



UNIVERSITAS DIPONEGORO

**ANALISIS KEKUATAN STRUKTUR SUDU TURBIN PELTON
POROS HORIZONTAL**

PROYEK AKHIR

**FARERIO REYVINDA FAREL
40040221650014**

**PROGRAM STUDI SARJANA TERAPAN
REKAYASA PERANCANGAN MEKANIK
SEKOLAH VOKASI UNIVERSITAS DIPONEGORO**

**SEMARANG
AGUSTUS 2025**



UNIVERSITAS DIPONEGORO

**ANALISIS KEKUATAN STRUKTUR SUDU TURBIN PELTON
POROS HORIZONTAL**

PROYEK AKHIR

**Diajukan sebagai salah satu syarat
untuk memperoleh gelar Sarjana Terapan Teknik**

**FARERIO REYVINDA FAREL
40040221650014**

**PROGRAM STUDI SARJANA TERAPAN
REKAYASA PERANCANGAN MEKANIK
SEKOLAH VOKASI UNIVERSITAS DIPONEGORO**

**SEMARANG
AGUSTUS 2025**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

**Proyek Akhir ini adalah hasil karya saya sendiri,
dan semua sumber baik yang dikutip maupun yang
dirujuk telah saya nyatakan dengan benar.**

NAMA : FARERIO REYVINDA FAREL

NIM : 40040221650014

Tanda Tangan : 

Tanggal : 5 Agustus 2025



SURAT TUGAS

SURAT TUGAS PROYEK AKHIR

No. : 450/PA/RPM/III/2025

Dengan ini diberikan Tugas Proyek Akhir untuk mahasiswa berikut:

Nama : Farerio Reyvinda Farel
NIM : 40040221650014
Judul Proyek Akhir : Analisis Kekuatan Struktur Sudu Turbin Pelton Poros Horizontal
Dosen Pembimbing : Sri Utami Handayani, S.T., M.T.
NIP : 197609152003122001

Isi Tugas:

1. Membuat desain sudu turbin Pelton
2. Menghitung gaya yang bekerja pada sudu turbin Pelton
3. Menganalisis kekuatan struktur sudu turbin Pelton dengan metode FEA
4. Menentukan desain sudu turbin Pelton yang sesuai untuk *test bed* turbin Pelton poros horizontal

Demikian agar diselesaikan selama-lamanya 6 bulan terhitung sejak diberikan tugas ini dan diwajibkan konsultasi sedikitnya 12 kali demi kelancaran penyelesaian tugas.

Semarang, 25 April 2025 Ketua
Prodi Sarjana Terapan Rekayasa
Perancangan Mekanik

Sri Utami Handayani, S.T., M.T.
NIP 197609152003122001

Tembusan:

1. Ketua Prodi
2. Bagian pengajaran
3. Mahasiswa ybs

HALAMAN PENGESAHAN

Proyek Akhir ini diajukan oleh :

NAMA : Farerio Reyvinda Farel

NIM : 40040221650014

Program Studi : Sarjana Terapan Rekayasa Perancangan Mekanik

Judul Proyek Akhir : Analisis Kekuatan Struktur Sudu Turbin Pelton Poros Horizontal

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Tim Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Terapan Teknik (S.Tr.T.) pada Program Studi Sarjana Terapan Rekayasa Perancangan Mekanik Sekolah Vokasi Universitas Diponegoro.

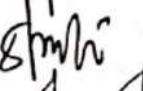
TIM PENGUJI

Pembimbing : Dr. Sri Utami Handayani., S.T., M.T.

Penguji 1 : Dr. Sri Utami Handayani., S.T., M.T.

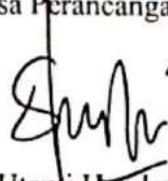
Penguji 2 : Ojo Kurdi, S.T., M.T., Ph.D.

Penguji 3 : Didik Ariwibowo, S.T., M.T.

