

Teknik Fisika ITS

ANALISIS PERFORMANSI TURBIN ARUS LAUT VERTIKAL AKSIS JENIS *V-STRAIGHT* DAN *V-HELICAL* TERHADAP PERUBAHAN DIMENSI BERBASIS *COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS*

Dosen pembimbing:

Dr. Ridho Hantoro, ST., MT.

Ir. Roekmono, MT.

Oleh:

I Kadek Yamuna Gangga Putra (2411100094)

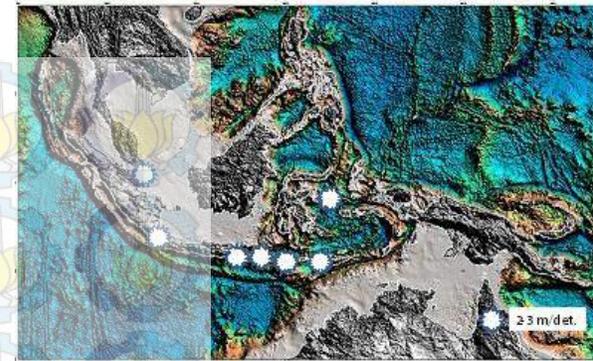
Jurusan Teknik Fisika
Fakultas Teknologi Industri
Institut teknologi Sepuluh Nopember

Latar Belakang

Kebutuhan listrik tinggi, perlu pembangkit dari energi terbarukan yang ramah lingkungan, seperti turbin arus laut

Sebelum membuat turbin skala besar, perlu membuat model turbin, menggunakan konsep keserupaan, model turbin harus “serupa” dengan turbin aslinya

Perlu juga peningkatan performansi turbin berdasarkan geometri turbin!!



Biaya dan waktu yg diperlukan dalam Mendesain Turbin



Estimasi Target daya yang dihasilkan



Rumusan Permasalahan dan Tujuan

Bagaimana mengetahui pengaruh perubahan dimensi terhadap performansi pada turbin arus laut vertikal aksis jenis *V-Straight* dan *V-Helical*?

Bagaimana mengetahui pengaruh performansi turbin arus laut vertikal aksis jenis *V-Straight* dibandingkan dengan turbin vertikal aksis jenis *V-Helical*?

1. Untuk mengetahui pengaruh perubahan dimensi terhadap performansi turbin arus laut vertikal aksis jenis *V-Straight* dan *V-Helical*.

2. Untuk mengetahui performansi turbin arus laut vertikal aksis jenis *V-Straight* dibandingkan dengan turbin vertikal aksis jenis *V-Helical*.

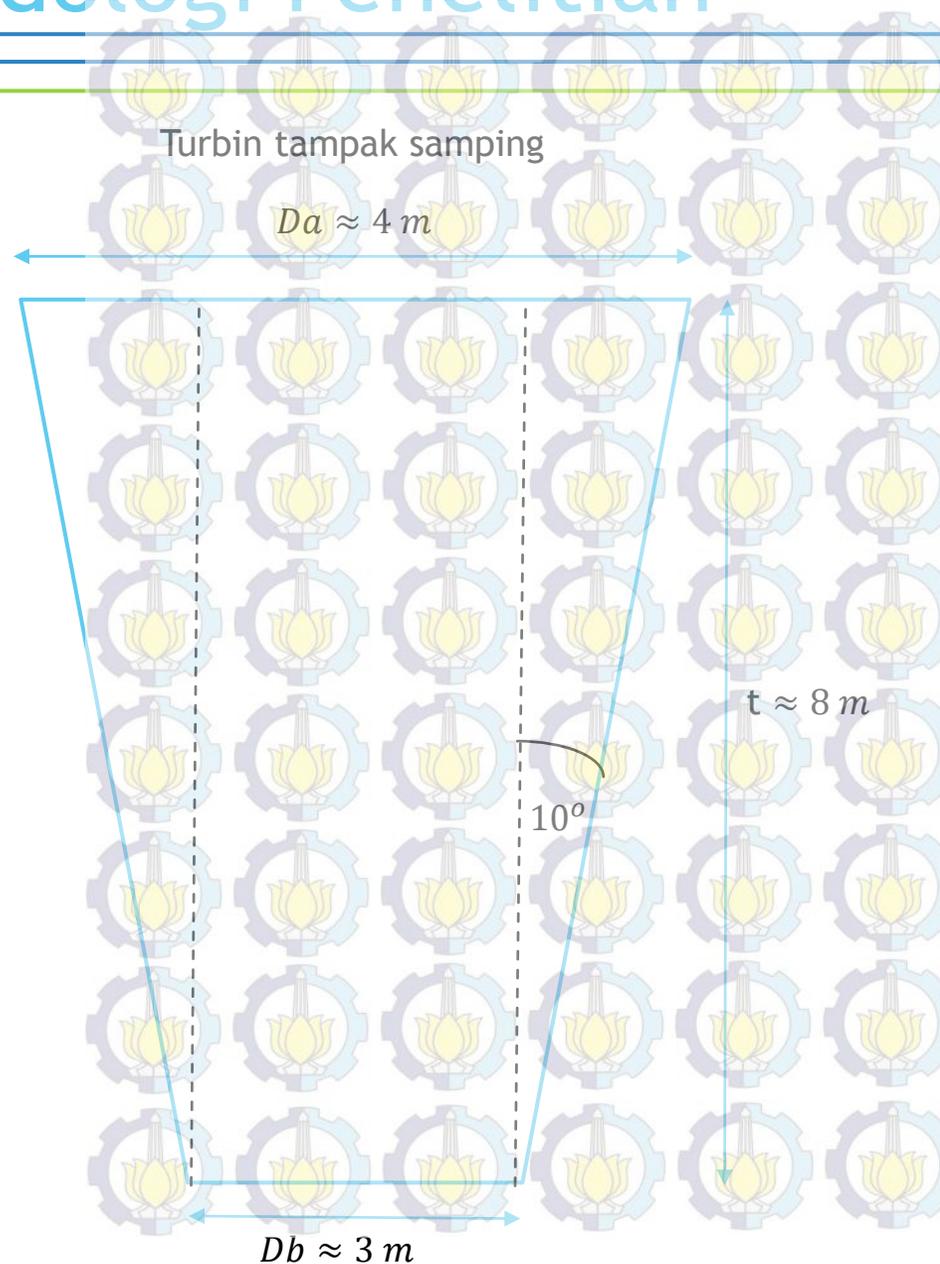
Batasan Masalah

1. Turbin yang digunakan pada penelitian ini adalah turbin vertikal aksis jenis *V-Straight* dan *V-Helical*.
2. Kecepatan aliran fluida arus laut yang digunakan adalah kecepatan 0.5-2 m/s
3. Terdapat 4 variasi perbesaran dimensi turbin yaitu rasio 1:2:3:4
4. Tipe blade yang digunakan adalah *airfoil* NACA 0018 dengan aspek rasio 8.
5. Jumlah *blade* yang digunakan sebanyak 3 buah.
6. Metode Simulasi dengan menggunakan software CFD ansys 14.0

V-STRAIGHT DAN V-HELICAL



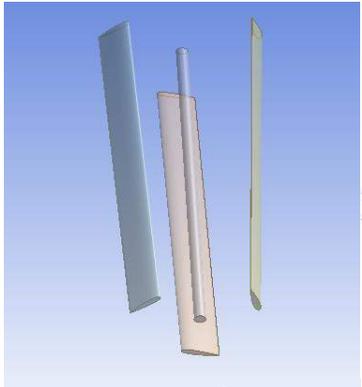
Metodologi Penelitian



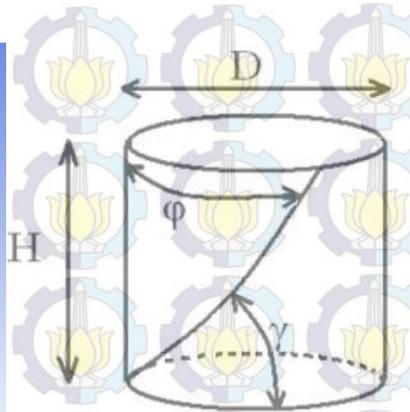
Penentuan Parameter Validasi:

- Ukuran spasi meshing minimum sesuai kemampuan PC
- Disimulasikan ukuran spasi meshing minimum ini pada turbin penelitian sebelumnya
- Didapatkan nilai torsi yang akan dibandingkan dengan torsi eksperimen pada penelitian sebelumnya untuk mencari nilai error sebagai acuan validasi ($0 \leq e \leq 10\%$)

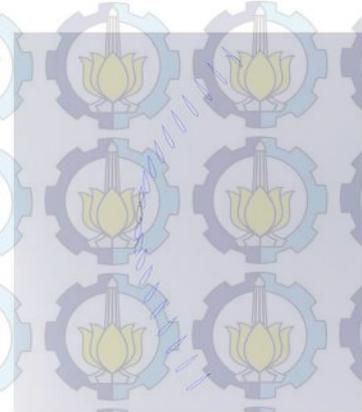
SIMULASI CFD



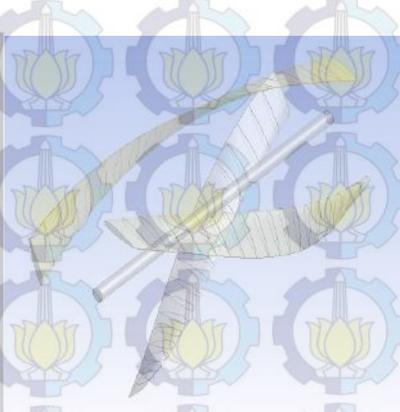
v-straight



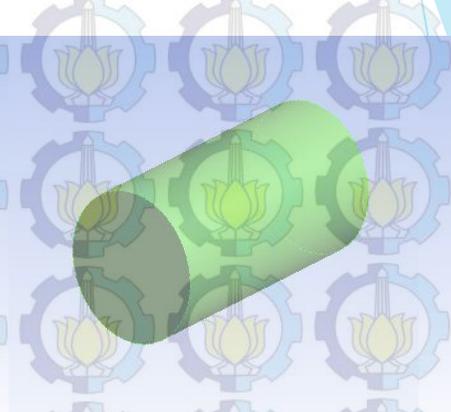
skema v-helical



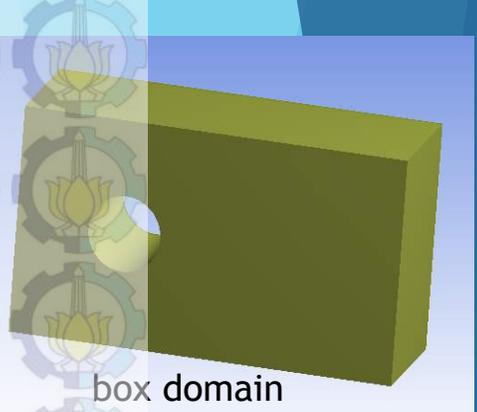
tiap segmen v-helical



v-helical

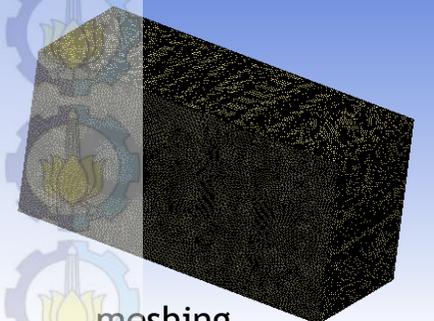
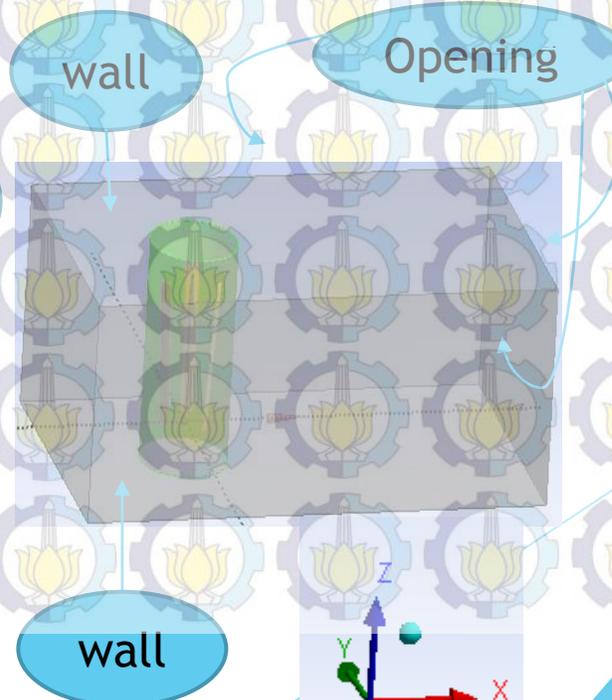


cylinder sub domain

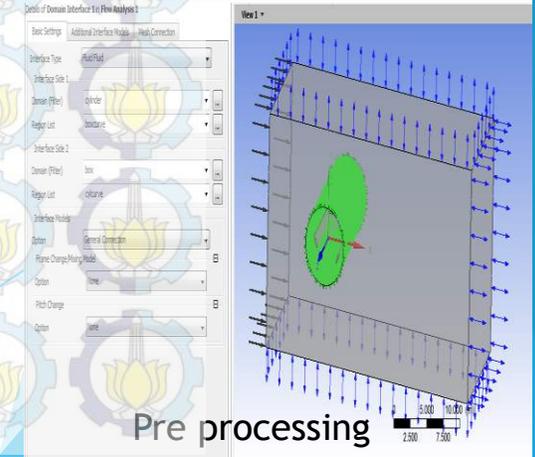


box domain

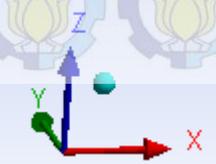
No	Kondisi Batas	Letak pada CFD	Inisialisai
1	Wall (wall box dan wall cylinder)	Atas dan bawah	Wall, free slip
2	Wall	Blade (foil 1, 2, 3) dan shaft	Wall, no slip, rotating wall dengan kecepatan RPM sesuai hasil analisis non-dimensional
3	Inlet	Aliran masuk (bagian kiri kotak)	Inlet, pemberian kecepatan sesuai kecepatan arus laut 0.5 – 2 m/s
4	Opening (Kanan, Kiri dan Aliran Keluar)	Aliran Keluar, Kanan dan Kiri	Entrainment, gradient pressure 0 Pa
5	Domain Interface	BoxCurve dan CylCurve	Pendefinisian fluida (water-water)



