



UNIVERSITAS DIPONEGORO

**PENGARUH BILANGAN *REYNOLD* TERHADAP KECEPATAN
PUTAR TURBIN GORLOV *HYDROFOIL* NACA 64-015 SUDUT
KEMIRINGAN 37°**

TUGAS AKHIR

FRANS M SIHOMBING

L2E 006 042

**FAKULTAS TEKNIK
JURUSAN TEKNIK MESIN
UNIVERSITAS DIPONEGORO
SEMARANG**

2013

TUGAS SARJANA

Diberikan Kepada : Nama : Frans M Sihombing
NIM : L2E 006 042

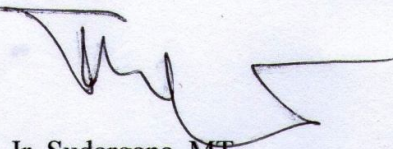
Dosen Pembimbing : Ir. Sudargana, MT
NIP. 194811251986031002

Jangka Waktu : 1 tahun, 6 bulan

Judul : Pengaruh Bilangan *Reynold* Terhadap Kecepatan Putar Turbin Gorlov *Hydrofoil* NACA 64-015 Sudut Kemiringan 37°

Isi Tugas : Melakukan pengujian turbin Gorlov dengan *hydrofoil* NACA 64-015 sudut kemiringan 37° pada kecepatan aliran yang bervariasi untuk mengetahui kecepatan turbin Gorlov tersebut.

Semarang, 13 Maret 2013
Dosen Pembimbing



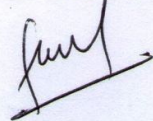
Ir. Sudargana, MT
NIP. 194811251986031002

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

**Skripsi/Tesis/Desertasi ini adalah hasil karya saya sendiri,
Dan semua sumber baik yang dikutip maupun yang dirujuk
Telah saya nyatakan dengan benar.**

Nama : Frans M Sihombing

NIM : L2E 006 042

Tanda Tangan : 

Tanggal : 11 Maret 2013

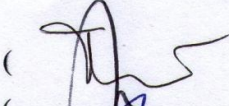

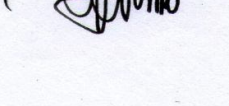

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :

Nama : Frans M Sihombing
NIM : L2E 006 042
Jurusan/Program Studi : Teknik Mesin
Judul Skripsi : Pengaruh Bilangan *Reynold* Terhadap Kecepatan Putar Turbin Gorlov *Hydrofoil* NACA 64-015 Sudut Kemiringan 37°

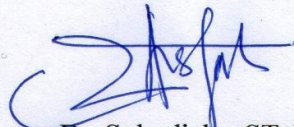
Telah berhasil dipertahankan dihadapan Tim Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Jurusan/Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro.

TIM PENGUJI

| | | |
|------------|-----------------------------|---|
| Pembimbing | : Ir. Sudargana, MT | () |
| Penguji | : Dr. Ir. Eflita Yohana, MT | () |
| Penguji | : Dr. Jamari, ST, MT | () |
| Penguji | : Sri Nugroho, PhD | () |

Semarang, 11 Maret 2013

Jurusan Teknik Mesin
Ketua,



Dr. Sulardjaka, ST, MT
NIP: 197104201998021001

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai sivitas akademika Universitas Diponegoro, saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : FRANS M SIHOMBING
NIM : L2E 006 042
Jurusan/Program Studi : TEKNIK MESIN
Fakultas : TEKNIK
Jenis Karya : SKRIPSI

demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Diponegoro **Hak Bebas Royalti Noneklusif** (*None-exclusive Royalty Free Right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul:

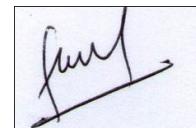
Pengaruh Bilangan *Reynold* Terhadap Kecepatan Putar Turbin Gorlov *Hydrofoil* NACA 64-015 Sudut Kemiringan 37°

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

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Semarang
Pada Tanggal : 11 Maret 2013

Yang menyatakan



Frans M Sihombing
NIM: L2E 006 042

ABSTRAK

Sekarang ini, dunia sedang mengalami krisis energi dan berdampak pada lingkungan. Hal ini dikarenakan karena adanya emisi CO₂. Selain itu, selama ini sebagian sumber energi yang digunakan adalah sumber energi konvensional yaitu sumber energi yang berasal dari fosil yang merupakan sumber energi yang tidak dapat diperbaharui sehingga jumlahnya semakin lama akan semakin berkurang. Untuk mengatasi hal tersebut, diperlukan suatu sumber energi alternatif yang terbarukan yang potensial dan yang paling optimal untuk dilakukan adalah pemanfaatan energi arus laut. Indonesia mempunyai potensi arus laut dan arus sungai yang dapat dimanfaatkan oleh turbin berkecepatan rendah, dan salah satunya adalah turbin Gorlov.

