



**UNIVERSITAS DIPONEGORO**

**PENGARUH BILANGAN *REYNOLD* TERHADAP KECEPATAN  
TURBIN GORLOV *HYDROFOIL* NACA 0012 DENGAN SUDUT  
KEMIRINGAN 45°**

**TUGAS AKHIR**

**MORIS ROSENBERG S**

**L2E 006 065**

**FAKULTAS TEKNIK  
JURUSAN TEKNIK MESIN**

**SEMARANG**

**2012**

## TUGAS SARJANA

Diberikan kepada : Nama : Moris Rosenberg S  
NIM : L2E 006 065

Dosen Pembimbing : Ir. Sudargana, MT

Jangka Waktu : 1 tahun (satu tahun)

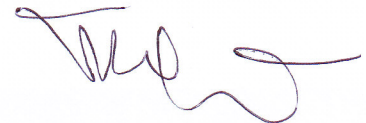
Judul : Pengaruh Bilangan *Reynold* Terhadap Kecepatan Turbin Gorlov *Hydrofoil* NACA 0012 Dengan Sudut Kemiringan 45°.

Isi Tugas : Melakukan pengujian turbin air Gorlov 3 *Blade Hydrofoil* NACA 0012 pada kecepatan aliran tertentu untuk mengetahui pengaruh bilangan *Reynold* terhadap kecepatan turbin tersebut.

Semarang, 12 Maret 2012

Menyetujui

Pembimbing




Ir. Sudargana, MT  
NIP. 194811251986031002

## HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

NAMA : Moris Rosenberg S

NIM : L2E 006 065

Tanda Tangan : 

Tanggal : 12 Maret 2012

## HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh:

Nama : Moris Rosenberg S  
NIM : L2E 006 065  
Jurusan/ Program Studi : Teknik Mesin  
Judul Skripsi : Pengaruh Bilangan *Reynold* Terhadap Kecepatan Turbin  
Gorlov *Hydrofoil* NACA 0012 Dengan Sudut  
Kemiringan 45°.

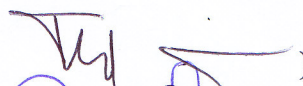

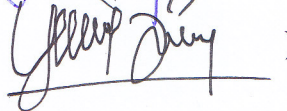
Telah berhasil dipertahankan di hadapan Tim Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro.

### TIM PENGUJI

Pembimbing : Ir. Sudargana, MT

Penguji : Dr. Ir. Dipl. Ing. Berkah Fajar TK

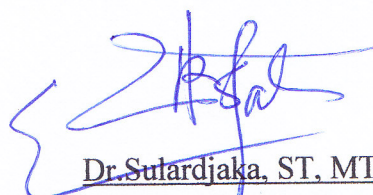
Penguji : Yusuf Umardhani, ST, MT

()  
()  
()

Semarang, 12 Maret 2012

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 di bawah ini:

Nama : Moris Rosenberg S  
NIM : L2E 006 065  
Jurusan/Program Studi : Teknik Mesin  
Fakultas : Teknik  
Jenis Karya : Tugas Akhir

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

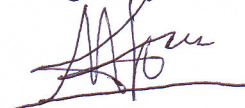
**“PENGARUH BILANGAN *REYNOLD* TERHADAP KECEPATAN TURBIN GORLOV *HYDROFOIL* NACA 0012 DENGAN SUDUT KEMIRINGAN 45°.”**

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 mempublikasikan 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 : 12 Maret 2012

Yang menyatakan



( **Moris Rosenberg S** )

## ABSTRAK

Indonesia saat ini sedang mengalami krisis energi yang disebabkan oleh beberapa hal, yaitu jumlah penduduk yang meningkat, kurangnya penambahan kapasitas pembangkit listrik, serta menipisnya cadangan bahan bakar fosil. Untuk mengatasi permasalahan ini perlu dicari sumber-sumber energi yang terbarukan. Indonesia memiliki wilayah perairan yang cukup luas, namun arus laut di perairan Indonesia memiliki kecepatan rendah, yaitu hanya sekitar 1,5 m/s. Kecuali selat-selat diantara pulau Bali, Lombok, dan Nusa Tenggara Timur yang memiliki kecepatan hingga 3,4 m/s. Maka belakangan ini dikembangkan beberapa turbin dengan skala kecil yang mampu berputar pada kecepatan rendah, sehingga cocok digunakan untuk perairan Indonesia.