()
()
()
()

Semarang, 13 Agustus 2025

Ketua Program Studi Sarjana Terapan
Rekayasa Perancangan Mekanik



Dr. Sri Utami Handayani, S.T., M.T.
NIP. 197609152003122001

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI PROYEK AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai civitas akademika Universita Diponegoro, saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Farerio Reyvinda Farel
NIM : 40040221650014
Jurusan/Program Studi : Sarjana Terapan Rekayasa Perancangan Mekanik
Departemen : Teknologi Industri
Fakultas : Sekolah Vokasi
Jenis Karya : Proyek Akhir

demi pengembangan ilmu pengetahuan menyetujui untuk memberika kepada Universitas Diponegoro **Hak Bebas Royalti Noneksklusif** (*Non-exclusive Royalty Free Right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul :

“Analisis Kekuatan Struktur Sudu Turbin Pelton Poros Horizontal”

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti/Noneksklusif ini Universitas Diponegoro berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Semarang
Pada Tanggal : 13 Agustus 2025

Yang menyatakan



(Farerio Reyvinda Farel)

MOTTO

“Katemenan Iku Ajine Ngungkuli Kapinteran”

- Alice Cornelia Cleverly -

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa atas segala limpahan rahmat dan kasih karunia-Nya sehingga penyusun dapat menyelesaikan masa studi dan proyek akhir yang merupakan tahap akhir dari proses untuk memperoleh gelar Sarjana Terapan Teknik di Program Studi Rekayasa Perancangan Mekanik Sekolah Vokasi Universitas Diponegoro.

Keberhasilan penulis dalam menyelesaikan proyek akhir dengan judul “Analisis Kekuatan Struktur Sudu Turbin Pelton Poros Horizontal” tidak lepas dari kehadiran orang-orang yang dengan segenap hati memberikan bantuan, bimbingan dan dukungan, baik moral maupun material. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terimakasih kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Ir. Budiyo, M.Si. selaku Dekan Sekolah Vokasi Universitas Diponegoro.
2. Ibu Dr. Sri Utami Handayani, S.T., M.T. selaku Ketua Program Studi Rekayasa Perancangan Mekanik Sekolah Vokasi Universitas Diponegoro sekaligus selaku dosen pembimbing dari proyek akhir ini.
3. Bapak Ojo Kurdi, S.T., M.T., Ph.D. selaku dosen penguji dari proyek akhir ini.
4. Bapak Didik Ariwibowo, S.T., M.T. selaku dosen penguji dari proyek akhir ini.
5. Para dosen dan tendik di Program Studi Rekayasa Perancangan Mekanik Sekolah Vokasi Universitas Diponegoro.

6. Keluarga yang selalu memberikan dukungan dan doa bagi penyusun.
7. Teman-teman satu tim proyek akhir yaitu, Alvian Irfan Ramadhan, Faris Akil Mulia Akhlis, dan Funky Mustika Asmoro.
8. Teman-teman angkatan 2021

Penulis menyadari bahwa masih terdapat keterbatasan dan kekurangan dalam proyek akhir ini. Oleh karena itu, segala kritik dan saran yang membangun bagi kebaikan tugas akhir ini sangat penulis harapkan. Semoga apa yang telah dituangkan dalam laporan proyek akhir ini dapat bermanfaat bagi siapa saja yang membutuhkan.

