajar yang rendah hati”.

“Salah bertegah Benar berpapah”

Mengerjakan TA itu diibaratkan seperti orang yang buta, buta yang diakibat kefakiran dan ketidaktahuan terhadap ilmu yang belum cukup memadai, maka dari itu harus memiliki kemauan, semangat untuk terus belajar serta memiliki sikap yang rendah hati menjadi seorang pelajar, memiliki sikap bersabar akan proses yang dijalani. Tidak semua hal bisa dijadikan instan.

“Salah di perbaiki dan benar diamankan”

KATA PENGANTAR

Segala puji bagi Allah yang hanya kepadaNya kami memuji, memohon pertolongan, dan mohon keampunan. Kami berlindung kepadaNya dari kekejian diri dan kejahatan amalan kami. Barang siapa yang diberi petunjuk oleh Allah maka tidak ada yang dapat menyesatkan, dan barang siapa yang tersesat dari jalanNya maka tidak ada yang dapat memberinya petunjuk. Dan saya bersaksi bahwa tiada sembah yang berhak disembah melainkan Allah saja, yang tiada sekutu bagiNya. Dan aku bersaksi bahwa Muhammad adalah hambaNya dan RasulNya.

Atas petunjuk dan pertolongan-Nya, Alhamdulillah penulis dapat mengerjakan Tugas Akhir ini dengan judul: “pengembangan alat uji tarik mini untuk pengujian material pada produk bilah turbin angin”. terselesaikannya Tugas Akhir ini tidak terlepas dari bantuan banyak pihak, sehingga pada kesempatan ini dengan segala kerendahan hati dan penuh rasa hormat penulis menghaturkan terima kasih yang sebesar-besarnya bagi semua pihak yang telah memberikan bantuan moril maupun materil baik langsung maupun tidak langsung dalam penyusunan proposal tugas akhir ini, terutama kepada yang saya hormati:

1. Bapak Darma Firmansyah U, S.ST, M.T, selaku Direktur Politeknik Manufaktur Bandung.
2. Bapak Bustami Ibrahim, S.S.T., M.T., IPM, selaku Ketua Jurusan Teknik Perancangan Manufaktur.
3. Ibu Dinny Indrian, S.Tr., M.T., IPP, selaku Ketua Program Studi Teknologi Rekayasa Perancangan Manufaktur.
4. Ibu Ayunisa Fitriani Jilan, S.T., M.T, selaku Pembimbing I yang telah banyak meluangkan waktu dan memberikan arahan serta motivasi terhadap penyusunan Tugas Akhir.
5. Bapak Muhamad Aditya Royandi, S.Tr., M.Sc., P.hD, selaku Pembimbing II Tugas Akhir yang telah banyak meluangkan waktu untuk diskusi, kontribusi, kolaborasi dalam penyusunan Tugas Akhir.
6. Panitia Tugas Akhir Bapak Kevin Putranda S.T, M.T, selaku ketua panitia Tugas Akhir, serta jajarannya yang tidak penulis sebutkan satu persatu

7. Teristimewa kepada kedua orang tua penulis tersayang, Ayahanda MarwanSyah Syehbi dan Ibunda Nur Indayamah yang telah menjadi orang tua terhebat. Terimakasih yang tiada terhingga atas limpahan kasih sayang dan cinta yang tulus, do'a yang tak pernah putus, materi, motivasi, nasehat, perhatian, pengorbanan, semangat yang diberikan selalu membuat penulis selalu bersyukur telah memiliki keluarga yang luar biasa. Serta Kakak dan adik penulis (Alvini Hassanah dan Shafa Zuhaira M), yang selalu menjadi motivasi terbesar penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
8. Saya menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada seluruh sahabat dan teman-teman kelas DEC-1 yang telah memberikan dukungan, bantuan, serta menunjukkan kepedulian terhadap Tugas Akhir penulis.

Akhir kata penulis menyadari bahwasannya dalam penulisan Tugas Akhir ini masih jauh dari kesempurnaan. Karena itu, penulis memohon saran dan kritik yang sifatnya membangun demi kesempurnaannya serta manfaat bagi kita semua. Aamiiin Ya Robbal Alamin.

