



TUGAS AKHIR - TF 181801

ANALISIS NUMERIK PENGARUH KONFIGURASI *PASSIVE FLAP* TERHADAP PERFORMANSI *VERTICAL AXIS HYDROKINETIC TURBINE* PADA KANAL TERBUKA

DEANDRA HARTANTO
NRP. 0231184000071

Dosen Pembimbing:
Dr. Ridho Hantoro, S.T, M.T.

Departemen Teknik Fisika
Fakultas Teknologi Industri Dan Rekayasa Sistem
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2022

Halaman ini sengaja dikosongkan



FINAL PROJECT - TF 181801

***NUMERICAL ANALYSIS OF PASSIVE FLAP CONFIGURATION'S
EFFECT ON VERTICAL AXIS HYDROKINETIC TURBINE
PERFORMANCE ON THE OPEN CHANNEL***

DEANDRA HARTANTO
NRP. 02311840000071

Supervisors:
Dr. Ridho Hantoro, S.T, M.T.

*Department Of Engineering Physics
Faculty of Industrial Technology and System Engineering
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2022*

Halaman ini sengaja dikosongkan

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya yang bertanda tangan di bawah ini.

Nama : Deandra Hartanto
NRP : 02311840000071
Departemen / Prodi : Teknik Fisika / S1 Teknik Fisika
Fakultas : Fakultas Teknologi Industri & Rekayasa Sistem (FTIRS)
Perguruan Tinggi : Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir dengan judul “Analisis Numerik Pengaruh Konfigurasi *Passive Flap* Terhadap Performansi *Vertical Axis Hydrokinetic Turbine* Pada Kanal Terbuka” adalah benar karya saya sendiri dan bukan plagiat dari karya orang lain. Apabila di kemudian hari terbukti terdapat plagiat pada Tugas Akhir ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya-benarnya.

Surabaya, 16 Juni 2022

Yang membuat pernyataan,



Deandra Hartanto

NRP. 02311840000071

Halaman ini sengaja dikosongkan

LEMBAR PENGESAHAN

TUGAS AKHIR

**ANALISIS NUMERIK PENGARUH KONFIGURASI *PASSIVE FLAP*
TERHADAP PERFORMANSI *VERTICAL AXIS HYDROKINETIC*
TURBINE PADA KANAL TERBUKA**

Oleh:

Deandra Hartanto

NRP. 0231184000071

Surabaya,

Menyetujui,

Pembimbing I



Dr. Ridho Hantoro, S.T, M.T.

NIP. 19761223 200501 1 001

Mengetahui,

Kepala Departemen

Teknik Fisika FTIRS-ITS



Dr. Suvanto, S.T., M.T.

NIP. 19711113 199512 1 002

Halaman ini sengaja dikosongkan

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISIS NUMERIK PENGARUH KONFIGURASI *PASSIVE FLAP* TERHADAP PERFORMANSI *VERTICAL AXIS HYDROKINETIC* *TURBINE* PADA KANAL TERBUKA

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Program Studi S-1 Departemen Teknik Fisika
Fakultas Teknologi Industri & Rekayasa Sistem (FTIRS)
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

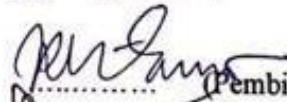
Oleh:

Deandra Hartanto


NRP. 0231184000071

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:


1. Dr. Ridho Hantoro, S.T, M.T.


..... (Pembimbing I)

2. Gunawan Nugroho, S.T., M.T., Ph.D.


..... (Ketua Penguji)

3. Ir. Roekmono, M.T.


..... (Penguji I)

4. Ir. Harsono, M.Sc., Ph.D.


..... (Penguji II)

SURABAYA

2022

Halaman ini sengaja dikosongkan

**ANALISIS NUMERIK PENGARUH KONFIGURASI *PASSIVE*
FLAP TERHADAP PERFORMANSI *VERTICAL AXIS*
HYDROKINETIC TURBINE PADA KANAL TERBUKA**

Nama : Deandra Hartanto
NRP : 0231184000071
Departemen : Teknik Fisika FTIRS - ITS
Dosen Pembimbing : Dr. Ridho Hantoro, S.T, M.T.