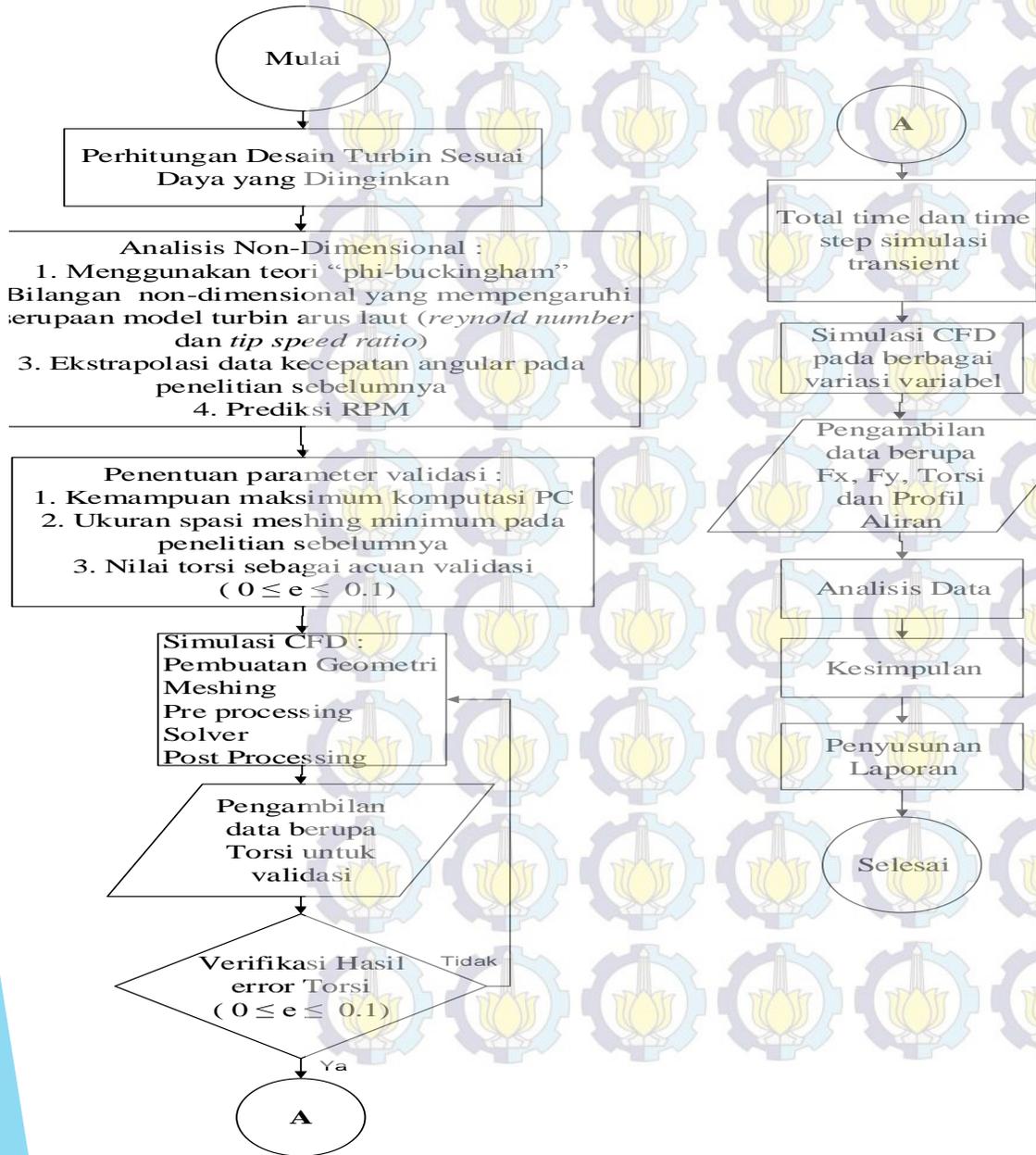
meshing



Pre processing



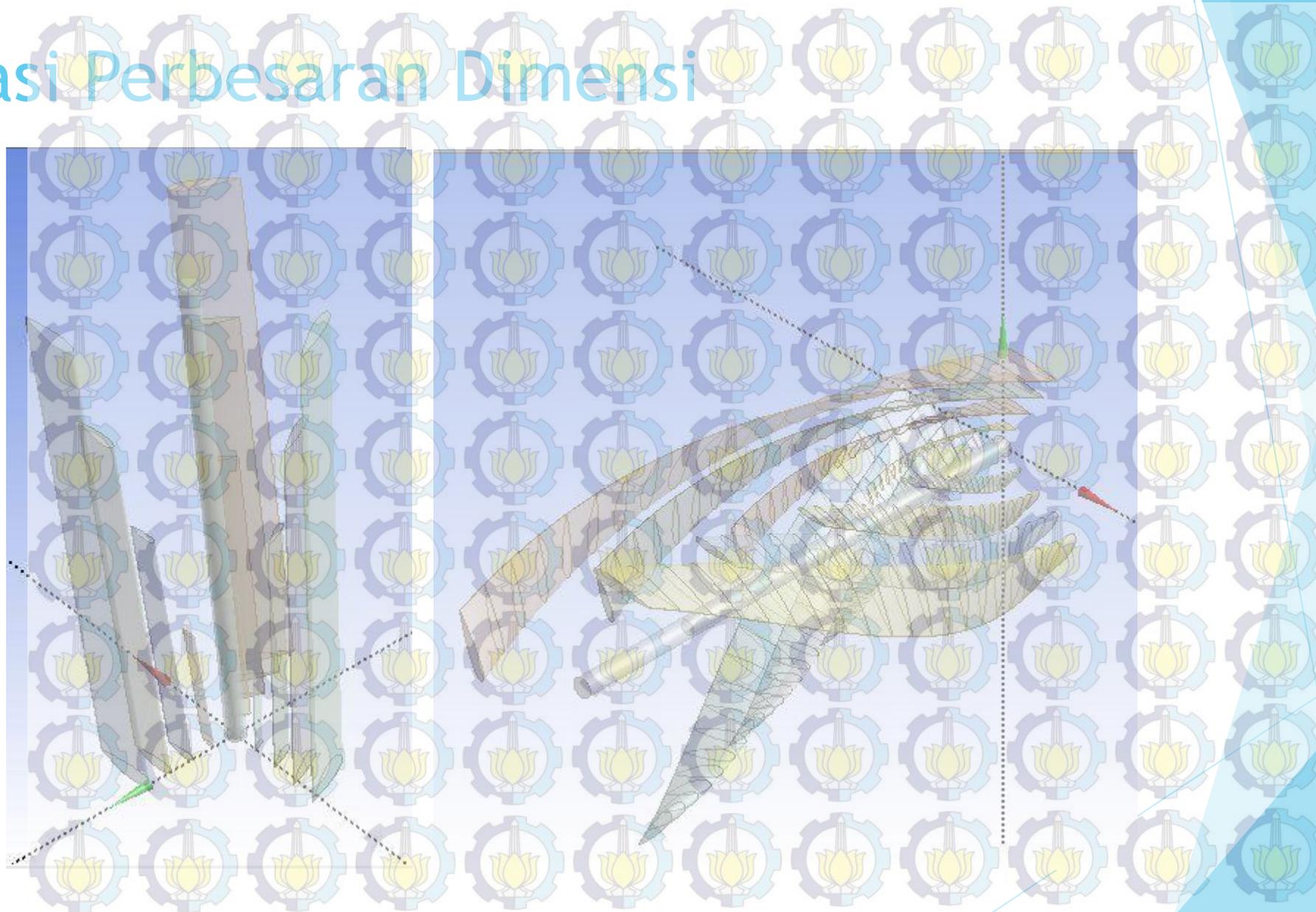
Metodologi Penelitian



Simulasi Selanjutnya (Transient):

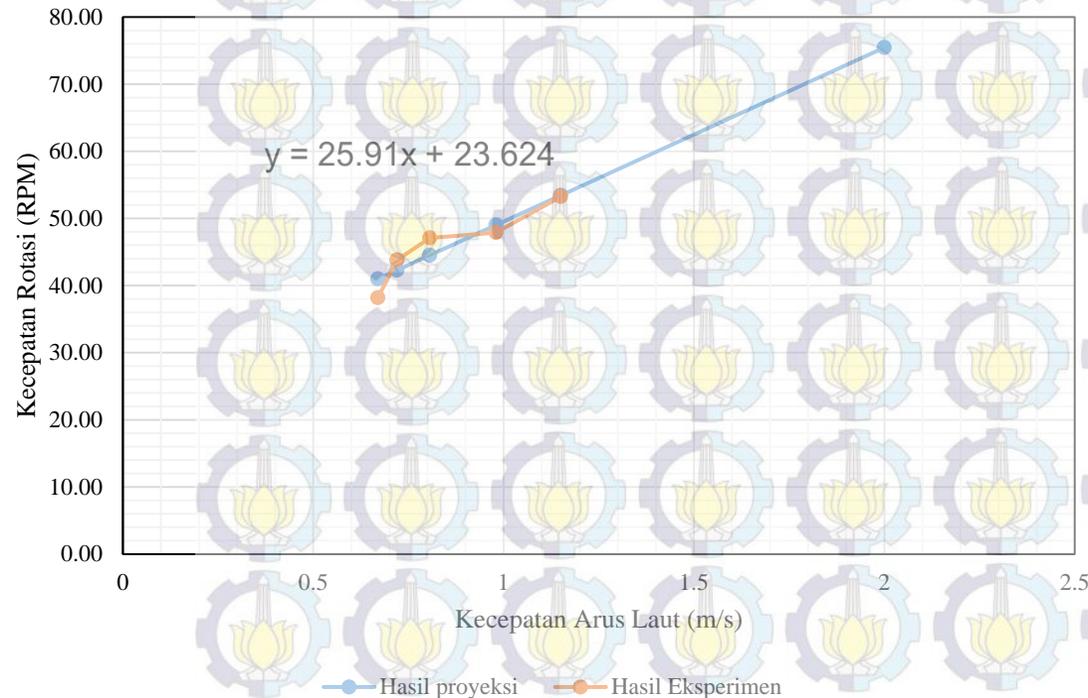
- Penentuan nilai total time (waktu untuk 1 putaran penuh) dan time step (waktu untuk berputar sebesar sudut azimuth yang diinginkan)
- Disimulasikan pada berbagai variasi variable yang sudah ditentukan
- Pengambilan data hasil simulasi CFD berupa gaya F_x , F_y , Torsi, kontur tekanan, kontur kecepatan

Variasi Perbesaran Dimensi



Hasil dan Pembahasan

Hasil ekstrapolasi



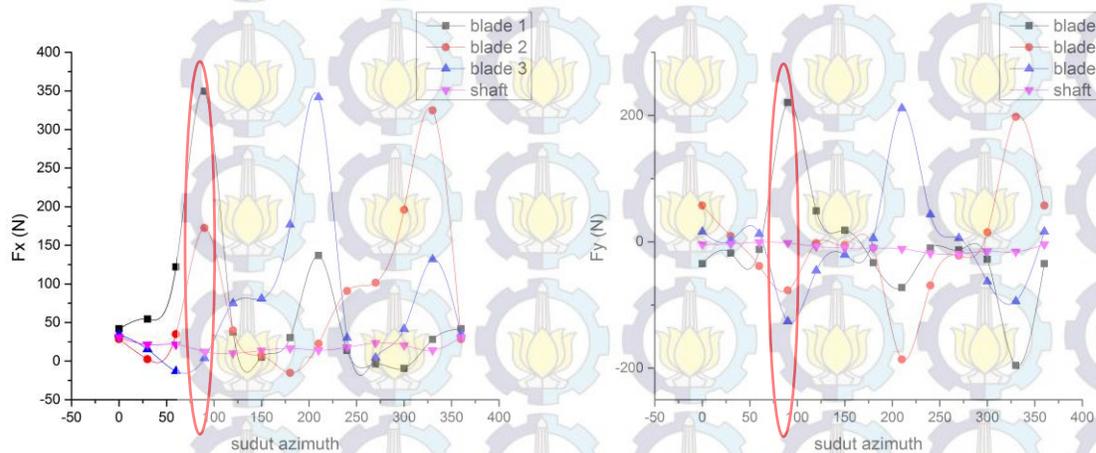
kecepatan (m/s)	Dimensi 4	Prediksi Kecepatan Sudut (RPM)	eror (%)
0.67	0.5	3.809643281	7.3448773
0.72	1	5.158892355	3.448736716
0.806	1.5	6.50814143	5.482906056
0.98	2	7.857390504	2.352314038
1.15	Dimensi 3	Prediksi Kecepatan Sudut (RPM)	0.302863169
2	0.5	5.079524375	
	1	6.87852314	3.786339456
	1.5	8.677521906	
	2	10.47652067	
	Dimensi 2	Prediksi Kecepatan Sudut (RPM)	
	0.5	7.619286562	
	1	10.31778471	
	1.5	13.01628286	
	2	15.71478101	
	Dimensi 1	Prediksi Kecepatan Sudut (RPM)	
	0.5	15.23857312	
	1	20.63556942	
	1.5	26.03256572	
	2	31.42956202	

Validasi

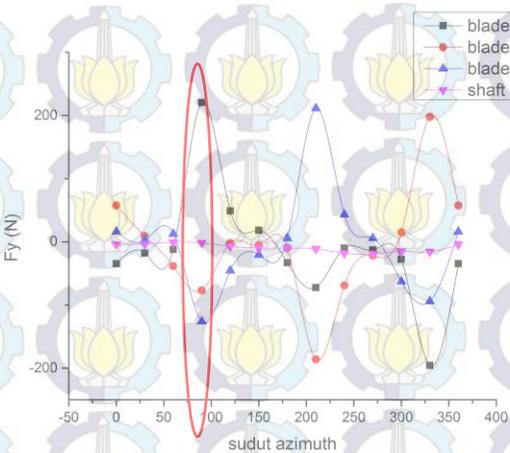
Nama Bagian	Keterangan Spasi Meshing	Ukuran Spasi Meshing							
		Penelitian Sebelumnya	Penelitian saat ini	Penelitian sebelumnya (<i>Darrieus</i>)		Tugas Akhir ini (<i>V-Blade</i>)			
Blade 1,2,3 dan Shaft	Angular resolution, [degrees] 18	min : 0.0005 m max : 0.1 m	min : 0.0005 m max : 0.1 m	Kecepatan		Error			
				Jumlah mesh	Torsi (N.m)	Jumlah mesh	Torsi (N.m)		
Box Wall dan Cylinder Wall	Angular resolution, [degrees] 18	min : 0.008 m max : 0.1 m	min : 0.0095 m max : 0.3 m	0,6 m/s	7786724	12,69	6748458	12,46	2 %
				0,7 m/s	7786724	16,05	6748458	16,9	5 %
				Eror rata-rata				3,5 %	
Inlet dan Opening	Angular resolution, [degrees] 18	min : 0.005 m max : 0.1 m	min : 0.01 m max : 0.3 m						
BoxCurve dan CylCurve	Constant Resolution	Constant Edge Length: 0.05 m	Constant Edge Length: 0.05 m						