Bandung, 03 Juli 2025

Penulis

ABSTRAK

Kegagalan struktural pada bilah turbin angin akibat beban angin ekstrem menjadi tantangan utama dalam pengembangan energi terbarukan. Salah satu penyebabnya adalah kurangnya pemahaman terhadap sifat mekanik material komposit yang digunakan, serta keterbatasan alat uji tarik konvensional yang berukuran besar dan tidak fleksibel untuk pengujian skala kecil. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan alat uji tarik mini modular untuk produk bilah turbin angin berbahan *fiberglass* dan resin epoksi. Pendekatan yang digunakan adalah metode perancangan VDI 2206, yang meliputi analisis struktur menggunakan *Finite Element Analysis* (FEA), penentuan spesifikasi teknis, dan integrasi komponen mekanik, elektronik dan informatik. Hasil penelitian menunjukkan bahwa alat uji tarik mini yang dirancang mampu menahan beban uji hingga 10.000 N, dengan faktor keamanan > 1 – 1,5 pada *gripper* dan rangka utama. Dimensi alat adalah 690 × 135 × 235 mm dengan berat ± 22 kg. Spesimen yang digunakan mengacu pada standar ASTM D3039 dan memiliki kekuatan tarik antara 150 – 200 MPa. Berdasarkan hasil simulasi dan spesifikasi yang tercapai, alat ini dinyatakan layak digunakan untuk pengujian mekanik pada bilah turbin angin skala laboratorium.

Kata Kunci: Alat Uji Tarik Mini, Bilah Turbin Angin, Komposit *Fiberglass*, ASTM D3039, FEA, VDI 2206.

ABSTRACT

Structural failure of wind turbine blades due to extreme wind loads remains a major challenge in the development of renewable energy. One contributing factor is the limited understanding of the mechanical properties of the composite materials used, as well as the inflexibility of conventional tensile testing machines, which are typically large and unsuitable for small-scale testing. This study aims to develop a modular mini tensile testing machine for wind turbine blade components made of fiberglass and epoxy resin. The design approach follows the VDI 2206 methodology, which includes structural analysis using Finite Element Analysis (FEA), definition of technical specifications, and integration of mechanical and electronic components. The results show that the developed testing device can withstand loads of up to 10,000 N, with a safety factor greater than 1.5 on both the gripper and the main frame. The device measures 690 × 135 × 235 mm and weighs approximately 22 kg. The test specimens conform to the ASTM D3039 standard and exhibit tensile strengths ranging from 150 to 200 MPa. Based on simulation results and achieved specifications, the device is considered suitable for mechanical testing of wind turbine blades at a laboratory scale.

Keywords: Mini Tensile Testing Machine, Wind Turbine Blade, Fiberglass Composite, ASTM D3039, FEA, VDI 2206

DAFTAR ISI

PERNYATAAN ORISINALITAS	ii
PERNYATAAN HAK KEKAYAAN INTELEKTUAL (HKI)	iii
MOTTO PRIBADI	iv
ABSTRAK	vii
<i>ABSTRACT</i>	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR LAMPIRAN	xix
DAFTAR SIMBOL DAN SINGKATAN	xx
BAB I PENDAHULUAN	I-1
I.1 Latar Belakang	I-1
I.2 Rumusan Masalah	I-3
I.3 Batasan Masalah	I-3
I.4 Tujuan Penelitian	I-3
I.5 Manfaat Penelitian	I-4
I.6 Sistematika Penulisan	I-4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	II-1
II.1 Kajian Pustaka	II-1
II.2 Bilah turbin angin	II-1
II.3 Material bilah turbin angin	II-2
II.3.1 Spesimen ASTM D3039	II-2
II.3.2 Ukuran sampel ASTM D3039	II-3

II.3.3 Orientasi pelokasian spesimen	II-3
II.4 Alat Uji Tarik	II-4
II.5 Jenis-jenis Alat Uji Tarik	II-5
II.5.1 Alat Uji Tarik Konvensional (<i>Universal Testing Machine</i>).....	II-5
II.5.2 Alat Uji Tarik <i>Portable</i>	II-6
II.5.3 Alat Uji Tarik Mikro	II-6
II.5.4 Alat Uji Tarik Mini.....	II-7
II.6 Penelitian terdahulu	II-7
II.7 Pengembangan Alat Uji Tarik.....	II-9
II.8 Pengujian Tarik	II-10
II.9 Elemen mesin	II-12
II.10 <i>Leadscrew</i>	II-12
II.11 Kekuatan bahan	II-13
II.12 Metode elemen hingga	II-14
II.12.1 FEA (<i>Finite Element Analysis</i>).....	II-16
II.13 Metode perancangan VDI 2206.....	II-18
II.14 Metode Penilaian VDI 2225	II-21
BAB III METODOLOGI PENYELESAIAN MASALAH	III-1
III.1 Metodologi Tugas Akhir	III-1
III.2 <i>Requirement Elicitation</i>	III-3
III.2.1 Identifikasi Masalah.....	III-3
III.2.2 Pemilihan material pada <i>blade</i> turbin angin.....	III-3
III.2.3 Penelusuran pustaka standar spesimen.....	III-5
III.2.4 Standarisasi spesimen.....	III-7
III.2.5 Daftar Tuntutan	III-12

