

Analisis Aliran Udara yang Melalui Fan *Circular Hovercraft* Proto X-1

A Indra Siswantara, Febri Razaqur Rahim

Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Indonesia
Kampus UI Depok 16424, INDONESIA
e-mail : a_indra@eng.ui.ac.id

Abstrak

Pada saat bergerak *hovercraft* atau *air cushion vehicle* berada di atas bantalan udara, maka hambatan yang dialami *hovercraft* menjadi sangat kecil. Disamping itu cara bergerak nya yang “melayang” diatas permukaan menjadikannya tidak perlu mengandalkan fasilitas pelabuhan untuk mendarat, bahkan bisa menembus pantai, rawa-rawa, atau sungai dan bergerak ke pedalaman selama keadaan memungkinkan.

Circular hovercraft merupakan jenis *hovercraft* ringan dengan desain berbentuk *circular/lingkaran*. *Circular Hovercraft* yang telah lebih dahulu dikembangkan di Departemen Teknik Mesin FTUI, ialah *Circular Hovercraft* Proto X-1, yang menggunakan tipe *integrated system*. Sistem propulsi, sistem angkat dan sistem dorong merupakan bagian terpenting pada suatu *hovercraft*. Pada *circular hovercraft* proto X-1 terdapat banyak *losses* (rugi-rugi) tekanan yang terjadi. Penggunaan sistem propulsi *Mixed Flow Fan* merupakan sebuah inovasi baru yang belum pernah dilakukan. Pada penelitian kali ini dilakukan proses optimasi sistem propulsi dari *hovercraft*, yaitu dengan integrasi *Mixed Flow Fan* ke dalam sistem *hovercraft*. Metode optimasi yang dilakukan ialah proses optimasi desain berbasis simulasi. Simulasi dilakukan dengan bantuan komputer menggunakan software simulasi aliran fluida/CFD (*Computational Fluid Dynamics*).

Dari hasil yang didapat, bahwa dengan penggunaan *mixed flow fan* pada putaran motor mesin (2800 RPM dan 3100 RPM) dapat meningkatkan performa karakteristik dari fan serta dapat menghasilkan tekanan *cushion* dan kecepatan dorong (*thrust velocity*) yang mencukupi yaitu pada debit aliran sedang 1,2 m³/s sehingga meningkatkan performa *Circular Hovercraft*.

Kata kunci : *Air Cushion Vehicle*, *Circular Hovercraft*, *Mixed-Flow Fan*, *Proses Optimasi Desain*, *Simulasi CFD*

1. Pendahuluan

Air Cushion Vehicle atau Kendaraan berbantalan Udara didefinisikan berdasarkan cara gerakannya. Kendaraan ini tidak mengapung di air seperti perahu, tidak pula menggelinding seperti mobil, melainkan meluncur diatas bantalan udara bertekanan, yang terbentuk ketika kendaraan ini beroperasi. *Air Cushion Vehicle* lebih dikenal dengan nama *hovercraft*.

Hovercraft menawarkan beberapa kelebihan dibandingkan alat transportasi lainnya. Pada saat bergerak *hovercraft* berada diatas bantalan udara, maka hambatan yang dialami oleh *hovercraft* menjadi sangat kecil. Hal ini membuat *hovercraft* dapat beroperasi pada segala macam permukaan, tidak hanya rendahnya hambatan yang dialami terhadap bentuk medan kerjanya dan permukaan air, tetapi kemampuan *amphibi* yang unik yang membuat *hovercraft* dapat beroperasi pada macam-macam permukaan yang berbeda secara kontinu. Cara bergerak *hovercraft* yang “melayang” diatas permukaan menjadikannya tidak perlu mengandalkan fasilitas pelabuhan untuk mendarat. Bahkan *Hovercraft* bisa menembus pantai, rawa-rawa atau sungai dan bergerak ke pedalaman jika perlu selama keadaan lingkungan memungkinkan.

Karena kecilnya hambatan yang dialami oleh kendaraan dengan bantalan udara (*Air Cushion Vehicle*), menjadikan *hovercraft* dapat beroperasi dengan efisien, kebutuhan daya nya kecil pada segala tingkatan kecepatan, tergantung ukuran dan konfigurasinya. Kecepatan *hovercraft* berkisar antara 15,4 m/s – 41,5 m/s (30 – 80 Knots), hal ini memberikan kebebasan pilihan desain untuk disesuaikan dengan kebutuhan. Masalah sistem bantalan dan propulsi serta sistem kontrol *hovercraft* menjadi tantangan besar bagi para perancang.

Circular Hovercraft yang telah lebih dulu dikembangkan di DTM FTUI, ialah Proto X-1, *Circular Hovercraft* menggunakan tipe *integrated system* dimana digunakan satu buah sumber tenaga

untuk menyediakan daya angkat dan daya dorong. Sistem ini cocok digunakan pada hovercraft kelas ringan dan menengah. Sistem hovercraft lainnya ialah tipe *Separated System* yang menggunakan sumber tenaga yang terpisah untuk kebutuhan daya angkat dan dorong, biasanya digunakan untuk hovercraft kelas menengah hingga besar.

Fan merupakan bagian yang sangat penting bagi hovercraft baik itu untuk tipe *separated system* maupun *integrated system*. Karena fan adalah bagian utama dalam sistem bantalan/sistem angkat dan sistem propulsi /sistem dorong (*thrust*). Maka karakteristik fan sangat mempengaruhi unjuk kerja kedua sistem tersebut.

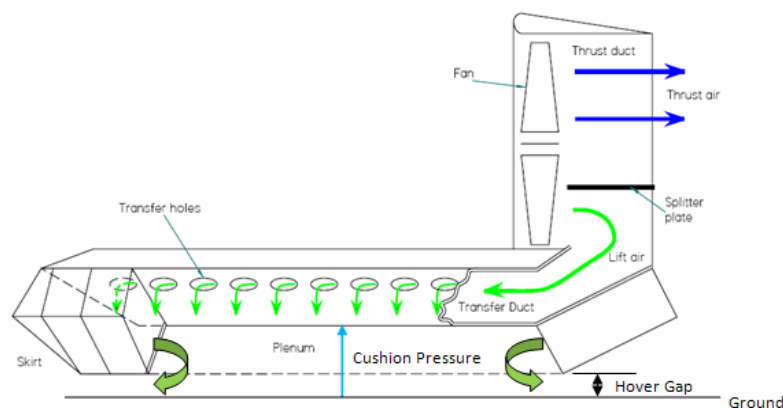
Jenis fan yang telah digunakan ialah jenis fan aksial (*Multi-wing Fan*) dan pada skripsi ini akan dicoba menggunakan jenis fan *mixed-flow* untuk meng-optimalkan kinerja dari *circular hovercraft*. Terjadinya banyak losses pada desain *circular hovercraft* terdahulu (*protoX-1*) baik pada sistem angkat(*lift system*) maupun sistem dorong (*thrust system*) yang berakibat pada tidak optimalnya kinerja dari *hovercraft* tersebut. Sebagai jantung *hovercraft*, Fan amat mempengaruhi kinerja dari *hovercraft* secara keseluruhan. Proses optimasi kinerja *hovercraft* secara keseluruhan dapat dilakukan dengan melakukan proses optimasi pada fan. Melalui skripsi ini akan dibahas analisis aliran udara pada fan, dan integrasi nya ke dalam sistem *circular hovercraft proto X-1* sehingga pada akhirnya dapat menghasilkan desain yang optimal.