Pada Tugas Akhir ini terdiri dari persiapan dan pengujian terhadap turbin Gorlov dengan pemodelan, yaitu dengan diameter 17 cm, dengan *blade* menggunakan NACA 64-015 panjang *chord* 50 mm dan sudut 37°. Pengujian ini dilakukan pada saluran uji yang mempunyai penampang persegi panjang 600 cm x 32 cm. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui kecepatan turbin Gorlov dengan tiga variasi bilangan *Reynold* yaitu 16700, 13550, dan 12000.

Dari hasil pengujian yang dilakukan, kecepatan turbin yang dihasilkan berdasarkan variasi bilangan *Reynold* yaitu 16700, 13500 dan 12000 berturut-turut adalah 3,259 rad/s, 2,936 rad/s, dan 2,730 rad/s. Kecepatan turbin akan meningkat seiring dengan peningkatan bilangan *Reynold*.

Kata kunci : sumber energi, turbin gorlov, NACA 64-015, bilangan *Reynold*, kecepatan turbin

ABSTRACT

This time, the world is experiencing an energy crisis and impact at environment. This matter because of caused by emission of CO₂. Besides, for all this time those of energy source are used are conventional energy source derived from fossil these energy source can't be renewed so that the amount of that energy will decreases for time. To overcome the mentioned, is needed an alternative energy source which is potential to renewable and the optimization is the energy of ocean flows. Indonesia has the potential of ocean currents and river flows that can be used by low-velocity turbines, and one of them is Gorlov turbine.

In this project consist of preparation and testing of Gorlov turbine with modeling, with diameter about 17 cm, blade using NACA 64-015 with 50 mm in chord length and 37° of angle. The test is performed on a test channel which having a rectangular cross section 600 cm x 32 cm. Objective of this experiments is to determine the velocity of Gorlov turbine with using three variations of Reynold number at 16700, 13550 and 12000.

The resulting velocity of Gorlov turbine with Reynold number variation at 16700, 13350 and 12000 respectively are 3,259 rad/s, 2,936 rad/s and 2,730 rad/s. Velocity of turbine will increase with increasing of Reynold number.

Keywords : Energy, Gorlov turbine, NACA 64-015, Reynold Number, Velocity

MOTTO

❖ *Tidak ada kata terlambat sebelum berhenti berusaha*

PERSEMBAHAN

Tugas Sarjana ini kupersembahkan kepada:

- Kedua orang tuaku tercinta yang telah memberikan cinta, kasih dan sayangnya sepanjang masa serta doa dan dukungan yang selalu menyertaiku.
- Bang Ventus, kak Ruth dan kedua adek saya Ronni dan Melda yang telah memberikan dukungan dan bantuan hingga selesainya Tugas Sarjana ini
- PARHATA Semarang khususnya warga MBC yang telah memberikan semangat dan doanya hingga selesainya Tugas Sarjana ini.

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Tuhan YME atas berkat dan rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan tugas akhir ini dengan sebaik-baiknya. Tugas Akhir yang berjudul **“Pengaruh Bilangan *Reynold* Terhadap Kecepatan Turbin Gorlov *Hydrofoil* NACA 64-015 Sudut Kemiringan 37⁰”** ini dimaksudkan untuk memenuhi persyaratan dalam menyelesaikan Pendidikan Tingkat Sarjana Strata Satu (S1) pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Diponegoro.