III.2.6 Penjelasan daftar tuntutan	III-13
III.3 <i>System design</i>	III-14
III.3.1 Identifikasi mekanisme kerja alat.....	III-14
III.3.2 Menentukan fungsi dan sub fungsi	III-15
III.4 Variasi konsep setiap domain.....	III-16
III.4.1 Konsep domain mekanik.....	III-16
III.4.2 Konsep domain elektronika	III-25
III.4.3 Konsep domain informatika.....	III-33
III.4.4 Pemilihan alternatif fungsi setiap domain.....	III-35
III.4.5 <i>Domain spesifik design</i>	III-42
III.5 <i>System integration</i>	III-77
III.5.1 Penjelasan sistem integrasi dan keterkaitan antar domain	III-78
III.6 <i>Verification/Validation</i>	III-79
III.7 <i>Modelling & Model Analysis</i>	III-79
III.7.1 Analisis simulasi <i>gripper moving</i>	III-80
III.7.2 Analisis simulasi <i>gripper fixed</i>	III-85
III.7.3 Analisis simulasi rangka	III-90
III.7.4 Analisis kaki siku	III-96
III.8 <i>Product</i>	III-101
III.8.1 Spesifikasi teknis alat.....	III-101
III.8.2 Gambar kerja.....	III-103
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	IV-1
IV.1 Prosedur pengujian teoritis	IV-1
IV.1.1 Persiapan alat	IV-1
IV.1.2 Pemasangan spesimen.....	IV-2

IV.1.3 Pengaturan parameter uji	IV-3
IV.1.4 Pelaksanaan uji tarik	IV-3
IV.1.5 Penghentian otomatis	IV-8
IV.1.6 Pelepasan spesimen dan riset	IV-9
IV.2 Komparasi data literatur	IV-9
IV.2.1 Sumber referensi dan standar acuan	IV-10
IV.2.2 Perbandingan hasil simulasi dengan data literatur	IV-10
IV.3 Evaluasi desain alat dan kelayakan simulasi	IV-12
BAB V PENUTUP	V-1
V.1 KESIMPULAN	V-1
V.1.1 Kesimpulan spesimen uji	V-1
V.1.2 Kesimpulan rancangan alat	V-2
V.1.3 Kesimpulan spesimen uji dan alat uji tarik mini	V-2
V.2 SARAN	V-3
DAFTAR PUSTAKA	xxiv

DAFTAR TABEL

Tabel II. 1 Penelitian terdahulu.....	II-8
Tabel II. 2 Jenis pembeban dan tegangan yang terjadi	II-14
Tabel II. 3 Tabel parameter VDI 2206.....	II-19
Tabel II. 4 Contoh penilaian VDI 2225	II-22
Tabel III. 1 Pilihan pada material blade turbin angin.....	III-4
Tabel III. 2 Penelusuran pustaka standar material blade turbin angin	III-7
Tabel III. 3 Standar spesimen ASTM D3039.....	III-10
Tabel III. 4 Kapasitas maksimum alat uji tarik	III-11
Tabel III. 5 Daftar tuntutan	III-12
Tabel III. 6 Konsep domain mekanik.....	III-17
Tabel III. 7 Konsep domain elektronika	III-26
Tabel III. 8 Konsep domain informatika.....	III-33
Tabel III. 9 Kotak morfologi domain mekanik	III-35
Tabel III. 10 Penilaian konsep domain mekanik aspek teknis	III-39
Tabel III. 11 Penilaian domain mekanik aspek ekonomis	III-39
Tabel III. 12 Pembobotan nilai konsep domain mekanik	III-40
Tabel III. 13 Perhitungan gaya keliling.....	III-44
Tabel III. 14 Perhitungan <i>leadscrew</i>	III-45
Tabel III. 15 Perhitungan spesifikasi motor	III-46
Tabel III. 16 Perhitungan spesifikasi <i>leadscrew</i>	III-47
Tabel III. 17 Perhitungan gaya cekam spesimen	III-48
Tabel III. 18 Perhitungan defleksi <i>gripper moving</i>	III-50
Tabel III. 19 Perhitungan defleksi <i>gripper fixed</i>	III-54
Tabel III. 20 Perhitungan defleksi rangka utama	III-58
Tabel III. 21 Perhitungan kaki siku.....	III-62
Tabel III. 22 Verifikasi daftar tuntutan	III-79
Tabel III. 23 Perbandingan perhitungan dan simulasi <i>gripper moving</i>	III-85
Tabel III. 24 Perbandingan perhitungan dan simulasi <i>gripper fixed</i>	III-90
Tabel III. 25 Perbandingan perhitungan dan simulasi rangka.....	III-95
Tabel III. 26 Perbandingan perhitungan manual dan simulasi kaki siku	III-101
Tabel III. 27 Spesifikasi alat uji tarik.....	III-101
Tabel IV. 1 Perbandingan hasil simulasi dan data literatur	IV-11