2. Landasan Teori

Hovercraft dengan system angkat dan dorong (*lift and thrust System*) terintegrasi

Integrated hovercraft merupakan jenis hovercraft yang hanya menggunakan satu buah engine/motor dan fan yang berfungsi untuk menghasilkan gaya dorong (*thrust system*) dan gaya angkat (*lift system*). Untuk memenuhi kedua fungsi tersebut, maka pembagian debit aliran udara dari thrust fan ke *cushion* dilakukan dengan menggunakan sebuah pembagi aliran (*splitter*) dan menggunakan *ducting*.

Parameter yang menentukan dari kinerja *thrust* dan *lift system*, seperti posisi dari *splitter* dan ukuran *duct*, dilakukan pada awal proses desain. Faktor lain seperti pemilihan dari fan dan *drive ratios*, dapat diubah setelah proses desain awal dilakukan. Hal penting yang menentukan desain dari sebuah *integrated hovercraft* ialah korelasi dari *lift dan thrust system*. Desain yang baik ialah dengan menghasilkan gaya angkat(*lift*) yang memadai serta menghasilkan gaya dorong (*thrust*) yang maksimal.



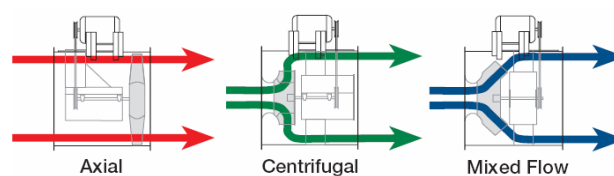
Gambar 1 Skematik integrated hovercraft

Gambar 1 menunjukkan skema dari *integrated hovercraft*, dimana motor/engine yang digunakan untuk memutar fan hanya berjumlah satu buah. Engine/motor menggerakkan fan melalui *gearbox/transmisi* atau dengan *belt drive*. Aliran udara yang dihasilkan akibat putaran fan mengalir melewati duct (casing). Sebagian besar dari aliran fluida mengalir keluar duct dan dikonversi menjadi

gaya dorong pada sistem (*thrust system*), kemudian sebagian lainnya mengalir ke skirt/bag kemudian ke plenum sehingga menghasilkan bantalan udara (*Air Cushion*), Aliran udara secara kontinyu keluar melalui jarak yang dibentuk antara hovercraft dan ground (*hover gap*) yang disertai dengan timbulnya efek gaya angkat (*lift*) yang disebabkan oleh tekanan yang terjadi pada sisi cushion (*cushion pressure*).

Fan merupakan suatu mesin turbo yang memindahkan fluida berupa gas (udara) pada arah aksial, ataupun radial. Fan memiliki karakteristik operasi kecepatan putar relatif rendah, mampu memindahkan fluida gas (udara) dalam volume yang besar, perubahan kerapatan fluida gas melalui fan tidak melebihi 7 % (misalnya untuk udara hanya mengakibatkan perubahan tekanan 6,9 kPa) sehingga dalam analisisnya kerapatan fluida dapat dianggap konstan, dan alirannya tak mampu mampat¹.

Perbandingan ketiga jenis fan dapat ditentukan oleh kecepatan spesifik (*specific speed*) dari mesin turbo tersebut. *Specific speed* merupakan parameter tak berdimensi yang menyatakan perbandingan karakteristik kapasitas aliran dan karakteristik head/tekanan pada mesin turbo. Gambar 2 menunjukkan arah aliran untuk beberapa jenis fan



Gambar 2 Tipe aliran pada fan

Mixed-Flow Fan merupakan kombinasi karakteristik dari *Axial Fans* dan *Centrifugal Fans* pada fan aliran *mixed-flow* aliran udara yang keluar melalui sisi outlet bergerak pada arah miring. Hal ini berbeda dengan *Axial Fan* dan *Centrifugal Fan*, dimana pada *axial fan* arah aliran outlet bergerak searah sumbu rotor sedangkan pada *centrifugal fan* arah aliran udara keluar pada arah tegak lurus dengan sumbu putar. Hal ini dapat dilihat pada gambar 3 perbedaan arah aliran pada *axial fan*, *centrifugal fan* dan *mixed-flow fan*.

Seperti telah disinggung sebelumnya fan aliran mixed-flow mengkombinasikan karakteristik dari jenis fan lainnya, yaitu mampu menghasilkan tekanan yang tinggi dengan debit aliran udara yang sedang

3. Proses Optimasi Desain Circular Hovercraft Proto X-1

Desain Circular Hovercraft Proto X-1

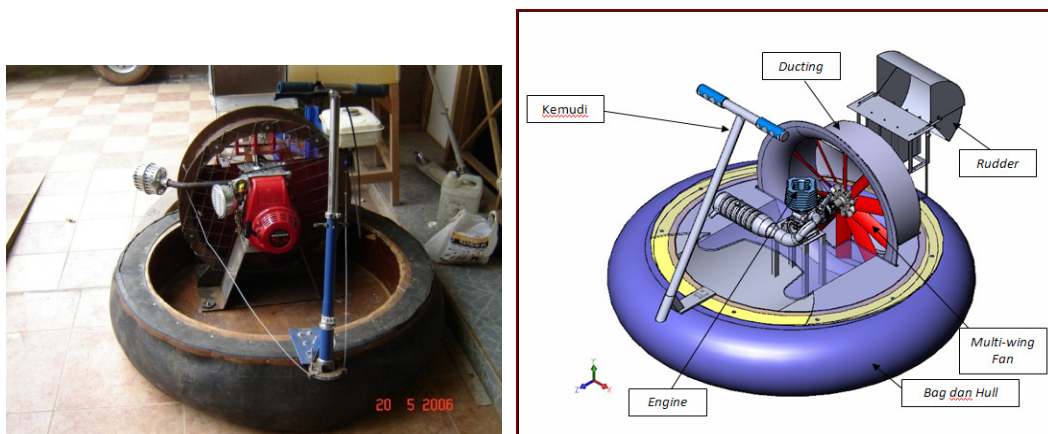
Rancang bangun *Circular Hovercraft Proto-X1* adalah jenis *light hovercraft* yang dibuat dengan kapasitas satu orang penumpang dan kapasitas beban total maksimum adalah sebesar 150 kg. Rancang bangun *hovercraft* ini dibuat dengan dimensi yang relatif kecil dan berbentuk *circular* (lingkaran), yaitu dengan dimensi diameter luar *hovercraft* ialah 1.2 m. Berikut ini merupakan tabel parameter kalkulasi pada penelitian terdahulu [3] dan [4] untuk circular hovercraft proto X-.