ABSTRAK

Pembangkit listrik tenaga hidrokinetik adalah salah satu pembangkit listrik tenaga air yang memanfaatkan energi yang dibawa oleh aliran air dan dikonversi menjadi listrik. Salah satu alat yang dapat mengekstrak energi yang dibawa oleh air adalah turbin hidrokinetik Darrieus tipe vertikal. Pada penelitian ini dilakukan modifikasi pada turbin dengan menambahkan *passive movable flap* untuk memanfaatkan *gaya drag* sebagai tambahan torsi sehingga daya yang dibangkitkan bisa lebih besar daripada turbin hidrokinetik biasa. Penelitian dilakukan dengan metode numerik menggunakan *computational fluid dynamic*. Data yang diambil berupa kontur kecepatan dan tekanan serta gaya yang dihasilkan pada tiap lengan turbin. Kemudian disajikan data kuantitatif berupa nilai torsi serta nilai C_p (*Coefficient of Power*) untuk menganalisis pengaruh dari *passive movable flap*. Didapatkan nilai C_p tertinggi dari simulasi yaitu 0.0385 dengan variasi konfigurasi *in*, sudut bukaan 90° dengan kecepatan inlet 0.29 m/s pada TSR 2.282. Variasi sudut bukaan terbaik berada pada sudut 90° . Sedangkan Peletakkan *passive movable flap* terbaik berturut-turut adalah konfigurasi *in*, konfigurasi *both*, dan konfigurasi *out*.

Kata Kunci: *Coefficient of Power, Passive Movable Flap, Torsi, Turbin Hidrokinetik Darrieus Tipe Vertikal.*

Halaman ini sengaja dikosongkan

***NUMERICAL ANALYSIS OF PASSIVE FLAP
CONFIGURATION'S EFFECT ON VERTICAL AXIS
HYDROKINETIC TURBINE PERFORMANCE ON THE OPEN
CHANNEL***

Name : Deandra Hartanto
NRP : 0231184000071
Department : Engineering Physics FTIRS - ITS
Supervisors : Dr. Ridho Hantoro, S.T, M.T.

ABSTRACT

A hydrokinetic power plant is a hydroelectric power plant that utilizes the energy carried by the flow of water and becomes electricity. One of the tools that can extract the energy carried by water is the vertical axis Darrieus hydrokinetic turbine. Modifications were made to the turbine by adding a passive movable flap to take advantage of the drag force as an additional torque so that the power generated could be greater than an ordinary hydrokinetic turbine. The research was conducted using numerical method using computational fluid dynamic. The data taken in the form of contours, pressures, vortices, and the resulting force on each turbine arm. Then quantitative data are presented in the form of torque values and C_p (Coefficient of Power) values to analyze the effect of passive movable flaps. The highest C_p value obtained from the simulation is 0.0385 with variations in configuration, 90° opening angle with 0.29 m/s inlet velocity at TSR 2.282. The best variation for opening angle is at an angle of 90° . While the placement of the best passive movable flaps respectively is the in configuration, both configuration, and out configuration.

Keywords: Torque, Power Coefficient, Passive Movable Flap, Vertical Type Darrieus Hydrokinetic Turbine.

Halaman ini sengaja dikosongkan

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa atas berkat dan karunia-Nya yang senantiasa berlimpah, sehingga penulis mampu menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul “Analisis Numerik Pengaruh Konfigurasi *Passive Flap* terhadap performansi *Vertical Axis Hydrokinetic Turbine* pada Kanal Terbuka”. Selama proses pengerjaan, penulis tidak terlepas dari bantuan serta dukungan dari berbagai pihak. Penulis mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya kepada :