Tabel V.1 Kesimpulan spesimen standar	V-1
Tabel V.2 Kesimpulan rancangan alat uji tarik.....	V-2

DAFTAR GAMBAR

Gambar I. 1 kegagalan struktural pada bilah turbin angin	I-2
Gambar II. 1 Bilah turbin angin [11]	II-1
Gambar II. 2 Dimensi spesimen ASTM D3039 [14]	II-3
Gambar II. 3 Konsep alat uji tarik [15]	II-5
Gambar II. 4 Alat Uji Tarik Konvensional [16]	II-5
Gambar II. 5 Alat Uji Tarik Portable [17]	II-6
Gambar II. 6 Alat Uji Tarik Mikro [16]	II-6
Gambar II. 7 Alat Uji Tarik Mini [18]	II-7
Gambar II. 8 Pengembangan Alat Uji Tarik Mini [18]	II-10
Gambar II. 9 Kurva tegangan – regangan [25]	II-11
Gambar II. 10 Physics to simulation.	II-16
Gambar II. 11 deformation of the tennis ball the racket net	II-17
Gambar II. 12 <i>Deformation calculate</i>	II-17
Gambar II. 13 Tensile test diagram	II-18
Gambar II. 14 V-Model VDI 2206 [30]	II-18
Gambar III. 2 Tahapan Metodologi Perancangan VDI 2206 [32]	III-2
Gambar III. 3 Turbin angin [35].	III-4
Gambar III. 4 perubahan panjang (displacement) 1 mm	III-8
Gambar III. 5 perubahan panjang (displacement) 2 mm	III-9
Gambar III. 6 perubahan panjang (displacement) 3 mm	III-9
Gambar III. 7 perubahan panjang (displacement) 4 mm	III-9
Gambar III. 8 perubahan panjang (displacement) 5 mm	III-10
Gambar III. 9 <i>Black box & Glass box</i>	III-15
Gambar III. 10 Diagram pohon fungsi	III-16
Gambar III. 11 Variasi konsep pertama	III-36
Gambar III. 12 Konsep varia kedua	III-37
Gambar III. 13 Variasi konsep ketiga	III-38
Gambar III. 14 Implementasi konsep rancangan	III-43
Gambar III. 15 <i>Draft</i> rancangan konsep terpilih	III-43
Gambar III. 16 Kataloge motor <i>stepper</i> nema 34	III-47
Gambar III. 17 Sketsa spesimen ketika di cekam	III-49
Gambar III. 18 Bentuk modelling <i>gripper moving</i>	III-51