Semarang, 27 Juli 2025



Farerio Reyvinda Farel

ABSTRAK

ANALISIS KEKUATAN STRUKTUR SUDU TURBIN PELTON POROS HORIZONTAL

Test bed turbin Pelton poros horizontal dirancang untuk memenuhi kebutuhan sarana praktikum guna meningkatkan pemahaman dan riset mengenai konversi energi dan pemanfaatan energi terbarukan. Salah satu tahapan dalam rancang bangun *test bed* tersebut adalah perancangan sudu turbin. Penelitian ini memiliki tujuan memperoleh desain sudu yang sesuai dengan rancangan sistem *test bed*, mengingat sudu turbin menjadi bagian yang krusial dalam konversi energi dan berada pada kondisi kerja yang berat, sehingga diperlukan perancangan yang baik. Penerapan analisis struktur menjadi salah satu cara untuk memperoleh rancangan sudu yang lebih optimal. Hal tersebut menjadi fokus utama pada penelitian ini. Metode analisis struktur yang digunakan adalah *Finite Element Analysis* (FEA). FEA diterapkan pada tiga geometri desain sudu yang telah dirancang menggunakan *software* Inventor. Analisis kekuatan struktur dilakukan dengan bantuan *software* ANSYS. Pada analisis tersebut diperoleh data tegangan von-Mises, regangan von-Mises, *factor of safety* (FOS), deformasi, dan *life* dari tiga desain sudu yang ada. Selanjutnya hasil analisis tersebut dibandingkan dan diperoleh bahwa geometri paling optimal untuk *test bed* turbin yang dirancang adalah geometri 3. Dimana geometri 3 memiliki tegangan von-Mises maksimum paling rendah yaitu 9,4105 MPa, regangan von-Mises maksimum terendah dengan nilai 0,013562, memiliki FOS minimum tertinggi sebesar 2,7629, memiliki deformasi yang paling kecil yaitu 0,66054 mm, serta memiliki kemampuan menerima pembebanan berulang minimum terbanyak dengan 100.000.000 siklus sebelum risiko kegagalan struktur dapat terjadi. Dengan begitu, desain geometri 3 menjadi geometri sudu yang digunakan untuk sistem *test bed* turbin yang dirancang.

Kata kunci: Turbin Pelton, *Test Bed*, *Finite Element Analysis*, Analisis Struktur, Konversi Energi.

ABSTRACT

STRUCTURAL STRENGTH ANALYSIS OF HORIZONTAL SHAFT PELTON TURBINE BUCKET

The horizontal shaft Pelton turbine test bed is designed to meet the needs of practicum facilities to improve understanding and research on energy conversion and utilization of renewable energy. One of the stages in the design of the test bed is the design of the turbine bucket. This research has the aim of obtaining a bucket design that is in accordance with the design of the test bed system, considering that the turbine bucket is a crucial part in energy conversion and is under heavy working conditions, so a good design is needed. The application of structural analysis is one way to obtain a more optimal bucket design. This is the main focus of this research. The structural analysis method used is Finite Element Analysis (FEA). FEA is applied to three bucket design geometries that have been designed using Inventor software. The structural strength analysis was carried out with the help of ANSYS software. The analysis obtained data on von-Mises stress, von-Mises strain, factor of safety (FOS), deformation, and life of the three existing bucket designs. Furthermore, the results of the analysis were compared and it was found that the most optimal geometry for the designed turbine test bed was geometry 3. Where geometry 3 has the lowest maximum von-Mises stress at 9,4105 MPa, the lowest maximum von-Mises strain with a value of 0,013562, has the highest minimum FOS with 2,7629, has the smallest deformation with 0,66054 mm, and has the highest minimum repetitive loading ability with 100.000.000 cycles before the risk of structural failure can occur. Therefore, Design 3 geometry is selected as the bucket geometry for the designed turbine test bed system.

Keywords: Pelton Turbine, Test bed, Finite Element Analysis, Structural Analysis, Energy Conversion.