1. Kedua orang tua serta kakak (Keluarga Hartanto Singgih) yang telah memberikan dukungan serta motivasi tanpa henti-hentinya pada penulis selama masa perkuliahan.
2. Bapak Dr. Ridho Hantoro, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir yang telah membimbing dan memberikan saran dalam pengerjaan Tugas Akhir ini.
3. Bapak Dr. Suyanto, S.T., M.T. selaku Kepala Departemen Teknik Fisika ITS yang telah mendukung dan memberikan fasilitas terkait kegiatan Tugas Akhir di Departemen Teknik Fisika ITS.
4. Bapak Gunawan Nugroho, S.T., M.T., Ph. D. selaku Kepala Laboratorium Energi dan Pengondisian Lingkungan.
5. Ibu Erna Septyaningrum S.T., M.T. yang telah membimbing dan memberikan saran dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.
6. Ahmad Wildan Mahmashany yang telah memberikan banyak arahan dan kepada penulis selama pelaksanaan Tugas Akhir ini.
7. Ibu Dyah Sawitri, S.T., M.T. selaku dosen wali yang telah membimbing selama perkuliahan di Departemen Teknik Fisika ITS.
8. Tim Riset “Hydrokinesis Undercover” yang banyak sekali membantu penulis dalam berdiskusi selama pengerjaan Tugas Akhir.
9. Teman-teman Trident Firmus yang telah berjuang bersama selama perkuliahan di Teknik Fisika ITS.
10. Ali Hasan dan Nadhif Masruri yang telah menemani penulis untuk *brainstorming* dan berdiskusi bersama.

11. Serta pihak-pihak lain yang tidak dapat disebutkan satu-persatu.

Penulis menyadari bahwa masih banyak yang dapat dikembangkan pada tugas akhir ini, oleh karena itu penulis menerima setiap saran dan kritik yang diberikan agar penelitian selanjutnya dapat lebih baik lagi. Semoga tugas akhir ini dapat memberikan manfaat.

Surabaya, 03 Juni 2022

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
COVER PAGE.....	iii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI.....	v
LEMBAR PENGESAHAN	vii
LEMBAR PENGESAHAN	ix
ABSTRAK	xi
ABSTRACT.....	xiii
KATA PENGANTAR	xv
DAFTAR ISI.....	xvii
DAFTAR GAMBAR	xix
DAFTAR TABEL.....	xxiii
DAFTAR SIMBOL.....	xxv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan.....	3
1.4 Batasan Masalah.....	4
1.5 Sistematika Laporan	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI.....	5
2.1 Turbin Hidrokinetik.....	5
2.2 Flow Control Devices.....	10
2.3 Aliran Eksternal.....	11
2.4 Computational Fluid Dynamics.....	15
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	21

3.1	Identifikasi dan Perumusan Masalah	21
3.2	Simulasi CFD (<i>Preprocessing, processing, postprocessing</i>).....	22
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....		31
4.1	Validasi Hasil Simulasi.....	31
4.2	Hasil Simulasi Turbin Konfigurasi <i>Flap Out</i>	33
4.3	Hasil Simulasi Turbin Konfigurasi <i>Flap In</i>	39
4.4	Hasil Simulasi Turbin Konfigurasi <i>Flap Both</i>	45
4.5	Diskusi	51
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		67
5.1	Kesimpulan	67
5.2	Saran	68
DAFTAR PUSTAKA.....		69
LAMPIRAN		xxv
BIODATA PENULIS.....		cxiv

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Klasifikasi Turbin Hidrokinetik (Santos dkk., 2019)	5
Gambar 2. 2 Turbin Darrieus 2 <i>blades</i> dan 3 <i>blades</i> (Mohamed, 2012)	6
Gambar 2. 3 Gaya yang bekerja pada <i>hydrofoil</i> sebuah turbin (Paraschivoiu, 2002)	7
Gambar 2. 4 Fenomena yang terjadi pada <i>flap</i> (Hao dkk., 2021).....	11
Gambar 2. 5 Aliran kanal terbuka (Cengel dan Cimbala, 2013)	12
Gambar 2. 6 Geometri <i>hydrofoil</i> (Cengel dan Cimbala, 2013)	12
Gambar 2. 7 Persebaran tekanan dan tegangan geser pada <i>hydrofoil</i> (Young, n.d.)	13
Gambar 2. 8 Gaya <i>lift</i> dan <i>drag</i> pada <i>hydrofoil</i> (Cengel dan Cimbala, 2013).....	13
Gambar 3. 1 Diagram alir metode penelitian	21
Gambar 3. 2 Grafik perbedaan nilai torsi antara geometri <i>clean</i> dan <i>gap</i>	23
Gambar 3. 3 Domain Simulasi	23
Gambar 3. 4 Torsi tiap <i>mesh</i> terhadap sudut azimuth	25
Gambar 3. 5 Mesh pada domain serta <i>hydrofoil</i>	26
Gambar 3. 6 Grafik gerakan <i>flap</i> terhadap sudut azimuth.....	28
Gambar 3. 7 Diagram alir <i>user defined function</i>	28
Gambar 3. 8 Penentuan kontur	29
Gambar 3. 9 Pengambilan video kontur	30
Gambar 3. 10 Mengubah F_x dan F_y menjadi $F_{tangensial}$	30
Gambar 4. 1 Grafik C_p terhadap TSR pada konfigurasi <i>out</i>	34
Gambar 4. 2 Kontur tekanan <i>hydrofoil</i> pada sudut azimuth 120° , 150° , 180° , dan 270° pada konfigurasi <i>out</i>	35
Gambar 4. 3 Grafik torsi terhadap sudut azimuth pada konfigurasi <i>out</i> sudut bukaan 30°	36
Gambar 4. 4 Grafik torsi terhadap sudut azimuth pada konfigurasi <i>out</i> sudut bukaan 45°	37
Gambar 4. 5 Grafik torsi terhadap sudut azimuth pada konfigurasi <i>out</i> sudut bukaan 60°	38