Ukuran spasi meshing minimum

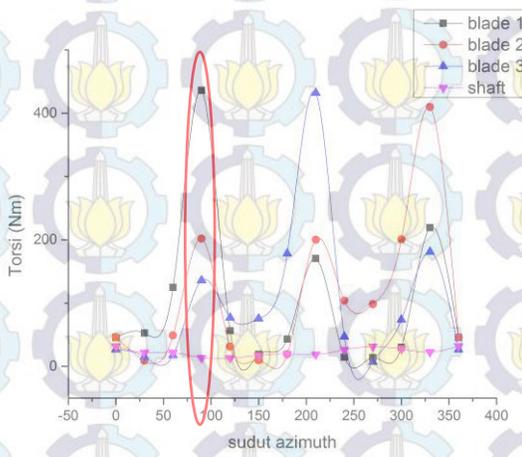
V-STRAIGHT



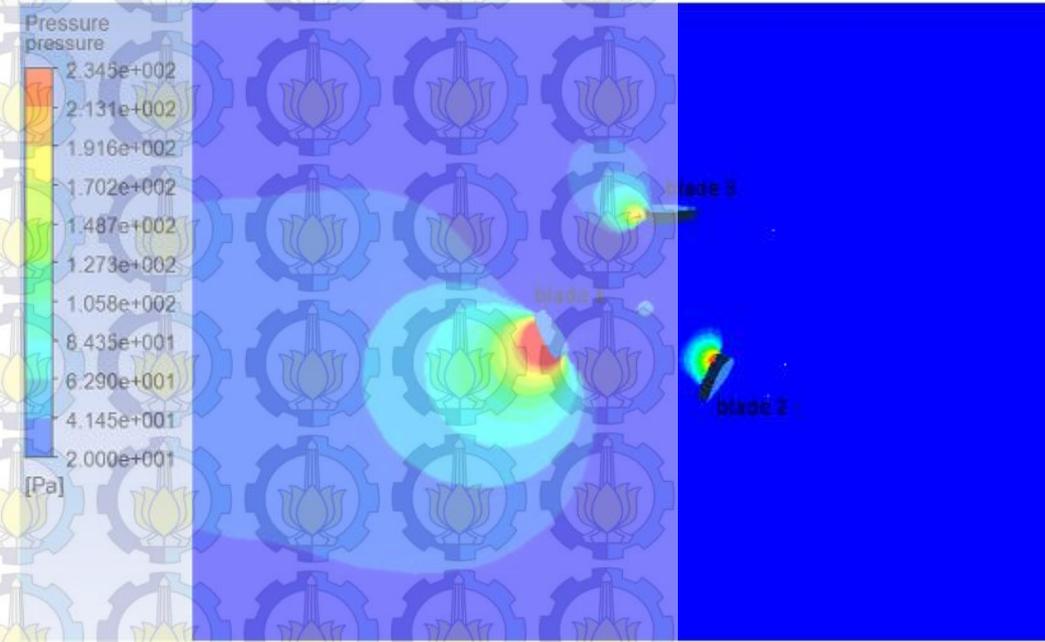
(a)



(b)

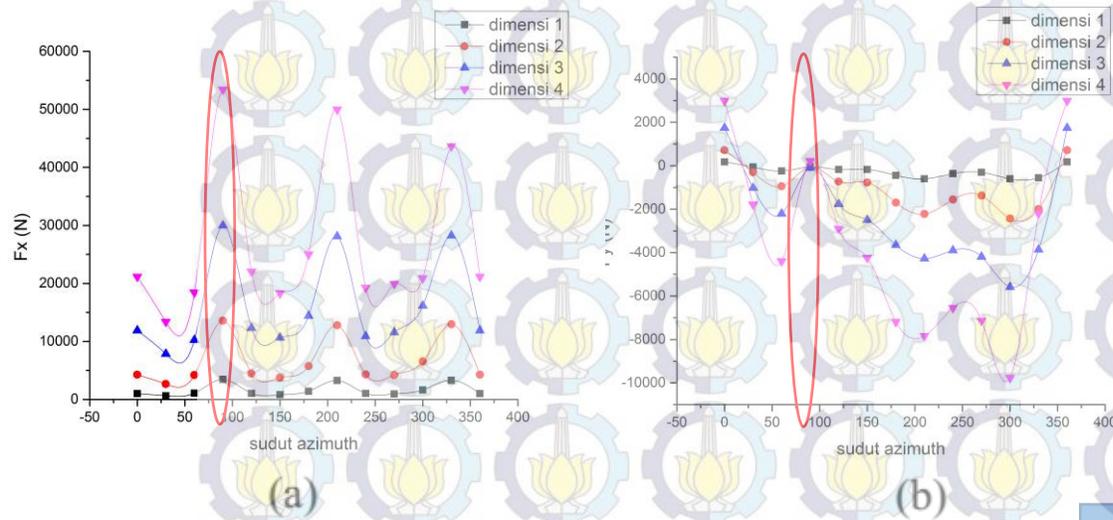


(c)



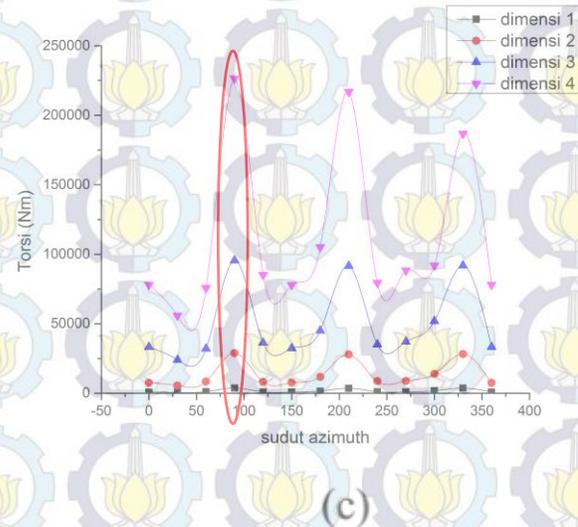
Gaya pada masing – masing blade dan shaft turbin V-Straight
(a) Gaya arah sumbu x (F_x) (b) Gaya arah sumbu y (F_y) (c) Torsi

Fx, Fy dan Torsi terhadap sudut azimuth dengan variasi dimensi turbin

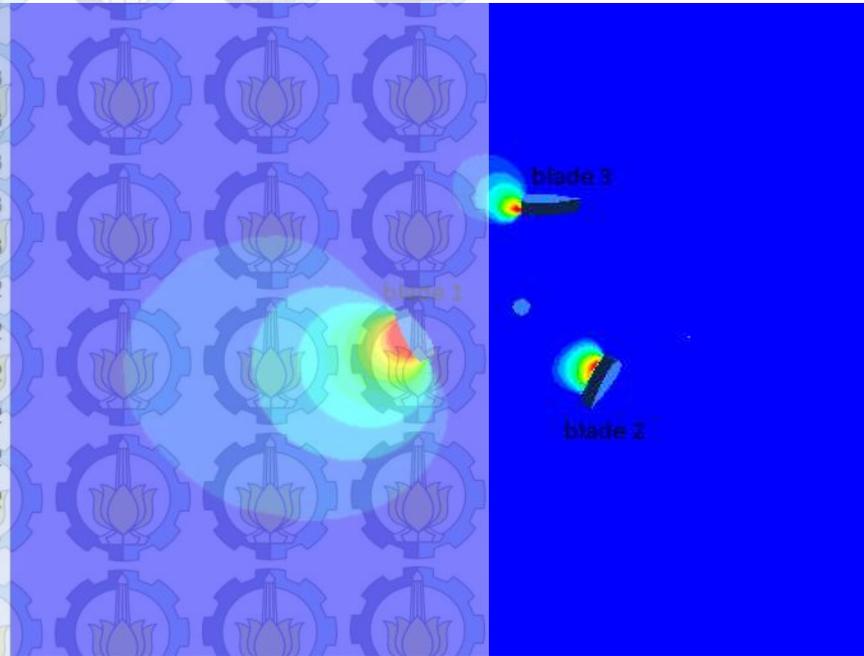
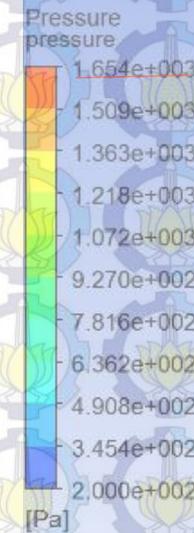


(a)

(b)

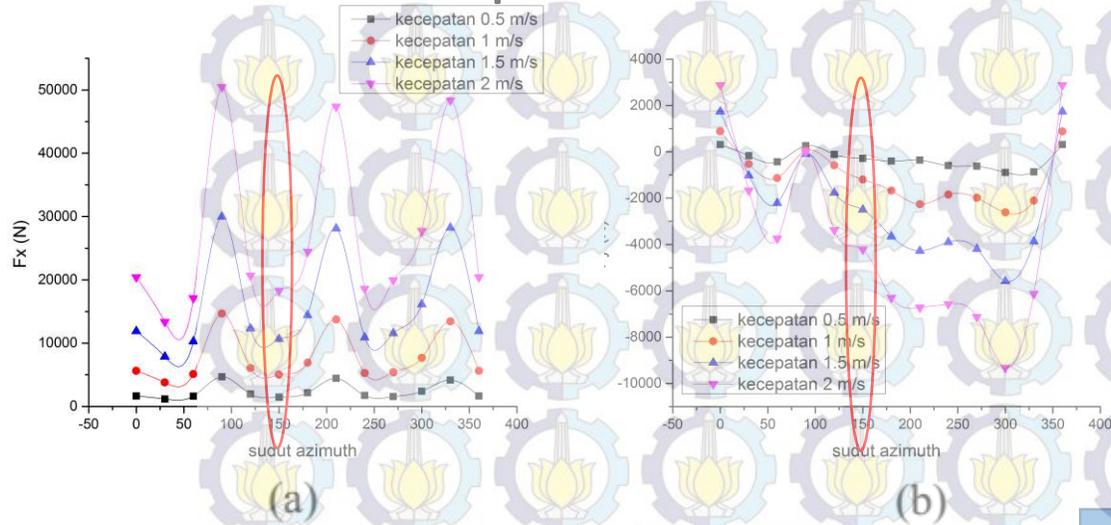


(c)



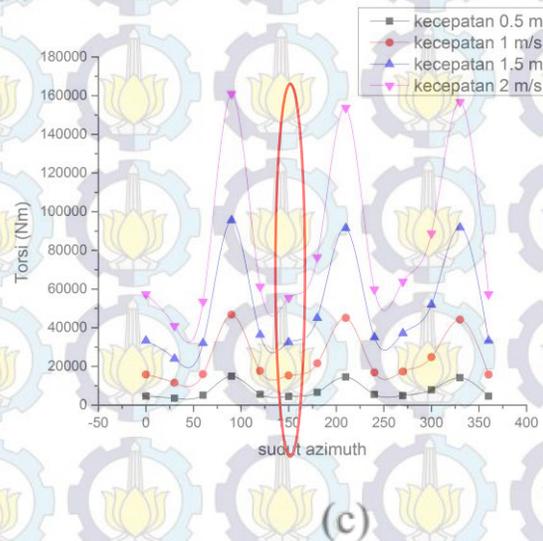
Gaya tiap sudut azimuth variasi dimensi turbin *V-Straight*
(a) Gaya arah sumbu x (F_x) (b) Gaya arah sumbu y (F_y) (c) Torsi

Fx, Fy dan Torsi terhadap sudut azimuth dengan variasi kecepatan aliran

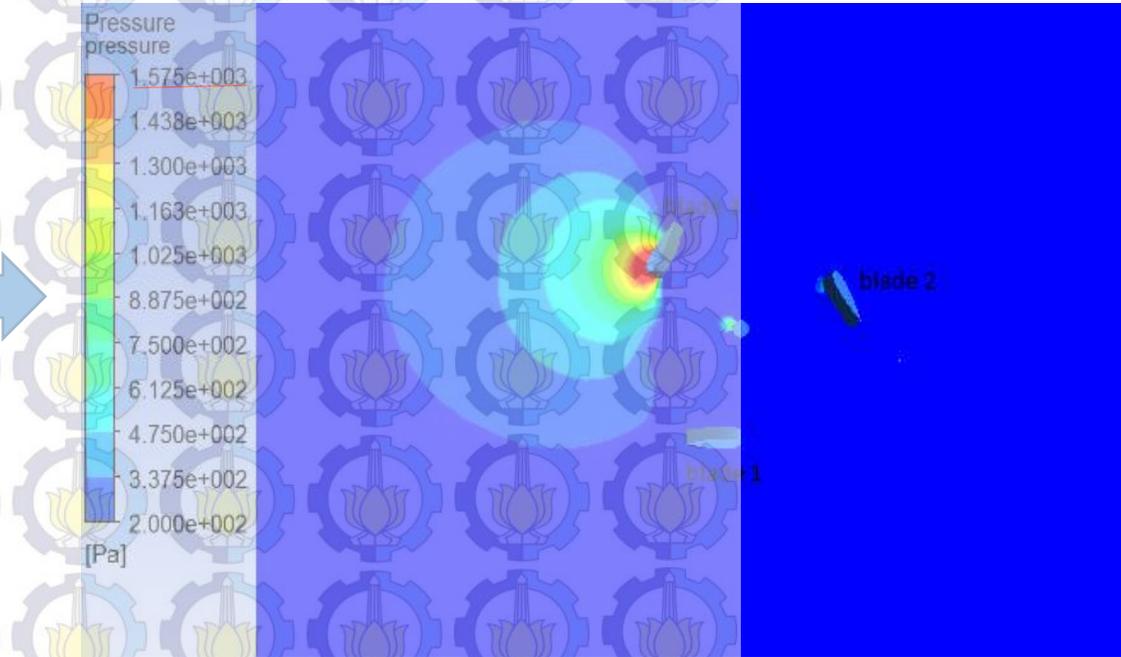


(a)

(b)

