

**ANALISIS ALIRAN UDARA YANG MELALUI FAN
DAN INTEGRASINYA KE DALAM SISTEM
CIRCULAR HOVERCRAFT PROTO X-1**

SKRIPSI

Oleh

FEBRI RAZAQR RAHIM

04 04 02 029 Y



**SKRIPSI INI DIAJUKAN UNTUK MELENGKAPI SEBAGIAN
PERSYARATAN MENJADI SARJANA TEKNIK**

**DEPARTEMEN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS INDONESIA
GENAP 2007/2008**

PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi dengan judul :

**” ANALISIS ALIRAN UDARA YANG MELALUI FAN DAN
INTEGRASINYA KE DALAM SISTEM
CIRCULAR HOVERCRAFT PROTO X-1”**

yang dibuat untuk melengkapi sebagian persyaratan menjadi Sarjana Teknik pada Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Indonesia, sejauh yang saya ketahui bukan merupakan tiruan atau duplikasi dari skripsi yang sudah dipublikasikan dan atau pernah dipakai untuk mendapatkan gelar kesarjanaan dilingkungan Universitas Indonesia maupun di Perguruan Tinggi atau instansi manapun, kecuali bagian yang sumber informasinya dicantumkan sebagaimana mestinya.

Depok, 23 Juni 2008

Febri Razaqur Rahim

NPM :040402029Y

PENGESAHAN

Skripsi dengan judul :

**ANALISIS ALIRAN UDARA YANG MELALUI FAN DAN INTEGRASINYA
KE DALAM SISTEM *CIRCULAR HOVERCRAFT*
PROTO X-1**

dibuat untuk melengkapi sebagian persyaratan menjadi Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Mesin Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Skripsi ini telah diujikan pada sidang ujian skripsi pada tanggal 1 Juli 2008 dan dinyatakan memenuhi syarat/sah sebagai skripsi pada Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Indonesia.

Depok, 1 Juli 2008

Dosen Pembimbing

Dr. Ir. Ahmad Indra Siswantara

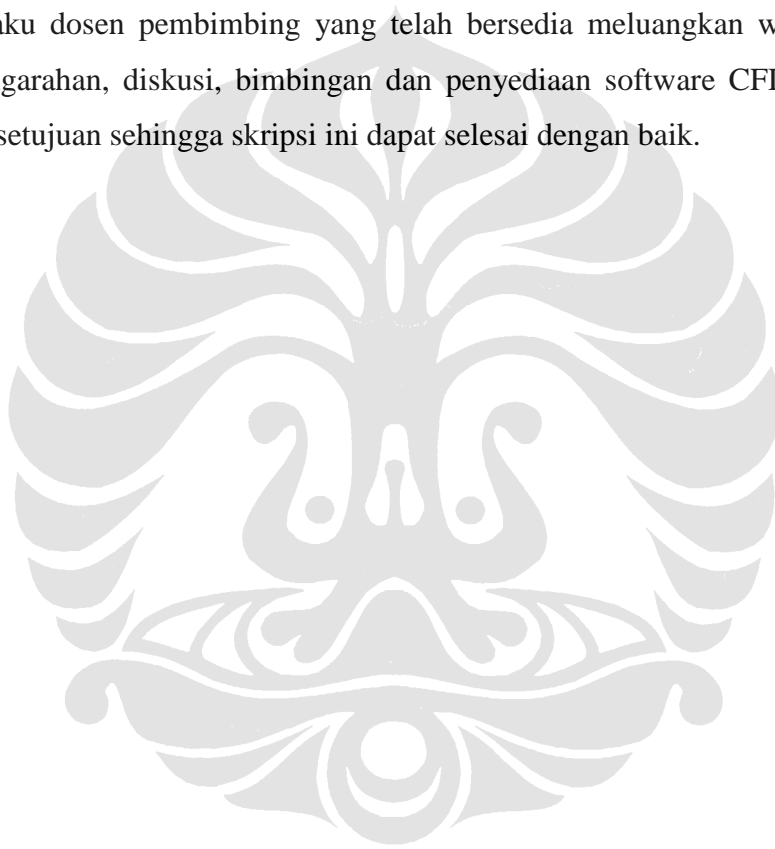
NIP. 131 999 249

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada :

Dr. Ir. Ahmad Indra Siswantara

selaku dosen pembimbing yang telah bersedia meluangkan waktu untuk memberi pengarahan, diskusi, bimbingan dan penyediaan software CFD EFD.Lab 8.1 serta persetujuan sehingga skripsi ini dapat selesai dengan baik.