Gambar III. 19 D.B.B defleksi <i>gripper moving</i>	III-51
Gambar III. 20 Fenoma tegangan normal	III-52
Gambar III. 21 Fenomena tegangan geser	III-52
Gambar III. 22 Bentuk modeling <i>gripper fixed</i>	III-54
Gambar III. 23 D.B.B defleksi <i>gripper fixed</i>	III-55
Gambar III. 24 Fenomena tegangan normal	III-55
Gambar III. 25 Fenomena tegangan geser	III-56
Gambar III. 26 Bentuk modeling posisi rangka	III-58
Gambar III. 27 D.B.B defleksi rangka utama	III-59
Gambar III. 28 Fenomena tegangan bending	III-59
Gambar III. 29 Fenomena tegangan geser	III-60
Gambar III. 30 Bentuk modeling kaki siku.....	III-62
Gambar III. 31 D.B.B defleksi kaki siku	III-63
Gambar III. 32 Fenomena tegangan bending	III-63
Gambar III. 33 Fenomena tegangan geser	III-65
Gambar III. 34 skematika kendali elektronika	III-68
Gambar III. 35 Tampilan HMI.....	III-69
Gambar III. 36 Flowchart diagram proses sistem	III-72
Gambar III. 37 Diagram alir fungsi button 1	III-72
Gambar III. 38 Diagram alir button 2	III-73
Gambar III. 39 Diagram alir button 3	III-73
Gambar III. 40 Diagram alir check box <i>force</i>	III-73
Gambar III. 41 Diagram alir check box <i>elongation</i>	III-74
Gambar III. 42 Diagram alir check box <i>stress</i>	III-74
Gambar III. 43 Diagram alir check box strain	III-75
Gambar III. 44 Diagram alir <i>slider control</i>	III-75
Gambar III. 45 Diagram alir text box.....	III-76
Gambar III. 46 Diagram alir display box 2	III-76
Gambar III. 47 Diagram alir display box 3	III-76
Gambar III. 48 Diagram alir display box 4	III-77
Gambar III. 49 Alat uji yang sudah terintegrasi.....	III-77
Gambar III. 50 Bentuk modeling <i>gripper moving</i>	III-80
Gambar III. 51 Pendefinisian material <i>gripper moving</i>	III-80

Gambar III. 52 Pendefinisian tumpuan pada <i>gripper moving</i>	III-81
Gambar III. 53 Pendefinisian beban yang diterima	III-81
Gambar III. 54 Proses <i>meshing</i> pada <i>gripper moving</i>	III-82
Gambar III. 55 Hasil simulasi <i>stress von mises gripper moving</i>	III-82
Gambar III. 56 Hasil <i>displacment gripper moving</i>	III-83
Gambar III. 57 Hasil simulasi <i>safety factor gripper moving</i>	III-83
Gambar III. 58 Pengamatan tegangan <i>gripper moving</i>	III-84
Gambar III. 59 Bentuk modeling <i>gripper fixed</i>	III-85
Gambar III. 60 Pendefinisian material <i>gripper fixed</i>	III-86
Gambar III. 61 Pendefinisian titik tumpuan <i>gripper fixed</i>	III-86
Gambar III. 62 Penentuan gaya yang terjadi pada <i>gripper fixed</i>	III-87
Gambar III. 63 Proses <i>meshing gripper fixed</i>	III-87
Gambar III. 64 Hasil simulasi <i>stress von mises gripper fixed</i>	III-88
Gambar III. 65 Hasil simulasi <i>displacement gripper fixed</i>	III-88
Gambar III. 66 Hasil simulasi <i>safety factor gripper fixed</i>	III-89
Gambar III. 67 Pengmatan tegangan <i>gripper fixed</i>	III-89
Gambar III. 68 Bentuk <i>modeling</i> rangka.....	III-91
Gambar III. 69 Pendefinisian material rangka.....	III-91
Gambar III. 70 Penentuan tumpuan rangka	III-92
Gambar III. 71 Penentuan gaya yang terjadi pada rangka	III-92
Gambar III. 72 Proses <i>meshing</i> pada rangka.....	III-93
Gambar III. 73 Hasil simulasi <i>stress von mises</i> rangka	III-93
Gambar III. 74 Hasil simulasi <i>displacment</i> pada rangka	III-94
Gambar III. 75 Hasil simulasi <i>safety factor</i> rangka	III-94
Gambar III. 76 Penentuan tegangan rangka.....	III-95
Gambar III. 77 Bentuk modeling kaki siku.....	III-96
Gambar III. 78 Pendefinisian material pada kaki siku.....	III-97
Gambar III. 79 Pendefinisian acuan tumpuan kaki siku	III-97
Gambar III. 80 Penentuan beban yang diterima kaki siku	III-98
Gambar III. 81 Proses <i>meshing</i> pada kaki siku	III-98
Gambar III. 82 Hasil simulasi <i>stress von mises</i> kaki siku.....	III-99
Gambar III. 83 Hasil simulasi <i>displacment</i> kaki siku	III-99
Gambar III. 84 Hasil simulasi <i>safety factor</i> kaki siku.....	III-100
Gambar III. 85 Penentuan tegangan kaki siku	III-100