Dalam kesempatan ini penulis ingin menyampaikan rasa hormat dan terimakasih kepada semua pihak yang telah membantu dan memberikan dorongan kepada penulis selama penyusunan Tugas Akhir ini, antara lain:

1. Ir. Sudargana, MT selaku Dosen Pembimbing, yang telah memberikan bimbingan, pengarahan-pengarahan dan masukan-masukan kepada penyusun hingga terselesainya Tugas Akhir ini.
2. Ir. Sutarto Edhisono, Dipl. HE, MT selaku Kepala Laboratorium Pengaliran Fakultas Teknik Universitas Diponegoro yang telah memberikan ijin melakukan pengujian.
3. Serta beberapa pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Dengan penuh kerendahan hati, penulis menyadari akan kekurangan dan keterbatasan pengetahuan yang penulis miliki, untuk itu penulis mengharapkan saran dan kritik yang membangun dari semua pihak. Akhir kata semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi pembaca dan semakin menambah kecintaan dan rasa penghargaan kita terhadap Teknik Mesin Universitas Diponegoro.

Semarang, 11 Maret 2012

Penulis

DAFTAR ISI

| | |
|---------------------------------------|------|
| HALAMAN JUDUL | i |
| HALAMAN TUGAS SARJANA..... | ii |
| HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS | iii |
| HALAMAN PENGESAHAN | iv |
| HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI..... | v |
| ABSTRAK | vi |
| ABSTRACT | vii |
| MOTTO..... | viii |
| PERSEMBAHAN..... | ix |
| KATA PENGANTAR | x |
| DAFTAR ISI | xi |
| DAFTAR GAMBAR..... | xiv |
| DAFTAR TABEL | xvi |
| NOMENKLATUR..... | xvii |
| | |
| BAB I PENDAHULUAN..... | 1 |
| 1.1 Latar Belakang | 1 |
| 1.2 Tujuan Penelitian..... | 2 |
| 1.3 Batasan Masalah | 3 |
| 1.4 Metode Penelitian | 3 |
| 1.5 Sistematika Penulisan | 4 |
| | |
| BAB II LANDASAN TEORI..... | 6 |
| 2.1 Sejarah Turbin Air | 6 |
| 2.2 Klasifikasi Turbin Air | 9 |
| 2.2.1 Turbin Aksial..... | 10 |
| 2.2.2 Turbin <i>Cross Flow</i> | 11 |
| 2.3 Turbin Gorlov | 12 |
| 2.3.1 Sejarah Turbin Gorlov | 12 |

| | | |
|-------------------------------------|--|----|
| 2.3.2 | Prinsip Kerja Turbin Gorlov | 13 |
| 2.3.3 | Keunggulan Turbin Gorlov | 15 |
| 2.4 | <i>Hydrofoil</i> | 15 |
| 2.4.1 | Pengertian <i>Hydrofoil</i> | 15 |
| 2.4.2 | Seri <i>Airfoil</i> NACA..... | 17 |
| 2.5 | Gaya – Gaya Pada <i>Hydrofoil</i> | 20 |
| 2.5.1 | Gaya Hambat (<i>Drag Force</i>) | 22 |
| 2.5.2 | Gaya Angkat (<i>Lift</i>) | 22 |
| 2.6 | Dasar Mekanika Fluida | 23 |
| 2.6.1 | Klasifikasi Aliran Fluida | 23 |
| 2.6.2 | Aliran <i>Inviscid</i> dan <i>Viscous</i> | 23 |
| 2.6.3 | Aliran Laminar dan Turbulen | 24 |
| 2.6.3.1 | Aliran Laminar | 24 |
| 2.6.3.2 | Aliran Turbulen | 24 |
| 2.6.3.3 | Aliran Transisi | 25 |
| 2.6.4 | Aliran <i>Compressible</i> dan <i>Incompressible</i> | 25 |
| 2.6.5 | Aliran Internal dan Eksternal..... | 26 |
| 2.7 | Konsep Dasar Sistem Konversi Arus Air | 26 |
| 2.8 | Teori Momentum Elementer Betz..... | 27 |
| 2.9 | Dasar Perhitungan Mekanika Turbin | 31 |
| 2.9.1 | Rotasi Benda Tegar | 31 |
| 2.9.2 | Kecepatan Sudut | 31 |
| 2.9.3 | Percepatan Sudut | 32 |
| 2.10 | Perhitungan Daya Turbin Gorlov | 34 |
| BAB III METODOLOGI PENELITIAN | | 38 |
| 3.1 | Diagram Alir Pengujian | 38 |
| 3.2 | Peralatan Pengujian | 40 |
| 3.2.1 | Turbin Gorlov | 40 |
| 3.2.2 | Saluran Pengujian | 40 |
| 3.2.3 | Mesin Diesel | 41 |