DAFTAR ISI

PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI	ii
PENGESAHAN	iii
UCAPAN TERIMA KASIH	iv
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vi
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
DAFTAR SIMBOL	xv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 LATAR BELAKANG	1
1.2 PERUMUSAN MASALAH	2
1.3 TUJUAN PENELITIAN	3
1.4 PEMBATASAN MASALAH	3
1.5 METODOLOGI PENELITIAN	3
1.6 SISTEMATIKA PENULISAN	4
BAB II LANDASAN TEORI	5
2.1 PRINSIP KERJA INTEGRATED HOVERCRAFT	5
2.1.1 Hovercraft dengan Sistem Angkat dan Dorong Terintegrasi	5
2.1.2 Metode Perhitungan Thrust dan Lift Performance	8
2.2 TEORI FAN(<i>AXIAL FLOW, MIXED FLOW, DAN CENTRIFUGAL FAN</i>)	14
2.2.1 Konsep Tekanan Pada Fan	17
2.2.2 Fan Aliran Aksial (<i>Axial-Flow Fan</i>)	19
2.2.3 Fan Aliran Campuran (<i>Mixed-Flow Fan</i>)	25
2.3 PRINSIP DASAR COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS (CFD)	28
2.3.1 Persamaan Atur CFD	28
2.3.2 Strategi Penyelesaian Dalam CFD	28
2.3.3 Diskritisasi Menggunakan <i>Finite-Difference Method</i>	29
2.3.4 Diskritisasi Menggunakan <i>Finite-Volume Method</i>	29
2.3.5 Kondisi Batas (<i>Boundary Condition</i>)	30
2.3.6 Karakteristik Grid	31
2.3.7 Pengaruh Jumlah Grid Terhadap Tingkat Keakurasian Hasil	33
2.3.8 Tahapan-tahapan Proses CFD	33
BAB III DESAIN CIRCULAR HOVERCRAFT PROTO X-1 DAN PROSES OPTIMASI DESAIN	35
3.1 DESAIN CIRCULAR HOVERCRAFT PROTO X-1	35
3.2 EVALUASI KINERJA SISTEM CIRCULAR HOVERCRAFT	

PROTO X-1	40
3.3 PROSES OPTIMASI DESAIN CIRCULAR HOVERCRAFT	43
3.3.1 Modifikasi <i>Multi-wing</i> Fan	45
3.3.2 Penggunaan <i>Mixed-Flow</i> Fan	46
3.3.3 Integrasi <i>Mixed-Flow</i> Fan Ke dalam Sistem Circular Hovercraft Proto X-1	48
BAB IV MODEL EKSPERIMENTAL FAN AKSIAL DAN PENGOLAHAN DATA VALIDASI	51
4.1 MODEL EKSPERIMENTAL MULTI-WING FAN	51
4.1.1 Instalasi Alat Uji (<i>Experimental Set-up</i>)	51
4.1.2 Prosedur Pengujian	54
4.1.3 Kalibrasi Alat Uji	55
4.2 PENGUKURAN KENAIKAN TEKANAN STATIK DAN KECEPATAN ARAH AKSIAL FAN	56
4.3 PENGAMBILAN DAN PENGOLAHAN DATA EKSPERIMEN	57
BAB V PEMODELAN DENGAN COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS (CFD)	58
5.1 TAHAPAN SIMULASI CFD	58
5.1.1 Kondisi Operasi Aliran Fluida (<i>Model Analysis</i>)	59
5.1.2 Pendekatan <i>Rotating Reference Frame</i>	59
5.1.3 Kondisi Batas (<i>Boundary Conditions</i>)	60
5.1.4 Pembantuan Mesh (<i>Mesh Generation</i>)	61
5.2 SIMULASI ALIRAN UDARA PADA FAN	64
5.2.1 Simulasi Aliran Udara Pada <i>Axial Flow Fan</i>	64
5.2.2 Simulasi Aliran Udara Pada <i>Mixed Flow Fan</i>	65
5.2.3 Simulasi Integrasi <i>Mixed Flow Fan</i> ke dalam sistem Circular Hovercraft	66
5.3 VALIDASI DAN VERIFIKASI HASIL SIMULASI	67
5.3.1 Validasi Hasil Simulasi dengan data eksperimen	67
5.3.2 Verifikasi Hasil Simulasi dengan Pengujian <i>Mesh Dependency Test</i>	71
BAB VI HASIL DAN PEMBAHASAN	75
6.1 ANALISA ALIRAN UDARA PADA FAN AKSIAL	75
6.1.1 Hasil Simulasi Aliran Udara Pada Fan Aksial Dengan Variasi Jumlah Blade/ Sudu	75
6.1.2 Hasil Simulasi Aliran Udara Pada Fan Aksial Dengan Variasi Sudut Pemasangan Blade	80
6.2 ANALISA ALIRAN UDARA PADA <i>MIXED-FLOW FAN</i>	88
6.2.1 Hasil Simulasi Aliran Udara Pada <i>Mixed Flow Fan</i>	88
6.2.2 Kurva Performance Karakteristik Simulasi <i>Mixed Flow Fan</i>	95
6.3 SIMULASI INTEGRASI KE DALAM SISTEM CIRCULAR HOVERCRAFT	98