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....	ii
SURAT TUGAS	iii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI PROYEK AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS	v
MOTTO	vi
KATA PENGANTAR	vii
ABSTRAK.....	ix
<i>ABSTRACT</i>	x
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR TABEL	xvii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xviii
DAFTAR NOTASI DAN SIMBOL	xix
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	2
1.2 Rumusan Masalah	5
1.3 Tujuan.....	6
1.4 Batasan Masalah.....	6
1.5 Luaran.....	7
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	8
2.1 Turbin Air.....	9
2.2 Turbin Pelton.....	11
2.2.1 Turbin Pelton Poros Horizontal	12
2.2.2 Turbin Pelton Poros Vertikal	13
2.3 Rancang Bangun <i>Test Bed</i> Turbin Pelton.....	13
2.4 Rancang Bangun Turbin Pelton	16

2.4.1	Perhitungan Dimensi Turbin Pelton.....	17
2.4.2	Simulasi FEA Desain Sudu Turbin Pelton.....	25
2.5	Alat dan Bahan Rancang Bangun Turbin Pelton.....	34
2.5.1	Alat.....	35
2.5.2	Bahan.....	38
2.6	Penelitian Terdahulu.....	39
BAB III METODE DAN PROSEDUR PELAKSANAAN PROYEK AKHIR		44
3.1	Studi Literatur.....	46
3.2	Deskripsi Masalah	46
3.3	Perancangan Desain Sudu	47
3.4.3	Pengumpulan Data Spesifikasi Rancangan <i>Test bed</i>	48
3.4.4	Kalkulasi Dimensi Sudu Turbin.....	48
3.4.5	Pembuatan Model 3 Dimensi	55
3.4	Simulasi FEA	56
3.4.1	<i>Pre-Processing</i>	57
3.4.2	<i>Solution</i>	79
3.4.3	<i>Post-Processing</i>	80
3.5	Analisis Hasil Simulasi dan Pemilihan Desain	81
3.6	Manufaktur Sudu	81
3.7	Perakitan Turbin	83
3.8	Uji Fungsi Sudu Turbin.....	83
3.9	Penyusunan Laporan	84
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		85
4.1	Geometri 1	85
4.2	Geometri 2	89
4.3	Geometri 3	93
4.4	Perbandingan Hasil Simulasi.....	97
4.5	Uji Fungsi	100
BAB V PENUTUP.....		101
5.1	Kesimpulan.....	101
5.2	Saran	103

DAFTAR PUSTAKA	104
LAMPIRAN	107

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Jenis-jenis Turbin Air.....	10
Gambar 2.2 Turbin Pelton Poros Horizontal	12
Gambar 2.3 Turbin Pelton Poros Vertikal	13
Gambar 2.4 Skema <i>Test bed</i> Turbin Pelton	14
Gambar 2.5 Test bed Turbin Pelton	15
Gambar 2.6 Turbin Pelton.....	16
Gambar 2.7 <i>Runner</i>	17
Gambar 2.8 Sudu Turbin Pelton	17
Gambar 2.9 Mesin 3D <i>Printer</i>	35
Gambar 2.10 Mesin CNC.....	36
Gambar 2.11 Jangka Sorong	36
Gambar 2.12 Kikir Besi	37
Gambar 2.13 Tap M6	37
Gambar 2.14 Alumunium 5052	39
Gambar 2.15 Analisis pada Geometri Berbeda.....	41
Gambar 2.16 Kondisi Batas Analisis Retakan dan <i>Fatigue Life</i>	43
Gambar 3.1 Diagram Alir Rancang Bangun <i>Test Bed</i> Turbin Pelton Poros Horizontal.....	45
Gambar 3.2 Notasi Dimensi Sudu dan Turbin	49
Gambar 3.3 Geometri Sudu 1.....	55
Gambar 3.4 Geometri Sudu 2.....	56
Gambar 3.5 Geometri Sudu 3.....	56
Gambar 3.6 <i>Revolute</i>	59
Gambar 3.7 <i>Fixed</i>	59
Gambar 3.8 <i>Joint</i>	60
Gambar 3.9 Parameter <i>Skewness</i>	61
Gambar 3.10 <i>Meshing Grid Analysis</i> Geometri 1	62