Gambar 4. 6 Grafik torsi terhadap sudut azimuth pada konfigurasi <i>out</i> sudut bukaan 90°.....	39
Gambar 4. 7 Grafik Cp terhadap TSR pada konfigurasi <i>in</i>	40
Gambar 4. 8 Kontur tekanan <i>hydrofoil</i> pada sudut azimuth 120°, 150°, 180°, dan 200° pada konfigurasi <i>in</i>	41
Gambar 4. 9 Grafik torsi terhadap sudut azimuth pada konfigurasi <i>in</i> sudut bukaan 30°	42
Gambar 4. 10 Grafik torsi terhadap sudut azimuth pada konfigurasi <i>in</i> sudut bukaan 45°.....	43
Gambar 4. 12 Grafik torsi terhadap sudut azimuth pada konfigurasi <i>in</i> sudut bukaan 60°.....	44
Gambar 4. 11 Grafik torsi terhadap sudut azimuth pada konfigurasi <i>in</i> sudut bukaan 90°.....	45
Gambar 4. 13 Grafik Cp terhadap TSR pada konfigurasi <i>both</i>	46
Gambar 4. 14 Kontur tekanan <i>hydrofoil</i> pada sudut azimuth 120°, 150°, 200°, dan 270° pada konfigurasi <i>both</i>	47
Gambar 4. 15 Grafik torsi terhadap sudut azimuth pada konfigurasi <i>both</i> sudut bukaan 30°.....	48
Gambar 4. 16 Grafik torsi terhadap sudut azimuth pada konfigurasi <i>both</i> sudut bukaan 45°.....	49
Gambar 4. 17 Grafik torsi terhadap sudut azimuth pada konfigurasi <i>both</i> sudut bukaan 60°.....	50
Gambar 4. 18 Grafik torsi terhadap sudut azimuth pada konfigurasi <i>both</i> sudut bukaan 90°.....	51
Gambar 4. 19 Grafik Cp terhadap Bilangan Reynolds konfigurasi <i>out</i> kecepatan 0.17 m/s.....	52
Gambar 4. 20 Grafik Cp terhadap Bilangan Reynolds konfigurasi <i>out</i> kecepatan 0.21 m/s.....	52
Gambar 4. 21 Grafik Cp terhadap Bilangan Reynolds konfigurasi <i>out</i> kecepatan 0.29 m/s.....	53
Gambar 4. 22 Kontur tekanan dan kecepatan pada variasi konfigurasi <i>out</i> , sudut bukaan 60°, kecepatan 0.17 m/s pada sudut azimuth 350°	54