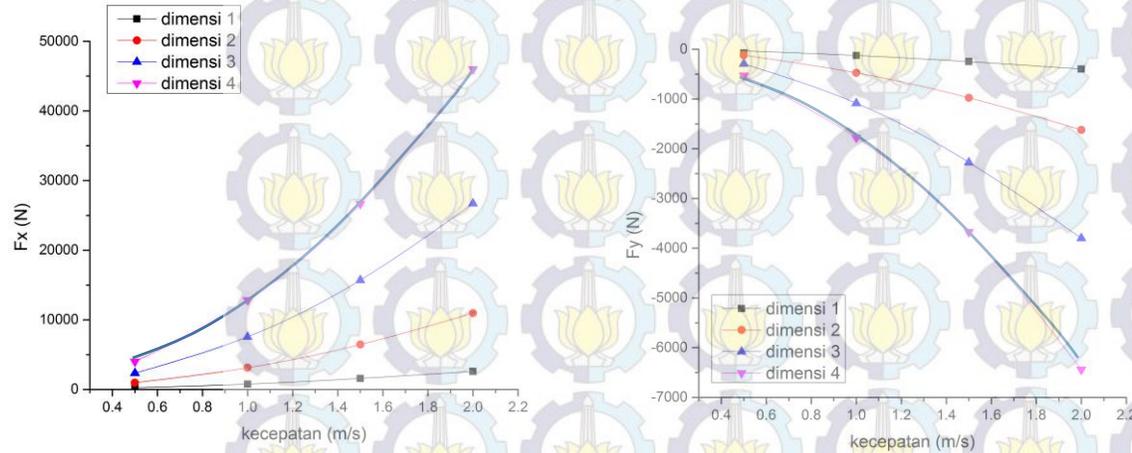


(c)



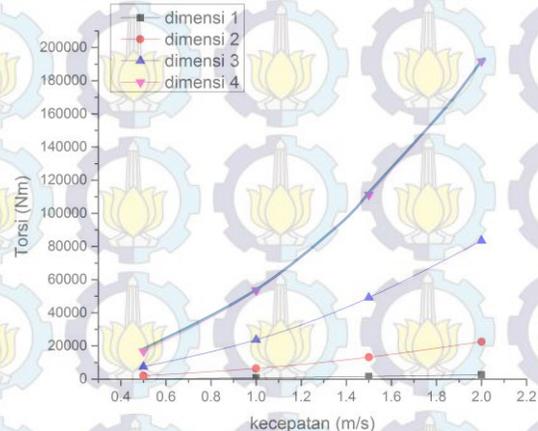
Gaya tiap sudut azimuth variasi kecepatan aliran
(a) Gaya arah sumbu x (F_x) (b) Gaya arah sumbu y (F_y) (c) Torsi

Fx, Fy dan Torsi terhadap kecepatan aliran dengan variasi dimensi turbin



(a)

(b)



(c)

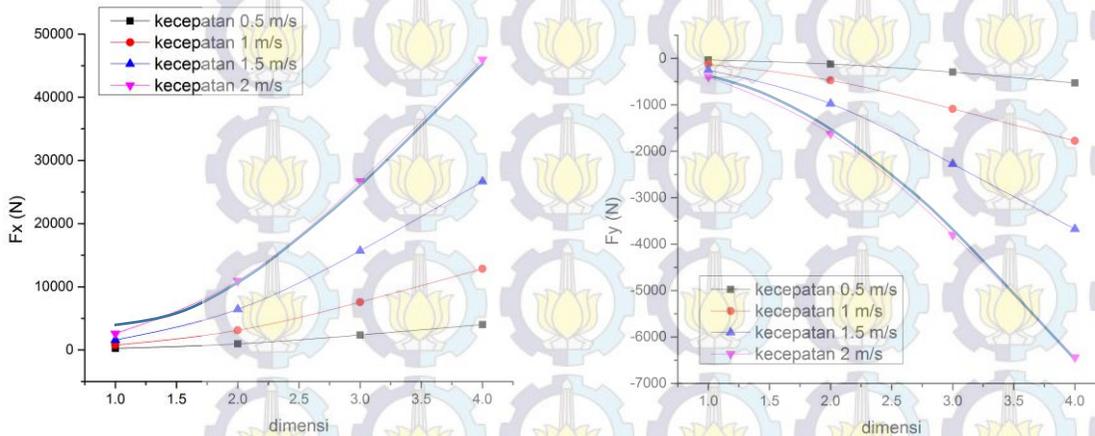
Fx	Fy	Torsi
$y = 10492x^2 + 1723x + 548.81$ $R^2 = 1$ (dimensi 4)	$y = -1517.2x^2 - 134.73x - 91.815$ $R^2 = 1$ (dimensi 4)	$y = 43570x^2 + 7519.2x + 2204$ $R^2 = 1$ (dimensi 4)
$y = 5794.1x^2 + 1757.8x + 25.103$ $R^2 = 1$ (dimensi 3)	$y = -736.17x^2 - 501.59x + 143.68$ $R^2 = 1$ (dimensi 3)	$y = 18018x^2 + 5728.7x + 20.823$ $R^2 = 1$ (dimensi 3)
$y = 2367.8x^2 + 741.01x + 2.0837$ $R^2 = 1$ (dimensi 2)	$y = -294.19x^2 - 265.68x + 86.14$ $R^2 = 1$ (dimensi 2)	$y = 4826.2x^2 + 1619.7x - 14.679$ $R^2 = 1$ (dimensi 2)
$y = 483.61x^2 + 372.97x - 74.321$ $R^2 = 1$ (dimensi 1)	$y = -53.818x^2 - 110.44x + 38.679$ $R^2 = 1$ (dimensi 1)	$y = 490.83x^2 + 392.11x - 78.467$ $R^2 = 1$ (dimensi 1)

$$F = \frac{1}{2} \rho A V^2 \quad T = \frac{1}{2} \rho A R V^2$$

$$(F_x, F_y, T) \sim V^2$$

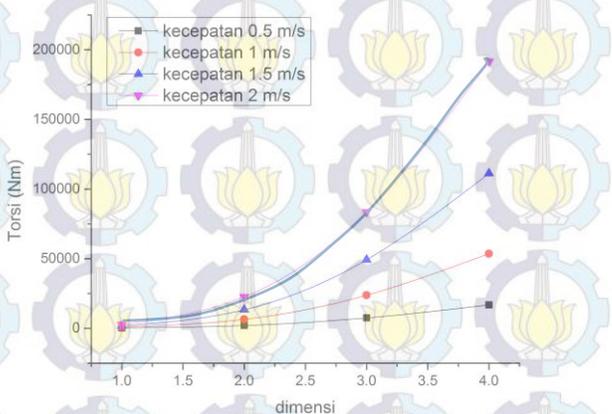
Gaya tiap kecepatan aliran dengan variasi dimensi turbin
 (a) Gaya arah sumbu x (Fx) (b) Gaya arah sumbu y (Fy) (c) Torsi

Fx, Fy dan Torsi terhadap dimensi turbin dengan variasi kecepatan aliran



(a)

(b)



(c)

Gaya tiap dimensi turbin dengan variasi kecepatan
 (a) Gaya arah sumbu x (Fx) (b) Gaya arah sumbu y (Fy) (c) Torsi

Fx	Fy	Torsi
$y = 2730.6x^2 + 939.07x - 1262.7$ $R^2 = 1$ (kecepatan 2 m/s)	$y = -353.75x^2 - 262.29x + 243.48$ $R^2 = 1$ (kecepatan 2 m/s)	$y = 989.25x^3 + 14637x^2 - 30973x + 18011$ $R^2 = 1$ (kecepatan 2 m/s)
$y = 1524.8x^2 + 825.83x - 899.56$ $R^2 = 1$ (kecepatan 1.5 m/s)	$y = -168.88x^2 - 313.51x + 257.27$ $R^2 = 1$ (kecepatan 1.5 m/s)	$y = 305.45x^3 + 10300x^2 - 21387x + 12410$ $R^2 = 1$ (kecepatan 1.5 m/s)
$y = 733.45x^2 + 400.29x - 430.33$ $R^2 = 1$ (kecepatan 1 m/s)	$y = -85.572x^2 - 128.67x + 98.483$ $R^2 = 1$ (kecepatan 1 m/s)	$y = 151.37x^3 + 4924.3x^2 - 10197x + 5911.3$ $R^2 = 1$ (kecepatan 1 m/s)
$y = 231.06x^2 + 114.8x - 128.31$ $R^2 = 1$ (kecepatan 0.5 m/s)	$y = -35.869x^2 + 12.726x - 5.8678$ $R^2 = 1$ (kecepatan 0.5 m/s)	$y = 51.579x^3 + 1511.2x^2 - 3136.2x + 1818.4$ $R^2 = 1$ (kecepatan 0.5 m/s)

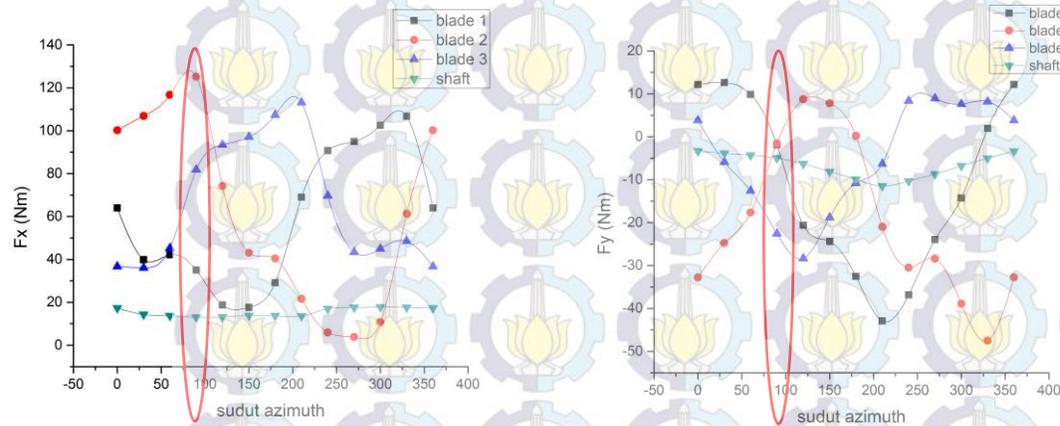
$$F = \frac{1}{2} \rho A V^2 \quad T = \frac{1}{2} \rho A R V^2$$

$$(F_x, F_y) \sim A \sim \text{Dimensi}^2$$

$$A \cdot R (\text{Dimensi}^2 \cdot \text{Dimensi}) = \text{Dimensi}^3,$$

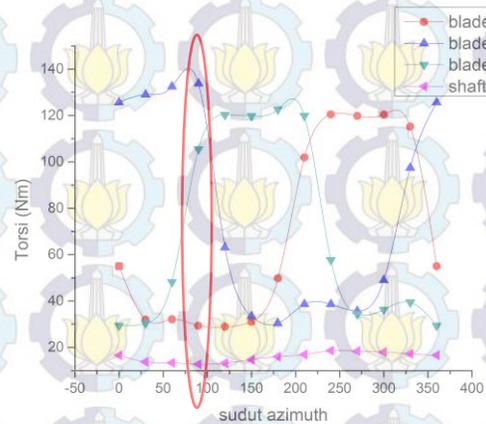
$$\text{Torsi} \sim \text{Dimensi}^3$$

V-HELICAL

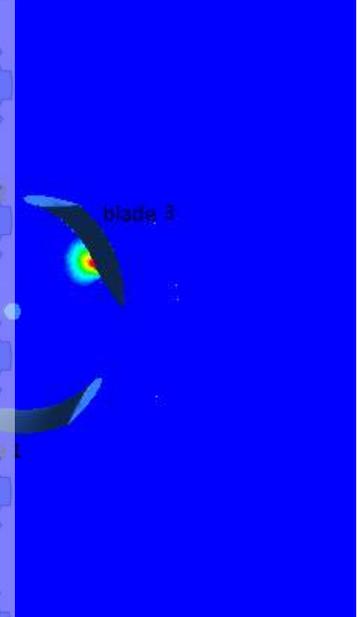
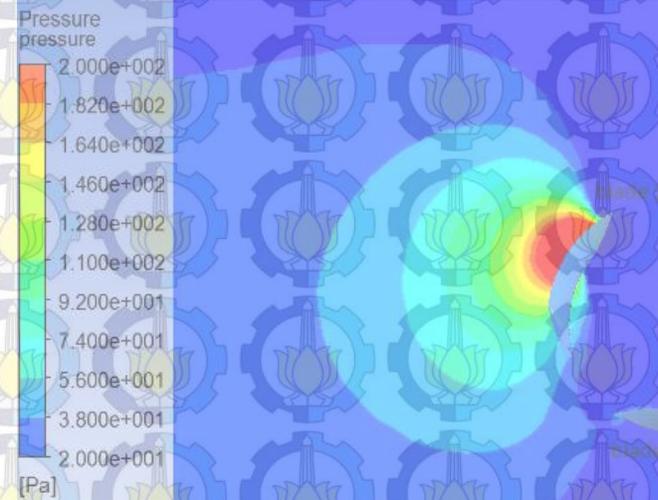


(a)

(b)

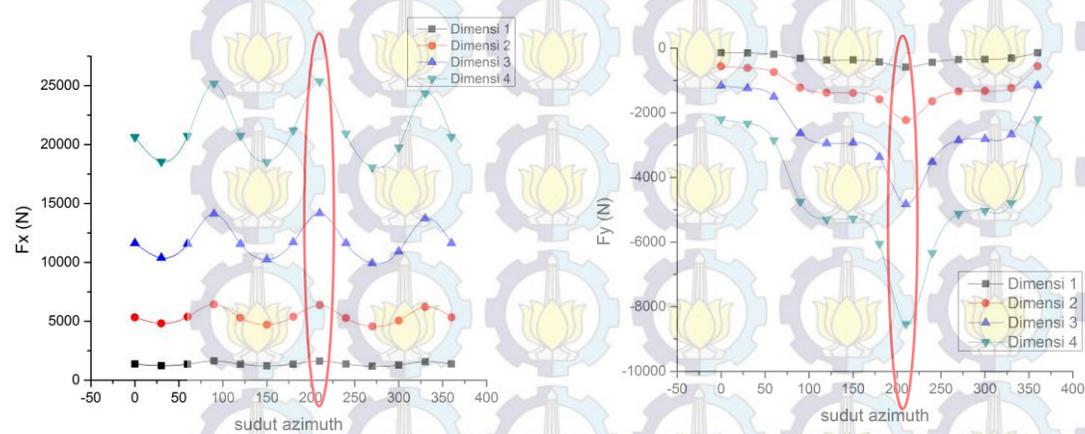


(c)