Tabel 1 Desain Sistem Propulsi, Sistem Angkat dan Sistem Dorong Circular Hovercraft Proto X1

PROPULSION SYSTEMS		
Multi-wing Fan :		
Diameter of Fan (24 inchi)	d_{fan}	610 mm
Hub Diameter	d_{hub}	140 mm

¹ Aliran udara pada fan dapat dianggap aliran *incompressible flow*

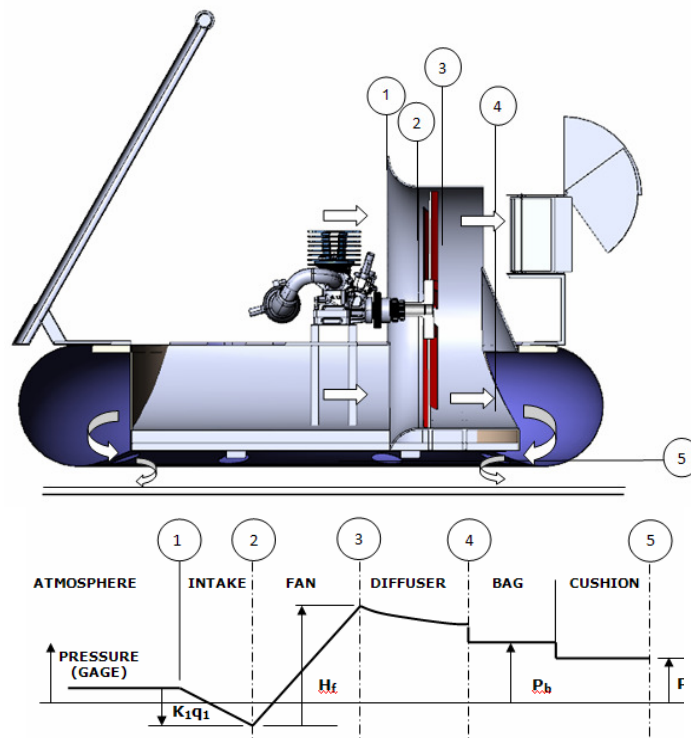
Engine :		
Rotational Speed		2800 RPM
Engine Power		5,5 HP
LIFT SYSTEMS		
Cushion Diameter		1,2 m
Cushion Area	a_c	1,13 m ²
Total weight of hovercraft	m_c	150 kg
Require of cushion pressure	p_c	1326 Pa
Bag Pressure	p_b	1989 Pa
Require of Fan Pressure Rise		2100 Pa
THRUST SYSTEMS		
High of Splitter (16 inchi)	h_{sp}	406 mm
Ducting Area	a_d	0,2763 m ²
Splitter Area	a_{sp}	0,2064 m ²
Thrust Area	$a_d - a_{sp}$	0,0699 m ²



Gambar 3 Desain dan rancang bangun Circular Hovercraft Proto X-1

Evaluasi Kinerja Sistem Circular Hovercraft Proto X-1

Aliran memasuki ducting dan terjadi peningkatan tekanan (*pressure rise*) setelah melalui fan, kemudian sebagian aliran keluar *ducting* sehingga menyebabkan gaya dorong, dan sebagian lainnya memasuki bag kemudian menuju cushion area, dari outlet fan hingga cushion area terjadi penurunan tekanan (*pressure drop*).



Gambar 4 Distribusi Tekanan pada circular hovercraft proto x-1

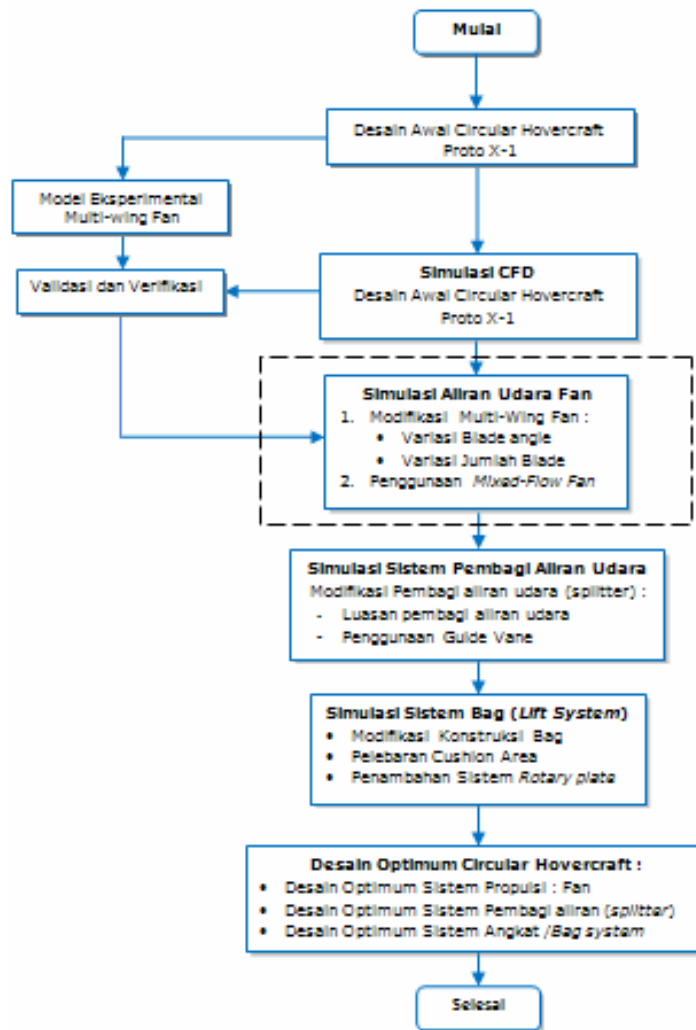
Dari skema grafik diatas dapat dilihat bahwa sebuah rancangan *hovercraft* yang baik, sekali lagi harus dapat memenuhi jumlah *tekanan cushion* minimum agar *hovercraft* tersebut dapat melayang di udara. Grafik menunjukkan bahwa pemenuhan tekanan *cushion* minimum ini terkait dengan beberapa faktor, diantaranya adalah :

- Karakteristik *fan*, pada desain *fan* yang digunakan untuk sistem dorong (*thrust syatem*) dan sistem angkat (*lift system*)
- Desain komponen *bag*, desain *bag* yang efisien haruslah dapat menekan nilai *pressure drop* yang terjadi dari *bag* ke *cushion area*.
- Desain sistem *diffuser*,

Pada penelitian circular hovercraft terdahulu, Anca Parana [4]. Didapat hasil pengukuran tekanan outlet fan maksimum sebesar **787,121 Pa** pada putaran 3100 RPM. Dan hasil pengukuran tekanan cushion maksimum yang dihasilkan **588,4 Pa** [3]. Tekanan ini tentu saja tidak mencukupi tekanan cushion yang dibutuhkan yaitu **1326 Pa** (lih.Tabel 1).

Berangkat dari kondisi ini, penulis bersama dua orang rekan lainnya Irvan [5], dan Rhandyawan [6] berkesimpulan bahwa **Circular Hovercraft Proto X-1 belum mampu untuk memberikan kemampuan hovercraft untuk melayang diudara maupun memberikan gaya dorong untuk manuver hovercraft.** penulis mencoba untuk melakukan suatu evaluasi, analisa, optimasi dan redesain terhadap sistem komponen dalam *hovercraft*.

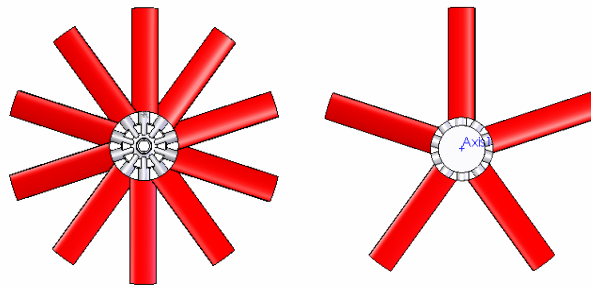
Proses Optimasi Desain dan kinerja Circular Hovercraft Proto X-1



Gambar 5 Diagram Alir Proses optimasi

Gambar 5 menunjukkan diagram alir dari proses optimasi sistem hovercraft secara keseluruhan. Pada tulisan ini yang menjadi fokus pembahasan ialah sistem fan. Langkah awal yang dilakukan adalah mengevaluasi kinerja sistem multi-wing fan yang telah digunakan pada circular hovercraft proto X-1, tujuannya ialah untuk mengetahui kinerja maksimum yang dapat dicapai dari multi-wing fan tersebut pada putaran RPM normal mesin. Kemudian setelah itu dilakukan optimasi dengan menggunakan *mixedflow* fan. Dari sini akan dilihat apakah dengan penggunaan fan *mixed flow* tersebut akan dicapai peningkatan performa secara signifikan.