BAB VII KESIMPULAN	101
7.1 KESIMPULAN	101
7.2 SARAN	101
DAFTAR ACUAN	103
DAFTAR PUSTAKA	104
LAMPIRAN	105



DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1. Skema Integrated Hovercraft	5
Gambar 2.2. Kurva Performansi Engine dari mesin Rotax 503 DCDI	9
Gambar 2.3. Fan Aliran (a) Radial dan (b) Aksial	15
Gambar 2.4. Perbandingan karakteristik Jenis Mesin Turbo	15
Gambar 2.5. Specific Speed Pada Mesin Turbo (Pompa, Kompresor, dan Fan)	16
Gambar 2.6. Kurva Performa Fan Untuk Fan Centrifugal dan Aksial	16
Gambar 2.7. Kondisi Kenaikan Tekanan pada Fan Aliran Aksial	19
Gambar 2.8. Diameter hub dan diameter tip fan aksial	20
Gambar 2.9. Jarak blade dan panjang chord dari fan	21
Gambar 2.10. Sudut pemasangan blade dan arah aliran fluida (udara) Pada fan	22
Gambar 2.11. Segitiga kecepatan pada sisi inlet dan outlet fan	23
Gambar 2.12. Efek perubahan jumlah blade pada aliran udara	24
Gambar 2.13. Pengaruh perubahan sudut blade terhadap perubahan aliran udara	25
Gambar 2.14. Arah aliran mixed-flow fan dibandingkan jenis fan lainnya	25
Gambar 2.15. Mixed-Flow Fan dengan ducting dan motor listrik	26
Gambar 2.16. Jenis Mixed Flow Fan Berdasarkan Karakteristik Sudu	26
Gambar 2.17. Grafik Head/kenaikan Tekanan $H(\Delta P)$ vs Debit Aliran (Q) Pada karakteristik sudu yang berbeda	27
Gambar 2.18. Komponen kecepatan pada mixed flow fan dengan tipe sudu <i>Backward-curved</i>	27
Gambar 2.19. Pembentukan grid pada aliran yang melewati sebuah airfoil ²⁹	
Gambar 2.20. Diskritisasi dengan metode volume-hingga	30
Gambar 2. 21 Bentuk sel-sel grid	32
Gambar 2.22. Teknologi Mesh EFD.Lab 8 : <i>EFD's Rectangular Adaptive Meshing</i>	32
Gambar 2.23. Pengaruh Jumlah Grid Terhadap Hasil Simulasi	33
Gambar 3.1. Sistem Propulsi <i>Circular Hovercraft</i> Proto X-1	36
Gambar 3.2. Sistem Pembagi Aliran (<i>Splitter dan Ducting</i>) dan <i>Rudder</i> (Manuver dan Rem) dari <i>Circular Hovercraft</i> Proto X-1	37
Gambar 3.3. Sistem Angkat dan sistem Bag dari <i>Circular Hovercraft</i> <i>Proto X-1</i>	38
Gambar 3.4. <i>Circular Hovercraft</i> Proto X-1	39
Gambar 3.5. Tampak Bagian dalam dari <i>Circular Hovercraft</i> Proto X-1	40
Gambar 3.6. Arah aliran udara pada saat hovercraft bergerak	41
Gambar 3.7. Distribusi tekanan <i>hovercraft</i>	41
Gambar 3.8. Diagram Alir Proses Optimasi Desain <i>Circular Hovercraft</i> Proto X-1	44
Gambar 3.9. Konfigurasi Multi-wing Fan dengan (a) 10 Blade/sudu. (b) 5 Blade/sudu	45