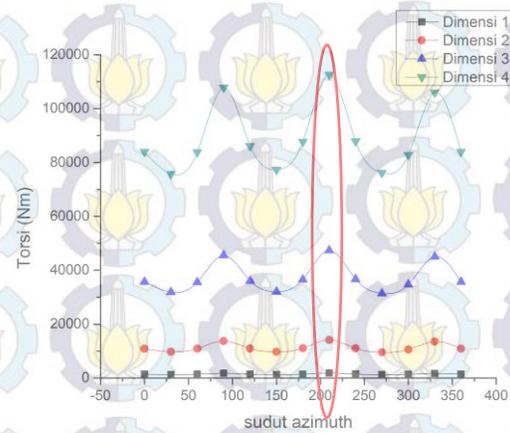
Gaya pada masing – masing blade dan shaft turbin V-Helical
(a) Gaya arah sumbu x (F_x) (b) Gaya arah sumbu y (F_y) (c) Torsi

Fx, Fy dan Torsi terhadap sudut azimuth dengan variasi dimensi turbin

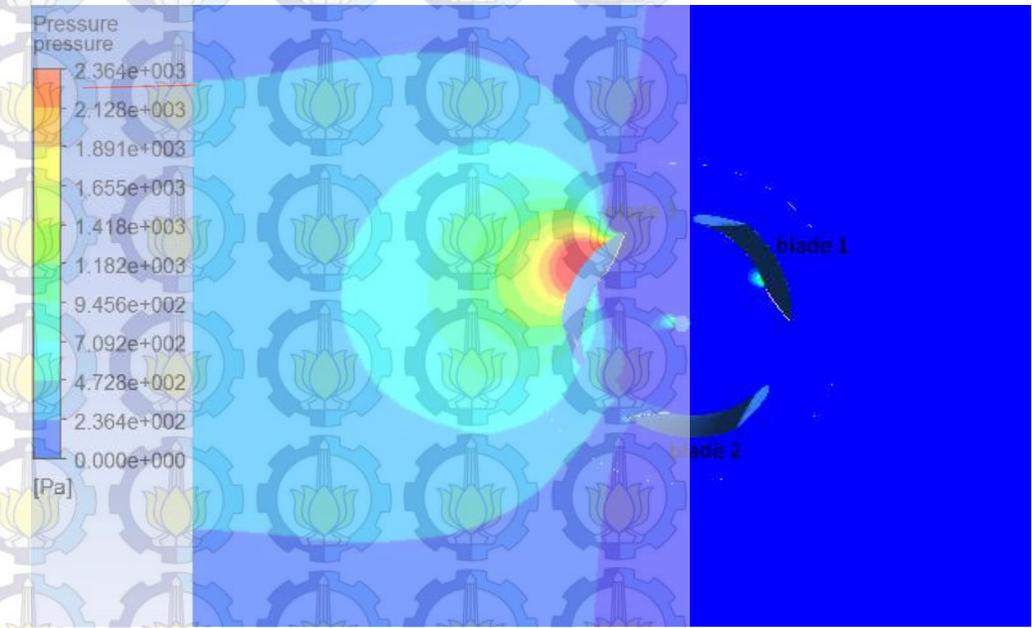


(a)

(b)

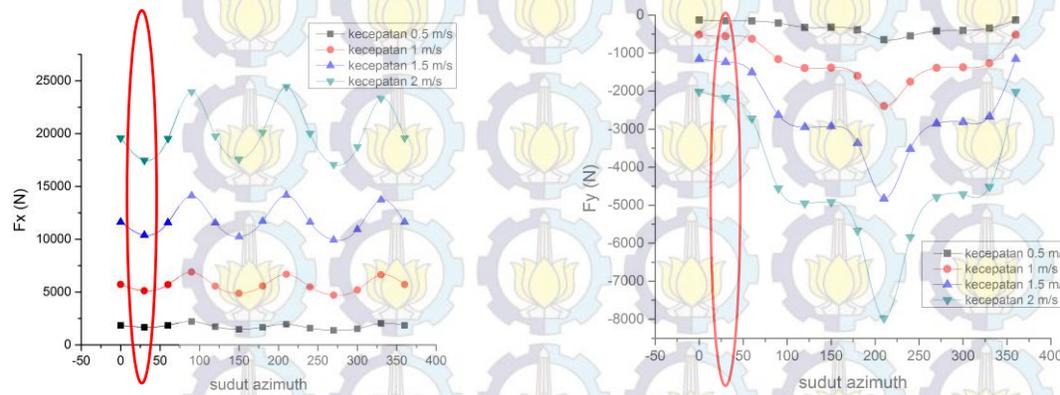


(c)



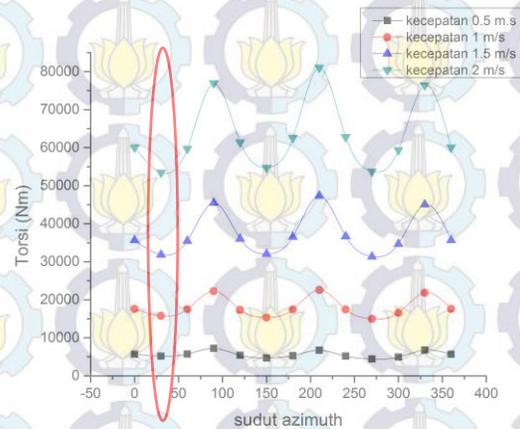
Gaya tiap sudut azimuth variasi dimensi turbin V-Helical
(a) Gaya arah sumbu x (F_x) (b) Gaya arah sumbu y (F_y) (c) Torsi

Fx, Fy dan Torsi terhadap sudut azimuth dengan variasi kecepatan aliran

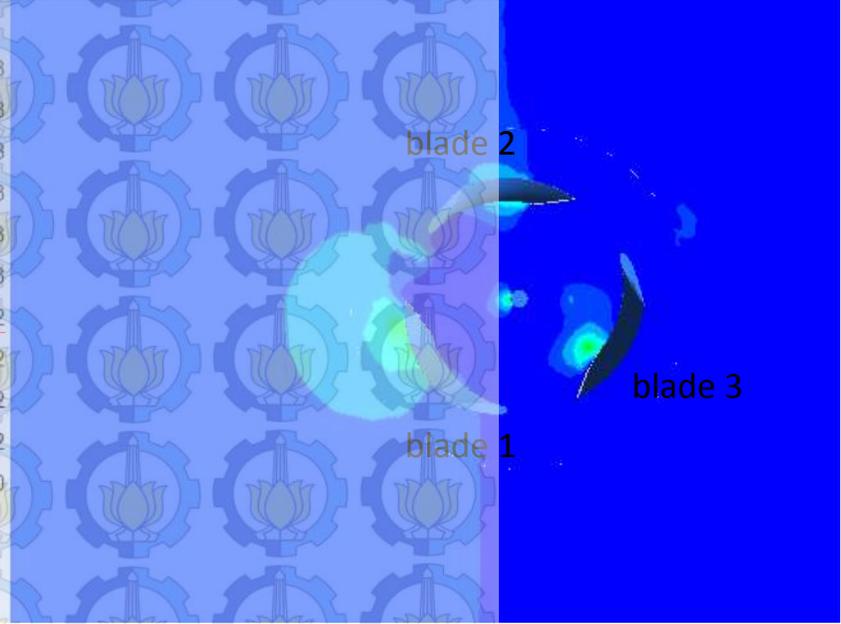


(a)

(b)

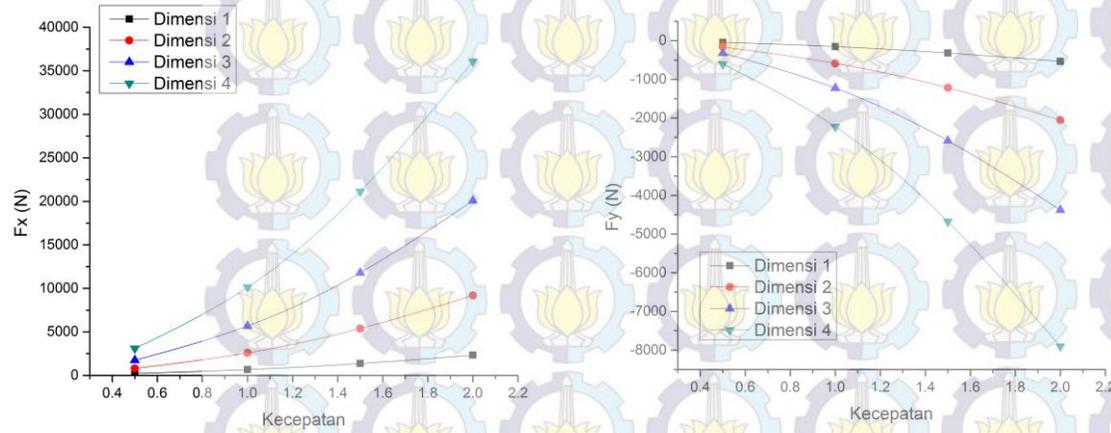


(c)

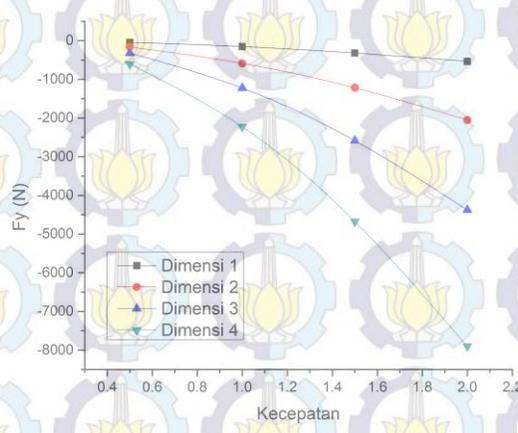


Gaya tiap sudut azimuth variasi kecepatan aliran
(a) Gaya arah sumbu x (F_x) (b) Gaya arah sumbu y (F_y) (c) Torsi

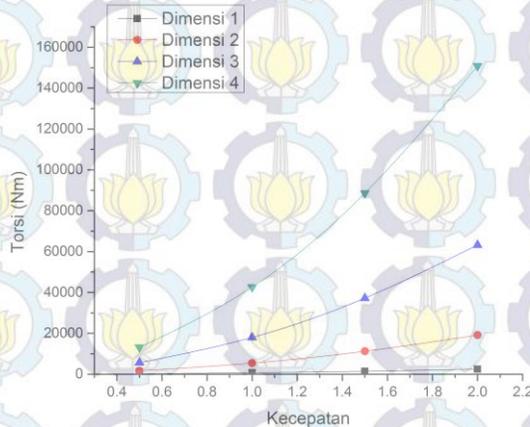
Fx, Fy dan Torsi terhadap kecepatan aliran dengan variasi dimensi turbin



(a)



(b)



(c)

Fx	Fy	Torsi
$y = 7904.2x^2 + 2222.6x + 4.8305$ $R^2 = 1$ (dimensi 4)	$y = -1606.7x^2 - 849.46x + 221.31$ $R^2 = 1$ (dimensi 4)	$y = 32709x^2 + 10024x - 68.286$ $R^2 = 1$ (dimensi 4)
$y = 4364.7x^2 + 1313.5x - 3.2654$ $R^2 = 1$ (dimensi 3)	$y = -884.54x^2 - 492.18x + 147.09$ $R^2 = 1$ (dimensi 3)	$y = 13604x^2 + 4418x - 2.392$ $R^2 = 1$ (dimensi 3)
$y = 2000.3x^2 + 595.99x - 6.0783$ $R^2 = 1$ (dimensi 2)	$y = -408.32x^2 - 239.79x + 60.975$ $R^2 = 1$ (dimensi 2)	$y = 4129.6x^2 + 1317.8x - 12.135$ $R^2 = 1$ (dimensi 2)
$y = 499.81x^2 + 167.06x - 5.4613$ $R^2 = 1$ (dimensi 1)	$y = -107.75x^2 - 59.151x + 13.794$ $R^2 = 1$ (dimensi 1)	$y = 519.04x^2 + 183.01x - 3.6885$ $R^2 = 1$ (dimensi 1)

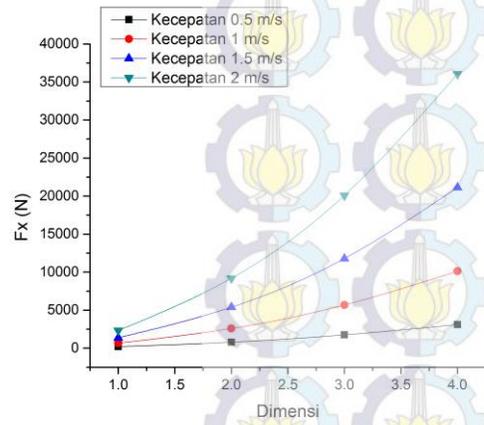
$$F = \frac{1}{2} \rho A V^2$$

$$T = \frac{1}{2} \rho A R V^2$$

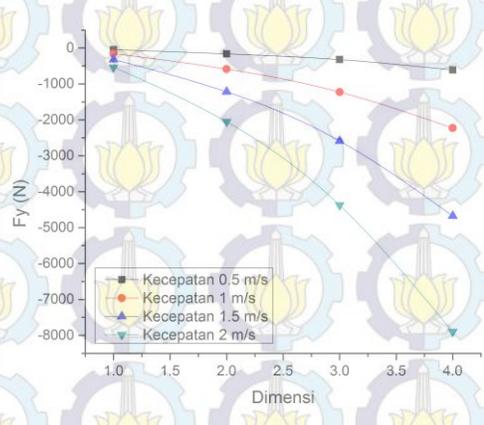
$$(F_x, F_y, T) \sim V^2$$

Gaya tiap kecepatan aliran dengan variasi dimensi turbin
 (a) Gaya arah sumbu x (Fx) (b) Gaya arah sumbu y (Fy) (c) Torsi

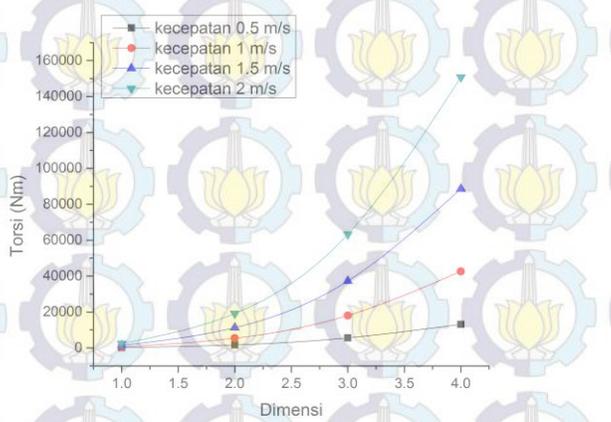
Fx, Fy dan Torsi terhadap dimensi turbin dengan variasi kecepatan aliran