Gambar 4. 23 Grafik C_p terhadap Bilangan Reynolds konfigurasi <i>in</i> kecepatan 0.17 m/s	55
Gambar 4. 24 Grafik C_p terhadap Bilangan Reynolds konfigurasi <i>in</i> kecepatan 0.21 m/s	56
Gambar 4. 25 Grafik C_p terhadap Bilangan Reynolds konfigurasi <i>in</i> kecepatan 0.29 m/s	56
Gambar 4. 26 Kontur tekanan dan kecepatan pada variasi konfigurasi <i>in</i> , sudut bukaan 90° , kecepatan 0.29 m/s pada sudut azimuth 80°	57
Gambar 4. 27 Grafik C_p terhadap Bilangan Reynolds konfigurasi <i>both</i> kecepatan 0.21 m/s	59
Gambar 4. 28 Grafik C_p terhadap Bilangan Reynolds konfigurasi <i>both</i> kecepatan 0.29 m/s	59
Gambar 4. 29 Kontur tekanan dan kecepatan pada variasi konfigurasi <i>both</i> , sudut bukaan 45° , kecepatan 0.29 m/s pada sudut azimuth 120°	60
Gambar 4. 30 Grafik C_p terhadap Bilangan Reynolds sudut bukaan 90° kecepatan 0.17 m/s	62
Gambar 4. 31 Grafik C_p terhadap Bilangan Reynolds sudut bukaan 90° kecepatan 0.21 m/s	62
Gambar 4. 32 Grafik C_p terhadap Bilangan Reynolds sudut bukaan 90° kecepatan 0.29 m/s	63
Gambar 4. 33 Kontur tekanan dan kecepatan pada variasi konfigurasi <i>both</i> , sudut bukaan 60° , kecepatan 0.21 m/s pada sudut azimuth 220°	64
Gambar 4. 34 Vektor kecepatan ketika <i>flap in</i> terbuka penuh	65
Gambar 4. 35 Fenomena separasi aliran.....	65

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 Matriks variasi.....	22
Tabel 3. 2 Dimensi turbin.....	23
Tabel 3. 3 <i>Mesh independence test</i>	24
Tabel 3. 4 Parameter <i>Meshing</i> pada Variasi 22.....	25
Tabel 3. 5 Parameter <i>set up</i>	27
Tabel 4. 1 Validasi Hasil Simulasi dengan Eksperimental	31
Tabel 4. 2 Data hasil simulasi konfigurasi <i>out</i>	32
Tabel 4. 3 Data hasil simulasi konfigurasi <i>in</i>	32
Tabel 4. 4 Data hasil simulasi konfigurasi <i>both</i>	33

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR SIMBOL

A	: Luas sapuan turbin (m^2)
AR	: <i>Aspect ratio</i>
A_c	: Luas <i>cross-sectional</i> saluran air (m^2)
C_p	: Koefisien daya
C_τ	: Koefisien torsi
C_l	: Koefisien gaya lift
C_d	: Koefisien gaya drag
F	: Gaya yang bekerja (N)
F_T	: Gaya tangensial (N)
F_L	: Gaya lift (N)
F_D	: Gaya drag (N)
P	: Daya (Watt)
p	: Tekanan (N/m^2)
r	: Jari-jari turbin (m)
RPM	: Rotasi per menit
TSR	: <i>Tip speed ratio</i>
V	: Kecepatan aliran (m/s)
α	: Percepatan sudut (rad/s)
θ	: Sudut azimuth turbin ($^\circ$)
μ	: Viskositas dinamik (kg/ms)
ρ	: Massa jenis (kg/m^3)
τ	: Torsi (Nm)
ω	: Kecepatan sudut (rad/s)
τ_w	: Tegangan geser

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Turbin hidrokinetik adalah sebuah perangkat yang digunakan untuk melakukan proses ekstraksi energi kinetik pada arus sungai maupun arus laut untuk menjadi energi mekanik putaran. Ada beberapa metode untuk mengklasifikasikan turbin hidrokinetik, yang paling umum adalah berdasarkan orientasi dari sumbu putarnya yang berarti bisa vertical atau horizontal. *Vertical axis hydrokinetic turbine*, juga dikenal sebagai *cross-flow turbine* adalah turbin yang umum digunakan (Kadiri dkk., 2012). VAHT memiliki banyak keuntungan, salah satunya adalah kemampuannya untuk menyerap energi dari arus yang datang dari segala arah (da Rosa, 2013). VAHT memiliki potensi untuk menangkap daya yang tinggi dibandingkan dengan HAHT, tetapi juga tergantung pada profil *blade*, desain konfigurasi, soliditas, dan *tip speed ratio*. Kecepatan aliran yang dianjurkan untuk turbin hidrokinetik yaitu sekitar 0.8 – 1 m/s, tetapi biasanya digunakan pada kecepatan 1.3 – 1.5 m/s dan maksimum 3m/s (Hantoro dkk., 2018). Turbin hidrokinetik dikatakan cocok untuk kebutuhan masa depan di Indonesia karena teknologinya sudah dibuktikan dan juga mudah diterapkan dan dikontrol (Septyaningrum dkk., 2019).