Gambar 3.10	Multi-wing Fan dengan variasi sudut pemasangan blade	46
Gambar 3.11	Desain Mixed Flow Fan yang akan di simulasikan	47
Gambar 3.12	Mixed Flow Fan dengan Ducting	47
Gambar 4.1	Manometer Miring	51
Gambar 4.2	Instalasi Alat Uji <i>Multi-wing Fan</i>	52
Gambar 4.3	Skematik Alat Uji Multi-wing Fan	53
Gambar 4.4	Model Eksperimental Multi-wing Fan	53
Gambar 4.5	Pengukuran tekanan staik dan dinamik menggunakan Tabung pitot	55
Gambar 4.6	Kondisi outlet fan (a) Tanpa halangan, (b) Penghalang outlet fan (50 %), (c) Penghalang outlet fan (75 %)	56
Gambar 4.7	Pengukuran kenaikan tekanan statik dengan manometer miring	56
Gambar 4.8	Grafik Kenaikan Tekanan Statik vs Putaran Motor hasil Eksperimen	57
Gambar 4.9	Grafik Debit Aliran vs Putaran Motor Hasil Eksperimen	57
Gambar 5.1	Diagram Alir Pemodelan CFD	58
Gambar 5.2	Pendekatan <i>rotating reference frame</i>	59
Gambar 5.3	<i>Basic Mesh</i> Pada Simulasi Mixed Flow Fan	61
Gambar 5.4	<i>Computational Mesh</i> untuk aliran fluida pada simulasi <i>mixed-flow fan</i>	62
Gambar 5.5	Pembentukan Mesh pada simulasi fan aksial (a) basic mesh (b) computational mesh pada permukaan dinding ducting dan sudu fan	62
Gambar 5.6	<i>Computational Mesh</i> untuk <i>flow region</i> dari simulasi fan aksial	63
Gambar 5.7	<i>Computational Mesh</i> pada simulasi integrasi ke sistem <i>hovercraft</i>	63
Gambar 5.8	<i>Boundary Conditions</i> pada simulasi <i>axial fan</i>	64
Gambar 5.9	<i>Boundary Conditions</i> pada simulasi mixed flow fan	66
Gambar 5.10	Boundary Conditions untuk simulasi hasil simulasi optimasi desain circular hovercraft secara keseluruhan	67
Gambar 5.11	Boundary Conditions pada Simulasi model eksperimental fan aksial	67
Gambar 5.12	Grafik perbandingan debit aliran hasil simulasi dan hasil pengukuran untuk kondisi outlet 100%	69
Gambar 5.13	Grafik perbandingan debit aliran hasil simulasi dan hasil pengukuran untuk kondisi outlet 50%	69
Gambar 5.14	Grafik perbandingan debit aliran hasil simulasi dan hasil pengukuran untuk kondisi outlet 25%	70
Gambar 5.15	Level initial mesh pada software EFD.Lab 8	71
Gambar 5.16	Jumlah Cell dan CPU time untuk level initial mesh 4 dan 5	72
Gambar 5.17	Jumlah Cell dan CPU time untuk level initial mesh 6 dan	73
Gambar 5.18	<i>Level Initial Mesh 5</i> yang digunakan untuk proses simulasi CFD dengan EFD.Lab 8	74
Gambar 6.1	Kontur Tekanan Pada Area Upstream dan Downstream -variasi jumlah sudu	76
Gambar 6.2	Kontur Kecepatan Pada Area <i>upstream</i> dan <i>downstream</i> -	