(a)



(b)



(c)

Fx	Fy	Torsi
$y = 2280.9x^2 - 193.39x + 292.91$ $R^2 = 1$ (kecepatan 2 m/s)	$y = -502.92x^2 + 72.301x - 124.58$ $R^2 = 1$ (kecepatan 2 m/s)	$y = 2674.1x^3 - 2341.6x^2 + 5009.4x - 2903.5$ $R^2 = 1$ (kecepatan 2 m/s)
$y = 1330.1x^2 - 83.818x + 151.73$ $R^2 = 1$ (kecepatan 1.5 m/s)	$y = -297.44x^2 + 43.247x - 76.839$ $R^2 = 1$ (kecepatan 1.5 m/s)	$y = 1538.3x^3 - 1153.4x^2 + 2510.4x - 1456.6$ $R^2 = 1$ (kecepatan 1.5 m/s)
$y = 630.98x^2 - 6.1018x + 46.865$ $R^2 = 1$ (kecepatan 1 m/s)	$y = -142.01x^2 + 23.612x - 41.706$ $R^2 = 1$ (kecepatan 1 m/s)	$y = 696.31x^3 - 250.98x^2 + 614.76x - 361.89$ $R^2 = 1$ (kecepatan 1 m/s)
$y = 189.94x^2 + 12.519x + 2.2699$ $R^2 = 1$ (kecepatan 0.5 m/s)	$y = -41.937x^2 + 24.27x - 29.542$ $R^2 = 1$ (kecepatan 0.5 m/s)	$y = 188.41x^3 + 101.86x^2 - 162.54x + 89.887$ $R^2 = 1$ (kecepatan 0.5 m/s)

$$F = \frac{1}{2} \rho A V^2 \qquad T = \frac{1}{2} \rho A R V^2$$

$$(F_x, F_y) \sim A \sim Dimensi^2$$

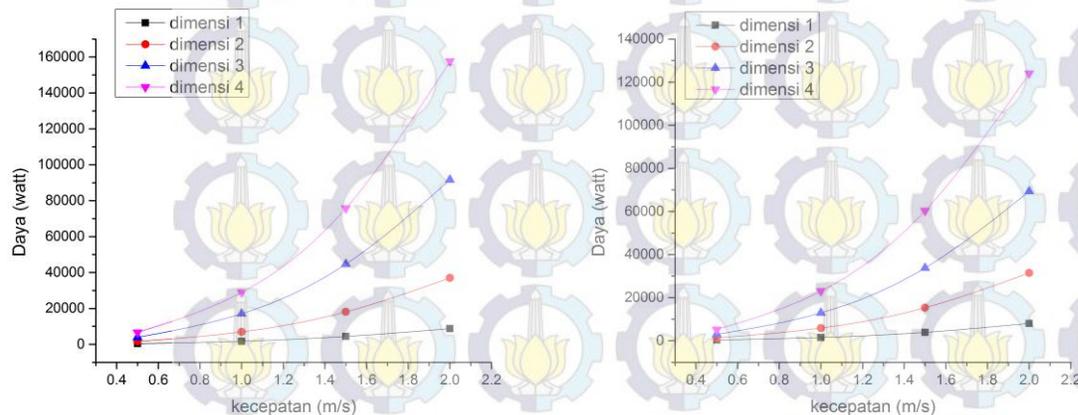
$$A \cdot R (Dimensi^2 \cdot Dimensi) = Dimensi^3,$$

$$Torsi \sim Dimensi^3$$

Gaya tiap dimensi turbin dengan variasi kecepatan
 (a) Gaya arah sumbu x (Fx) (b) Gaya arah sumbu y (Fy) (c) Torsi

Pembahasan

Pengaruh Kecepatan Aliran Fluida Terhadap Performansi Turbin Dengan Variasi Perbesaran Dimensi



(a)

(b)

Daya tiap kecepatan dengan variasi dimensi turbin
 (a) Daya pada *V-Straight* (b) Daya pada *V-Helical*

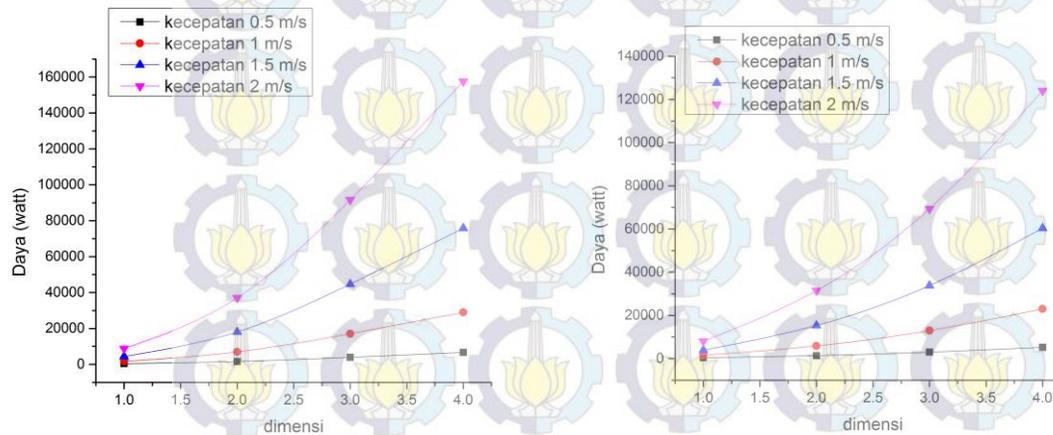
<i>V-Straight</i>	<i>V-Helical</i>
$y = 13977x^3 + 7165.8x^2 + 9316.7x - 1516.6$ $R^2 = 1$ (dimensi 4)	$y = 9128.4x^3 + 11662x^2 + 2117x + 119.73$ $R^2 = 1$ (dimensi 4)
$y = 6493.7x^3 + 9422.8x^2 + 794.9x + 371.04$ $R^2 = 1$ (dimensi 3)	$y = 5153.9x^3 + 6221x^2 + 1640.6x - 39.235$ $R^2 = 1$ (dimensi 3)
$y = 2672.1x^3 + 3601.1x^2 + 606.66x + 60.065$ $R^2 = 1$ (dimensi 2)	$y = 2320.3x^3 + 2917.7x^2 + 621.25x + 9.3652$ $R^2 = 1$ (dimensi 2)
$y = 248.15x^3 + 2081.5x^2 - 923.98x + 301.35$ $R^2 = 1$ (dimensi 1)	$y = 583.03x^3 + 753.84x^2 + 170.75x + 0.3926$ $R^2 = 1$ (dimensi 1)

$$\omega_2 = \omega_1 \cdot \left(\frac{V_2}{V_1}\right) \left(\frac{D_1}{D_2}\right); \omega \sim V$$

$$P = \frac{1}{2} \rho A V^3; P \sim V^3$$

Pembahasan

Pengaruh Perbesaran Dimensi Terhadap Performansi Turbin Dengan Variasi Kecepatan Aliran Fluida



(a)

(b)

Daya tiap dimensi turbin dengan variasi kecepatan aliran fluida

(a) Daya pada V-Straight (b) Daya pada V-Helical

<i>V-Straight</i>	<i>V-Helical</i>
$y = 9426x^2 + 2973.7x - 4375.5$ $R^2 = 1$ (kecepatan 2 m/s)	$y = 7801.9x^2 - 420.48x + 759.48$ $R^2 = 1$ (kecepatan 2 m/s)
$y = 4354.6x^2 + 2281.3x - 2622.1$ $R^2 = 1$ (kecepatan 1.5 m/s)	$y = 3778.2x^2 - 116.63x + 308.46$ $R^2 = 1$ (kecepatan 1.5 m/s)
$y = 1656.9x^2 + 900.45x - 1009.9$ $R^2 = 1$ (dimensi 1 m/s)	$y = 1422.5x^2 + 53.834x + 41.442$ $R^2 = 1$ (kecepatan 1 m/s)
$y = 384.39x^2 + 198.74x - 228.62$ $R^2 = 1$ (dimensi 0.5 m/s)	$y = 315.45x^2 + 53.123x - 23.259$ $R^2 = 1$ (kecepatan 0.5 m/s)

$$\omega_2 = \omega_1 \cdot \left(\frac{V_2}{V_1}\right) \left(\frac{D_1}{D_2}\right); \omega \sim \frac{1}{Dimensi}$$

$$P = \frac{1}{2} \rho A V^3; P \sim A \sim Dimensi^2$$

Diagram Performansi Turbin V-Straight

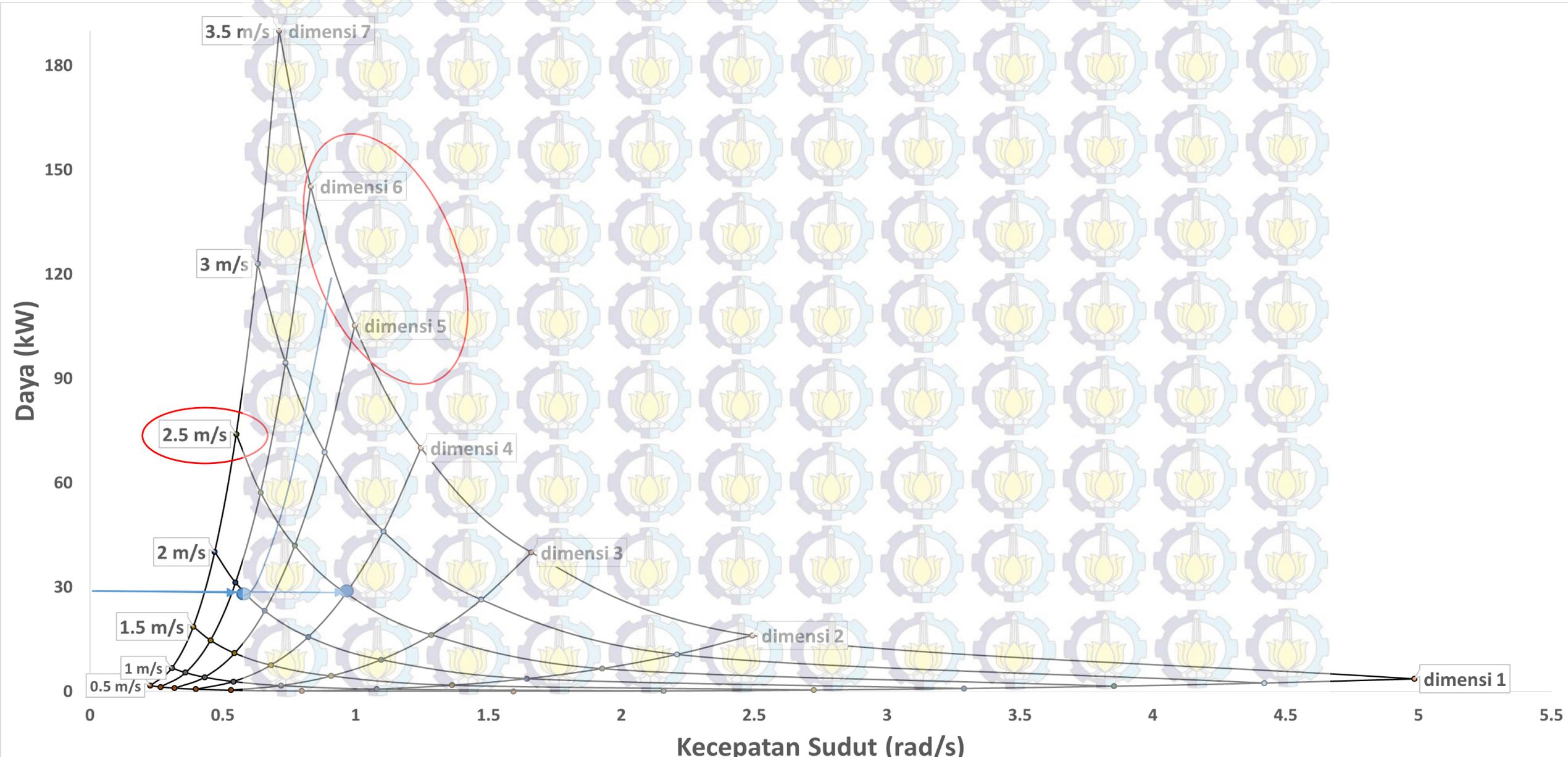
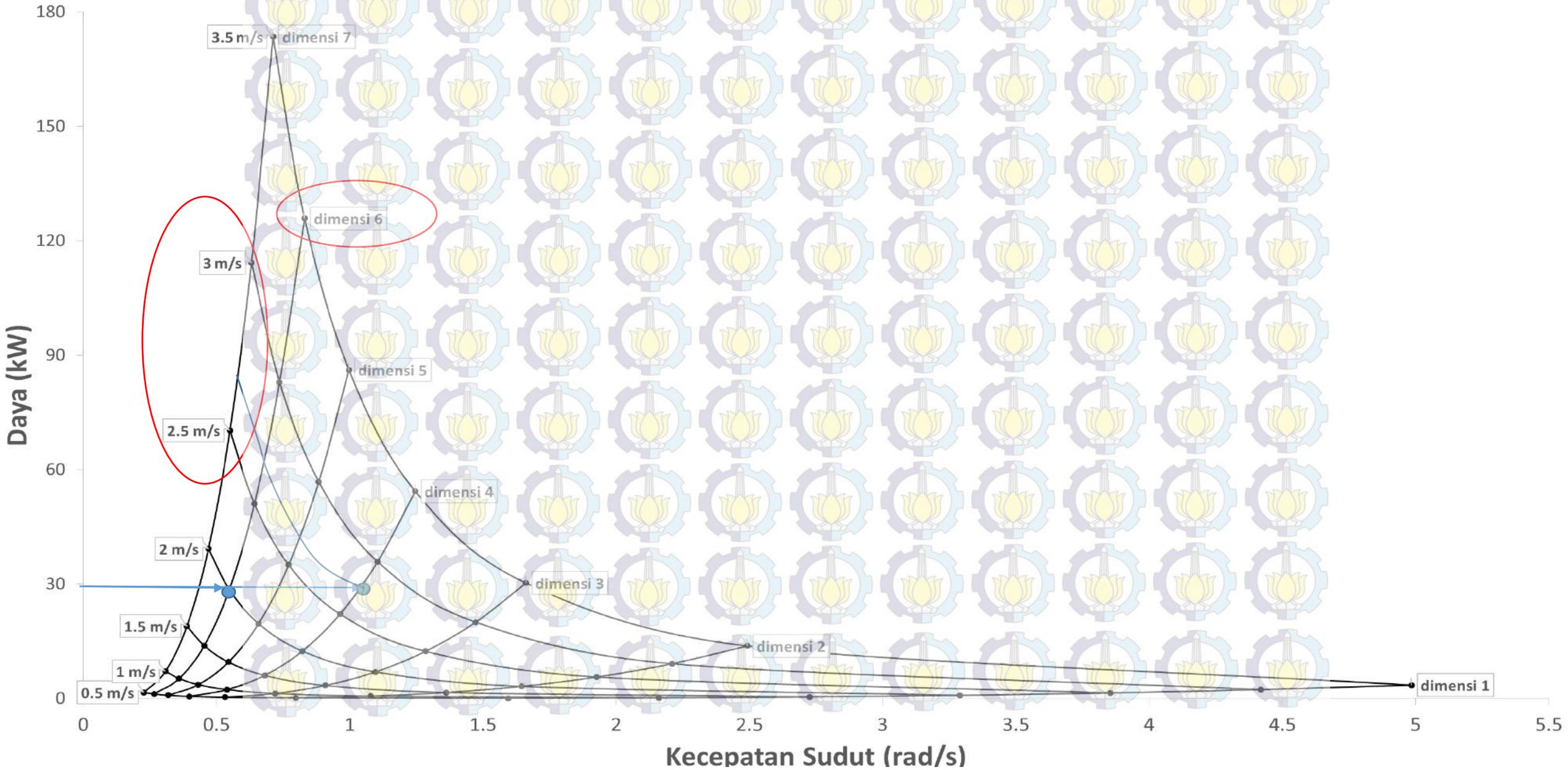
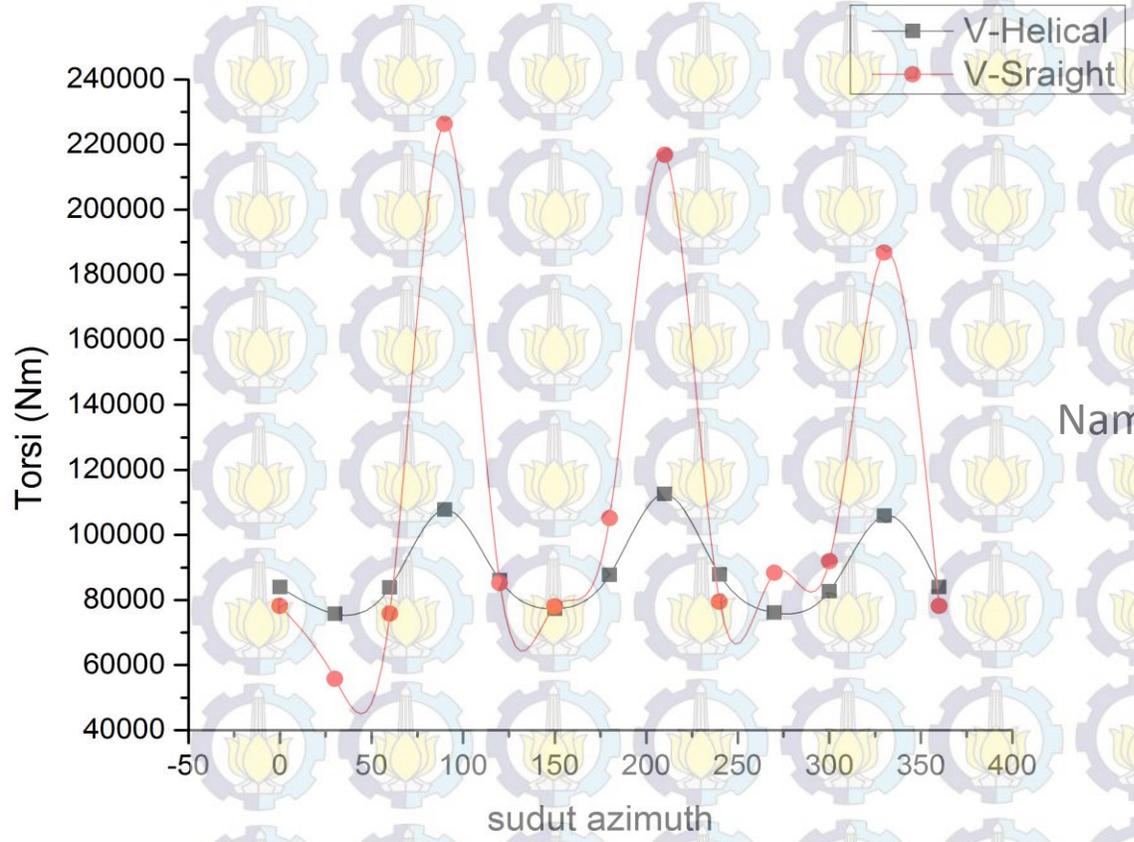