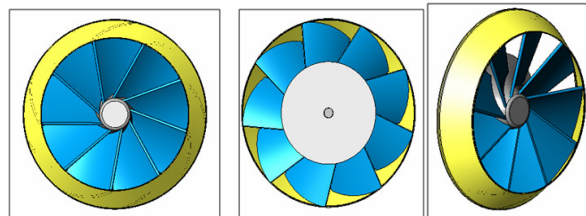
Modifikasi dilakukan dengan melakukan simulasi multi-wing fan dengan variasi jumlah blade/sudu yang digunakan dan variasi sudut pemasangan blade. Parameter yang menjadi tujuan dari modifikasi ini ialah untuk menghasilkan kenaikan tekanan maksimal yang dapat dicapai pada setiap konfigurasi. Diameter *multi-wing fan* 24 inchi/ 609 mm, diameter hub 100 mm.



Gambar 6 Modifikasi Multi-wing Fan dengan variasi jumlah blade dan *blade angle*

Konfigurasi mixed-flow yang digunakan dalam penelitian ini ialah :

- Tipe sudu fan : backward-curved vane
- Diameter luar 23,7 inchi seri 315-1, 315-2, 315-3, 315-4²
- Dilengkapi dengan *mixed flow wheel* yaitu suatu pengarah aliran yang menyatu dengan sudu fan Sudu fan berjumlah 8 buah

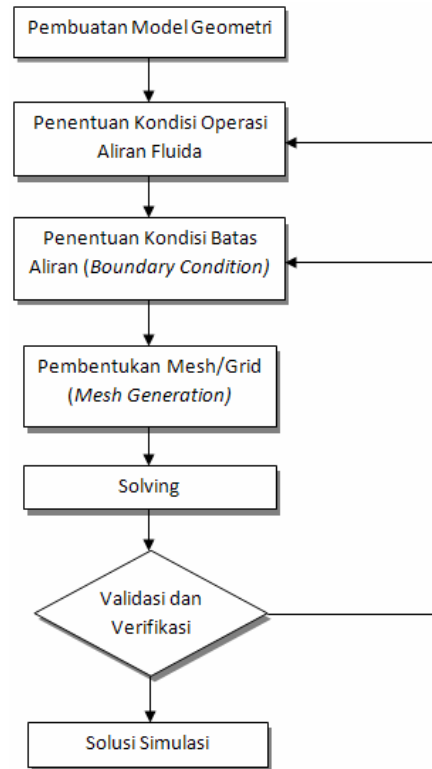


Gambar 7 Desain Model *Mixed Flow Fan*

4. Pemodelan CFD

Simulasi pada skripsi ini dilakukan dengan menggunakan paket CFD EFD.Lab 8. Urutan langkah-langkah dalam pemodelan melalui simulasi CFD ini ialah sebagai berikut.

² MNC MIXED FLOW FAN - Continental Fan Manufacturing Inc.



Gambar 8 Diagram alir Pemodelan CFD

Gambar 8 menunjukkan diagram alir dari suatu pemodelan CFD, diawali dengan pembuatan model geometri yang ingin di simulasikan, kemudian di ikuti dengan penentuan kondisi aliran operasi aliran fluida yang akan disimulasikan, penentuan kondisi batas (*Boundary Condition*) aliran fluida, pembentukan mesh atau jarring-jaring grid, kemudian penyelesaian (*solving*) simulasi yang dilakukan oleh solver dari software EFD.Lab.

Hasil dari simulasi perlu dilakukan validasi dan verifikasi untuk meyakini bahwa hasil simulasi yang telah dilakukan mendekati kondisi real nya. Pada skripsi ini validasi hasil simulasi dilakukan dengan membandingkan data pengukuran (debit aliran) hasil simulasi dengan data eksperimen.

Model Analysis

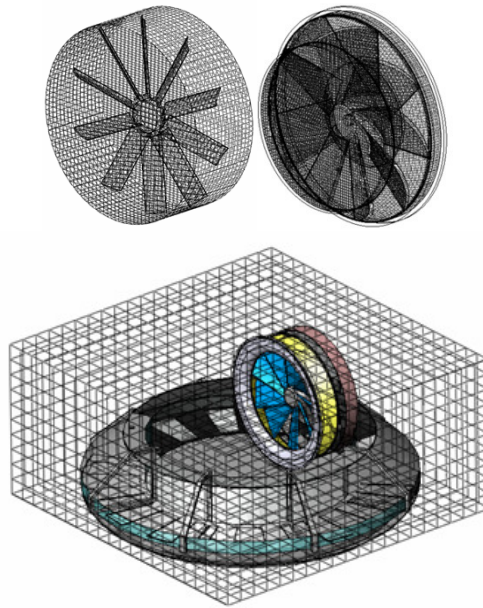
- Asumsi Aliran udara : *Steady state, incompressible, isothermal*, dan turbulen
- Penggunaan *rotating reference frame*
- Densitas udara : $1,225 \text{ kg/m}^3$
- Viskositas : $1,81 \cdot 10^{-5} \text{ Ns/m}^2$

Pendekatan *Rotating Reference Frame*

Pendekatan *rotating reference frame* digunakan untuk mensimulasikan aliran rotasional pada *rotating machinery* misalnya fan. Pada software EFD.Lab di gunakan *rotating region* feature untuk mensimulasikan aliran rotasional tersebut, dengan memasukkan nilai kecepatan angular yang diinginkan.

Pembentukan Mesh (*Mesh Generation*)

Dengan menggunakan teknologi mesh dari EFD.Lab *Rectangular Adaptive Mesh* dapat dihasilkan computational mesh yang digunakan untuk simulasi.



Gambar 9 Pembentukan Mesh (*Mesh Generation*) pada simulasi fan aksial, *mixed flow fan*, dan simulasi integrasi ke sistem hovercraft

Case 1 : Simulasi Aliran Udara Pada Axial-Flow Fan

Simulasi pertama ialah simulasi performance karakteristik dari fan aksial, simulasi dilakukan untuk mendapatkan kurva performance karakteristik dari fan aksial untuk tiap variasi jumlah sudu dan variasi sudut blade. Simulasi dilakukan dengan penggunaan *rotating reference frame (Rotating Region)* dan penggunaan *stationary moving wall* pada dinding ducting. Kondisi batas dari simulasi ialah **inlet volume flow** dan **outlet environment pressure**

Case 2 : Simulasi Aliran Udara Pada Mixed-Flow Fan

Simulasi ke dua ialah simulasi aliran udara pada *mixed-flow fan*, simulasi ini juga bertujuan untuk mendapatkan grafik performance karakteristik dari *mixed flow fan* yang akan digunakan pada sistem *hovercraft*. Untuk mendapatkan grafik performance karakteristik maka input data berupa debit aliran atau *volume flow rate*.

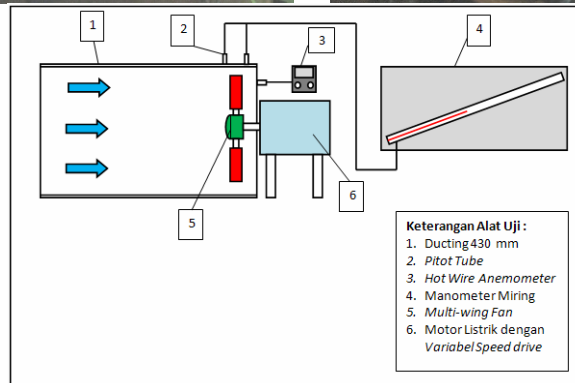
Case 3 : Simulasi Integrasi Mixed Flow Fan Ke dalam Sistem Circular Hovercraft-Hasil Modifikasi

Pada tahap ini akan di simulasikan integrasi mixed flow fan ke dalam sistem circular hovercraft hasil modifikasi bersama tim optimasi circular hovercraft lainnya [5] dan [6].