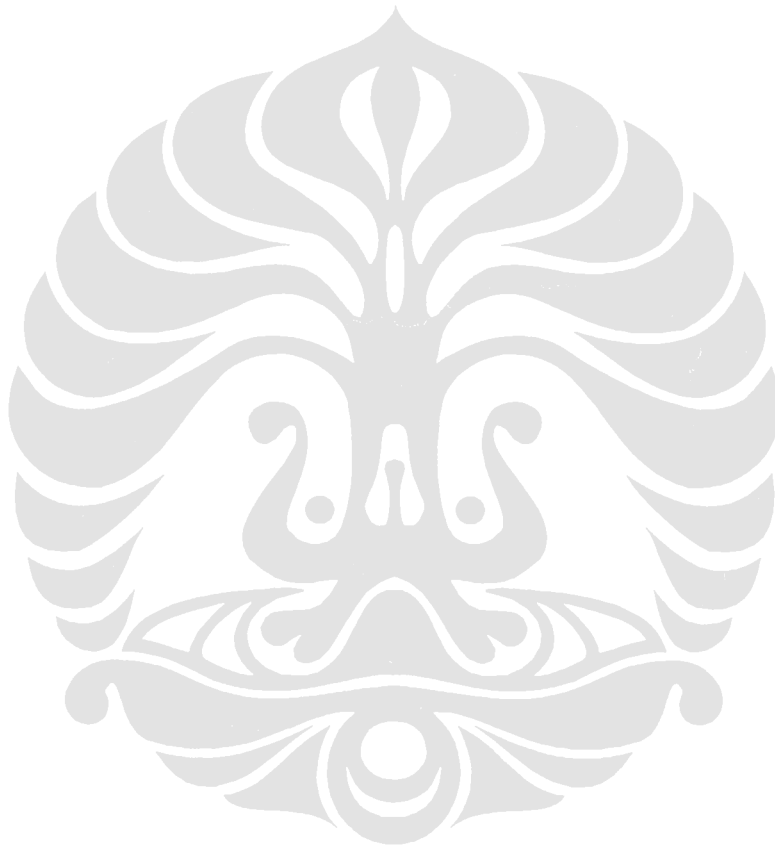
	variasi jumlah sudu	77
Gambar 6.3	Kontur Tekanan Pada Surface blade 5 sudu	78
Gambar 6.4	Kontur Tekanan Pada Surface Blade	79
Gambar 6.5	Grafik Kenaikan Tekanan Statik vs Debit Aliran Fan Aksial Dengan Variasi Jumlah Blade/Sudu Pada Simulasi Fan Aksial	80
Gambar 6.6	Grafik Efisiensi vs Debit Aliran Fan Dengan Variasi Jumlah blade/sudu Pada Simulasi Fan Aksial	80
Gambar 6.7	Kontur Tekanan Pada Area <i>Upstream</i> dan <i>Downstream</i> – Variasi sudut blade	82
Gambar 6.8	Kontur Kecepatan di Area <i>Upstream</i> dan <i>Downstream</i> – variasi blade angle	84
Gambar 6.9	Kontur Tekanan Di Sekitar Airfoil- variasi blade angle	86
Gambar 6.10	Kontur Kecepatan di sekitar airfoil– variasi blade angle	87
Gambar 6.11	Grafik Kenaikan Tekanan Statik vs Debit Aliran Fan Aksial Dengan Variasi Sudut Pemasangan Blade (<i>Blade Angle</i>) Pada Simulasi Fan Aksial	87
Gambar 6.12	Grafik Efisiensi vs Debit Aliran Fan Dengan Variasi Sudut Pemasangan Blade (<i>Blade Angle</i>) Pada Simulasi Fan Aksial	88
Gambar 6.13	Kontur tekanan pada area <i>upstream</i> dan <i>downstream</i> untuk Kondisi debit aliran rendah ($Q = 0,4 \text{ m}^3/\text{s}$)	89
Gambar 6.14	Kontur pada area <i>upstream</i> dan <i>downstream</i> untuk kondisi debit aliran rendah ($Q = 0,4 \text{ m}^3/\text{s}$)	90
Gambar 6.15	Kontur Tekanan Kecepatan pada area <i>upstream</i> dan <i>downstream</i> untuk kondisi debit aliran sedang ($2,4 \text{ m}^3/\text{s}$)	91
Gambar 6.16	Kontur Tekanan Kecepatan pada area <i>upstream</i> dan <i>downstream</i> untuk kondisi debit aliran tinggi ($5 \text{ m}^3/\text{s}$)	92
Gambar 6.17	Kontur Tekanan pada permukaan sudu-debit aliran rendah	93
Gambar 6.18	Kontur Tekanan pada permukaan sudu-debit aliran sedang ($Q = 2,4 \text{ m}^3/\text{s}$)	94
Gambar 6.19	Kontur Tekanan pada permukaan sudu-debit aliran tinggi ($Q = 5,3 \text{ m}^3/\text{s}$)	94
Gambar 6.20	Grafik Kenaikan Tekanan vs Debit Aliran Pada Simulasi <i>Mixed-Flow Fan</i>	95
Gambar 6.21	Grafik Efisiensi vs Debit Aliran Pada Simulasi <i>Mixed Flow Fan</i>	95
Gambar 6.22	Kurva karakteristik (kenaikan tekanan vs debit aliran) hasil simulasi mixed flow fan pada variasi putaran motor (RPM)	97
Gambar 6.23	Kurva karakteristik (efisiensi vs debit aliran) hasil simulasi Mixed flow fan pada variasi putaran motor (RPM)	97
Gambar 6.24	(a) Mixed Flow Fan (b) <i>Splitter</i> dengan <i>guide vane</i> [5] (c) desain hull dan bag skirt [6] (d) Modifikasi Final <i>Circular Hovercraft</i>	98
Gambar 6.25	(a) distribusi tekanan (b) distribusi kecepatan (c) visualisasi streamline distribusi tekanan	100