Diagram Performansi Turbin V-Helical



V-STRAIGHT vs V-HELICAL



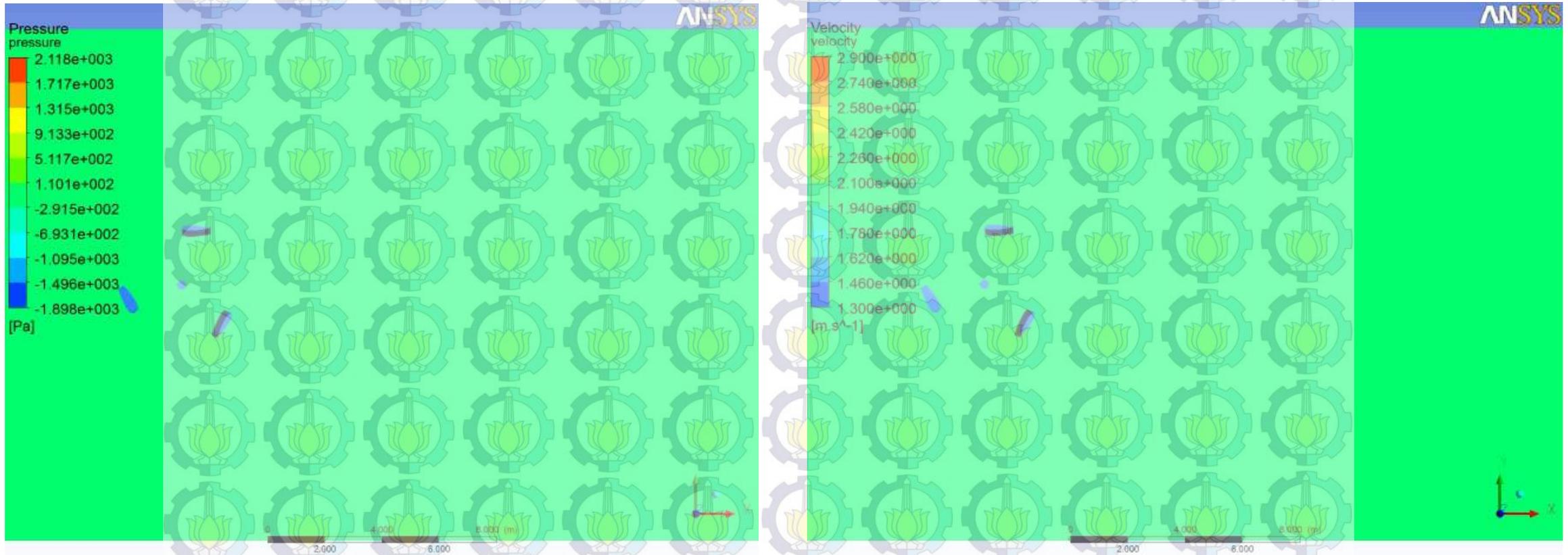
Torsi V-Helical lebih stabil dibandingkan Torsi V-Straight

Namun nilai rata – rata Torsi V-Straight 111028 Nm, lebih besar dibandingkan Torsi V-Helical 88585 Nm

KESIMPULAN

1. Pada berbagai variasi dimensi turbin, kecepatan aliran fluida berbanding lurus dengan kecepatan sudut turbin (RPM), lalu gaya F_x , F_y dan torsi sebanding dengan kuadrat kecepatan, lalu daya turbin sebanding dengan pangkat tiga kecepatan aliran fluida.
2. Pada berbagai variasi kecepatan aliran fluida, dimensi turbin berbanding terbalik dengan kecepatan sudut turbin (RPM), lalu gaya F_x , F_y dan daya turbin sebanding dengan kuadrat perbesaran dimensi, lalu torsi sebanding dengan pangkat tiga perbesaran dimensi.
3. Turbin tipe *V-Helical* menghasilkan torsi yang lebih stabil dibandingkan dengan turbin tipe *V-Straight*, namun nilai rata-rata torsi pada turbin *V-Straight* yang besarnya 111028 Nm lebih tinggi dibandingkan dengan torsi rata – rata turbin *V-Helical* yang besarnya hanya 88585 Nm