5. Eksperimental dan Validasi Model

Pada penelitian ini digunakan model eksperimental fan aksial sudu banyak (*multi-wing fan*) sebagai validasi dari simulasi CFD yang akan dilakukan.. Pada model eksperimen multi-wing fan ini akan diukur perbedaan tekanan (*pressure rise*) dan kecepatan aliran udara pada arah aksial dengan variasi putaran motor (RPM).

Hasil dari pengukuran ini yaitu kecepatan (debit aliran) akan digunakan sebagai sebagai data validasi simulasi CFD yang akan dilakukan. Validasi dilakukan dengan membandingkan data hasil eksperimen dengan data hasil simulasi (debit aliran), dan dihitung berapa error/kesalahan dari simulasi yang dilakukan.

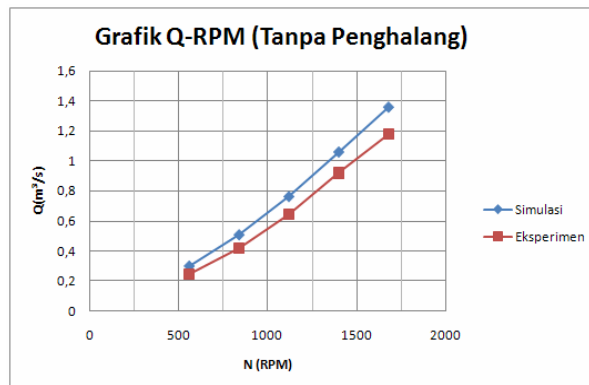


Gambar 10 Instalasi Alat Uji *Multi-wing Fan*

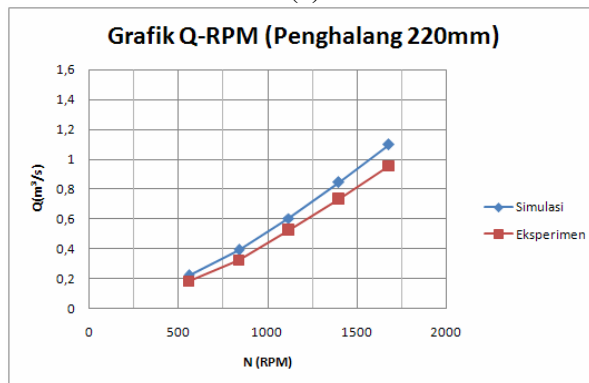
Validasi Model

Validasi bertujuan untuk mengetahui tingkat kebenaran atau ke-valid-an dari hasil simulasi yang dilakukan. data debit aliran hasil simulasi dibandingkan dengan data debit aliran hasil eksperimen.

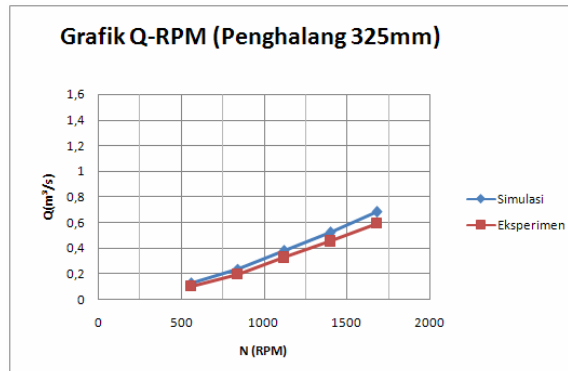
Berikut perbandingan hasil simulasi dan hasil eksperimen untuk nilai debit aliran/volume flow rate :



(a)



(b)



(c)

Gambar 11 Validasi hasil simulasi dengan data eksperimen (debit aliran) untuk kondisi outlet aliran (a) tanpa penghalang (b) Penghalang diameter 220 mm (c) Penghalang 325 mm

Dari data perhitungan *error* diatas, dapat diketahui bahwa *error* maksimum yang terjadi sebesar 18.03278689 %, *error* minimum yang terjadi sebesar 13.11902693 % dan *error* rata-rata yang terjadi antara data hasil eksperimen dan data hasil simulasi sebesar 15,3 %

Pengujian Mesh Dependency Test

Verifikasi model pada skripsi ini lebih ditekankan pada penggunaan ukuran mesh yang sesuai, sehingga perubahan jumlah mesh tidak mempengaruhi hasil secara signifikan. Jumlah mesh sangat mempengaruhi hasil penyelesaian. Semakin besar jumlah mesh yang digunakan maka semakin akurat pula hasil yang didapat

Oleh karena itu, pemilihan jumlah mesh harus dilakukan percobaan dari jumlah cell dari mesh dengan level initial mesh terkecil sampai level initial mesh terbesar hingga tidak terdapat perbedaan yang signifikan pada hasil simulasi. Pada skripsi ini mesh dependency test dilakukan untuk level initial mesh 4 sampai level initial mesh 7

Setelah melakukan berbagai percobaan dengan jumlah mesh/cell yang berbeda maka digunakan level initial mesh 5 . Karena dengan menggunakan pilihan level initial mesh ini sudah didapat hasil yang cukup akurat dan tidak membutuhkan waktu yang sangat lama (lih. Tabel 2). *Mesh Dependency Test* ini dilakukan pada kondisi putaran motor 1680 RPM, nilai kenaikan tekanan 183 Pa.

Tabel 2 Hasil Pengujian *Level Initial Mesh* dengan jumlah cell berbeda dan level initial mesh yang dipilih untuk simulasi

Level Initial Mesh	Jumlah Cell	Hasil Simulasi (Debit Aliran)	Hasil Eksperimen (Debit Aliran)	CPU time (s)
4	34923	1,29	1,17	1254
5	150087	1,266		6521
6	271509	1,254		12429
7	450996	1,251		25027

Dari tabel 2 didapat bahwa pada *level initial mesh 5* hasil simulasi tidak berbeda jauh dengan hasil yang didapat pada level initial mesh 6 dan 7, dan nilai nya mendekati hasil eksperimen, kemudian juga CPU time atau waktu yang dibutuhkan untuk simulasi tidak terlalu banyak sehingga tidak membutuhkan *resource* memory computer yang terlalu besar.

6. Hasil dan Pembahasan

Hasil yang didapatkan dari simulasi dengan kisaran debit aliran rendah ke tinggi dapat dihasilkan kurva karakteristik dari fan. Dengan Δp merupakan kenaikan tekanan statik pada fan (pa), Q merupakan debit aliran (m^3/s), N, putaran motor (RPM), T, torsi pada hub (Nm) dan ω kecepatan angular (rad/s), efisiensi pada fan merupakan :

$$\eta = \frac{\Delta p \cdot Q}{\tau \omega}$$

Simulasi dilakukan pada kondisi adebit aliran rendah ($0,1 \text{ m}^3/\text{s}$) sampai kondisi debit aliran ($5,3 \text{ m}^3/\text{s}$) . analisa di fokuskan pada fenomena aliran pada area *upstream* dan *downstream* dari fan

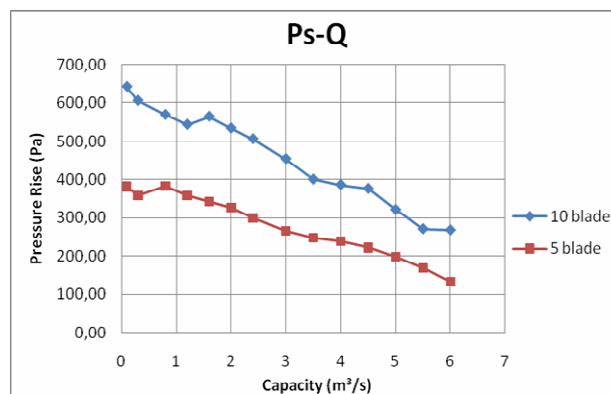
Case 1 : simulasi fan aksial

Simulasi yang dilakukan pada fan aksial dengan kondisi aliran rendah sampai tinggi. Simulasi dilakukan dengan variasi jumlah blade/sudu fan dan variasi sudut pemasangan blade (*blade angle*).