Gambar 3.11 <i>Meshing Grid Analysis</i> Geometri 2.....	62
Gambar 3.12 <i>Meshing Grid Analysis</i> Geometri 3.....	63
Gambar 3.13 <i>Skewness</i> Geometri 1.....	64
Gambar 3.14 <i>Skewness</i> Geometri 2.....	65
Gambar 3.15 <i>Skewness</i> Geometri 3.....	65
Gambar 3.16 Gaya dan Kondisi Batas	66
Gambar 3.17 <i>Setup Analysis Settings</i>	67
Gambar 3.18 <i>Setup</i> Gaya Sentrifugal.....	68
Gambar 3.19 Penempatan Gaya Sentrifugal	68
Gambar 3.20 <i>Moment</i>	70
Gambar 3.21 Konfigurasi Gaya dan Posisi Sudu.....	73
Gambar 3.22 Posisi Gaya dan Sudu.....	73
Gambar 3.23 Letak Gaya Jet Air <i>Step 0</i>	74
Gambar 3.24 <i>Input</i> Gaya Jet Air <i>Step 0</i>	75
Gambar 3.25 Letak Gaya Jet Air <i>Step 1</i>	75
Gambar 3.26 <i>Input</i> Gaya Jet Air <i>Step 1</i>	75
Gambar 3.27 Letak Gaya Jet Air <i>Step 2</i>	76
Gambar 3.28 <i>Input</i> Gaya Jet Air <i>Step 2</i>	76
Gambar 3.29 Letak Gaya Jet Air <i>Step 70</i>	76
Gambar 3.30 <i>Input</i> Gaya Jet Air <i>Step 70</i>	77
Gambar 3.31 Letak Gaya Jet Air <i>Step 71</i>	77
Gambar 3.32. <i>Input</i> Gaya Jet Air <i>Step 71</i>	77
Gambar 3.33 Letak Gaya Jet Air <i>Step 72</i>	78
Gambar 3.34 <i>Input</i> Gaya Jet Air <i>Step 72</i>	78
Gambar 3.35 <i>Setup Joint Rotation</i>	79
Gambar 3.36 <i>Setup Life</i>	80
Gambar 3.37 <i>Setup 3D Printer</i>	82
Gambar 3.38 Proses <i>Printing</i>	82
Gambar 4.1 <i>Equivalent Stress</i> Geometri 1	86
Gambar 4.2 <i>Equivalent Strain</i> Geometri 1	86
Gambar 4.3 FOS Geometri 1	87

Gambar 4.4 Deformasi Geometri 1	87
Gambar 4.5 <i>Life</i> Geometri 1.....	88
Gambar 4.6 <i>Equivalent Stress</i> Geometri 2.....	90
Gambar 4.7 <i>Equivalent Strain</i> Geometri 2.....	90
Gambar 4.8 FOS Geometri 2	91
Gambar 4.9 Deformasi Geometri 2.....	91
Gambar 4.10 <i>Life</i> Geometri 2.....	92
Gambar 4.11 <i>Equivalent Stress</i> Geometri 3	94
Gambar 4.12 <i>Equivalent Strain</i> Geometri 3.....	94
Gambar 4.13 FOS Geometri 3	95
Gambar 4.14 Deformasi Geometri 3.....	95
Gambar 4.15 <i>Life</i> Geometri 3.....	96
Gambar 4.16 Uji Fungsi.....	100

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 <i>Hard-tough Photopolymer Resin Physical Properties</i>	38
Tabel 2.2 <i>Hard-tough Photopolymer Resin Mechanical Properties</i>	38
Tabel 2.3 Hasil FEA Perbandingan Material	42
Tabel 3.1 Spesifikasi Rancangan <i>Test Bed</i>	48
Tabel 3.2 <i>Physical Material Properties</i> yang Digunakan.....	58
Tabel 3.3 Mechanical Material Properties yang Digunakan.....	58
Tabel 3.4 Kualitas <i>Skewness Meshing</i>	63
Tabel 3.5 Margin <i>Error Meshing</i>	65
Tabel 3.6 <i>Solution</i>	79
Tabel 4.1 Hasil-hasil FEA Geometri Sudu Turbin Pelton	98