| | | |
|---------------------------------|---|----|
| 3.2.4 | Pompa Sentrifugal | 41 |
| 3.2.5 | Beban..... | 42 |
| 3.2.6 | <i>Thacometer</i> | 42 |
| 3.2.7 | <i>Current Meter</i> | 43 |
| 3.2.8 | Stopwatch | 43 |
| 3.2.9 | Dudukan Turbin | 44 |
| 3.2.10 | Timbangan Digital | 44 |
| 3.3 | Langkah – Langkah Pengujian | 44 |
| 3.4 | Skema Pengujian | 45 |
| 3.5 | Metodologi Pengolahan Data | 46 |
| BAB IV DATA DAN ANALISA | | 47 |
| 4.1 | Data Hasil Pengujian..... | 47 |
| 4.2 | Analisa | 48 |
| 4.2.1 | Pengukuran Pada Kecepatan Aliran $v = 0,334$ m/s..... | 48 |
| 4.2.2 | Pengukuran Pada Kecepatan Aliran $v = 0,271$ m/s..... | 53 |
| 4.2.3 | Pengukuran Pada Kecepatan Aliran $v = 0,240$ m/s..... | 58 |
| 4.3 | Pembahasan | 63 |
| 4.4 | <i>Tip Speed Ratio</i> | 64 |
| BAB V KESIMPULAN DAN SARAN..... | | 67 |
| 5.1 | Kesimpulan | 67 |
| 5.2 | Saran | 67 |

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

| | | |
|-------------|---|----|
| Gambar 2.1 | Roda air kuno | 6 |
| Gambar 2.2 | Turbin Fouyneron | 7 |
| Gambar 2.3 | Turbin Francis..... | 7 |
| Gambar 2.4 | Turbin Pelton | 8 |
| Gambar 2.5 | Turbin Kaplan..... | 9 |
| Gambar 2.6 | Klasifikasi turbin arus air berdasarkan posisi sumbu rotor terhadap arah aliran air | 10 |
| Gambar 2.7 | Turbin Aksial | 11 |
| Gambar 2.8 | Turbin <i>Cross Flow</i> | 12 |
| Gambar 2.9 | Turbin Darrieus dan Turbin Gorlov..... | 13 |
| Gambar 2.10 | Modifikasi Turbin Gorlov dengan 1 blade (a), 2 blade (b) dan 3 blade (c) | 14 |
| Gambar 2.11 | Bentuk profil dari <i>hydrofoil</i> | 16 |
| Gambar 2.12 | Gaya dan momen pada bagian <i>airfoil (hydrofoil)</i> | 21 |
| Gambar 2.13 | (a) Distribusi tekanan pada suatu airfoil ; (b) distribusi tegangan geser pada airfoil..... | 21 |
| Gambar 2.14 | Klasifikasi aliran fluida..... | 23 |
| Gambar 2.15 | Contoh aliran eksternal..... | 26 |
| Gambar 2.16 | Kondisi aliran fluida sebelum dan setelah melewati mesin konversi energi fluida sesuai dengan teori momentum Betz | 28 |
| Gambar 2.17 | Grafik perbandingan faktor daya dengan rasio kecepatan | 30 |
| Gambar 2.18 | Sebuah benda tegar berotasi pada sumbu tetap yang melalui <i>o</i> dan tegak lurus bidang gambar..... | 31 |
| Gambar 2.19 | Sebuah partikel pada benda tegar berotasi dari titik <i>p</i> ke <i>q</i> | 32 |
| Gambar 2.20 | Arah aliran serta diagram gaya pada Turbin Gorlov | 34 |
| Gambar 3.1 | Diagram alir pengujian | 38 |
| Gambar 3.2 | Prototype Gorlov 3 blade <i>hydrofoil</i> NACA 64-015 | 40 |
| Gambar 3.3 | Saluran pengujian pada Laboratorium Teknik Sipil Undip..... | 40 |
| Gambar 3.4 | Mesin diesel..... | 41 |