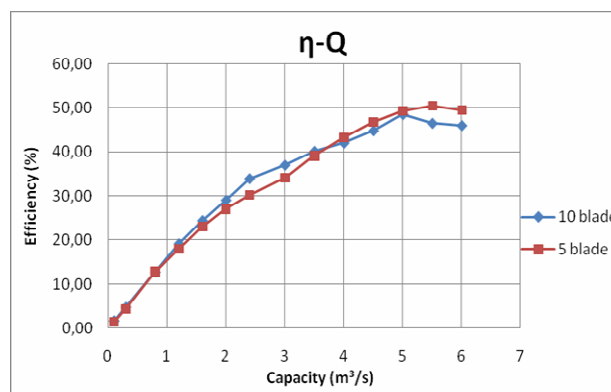
Gambar 12 dan 14 menunjukkan kurva karakteristik kenaikan tekanan statik vs debit aliran.

Efisiensi hidrolik vs debit aliran dari fan aksial dapat ditunjukkan oleh gambar 13 dan 15.

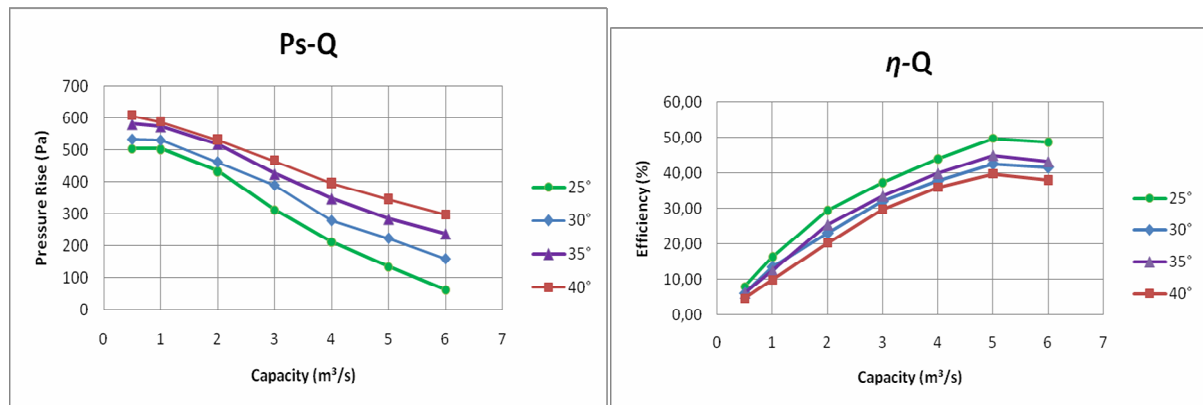
Gambar 12 dan 13 menunjukkan grafik karakteristik pada fan aksial dengan variasi jumlah blade 10 dan 5 buah, sedangkan gambar 14 dan 15 menunjukkan grafik karakteristik dari fan aksial pada variasi sudut pemasangan blade. Simulasi fan aksial dilakukan pada putaran *engine* sebesar 2800 RPM.



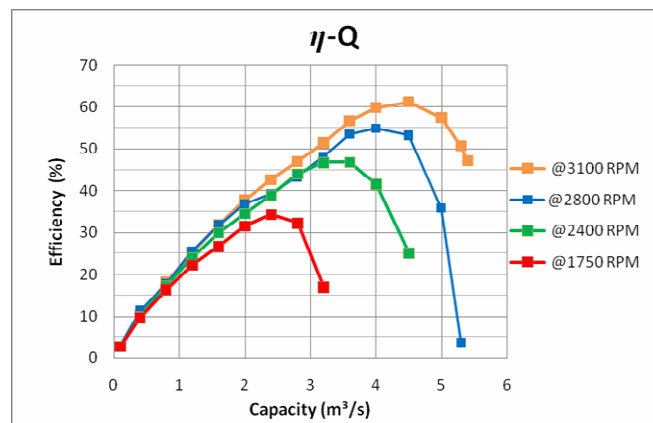
Gambar 12 Kenaikan Tekanan vs Debit Aliran fan aksial pada 2800 RPM –variasi jumlah blade



Gambar 13 Efisiensi vs debit aliran fan aksial pada 2800 RPM- variasi jumlah blade



Gambar 14 Kenaikan Tekanan vs Debit Aliran fan aksial pada 2800 RPM –variasi sudut blade

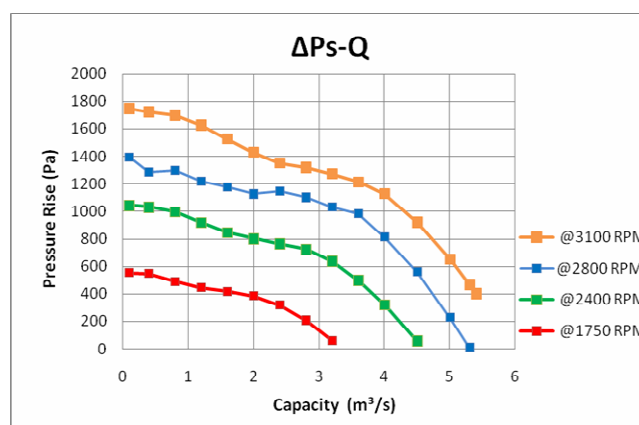


Gambar 15 Efisiensi vs debit aliran fan aksial pada 2800 RPM- variasi sudut blade

Kontur plot distribusi tekanan pada permukaan sudu fan aksial dan vektor kecepatan yang menunjukkan separasi aliran pada aliran rendah hingga tinggi dapat dilihat pada lampiran 1.

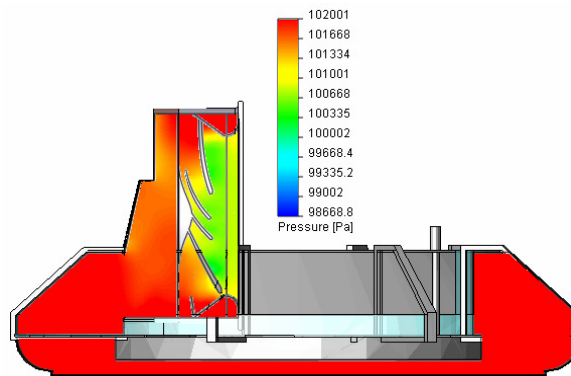
Case 2 : simulasi *mixed flow fan*

Pada case ini dilakukan simulasi terhadap *mixed flow fan* untuk mendapatkan kurva karakteristik pada tingkatan tiap putaran motor (RPM). Gambar 16 menunjukkan kurva karakteristik kenaikan tekanan statik vs debit aliran.