Pada penelitian Tugas Akhir ini terdiri dari persiapan dan pengujian terhadap turbin Gorlov dengan pemodelan, yaitu dengan diameter 17 cm, dengan *blade* menggunakan NACA 0012 panjang *chord* 50 mm dan sudut  $45^\circ$ . Pengujian dilakukan pada sebuah saluran uji yang memiliki penampang persegi panjang 600 cm x 32 cm dengan variasi bilangan *Reynold* pada 11950, 13950, dan 16650 untuk menganalisis kecepatan yang dihasilkan turbin tersebut.

Dari hasil pengujian, kecepatan yang dihasilkan turbin Gorlov tersebut dengan variasi bilangan *Reynold* pada 11950, 13950, dan 16650 berturut-turut adalah 2,85 rad/s, 4,07 rad/s dan 6,13 rad/s.

**Kata kunci : Krisis Energi, Turbin Gorlov, NACA 0012, Bilangan Reynold dan Kecepatan.**

## **ABSTRACT**

*Indonesia is currently experiencing an energy crisis caused by several things, namely the increasing population, lack of electricity generation capacity addition, as well as the depletion of fossil fuel reserves. To overcome this problem needs to find renewable energy sources. Indonesia has a fairly extensive territorial waters, but the ocean currents in Indonesia has a low speed, which is about 1,5 m/s. Unless the straits between the Bali Island, Lombok Island, and East Nusa Tenggara which has speed up to 3,4 m/s. Recently, some small-scale turbines that capable of rotating at low speed has been developed, so this turbine is expected can be used in Indonesian ocean.*

*In this final research, consist of preparation and testing of Gorlov turbine, that is 17 cm in diameter turbine, with 50 mm chord length of NACA 0012 blade profile and 45° of angle. Tests performed on a open test channel that has a rectangular cross section 600 cm x 32 cm with variations of Reynold at 11950, 13950 and 16650 to analyze the velocity of Gorlov turbine.*

*From the test results, Gorlov turbine speed produced by variations in Reynolds number at 11,950, 13,950, and 16,650, respectively are 2.85 rad / s, 4.07 rad / s and 6.13 rad / s.*

**Keywords :Energy crisis, Gorlov Turbine, NACA 0012, Reynold Number, Velocity**

## MOTTO

---

- ❖ *Satu-satunya kekuatan mekanis yang jauh lebih kuat dari kekuatan uap, listrik dan energi atom adalah will ( kemauan ).*

## PERSEMBAHAN

---

Tugas Sarjana ini kupersembahkan kepada:

- ✚ Kedua orang tua tercinta Bapak M.A Siagian dan Ibu E. Sibarani, yang telah memberikan cinta, kasih dan sayangnya sepanjang masa serta doa restunya yang selalu menyertaiku.
- ✚ Teman-teman angkatan 2006 yang telah memberikan dukungan dan bantuan hingga selesainya Tugas Sarjana ini.
- ✚ Teman-teman kos yang telah memberikan dukungan dan bantuan 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 0012 Dengan Sudut Kemiringan 45<sup>0</sup>”** 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, 01 Februari 2012

Penulis

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL .....	i
HALAMAN TUGAS SARJANA.....	ii
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS .....	iii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iv
HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI .....	v
ABSTRAKSI.....	vi
ABSTRACT .....	vii
MOTTO.....	viii
PERSEMBAHAN.....	ix
KATA PENGANTAR .....	x
DAFTAR ISI .....	xi
DAFTAR GAMBAR .....	xiv
DAFTAR TABEL.....	xvii
NOMENKLATUR.....	xviii
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Tujuan Penelitian .....	2
1.3 Batasan Masalah .....	2
1.4 Metode Penelitian.....	3
1.5 Sistematika Penulisan.....	4