| | | |
|-------------|--|----|
| Gambar 3.5 | Pompa sentrifugal..... | 41 |
| Gambar 3.6 | Dudukan beban dan ring pembebanan..... | 42 |
| Gambar 3.7 | Tachometer | 42 |
| Gambar 3.8 | Current meter | 43 |
| Gambar 3.9 | Stopwatch | 43 |
| Gambar 3.10 | Dudukan turbin | 44 |
| Gambar 3.11 | Timbangan digital..... | 44 |
| Gambar 3.12 | Skema pengujian | 45 |
| Gambar 4.1 | Grafik hubungan antara kecepatan sudut ω (rad/s) dengan waktu t (sekon) pada kecepatan $v = 0,334$ m/s | 49 |
| Gambar 4.2 | Grafik hubungan kecepatan sudut dan waktu pada kecepatan $v = 0,334$ m/s | 52 |
| Gambar 4.3 | Grafik hubungan antara kecepatan sudut ω (rad/s) dengan waktu t (sekon) pada kecepatan $v = 0,271$ m/s | 54 |
| Gambar 4.4 | Grafik hubungan kecepatan sudut dengan waktu pada kecepatan $v = 0,271$ m/s | 57 |
| Gambar 4.5 | Grafik hubungan antara kecepatan sudut ω (rad/s) dengan waktu t (sekon) pada kecepatan $v = 0,240$ m/s | 59 |
| Gambar 4.6 | Grafik hubungan kecepatan sudut dengan waktu pada kecepatan $v = 0,240$ m/s..... | 62 |
| Gambar 4.7 | Grafik hubungan perbandingan kecepatan sudut turbin dan waktu pada 3 variasi kecepatan aliran | 63 |
| Gambar 4.8 | Grafik hubungan kecepatan turbin terhadap <i>tip speed ratio</i> pada tiga variasi bilangan Reynold | 66 |

DAFTAR TABEL

| | |
|--|----|
| Tabel 1.1 Kecepatan rata- rata arus laut di perairan Indonesia per-tahun | 2 |
| Tabel 2.1 Perbandingan tiap-tiap seri <i>hydrofoil</i> | 20 |
| Tabel 4.1 Tabel hasil pengujian pada kecepatan $v = 0,334$ m/s | 47 |
| Tabel 4.2 Tabel hasil pengujian pada kecepatan $v = 0,271$ m/s | 47 |
| Tabel 4.3 Tabel hasil pengujian pada kecepatan $v = 0,240$ m/s | 47 |
| Tabel 4.4 Hasil kecepatan sudut dari persamaan regresi polinomial pada kecepatan aliran $v = 0,334$ m/s | 52 |
| Tabel 4.5 Hasil kecepatan sudut dari persamaan regresi polinomial pada kecepatan aliran $v = 0,271$ m/s | 57 |
| Tabel 4.6 Hasil kecepatan sudut dari persamaan regresi polinomial pada kecepatan aliran $v = 0,240$ m/s | 62 |
| Tabel 4.7 Perbandingan kecepatan tangensial turbin terhadap <i>tip speed ratio</i> pada kecepatan sudut $v = 0,334$ m/s | 64 |
| Tabel 4.8 Perbandingan kecepatan tangensial turbin terhadap <i>tip speed ratio</i> pada kecepatan sudut $v = 0,271$ m/s | 65 |
| Tabel 4.9 Perbandingan kecepatan tangensial turbin terhadap <i>tip speed ratio</i> pada kecepatan sudut $v = 0,240$ m/s | 65 |

NOMENKLATUR

| | | |
|-----------|-------------------------|-----------|
| A | Luas rotor | m^2 |
| c | Panjang <i>chord</i> | m |
| I | Momen inersia | $kg\ m^2$ |
| P | Daya | Watt |
| P_t | Daya mekanik | Watt |
| P_t | Daya turbin | Watt |
| P_a | Daya air | Watt |
| M | Bilangan Mach | - |
| Re | Bilangan Reynold | - |
| λ | <i>Tip speed ratio</i> | - |
| r | Radius | m |
| T | Torsi | N |
| v | Kecepatan aliran fluida | m/s |
| τ | Tegangan geser | N |
| ρ | Massa jenis | kg/m^3 |
| μ | Viskositas dinamik | $N.s/m^2$ |
| ν | Viskositas kinematik | m^2/s |
| R^2 | Koefisien Determinasi | - |
| α | Percepatan sudut | rad/s^2 |
| ω | Kecepatan sudut | rad/s |
| η | Efisiensi | % |