Gambar 16 Kenaikan tekanan statik vs debit aliran pada *mixed flow fan* – pada berbagai tingkatan putaran motor (RPM)

Gambar 17 menunjukkan grafik efisiensi vs debit aliran.

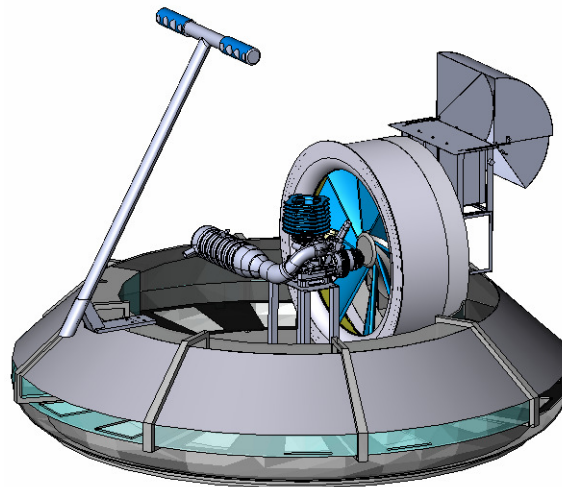


Gambar 17 Efisiensi vs debit aliran pada *mixed flow fan* – pada tingkatan putaran motor (RPM)

Kontur plot dari distribusi tekanan pada area *upstream* dan *downstream* pada aliran *mixed flow fan* dapat ditunjukkan pada lampiran 2. Pada gambar tersebut dapat dilihat separasi aliran pada berbagai tingkatan aliran. Dari lampiran 3 dapat dilihat kontur tekanan statik pada permukaan sudu fan pada sisi *pressure side* dan *suction side*.

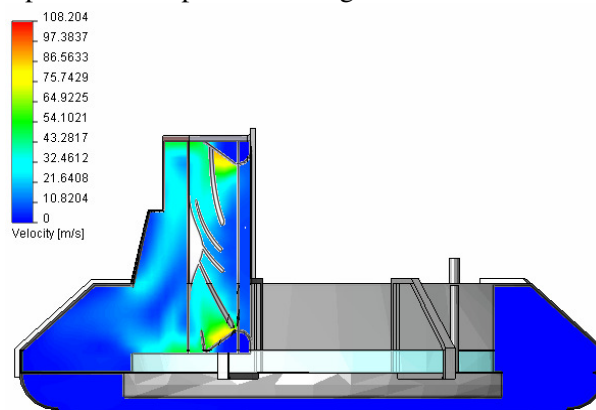
Case 3: simulasi integrasi hasil optimasi desain *circular hovercraft*

Gambar 18 menunjukkan desain optimum hasil optimasi desain *circular hovercraft* dari hasil [5] dan [6].

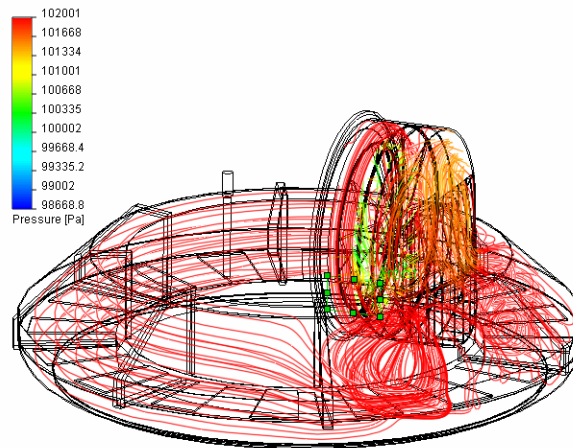


Gambar 18 Optimum design circular hovercraft

Dari hasil simulasi desain optimum di dapat hasil sebagai berikut :



Gambar 19 kontur dari distribusi tekanan statik dan kecepatan



Gambar 20 streamline aliran udara pada circular hovercraft pada hasil simulasi desain optimum

Dari hasil simulasi di dapat tekanan cushion 829,1 Pa dan kecepatan dorong (*thrust velocity*) 24,44 m/s. hasil ini merupakan hasil optimum yang di dapat untuk sistem angkat dan sistem dorong pada *circular hovercraft*.

7. Kesimpulan

- Tekanan dan efisiensi optimum yang dapat dicapai fan aksial pada putaran 2800 rpm ialah sebesar 602 Pa., dengan konfigurasi 10 buah sudu fan dan sudut pemasangan sudu 35°
- Dengan tekanan tersebut maka tidak akan dapat memenuhi tekanan cushion yang dibutuhkan oleh sistem angkat
- Hasil simulasi mixed flow fan menunjukkan bahwa penggunaan mixed flow fan pada putaran mesin 2800 RPM dan 3100 RPM dapat mencapai kondisi tekanan cushion yang diinginkan yaitu 829,1 Pa dari tekanan cushion dan kecepatan dorong (*thrust velocity*) minimum. Kondisi ini merupakan kondisi optimum yang dapat dicapai untuk sistem angkat dan sistem dorong dari circular hovercraft

8. Referensi

Ian Brooks, *a Method for Estimating the Thrust and Lift Performance of an Integrated Hovercraft*.<http://www.pipponet.freemove.co.uk>

Paul Fitzpatrick, *Design factors for lift conditions* (private communication)

Ahmad Fauzan. "Rancang Bangun *Circular Hovercraft* dan Analisa Aliran pada Bag yang mempengaruhi *Cushion Pressure* dengan *Computational Fluid Dynamics*." Skripsi, Program Sarjana Fakultas Teknik UI, Depok, 2006, hal. 51-122

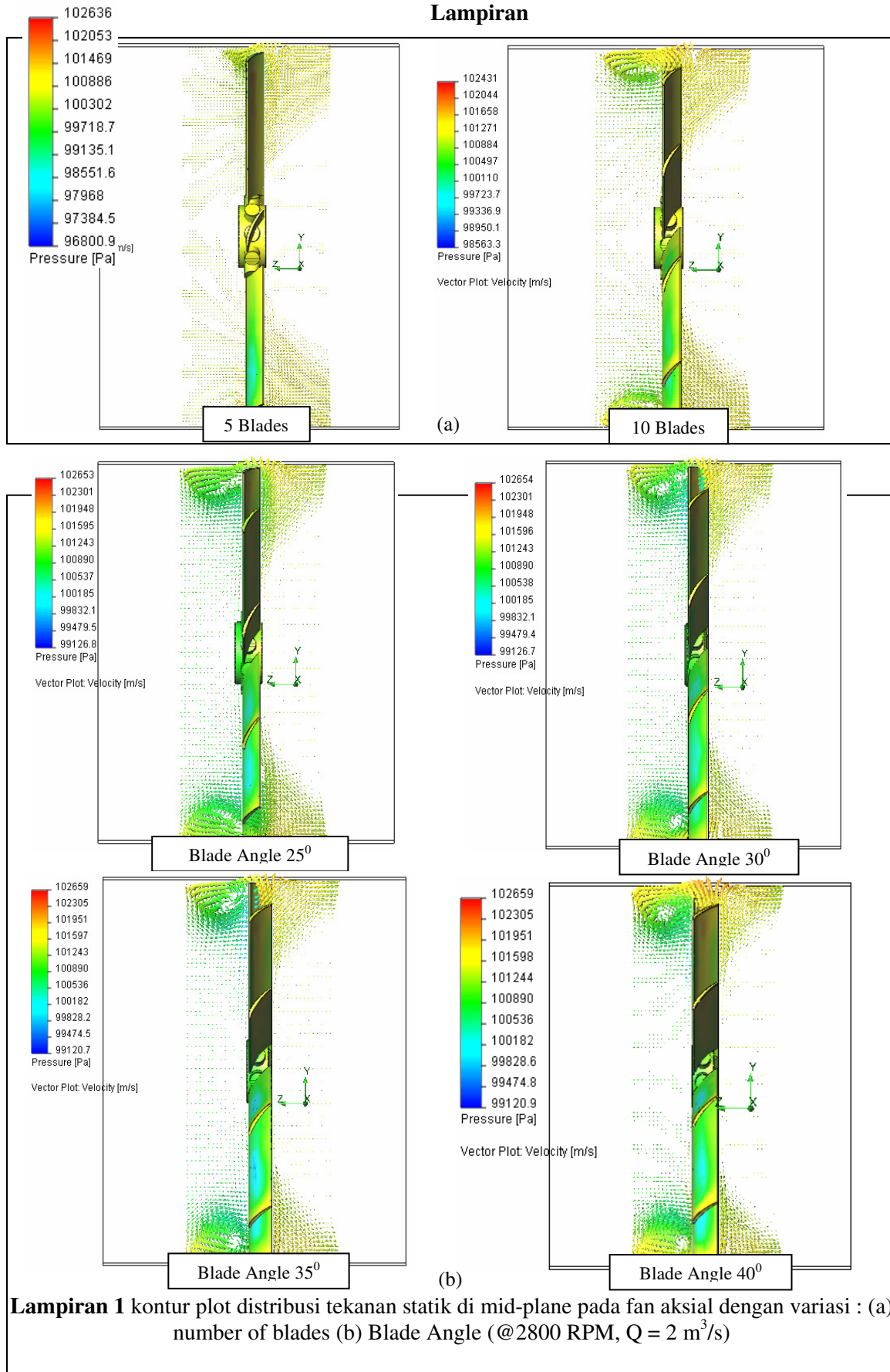
Anca Parana. "Analisa Pengaruh Perubahan *Duct* Pembagi Aliran Udara Fan Pada *Circular Hovercraft*." Skripsi, Program Sarjana Fakultas Teknik UI, Depok, 2006, hal.32-99