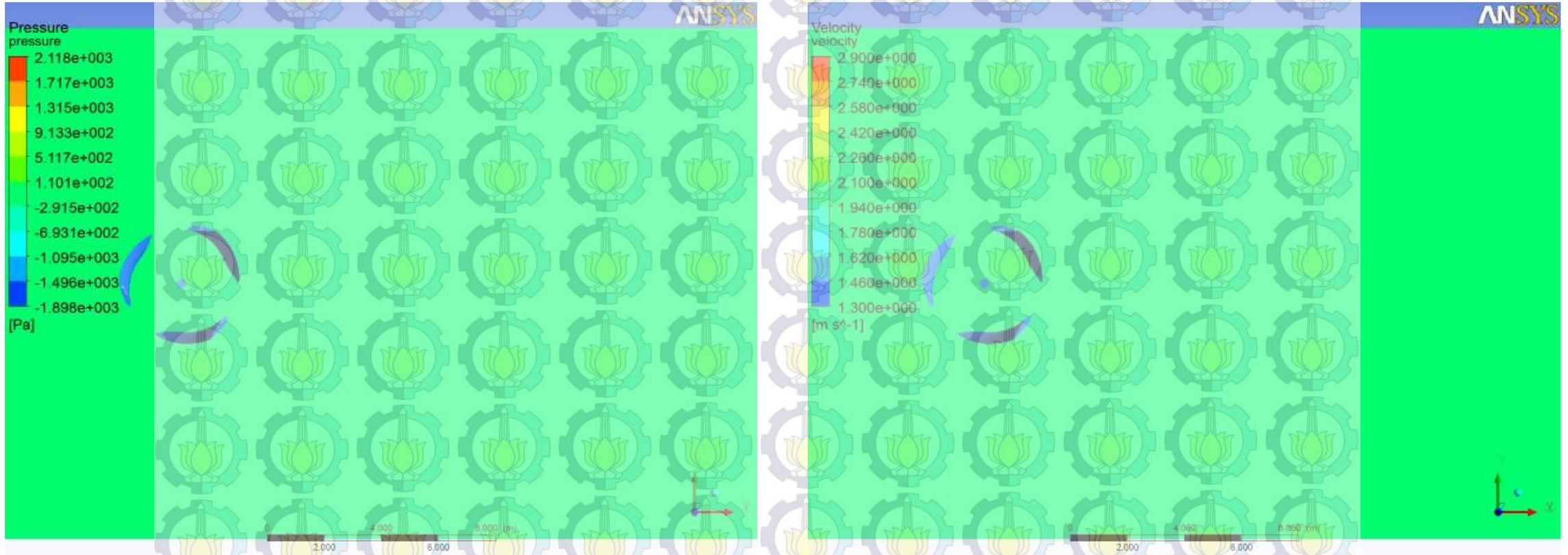
V-STRAIGHT



Pressure

Velocity

V-HELICAL



Pressure

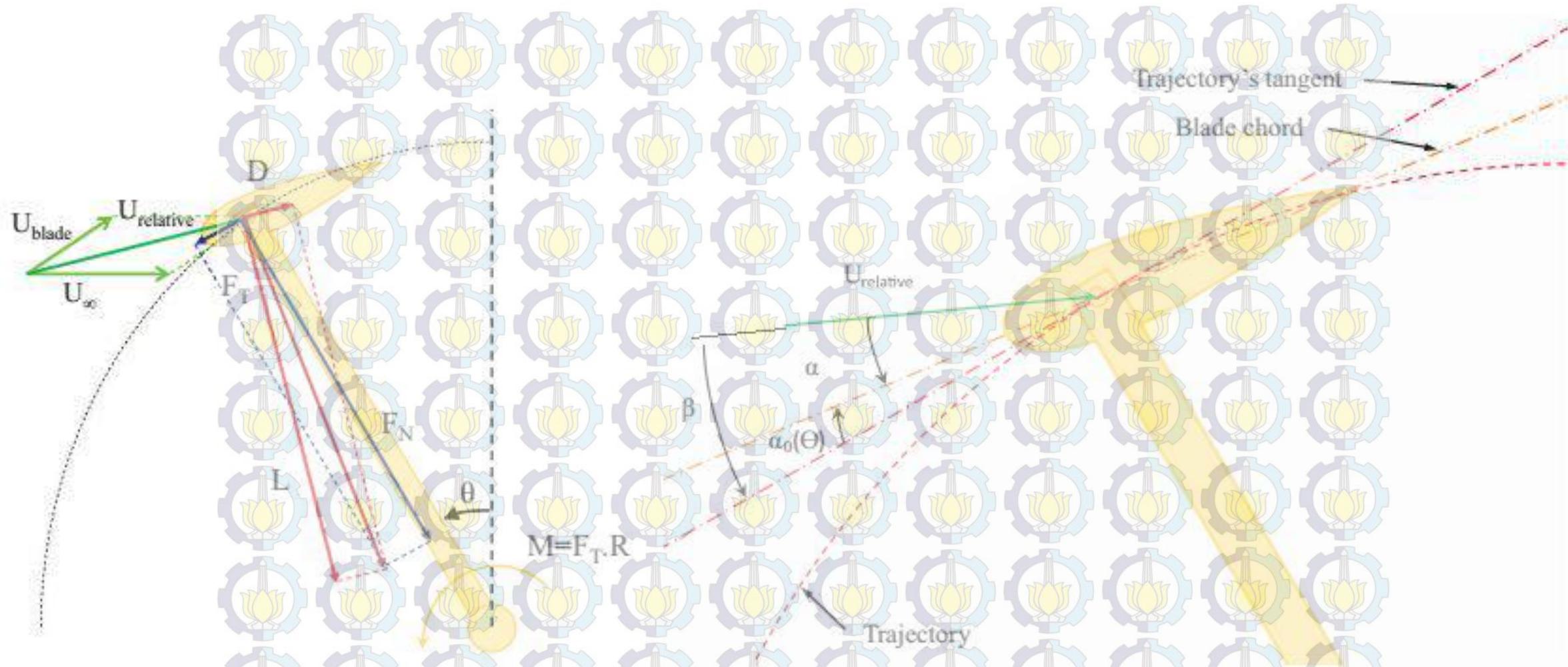
Velocity

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. BPPT. 2013. "Energy Outlook Indonesia 2013", Library of Congress Cataloging-in-Publication Data, Indonesia
- [2]. Scheurich F, Fletcher M Timothy and Brown E Richard.2010. "The Influence of Blade Curvature and Helical Blade Twist on the Performance of a Vertical-Axis Wind Turbine", University of Glasgow, UK
- [3]. Yang B. dan Shu X.W. 2012, "Hydrofoil optimization and experimental validation in helical vertical axis turbine for power generation from marine current", Shanghai Jiaotong University, China
- [4]. Gorlov, A. M. 2001, "Tidal energy", Northeastern University, Boston Massachusetts, USA
- [5]. Rahmstorf, Stefan. 2003. "Thermohaline circulation: The current climate". Nature 421Olson, Reuben M. and Steven J. Wright. 1990. "Essential Of Engineering Fluid Mechanic fifth Edition". Harper and Row Publisher, Inc.
- [6]. www.esru.strath.ac.uk/EandE/Web_sites/0506/marine_renewables/home/contents.htm
- [7]. www.djlp.easdm.go.id
- [8]. Karl Sornes. "Small-scale water current turbine for river application" ZERO (2010)
- [9]. Jones A. M, O'Doherty, D.M, etc. 2012. "Non-dimensional scaling of tidal stream turbines", Cardiff University and University of Liverpool, UK.
- [10]. Zobia A.F and Bansal R.C. 2011. "Handbook of Renewable Energy Technology". World Scientific Publishing Company.
- [11]. Erwandi, The Research on Marine Current Turbine in Indonesian Hydrodynamics Laboratory, Proceeding of 6th Biennial International Conference on Marine Technology, 2008.
- [12]. Bruce, E. R. "Numerical Modeling of a Gorlov Cross Flow Tidal Turbine", 3rd Oxford Tidal Energy Workshop, 7-8 April 2014, Oxford,UK
- [13]. Yang B. dan Shu X.W. 2012, "Hydrofoil optimization and experimental validation in helical vertical axis turbine for power generation from marine current", Shanghai Jiaotong University, China
- [14]. Olson, Reuben M. and Steven J. Wright. 1990. "Essential Of Engineering Fluid Mechanic fifth Edition". Harper and Row Publisher, Inc.
- [15]. Munson, Bruce R, Donald F Young, and Theodore H. Okiishi. 2002. "Fundamental of Fluids Mechanic 2nd edition". John Wiley & son, Inc Canada
- [16]. Kuncoro, D.N. 2012. "Simulasi Perhitungan Torsi, Daya dan Efisiensi Turbine Darrieus pada Hydrofoil NACA 0012 Dari Karakteristik C_L dan C_D Hasil Simulasi Fluent", Universitas Diponegoro, Semarang
- [17]. Mulyadi, Muhamad. "Analisis Aerodinamika Pada Sayap Pesawat Terbang Dengan Menggunakan Software Berbasis Computational Fluid Dynamics", Universitas Guna Darma : Fakultas Teknologi Industri, Jurusan Teknik Mesin.
- [18]. Jacobs E. N, K. E. Ward, & R. M. Pinkerton.1933. "The characteristics of 78 related airfoil sections from tests in the variable-density wind tunnel". NACA Report No. 460.
- [19]. Namiraman, Abtin. 2011. "3D Simulation of a 5MW Wind Turbine", Blekinge Institute of Technology, Sweden
- [20]. Castelli, M.R, Betta, S.D, dan Benini E. "Three Dimensional Modeling of a Twisted-Blade Darrieus Vertical-Axis Wind Turbine", World Academy of Science, Engineering and Technology VOI:7 2013-06-20

THANK YOU

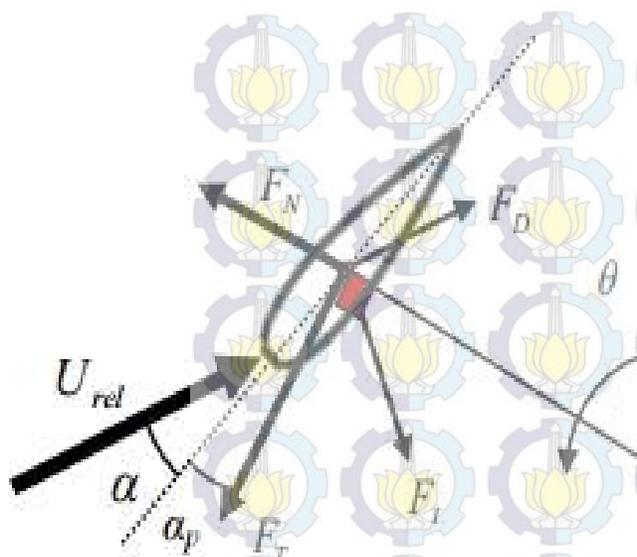




(a) Detail of torque generation (M) from a blade in a vertical axis turbine.

(b) Details of the pitch angle (α_0), angle of attack (α) and force angle (β) of a turbine blade. Angles are defined counter-clockwise.

AERODINAMIKA BLADE



- F_T merupakan gaya tangensial yang bekerja tegak lurus dengan lintasan rotasi. Gaya F_T ini menyebabkan torsi yang akan memutar turbin sehingga dapat menghasilkan energi mekanik.
- F_N merupakan gaya normal yang dapat menyebabkan fibrasi pada turbin.

Koefisien gaya tangensial

$$C_T = \frac{F_T}{0,5 \cdot \rho \cdot U^2 c} = C_L \sin(\alpha + \alpha_p) - C_D \cos(\alpha + \alpha_p)$$

Koefisien gaya normal

$$C_N = \frac{F_N}{0,5 \cdot \rho \cdot U^2 c} = -C_D \sin(\alpha + \alpha_p) - C_L \cos(\alpha + \alpha_p)$$

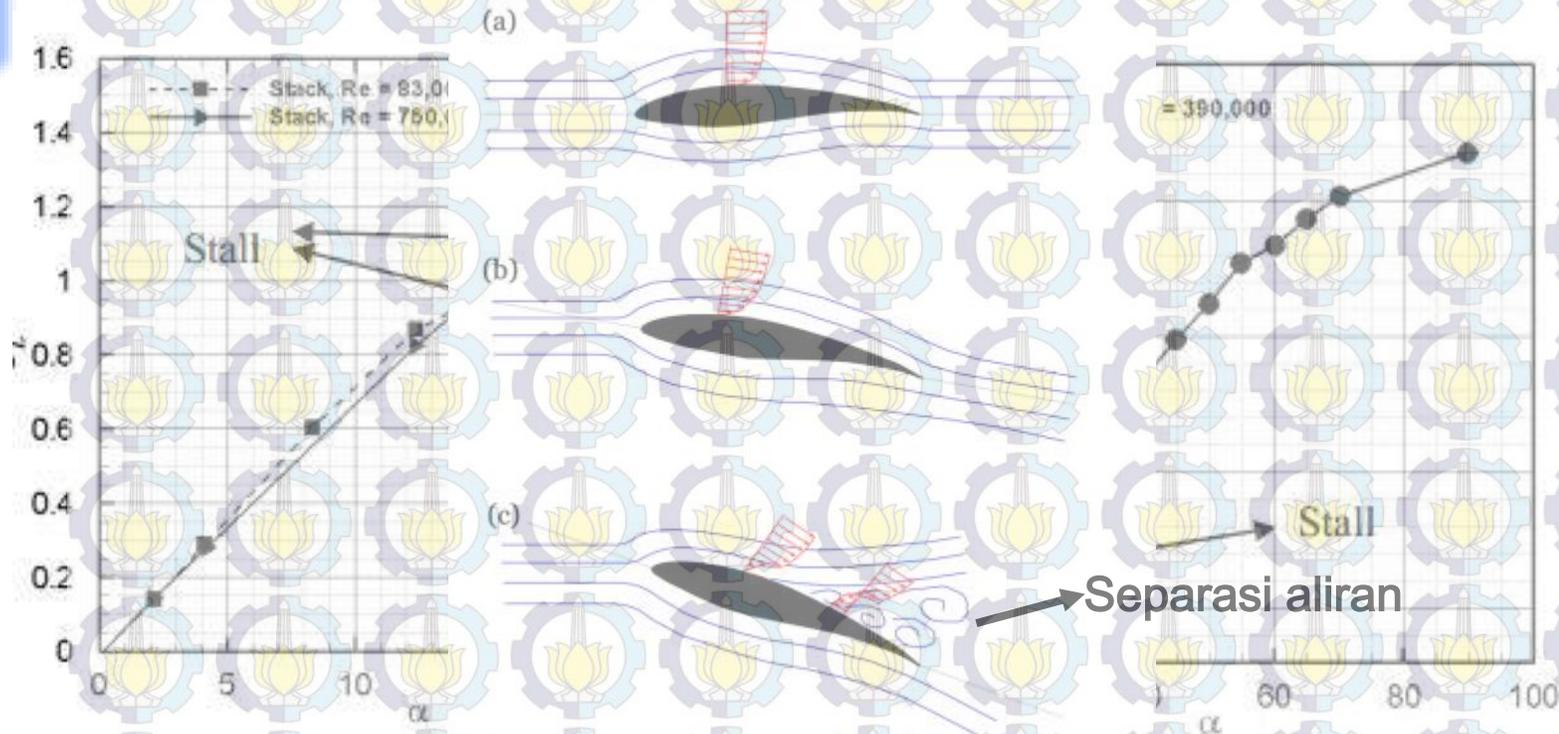
Beberapa parameter yang dapat digunakan untuk menentukan **performansi turbin**:

Torsi yang dihasilkan turbin : $T = r \times \sum F_T$

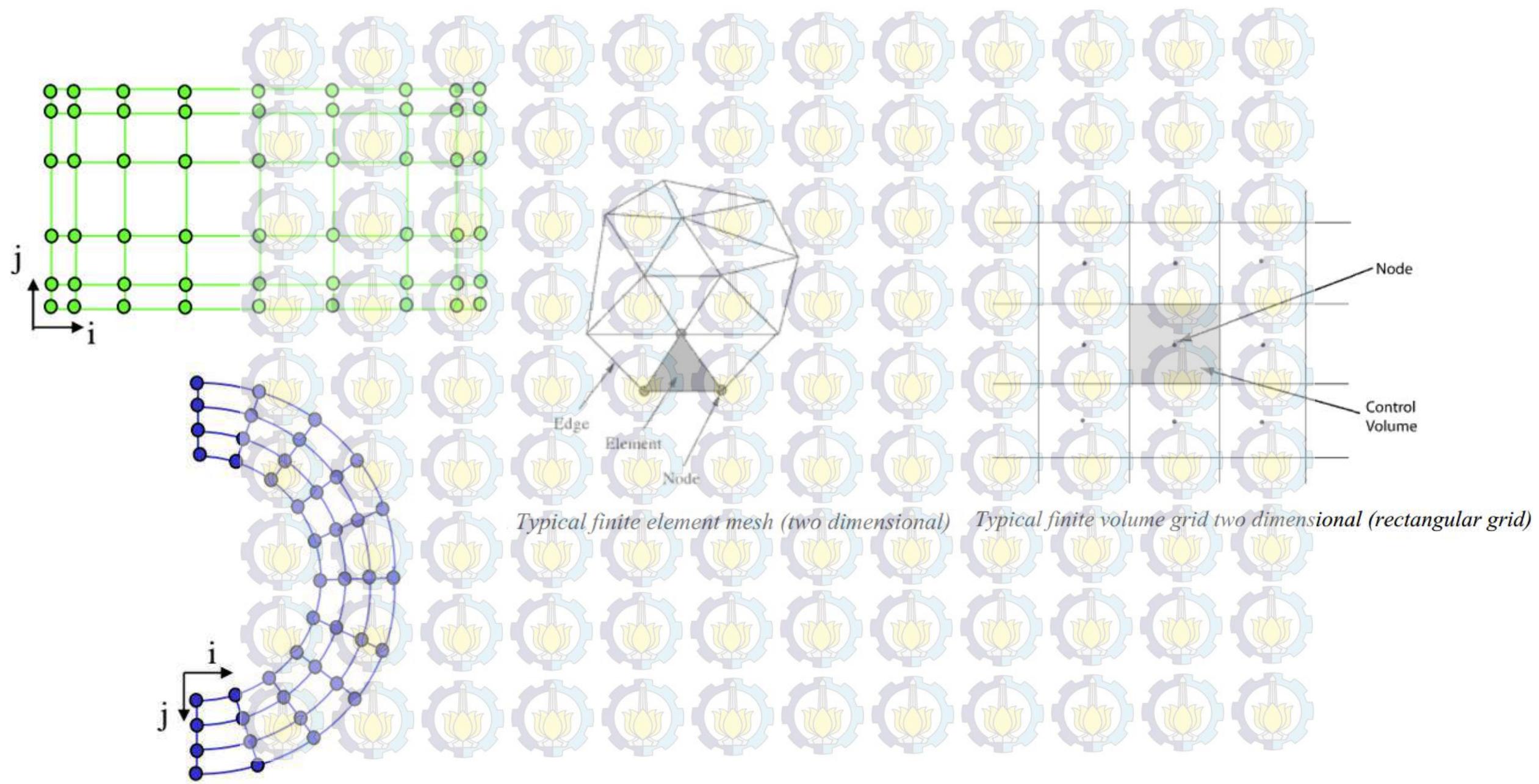
Daya yang diekstrak turbin : $P = T \times \omega$

Koefisien power : $C_P = \frac{P}{0,5 \cdot \rho \cdot U^3 A_T}$

AERODINAMIKA BLADE



Nilai C_l dan C_d akan berubah sesuai dengan sudut serang. Sampai pada kondisi tertentu dimana nilai C_l turun dan C_d naik secara drastis. Kondisi ini disebut sebagai **STALL**



Typical finite element mesh (two dimensional)

Typical finite volume grid two dimensional (rectangular grid)