Turbin tipe Darrieus adalah turbin hidrokinetik terbaik yang sejauh ini diketahui. Turbin Darrieus memiliki 3 *hydrofoil* vertikal yang dipasang disetiap ujung-ujung *arm* yang tersambung pada *shaft* (Dai dkk., 2011). Namun beberapa penelitian mengatakan bahwa turbin Darrieus memiliki sifat *non self-starting*. Sebuah penelitian mengatakan bahwa rotor pada turbin Darrieus mengalami masalah pada fenomena *self-starting*. Pada penelitian tersebut juga dikatakan bahwa *hydrofoil* NACA0018 memiliki performansi maksimum untuk 3 dan 4 *blade* turbin (Saini dan Saini, 2020).

Turbin tipe Darrieus telah mengalami banyak pengembangan sejak ditemukannya turbin tersebut. Salah satu contoh permasalahan yang muncul pada turbin ini yaitu kegagalan pada *blade* karena adanya *cyclic stress*. Hal tersebut

disebabkan aluminium sebagai material utama *blade* yang tidak mampu menahan tegangan yang terus bekerja pada *blade*. Namun seiring berkembangnya ilmu pada bidang material terkhusus komposit, ditemukanlah *glass* dan *carbon composites* sebagai solusi permasalahan tersebut. Permasalahan berikutnya yaitu bagaimana meningkatkan performansi turbin Darrieus pada kecepatan rendah dan karakteristik *self-starting*-nya. *Self-starting* sendiri didefinisikan sebagai proses transisi dari *linear flow* pada TSR rendah, menuju ke *rotational flow* pada TSR tinggi, yang mana hal tersebut mempengaruhi perubahan pada struktur vertikal *wake* dan interaksi *blade wake* (Kumar dkk., 2019).

Telah dilakukan banyak pengembangan yang bertujuan untuk meningkatkan performansi turbin. Salah satu diantaranya adalah penambahan perangkat *flow control* yang dibagi menjadi 2 yaitu *passive flow control* dan *active flow control* (Zhang dkk., 2021). *Active flow control* akan menambah banyak perangkat mekanik, yang berujung pada kerumitan pada saat pemasangan maupun *maintenance* sedangkan *passive flow control* lebih simpel dan mudah untuk diterapkan salah satunya yaitu dengan penambahan *flap* untuk menekan terjadinya separasi aliran dengan adanya *vortex generator*. Separasi aliran akan menyebabkan turunnya gaya *lift* secara drastis, kenaikan *drag*, dan beban kerja yang berlebih. Selain itu separasi aliran juga menyebabkan perubahan pada persebaran tekanan pada permukaan *hydrofoil* yang akan mengacaukan *pitch balance* (Liu dkk., 2019). Penelitian yang telah dilakukan mengatakan bahwa dengan penambahan *flap* pada *trailing edge*, dapat mendistribusikan beban pada *blade* dengan lebih baik sehingga dapat meningkatkan umur *blade* (Zhang dkk., 2021). Sedangkan menurut (Kumar dkk., 2019) dengan adanya *flap*, *peak Cp* akan meningkat sebesar 10% pada TSR tinggi dibandingkan *hydrofoil* tanpa *flap*. Peningkatan tersebut dikaitkan dengan adanya *delay* pada *dynamic stall* dan meminimalisasi interaksi vorteks antar *blades*. Beberapa penelitian untuk metode analisis numerik mengatakan bahwa model turbulensi $k-\omega$ SST yang digunakan pada *software* CFD memiliki keunggulan diantaranya lebih baik dari *Spalart-Allmaras* dan model turbulensi $k-\omega$ lebih baik dalam memodelkan gradien tekanan dan separasi *boundary layer* (Hashemi dkk., 2020). Menurut (Hao dkk., 2021) model turbulensi $k-\omega$ memiliki keunggulan ketika

memodelkan aliran *boundary layer* sedangkan untuk $k-\epsilon$ memiliki keunggulan pada *free stream*, sehingga cocok digunakan untuk simulasi separasi aliran.