Gambar IV. 1 <i>Flowchart</i> mekanisme alat uji tarik	IV-2
Gambar IV. 2 Pemasangan spesimen.....	IV-2
Gambar IV. 3 Material standar ASTM D3039.....	IV-4
Gambar IV. 4 Penentuan fixtures pada spesimen	IV-5
Gambar IV. 5 Penentuan <i>advanced</i> fitur pada spesimen	IV-5
Gambar IV. 6 Penentuan gaya pada spesimen	IV-6
Gambar IV. 7 Proses <i>meshing</i> spesimen	IV-6
Gambar IV. 8 Tegangan <i>stress von mises</i> spesimen	IV-7
Gambar IV. 9 <i>Displacement</i> spesimen.....	IV-7
Gambar IV. 10 Hasil simulasi <i>strain</i> pada spesimen	IV-8
Gambar IV. 11 Pelepasan spesimen pada <i>grip blok</i>	IV-9

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 (Data Diri).....	xix
Lampiran 2 Data Penelitian.....	xix
Lampiran 3 (Penilaian Konsep).....	xix
Lampiran 4 (Perhitungan Kontruksi)	xix
Lampiran 5 (Komponen Standar).....	xix
Lampiran 6 (<i>Draft</i> & Gambar Kerja)	xix

DAFTAR SIMBOL DAN SINGKATAN

Konteks: Gaya Keliling		
Simbol	Keterangan	Satuan
P	Pitch	mm
d_1	Diameter ulir	mm
φ	Sudut Pitch	°
β	Sudut trapesium	°
μ_G	Koefisien gesek	-
F_{maks}	Gaya tarik maksimal	N
ρ	Sudut gesek ulir	°
F_u	Gaya keliling	N
Konteks: Penentuan <i>Leadscrew</i>		
Simbol	Keterangan	Satuan
R_e	Batas mulur material	MPa
σ_{ijin}	Tegangan ijin material	MPa
d_L	Diameter <i>leadscrew</i>	mm
Konteks: Penentuan spesifikasi motor		
Simbol	Keterangan	Satuan
P_L	Pitch <i>leadscrew</i>	mm
S_L	<i>Stroke leadscrew</i>	mm
t_L	Waktu capai <i>leadscrew</i>	detik
r_L	Radius <i>leadscrew</i>	mm
T_M	Torsi motor	$N \cdot m$
n_M	Kecepatan motor	rpm
P_M	Daya motor	W

Konteks: Penentuan spesifikasi <i>leadscrew</i>		
Simbol	Keterangan	Satuan
l_L	Panjang ulir <i>leadscrew</i>	mm
L_L	Jarak linear	mm
v_L	Kecepatan linear <i>leadscrew</i>	$\frac{mm}{min}$
n_L	Kecepatan putar <i>leadscrew</i>	rpm
Konteks: Gaya cekam		
Simbol	Keterangan	Satuan
σ_u	Tegangan maksimum	MPa
A_s	Luas penampang spesimen	mm^2
μ_G	Koefisien gesek cekam	-
F_C	Gaya cekam	kN
Konteks: Gaya pengencangan baut		
Simbol	Keterangan	Satuan
F_B	Beban aksial baut	kN
μ_G	Koefisien gesek baut	-
F_S	Gaya pengencangan baut	kN
Konteks: Perhitungan defleksi <i>gripper moving & gripper fixed</i>		
Simbol	Keterangan	Satuan
A_G	Luas penampang <i>gripper moving</i> tegangan normal	mm^2
σ_N	Tegangan normal	MPa
A_G	Luas penampang <i>gripper moving</i> tegangan geser	mm^2
V_{maks}	Gaya geser tarik maksimal	N

τ	Tegangan geser	MPa
σ_{SS400}	Batasan mulur material SS400	MPa
S_F	<i>Safety Factor</i>	-
Konteks: Perhitungan defleksi rangka		
Simbol	Keterangan	Satuan
W	Beban yang diterima rangka	N
l	Jarak antar benda	mm
M	Momen pada rangka	$N \cdot mm$
I	Momen inersia rangka	mm^4
y	Jarak dari titik netral ke terluar	mm
σ_B	Tegangan bending rangka	MPa
V_{maks}	Gaya geser maksimum rangka	N
A_R	Luas penampang rangka	mm^2
Q	Momen pertama area sebagian penampang	mm^3
t_R	Lebar penampang rangka	mm
τ_R	Tegangan geser rangka	MPa
Konteks: Perhitungan defleksi kaki siku		
Simbol	Keterangan	Satuan
F_{beban}	Beban yang diterima kaki siku	kg
n	Jumlah kaki siku	-
F_{total}	Beban yang diterima keseluruhan kaki siku	kg
W	Gaya berat kaki siku	N
l	Jarak antar benda	mm
M	Momen pada kaki siku	$N \cdot m$

b	Lebar penampang kaki siku	mm
h	Tinggi penampang kaki siku	mm
I_K	Momen inersia kaki siku	mm^4
$\sigma_{feet(4)}$	Tegangan yang terjadi ke empat buah kaki siku	MPa