BAB II DASAR TEORI.....	6
2.1 Dasar Mekanika Fluida .....	6
2.1.1 Klasifikasi Aliran Fluida .....	6
2.1.2 Aliran <i>Inviscid</i> dan <i>Viscous</i> .....	6
2.1.3 Aliran Laminar dan Turbulen .....	7
2.1.3.1. Aliran Laminar .....	8
2.1.3.2. Aliran Turbulen .....	8
2.1.3.3. Aliran Transisi.....	8
2.1.4 Aliran <i>Compressible</i> dan <i>Incompressible</i> .....	9
2.1.5 Aliran Internal dan Eksternal.....	9
2.2 Sejarah Turbin Air.....	10
2.3 Klasifikasi Turbin Air .....	13
2.3.1 Turbin Aksial .....	14
2.3.2 Turbin <i>Cross Flow</i> .....	15
2.4 Turbin Gorlov .....	15
2.5 <i>Hydrofoil</i> .....	18
2.6 Gaya-Gaya Pada <i>Hydrofoil</i> .....	21
2.6.1. Gaya Hambat ( <i>Drag Force</i> ).....	22
2.6.2. Gaya Angkat ( <i>Lift</i> ) .....	22
2.7 Dasar Perhitungan Mekanika Turbin .....	23
2.7.1. Rotasi Benda Tegar .....	23
2.7.2. Kecepatan Sudut .....	24
2.7.3. Percepatan Sudut.....	25
2.8 Konsep Dasar Sistem Konversi Arus Air .....	26
2.9 Teori Momentum Elementer Betz.....	27
2.10 Perhitungan Daya Turbin Gorlov.....	30
 BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	 34
3.1 Diagram Alir Pengujian.....	34
3.2 Peralatan Pengujian .....	37
3.2.1 Turbin Gorlov .....	37

3.2.2	Saluran Pengujian .....	37
3.2.3	Mesin Diesel .....	38
3.2.4	Pompa Sentrifugal .....	38
3.2.5	Beban .....	38
3.2.6	<i>Tachometer</i> .....	39
3.2.7	<i>Current Meter</i> .....	39
3.2.8	<i>Stopwatch</i> .....	40
3.2.9	Dudukan Turbin .....	40
3.2.10	Timbangan Digital .....	41
3.3	Langkah-Langkah Pengujian .....	41
3.4	Skema Pengujian .....	42
3.5	Metode Pengolahan Data .....	42
BAB IV DATA DAN ANALISA .....		46
4.1	Data Hasil Pengujian .....	46
4.2	Analisa .....	47
4.2.1	Pengukuran Pada Kecepatan Aliran $v = 0,239$ m/s .....	47
4.2.2	Pengukuran Pada Kecepatan Aliran $v = 0,279$ m/s .....	51
4.2.3	Pengukuran Pada Kecepatan Aliran $v = 0,333$ m/s .....	55
4.3	Pembahasan .....	59
BAB V PENUTUP .....		62
5.1	Kesimpulan .....	62
5.2	Saran .....	62

## DAFTAR PUSTAKA

## LAMPIRAN

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Konsumsi tenaga listrik Indonesia.....	1
Gambar 2.1	Klasifikasi aliran fluida.....	6
Gambar 2.2	Daerah aliran <i>inviscid</i> dan aliran <i>viscous</i> .....	7
Gambar 2.3	Roda air kuno.....	10
Gambar 2.4	Turbin Fouyneron.....	11
Gambar 2.5	Turbin Francis.....	11
Gambar 2.6	Turbin Pelton.....	12
Gambar 2.7	Turbin Kaplan.....	13
Gambar 2.8	Klasifikasi turbin arus air berdasarkan posisi sumbu rotor terhadap arah aliran air.....	14
Gambar 2.9	Turbin aksial.....	14
Gambar 2.10	Turbin <i>Cross Flow</i> .....	15
Gambar 2.11	Turbin arus air Gorlov.....	16
Gambar 2.12	Efisiensi berbagai turbin arus air.....	17
Gambar 2.13	Bentuk profil <i>Hydrofoil</i> .....	18
Gambar 2.14	Gaya dan momen pada bagian <i>airfoil</i> ( <i>hydrofoil</i> ).....	21
Gambar 2.15(a)	Distribusi tekanan pada suatu <i>airfoil</i> , (b) Distribusi tegangan geser pada <i>airfoil</i> .....	21
Gambar 2.16	Resultan gaya aerodinamik pada <i>airfoil</i> .....	22
Gambar 2.17	Sebuah benda tegar berotasi pada sumbu tetap yang melalui <i>O</i> dan tegak lurus bidang gambar.....	23