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Desain Faktor untuk beberapa permukaan	10
Tabel 2.2 Perhitungan Sistem Angkat Integrated Hovercraft	12
Tabel 3.1 Desain Sistem Propulsi, Sistem Angkat dan Sistem Dorong Circular Hovercraft Proto X-1	35
Tabel 4.1 Spesifikasi Multi-wing fan yang digunakan dalam eksperimen	54
Tabel 4.2 Alat Uji yang digunakan	54
Table 4.3 Data ekperimen dengan kondisi outlet 100 %	57
Table 4.4 Data ekperimen dengan kondisi outlet 50 %	57
Tabel 4.5 Hasil data ekperimental dengan kondisi outlet 25 %	57
Tabel 4.6 Pengukuran daya listrik pada tiap putaran motor	57
Tabel 5.1 Input Data Simulasi Fan Aksial	65
Tabel 5.2 Input data pada simulasi mixed-flow fan	6
Tabel 5.3 Perbandingan data hasil simulasi dan eksperimen pada kondisi outlet 100 %	68
Tabel 5.4 Perbandingan data hasil simulasi dan eksperimen pada kondisi outlet 50 %	68
Tabel 5.5 Perbandingan data hasil simulasi dan eksperimen pada kondisi outlet 25 %	68
Tabel 5.6 Penyimpangan (<i>error</i>) eksperimen dan simulasi	70
Tabel 5.7 Hasil Pengujian <i>Level Initial Mesh</i> dengan jumlah cell berbeda dan level initial mesh yang dipilih untuk simulasi	74
Tabel 6.1 Input data dan hasil simulasi untuk tekanan cushion dan kecepatan <i>thrust</i> untuk simulasi keseluruhan	88
Tabel 6.2 Hasil simulasi mixed flow fan untuk variasi putaran motor	96
Tabel 6.3 Input data dan hasil simulasi untuk tekanan cushion dan kecepatan <i>thrust</i> untuk simulasi keseluruhan	99

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
LAMPIRAN 1 Pemodelan Dengan Graphical User Interface SolidWorks dan EFD.Lab 8	105
LAMPIRAN 2 CAD Drawing Hasil Optimasi Circular Hovercraft Proto X-1	117



DAFTAR SIMBOL

Notasi	Keterangan	Dimensi
A	Luas Area	m^2
D	Diameter	m
ρ	Densitas fluida (udara)	kg/m^3
p_f	Tekanan Outlet Fan	Pa
p_c	Tekanan Cushion	Pa
p_b	Tekanan Bag	Pa
a_c	Luas Area Cushion	m^2
K_{1Q1}	Intake Loss Pada Fan	Pa
K_{2Q2}	Pressure Loss untuk <i>undiffused velocity</i>	Pa
K_{3Q3}	Dynamic head untuk mengatasi dump loss	Pa
m_c	Massa total hovercraft	kg
Re	Reynolds Number	
P_s	Tekanan Statis	Pa
Q	Debit/Kapasitas aliran	m^3/s
N	Putaran Motor / <i>Engine</i>	RPM
ω	Kecepatan Angular	rad/s
T	Temperatur	K
V	Volume	m^3
v	Kecepatan	m/s
a	Akselerasi	m/s^2
g	Percepatan gravitasi	m/s^2