BAB I

PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Energi terbarukan di Indonesia, terutama energi angin, mengalami perkembangan. Berdasarkan data dari Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM), Indonesia memiliki potensi energi angin sebesar 154,6 gigawatt (GW), yang mencakup 60,4 GW dari potensi darat (*onshore*) dan 94,2 GW dari potensi lepas pantai (*offshore*) [1]. Tahun 2024, kapasitas total Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) yang terpasang di Indonesia telah mencapai 152,3 megawatt (MW), dengan dua instalasi utama berada di Sidrap sebesar 75 MW dan Jenepono sebesar 60 MW [1]. Namun demikian, kontribusi energi angin terhadap bauran energi terbarukan nasional masih tergolong kecil. Berdasarkan data dari Badan Pusat Statistik (BPS), pada tahun 2022, total kontribusi energi terbarukan dalam bauran energi nasional tercatat sebesar 12,30%. [2]. Oleh karena itu, diperlukan langkah-langkah lanjutan untuk mengoptimalkan pemanfaatan energi angin demi mencapai target bauran energi terbarukan sebesar 23% pada tahun 2025 [3].

Pemanfaatan turbin angin sebagai sumber energi listrik ramah lingkungan. Salah satu komponen penting dalam turbin angin adalah *blade* atau bilah, yang berfungsi untuk menangkap energi kinetik dari angin dan mengubahnya menjadi energi mekanik yang akan diteruskan ke generator hingga menghasilkan listrik [4]. Berdasarkan sumbu putar turbin angin. Desain bilah sangat berpengaruh terhadap efisiensi turbin angin, di mana faktor seperti panjang, bentuk aerodinamis, dan materialnya menentukan kemampuan menangkap angin [5].

Blade turbin angin yang akan dibuat ini adalah menggunakan material komposit. Komposisi nantinya terbuat dari gabungan material *fiberglass* dan resin epoksi. Material yang telah dikomposisikan ini adalah salah satu kombinasi yang menjanjikan untuk meningkatkan performa pada produk turbin angin [6], [7], [8].

Namun, salah satu permasalahan utama yang sering dihadapi dalam implementasikan turbin angin adalah kegagalan struktural pada bilah akibat kondisi angin yang ekstrem. Sebagai contoh turbin yang telah diinstalasi pada daerah Pagerungan kecil mengalami patah pada bilah akibat angin yang terlalu kencang.

Masalah ini menunjukkan bahwa desain dan proses manufaktur material bilah masih memerlukan kajian mendalam untuk memastikan keandalannya. Terlebih lagi, komposisi material dan proses manufaktur pada bilah belum terdokumentasi secara jelas, sehingga diperlukan pengujian lanjut guna memahami sifat mekanik pada material komposit yang digunakan. Seperti pada gambar I.1 berikut ini.



Gambar I. 1 kegagalan struktural pada bilah turbin angin

Sifat mekanik pada material tersebut akan dilakukan pengujian tarik sebagai salah satu metode yang sangat penting dalam mengevaluasi kekuatan material komposit yang digunakan pada bilah turbin angin. Namun, pada alat uji tarik konvensional sering kali memiliki ukuran yang lebih besar dan kurang fleksibel terhadap pengujian spesimen kecil sehingga membuat spesimen kecil akan mengalami patah lebih cepat. Oleh karena itu, perkembangan teknologi yang sekarang terhadap alat uji tarik akan dibuat dengan ukuran yang kecil atau dalam bentuk mini. Alat uji tarik mini tersebut menjadi sebuah solusi terhadap keterbatasan permasalahan tersebut, alat uji tarik mini diharapkan mampu memberikan hasil pengujian yang akurat, efisien, dan sesuai dengan kebutuhan spesifikasi pengujian material pada bilah turbin angin [9], [10].