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1. Foto <i>Test Bed</i> Turbin Pelton Poros Horizontal.....	107
Lampiran 2. Foto Turbin Pelton Poros Horizontal.....	107
Lampiran 3. Foto Sudu Turbin Pelton	108
Lampiran 4. Rakitan <i>Test Bed</i> Turbin Pelton.....	109
Lampiran 5. Rangka <i>Test Bed</i>	110
Lampiran 6. <i>Table</i> Bawah <i>Test Bed</i>	111
Lampiran 7. <i>Table</i> Atas <i>Test Bed</i>	112
Lampiran 8. <i>Storage Water Tank</i>	113
Lampiran 9. Pompa Sentrifugal	114
Lampiran 10. Panel Kontrol.....	115
Lampiran 11. <i>Flowmeter</i>	116
Lampiran 12. Nosel	117
Lampiran 13. Kover Turbin	118
Lampiran 14. Turbin Pelton	119
Lampiran 15. Poros	120
Lampiran 16. <i>Bracket</i> Generator.....	121
Lampiran 17. <i>Pulley</i> Turbin	122
Lampiran 18. <i>Bracket</i> Poros.....	123
Lampiran 19. <i>Bracket</i> Neraca Newton.....	124
Lampiran 20. Sudu Turbin Geometri 1	125
Lampiran 21. Sudu Turbin Geometri 2	126
Lampiran 22. Sudu Turbin Geometri 3	127
Lampiran 23. <i>Runner</i> Turbin.....	128

DAFTAR NOTASI DAN SIMBOL

Simbol	Keterangan	Pertama Kali Muncul Halaman
n_q	Kecepatan Spesifik	17
n	Kecepatan Putaran Turbin	18
H	<i>Head</i> Sistem	18
Q	Debit	18
Z_{jet}	Jumlah Nosel	18
p	Jumlah Pasangan Kutub Magnet	18
f	Frekuensi	18
D_m	Diameter Lingkaran <i>Pitch</i> Roda Pelton	20
K_m	Koefisien Kecepatan Periferal	20
g	Percepatan Gravitasi	20
B	Beban	20
b	Panjang Sudu	21
N	Jumlah Sudu	21
d_0	Diameter Jet	21
R_m	Radius Lingkaran <i>Pitch</i>	22
R_c	Radius Lingkaran Tepi Potongan Sudu	22
$\cos \alpha_0$	Sudut Posisi Sudu	22
h_2	Kedalaman Sudu	23
R_a	Radius Roda	23
D_a	Diameter Roda	23
R_s	Radius Ujung <i>Splitter</i>	24
D_s	Diameter Ujung <i>Splitter</i>	24
c_1	Kecepatan Jet	27

Simbol	Keterangan	Pertama Kali Muncul Halaman
k_c	Koefisien Nosel	27
F_{jet}	Gaya Jet Air	27
ρ	Massa Jenis	27
ω	Kecepatan Angular	27
m	Massa Sudu Turbin	28
ω_G	Kecepatan Angular Generator	28
n_G	Kecepatan Putaran Generator Berdasarkan Spesifikasi	28
T_G	Torsi Generator	29
P	Daya Generator	29
η	Efisiensi Generator	29
T_1	Tegangan Kencang Tali	29
T_2	Tegangan Kendur Tali	29
e	Bilangan Euler	29
μ	Koefisien Gesek	29
θ	Sudut Kontak Tali	30
P	Gaya Tarik Tali	30
l	Panjang Lengan Gaya	30
s	Jarak T_1 Dengan T_2	30
F_g	Gaya Gesek Tali	31
F_{Rjet}	Resultan Gaya Jet Air	72
F_x	Komponen Resultan Gaya Jet Air Sejajar Sumbu X	75
F_y	Komponen Resultan Gaya Jet Air Sejajar Sumbu Y	75