Gambar 2.18 Gerak rotasi suatu titik terhadap pusat $O$ .....	24
Gambar 2.19 Kondisi aliran fluida sebelum dan setelah melewati mesin konversi energy fluida sesuai dengan teori momentum Betz .....	27
Gambar 2.20 Grafik perbandingan faktor daya dengan rasio kecepatan .....	30
Gambar 2.21 Arah aliran serta diagram gaya pada turbin Gorlov .....	31
Gambar 3.1 Diagram alir pengujian .....	34
Gambar 3.2 Prototype Gorlov 3 <i>Blade Hydrofoil</i> NACA 0012 .....	37
Gambar 3.3 Saluran pengujian .....	37
Gambar 3.4 Mesin <i>diesel</i> .....	38
Gambar 3.5 Pompa sentrifugal .....	38
Gambar 3.6 Dudukan beban dan ring pembebanan .....	39
Gambar 3.7 <i>Tachometer</i> .....	39
Gambar 3.8 <i>Current Meter</i> .....	40
Gambar 3.9 <i>Stopwatch</i> .....	40
Gambar 3.10 Dudukan turbin .....	41
Gambar 3.11 Timbangan digital .....	41
Gambar 3.12 Skema pengujian .....	42
Gambar 4.1 Grafik hubungan antara kecepatan sudut turbin $\omega$ (rad/s) terhadap waktu $t$ (sekon) pada kecepatan $v = 0,239$ m/s dengan 5 pengukuran .....	48
Gambar 4.2 Grafik hubungan kecepatan sudut $\omega$ (rad/s) data hasil regresi dan data hasil pengujian vs waktu ( $t$ ) pada kecepatan fluida $v = 0,239$ m/s .....	51
Gambar 4.3 Grafik hubungan antara kecepatan sudut turbin $\omega$ (rad/s) terhadap waktu $t$ (sekon) pada kecepatan $v = 0,279$ m/s dengan 5 pengukuran .....	52

Gambar 4.4 Grafik hubungan kecepatan sudut $\omega$ (rad/s) data hasil regresi dan data hasil pengujian vs waktu ( $t$ ) pada kecepatan fluida $v = 0,279$ m/s.....	55
Gambar 4.5 Grafik Hubungan Antara Kecepatan Sudut Turbin $\omega$ (rad/s) terhadap waktu $t$ (sekon) Pada Kecepatan $v = 0,333$ m/s dengan 5 Pengukuran .	56
Gambar 4.6 Grafik hubungan kecepatan sudut $\omega$ (rad/s) data hasil regresi dan data hasil pengujian vs waktu ( $t$ ) pada kecepatan fluida $v = 0,333$ m/s.....	58
Gambar 4.7 Grafik hubungan perbandingan kecepatan sudut turbin dan waktu pada 3 variasi kecepatan aliran.....	59
Gambar 4.8 Grafik hubungan kecepatan sudut turbin terhadap <i>tip speed ratio</i> pada 3 variasi bilangan reynold.....	61

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Perbandingan Seri <i>Airfoil</i> NACA.....	20
Tabel 4.1 Tabel hasil pengujian pada kecepatan $v = 0,239$ m/s .....	46
Tabel 4.2 Tabel hasil pengujian pada kecepatan $v = 0,279$ m/s .....	46
Tabel 4.3 Tabel hasil pengujian pada kecepatan $v = 0,333$ m/s .....	47
Tabel 4.4 Data kecepatan sudut perkiraan pada $v = 0,239$ m/s .....	50
Tabel 4.5 Data kecepatan sudut perkiraan pada $v = 0,279$ m/s .....	54
Tabel 4.6 Data kecepatan sudut perkiraan pada $v = 0,333$ m/s .....	57
Tabel 4.7 Perbandingan kecepatan tangensial turbin terhadap <i>tip speed ratio</i> pada aliran dengan kecepatan 0.239 m/s .....	60
Tabel 4.8 Perbandingan kecepatan tangensial turbin terhadap <i>tip speed ratio</i> pada aliran dengan kecepatan 0.279 m/s .....	60
Tabel 5.1 Perbandingan kecepatan tangensial turbin terhadap <i>tip speed ratio</i> pada aliran dengan kecepatan 0.333 m/s .....	61

## 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	-
$\lambda$	<i>Tip speed ratio</i>	-
$r$	Radius	$m$
$T$	Torsi	$N$
$v$	Kecepatan aliran fluida	$m/s$
$\tau$	Tegangan geser	$N$
$\rho$	Massa jenis	$kg/m^3$
$\mu$	Viskositas dinamik	$N.s/m^2$
$\nu$	Viskositas kinematik	$m^2/s$
$R^2$	Koefisien Determinasi	-
$\alpha$	Percepatan sudut	$rad/s^2$
$\omega$	Kecepatan sudut	$rad/s$
$\eta$	Efisiensi	%