Penelitian ini bertujuan untuk membuat alat uji tarik mini sampai tahapan *prototype* jika waktu dan anggaran yang disediakan. Diharapkan dapat dilakukan pengujian yang lebih sistematis terhadap material yang akan digunakan, sehingga dapat memberikan data yang diperlukan untuk meningkatkan kualitas dan daya tahan terhadap bilah turbin angin. Melalui pengembangan alat uji tarik mini dapat

memberikan kontribusi pada pengembangan teknologi energi terbarukan di Indonesia, khususnya dalam meningkatkan keandalan turbin angin. pembuatan alat uji tarik mini akan dibuat di daerah Pagerungan kecil Jawa Timur.

I.2 Rumusan Masalah

Dari latar belakang tersebut, dapat dirumuskan beberapa permasalahan antaranya adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana merancang alat uji tarik yang dapat dimobilisasikan dalam pengujian skala kecil?
2. Bagaimana menentukan jenis material yang standar dan terdokumentasi dengan jelas secara manufaktur?

I.3 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah pada penelitian rancangan alat uji tarik mini adalah sebagai berikut:

1. Penelitian ini hanya memfokuskan material standar pada bilah turbin angin.
2. Jenis material berupa komposit yang memanfaatkan serat kaca *fiberglass* (e-glass). sebagai material penguat (*reinforcement*) dan resin epoksi sebagai matriks.
3. Jenis spesimen yang akan diuji hanya material standar ASTM D3039.
4. Tidak mencakup pengembangan secara lanjut sistem elektronika dan informatika.

I.4 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian alat uji tarik adalah sebagai berikut:

1. Pengembangan rancangan alat uji tarik ini bersifat modular dan mini pada produk bilah turbin angin.
2. Pengujian kelayakan menggunakan standar material ASTM D3039 yaitu material komposit perpaduan antara *fiberglass* (*E-Glass*) dan resin pada produk bilah turbin angin.
3. Memberikan kontribusi pada pengembangan teknologi energi terbarukan di Indonesia, khususnya dalam meningkatkan keandalan pada produk turbin angin skala rumahan.

I.5 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian alat uji tarik mini adalah sebagai berikut:

1. Diharapkan dengan membuat rancangan alat uji tarik dalam bentuk mini mudah dalam proses pengoperasian, sehingga cocok dalam lokasi yang terbatas, serta laboratorium pendidikan.
2. Dilakukan pengujian yang lebih sistematis dan dapat memberikan data yang akurat dalam meningkatkan kualitas keandalan bilah turbin angin
3. Alat uji tarik dapat diintegrasikan dengan menggunakan perangkat lunak, sehingga memungkinkan dalam pengumpulan data secara *real-time*.

I.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan Tugas Akhir ini dibahas dengan penjabaran secara detail, di antaranya adalah sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Bagian Bab ini, berisi latar belakang masalah, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan, manfaat, sistematik rancangan, bentuk Tugas Akhir dan sistematika penulisan. Pendahuluan juga mencakup identifikasi masalah yang ingin diselesaikan dan urgensi dari topik yang diteliti.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bagian Bab ini, berisi kajian pustaka atau landasan teori yang relevan dengan topik Tugas Akhir. Diuraikan kajian turbin, spesimen, dan alat uji tarik serta penelitian-penelitian terdahulu sebagai bahan referensi, sehingga memberikan landasan teoritis yang kuat untuk mendukung solusi yang akan diusulkan.

BAB III METODELOGI PENYELESAIAN MASALAH

Bagian Bab ini, menguraikan pendekatan serta metode VDI 2206 yang digunakan untuk menyelesaikan permasalahan yang telah diidentifikasi. Isi bab ini mencakup langkah-langkah teknis mulai dari awal sampai akhir sesuai metode yang digunakan, proses prosedur penyelesaian perancangan sistem, dan tahapan pelaksanaan penelitian.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada Bab ini, berfokus pada pemaparan prosedur pengujian, analisis perbandingan data antara hasil simulasi dengan referensi jurnal, serta evaluasi menyeluruh terhadap kinerja sistem yang telah dirancang. Pembahasan disusun untuk menjawab tujuan penelitian serta menilai tingkat validitas alat berdasarkan parameter teknis yang telah ditetapkan.

BAB V PENUTUP

Bab terakhir ini, berisi hasil penelitian berupa kesimpulan secara menyeluruh dan saran yang berkaitan dengan penelitian, sebagai bahan masukan untuk pengembangan lebih lanjut.