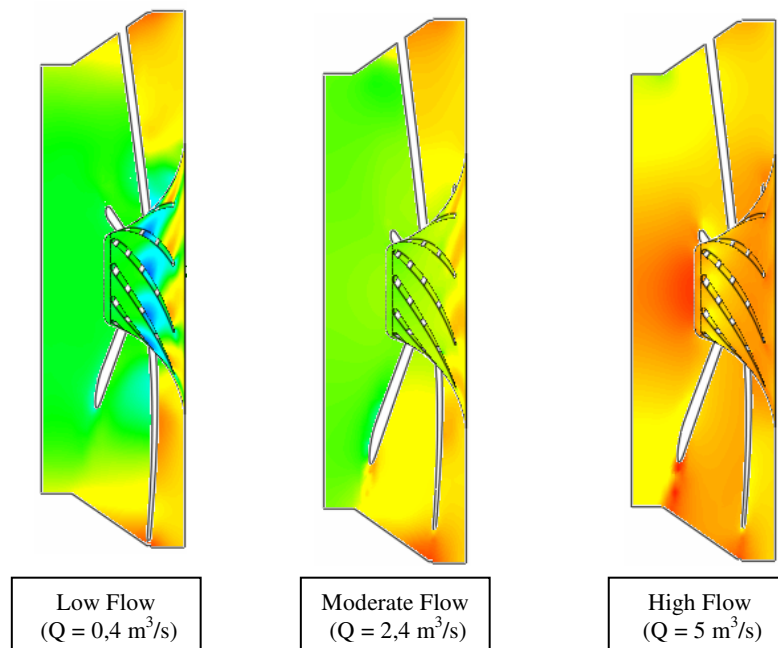
Irvan Darmawan." Optimasi Desain Pembagi Aliran Udara dan Analisis Aliran Udara Melalui Pembagi Aliran Udara Serta Integrasi Kedalam Sistem Circular Hovercraft Proto X-1." Skripsi, Program Sarjana Fakultas Teknik UI, Depok, 2008

Rhandyawan. "Analisis Optimasi Aliran Udara pada *Bag Skirt* yang Mempengaruhi *Cushion Pressure* dan Desain Perancangan Sistem *Rotary Plat Circular Hovercraft Proto-X1*." Skripsi, Program Sarjana Fakultas Teknik UI, Depok, 2008

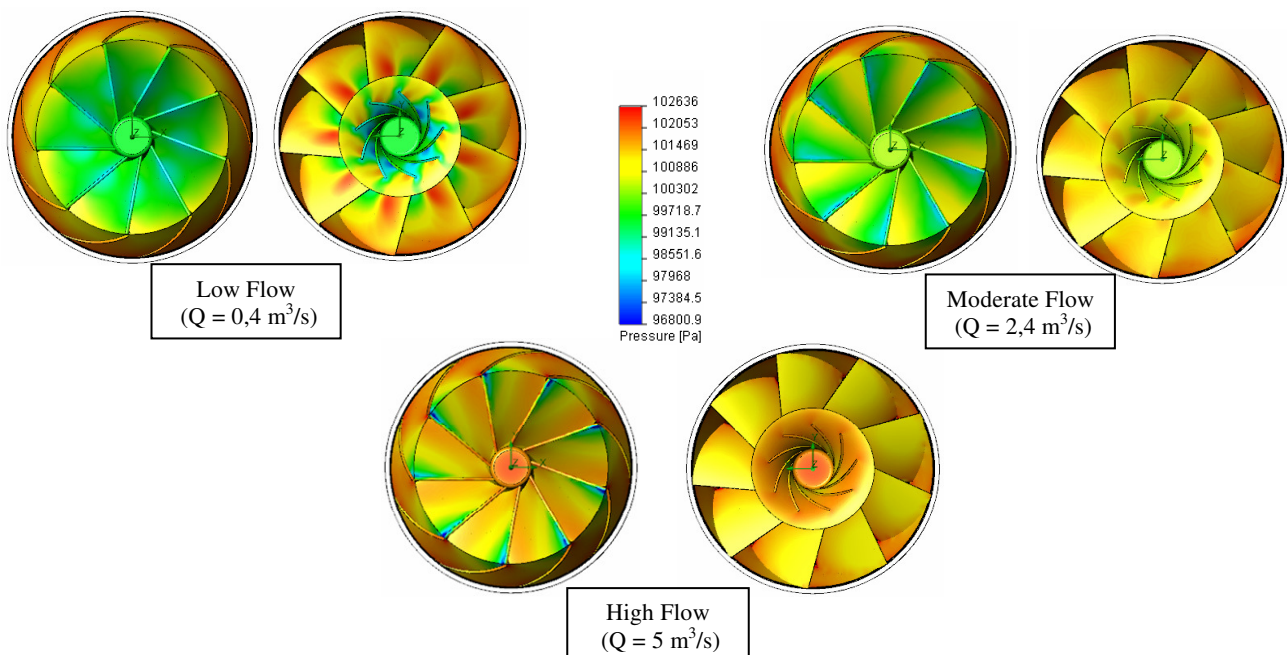
EFD.Lab Fundamentals, Flomerics Ltd 2006.

Lampiran





Lampiran 2 kontur plot distribusi tekanan statik di mid-plane pada mixed flow fan untuk debit aliran rendah sampai tinggi (@2800 RPM)



Lampiran 3 kontur plot dari distribusi tekanan pada permukaan sudu fan (pressure side dan suction side) pada mixed flow fan untuk debit aliran rendah sampai tinggi (@2800 RPM)