Berdasarkan penelitian – penelitian yang telah dilakukan sebelumnya, terdapat ide dengan penambahan *passive flap* pada *Vertical Axis Hydrokinetic Turbine*. Metode yang digunakan pada penelitian yang akan dilakukan adalah metode numerik. Dimana metode numerik akan dilakukan melalui pendekatan pada *software Computational Fluid Dynamic*, sehingga dapat dilihat fenomena-fenomena aliran yang tidak dapat diamati pada studi eksperimental seperti kecepatan dan tekanan di seluruh bagian turbin, maka dapat dilakukan analisis lebih dalam lagi mengenai faktor-faktor yang mempengaruhi performansi turbin tersebut. Oleh karena itu pada tugas akhir ini akan dilakukan studi simulasi numerik tentang penambahan *passive flap* pada *Vertical Axis Hydrokinetic Turbine* pada kanal terbuka menggunakan CFD. Analisis yang dilakukan adalah bagaimana konfigurasi *passive flap* mempengaruhi performansi turbin hidrokinetik tipe Darrieus *straight blade*.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, maka rumusan masalah pada penelitian ini adalah:

- a) Bagaimana pengaruh variasi konfigurasi *passive movable flap* terhadap karakteristik aliran fluida?
- b) Bagaimana pengaruh variasi konfigurasi *passive movable flap* pada performansi turbin hidrokinetik?

1.3 Tujuan

Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah:

- a) Mengetahui pengaruh variasi konfigurasi *passive movable flap* terhadap karakteristik aliran fluida.
- b) Menganalisis pengaruh variasi konfigurasi *passive movable flap* pada performansi turbin hidrokinetik.

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

- a) Turbin yang digunakan adalah turbin vertikal tipe Darrieus *straight blade* dengan *aspect ratio* 1:1 dengan kedalaman 40 cm.
- b) *Hydrofoil* yang digunakan adalah NACA 0018.
- c) Kecepatan inlet air yang digunakan adalah 0.17 m/s ; 0.21 m/s ; 0.29 m/s.
- d) Variasi yang digunakan adalah konfigurasi posisi *flap* terhadap poros turbin yaitu *in* (sisi dalam turbin), *out* (sisi luar turbin), dan *both* (kedua sisi turbin).
- e) Simulasi numerik dengan menggunakan *Computational Fluid Dynamics* 2 dimensi dan dilakukan secara *transient*.

1.5 Sistematika Laporan

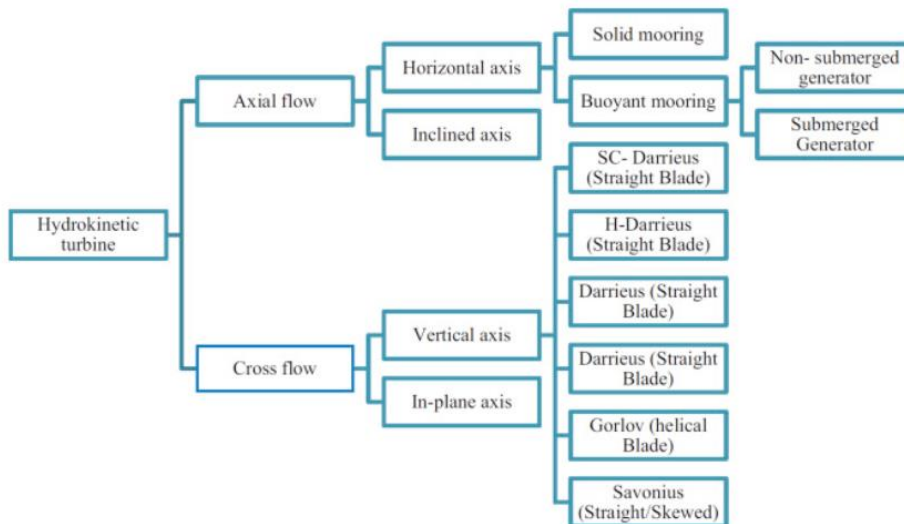
Laporan penelitian ini akan disusun dalam beberapa bab dengan rincian yakni sebagai berikut. Bab I Pendahuluan, bab ini berisi tentang latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah dan sistematika yang digunakan pada laporan ini. Bab II Tinjauan Pustaka dan Dasar Teori yang membahas tentang teori-teori yang digunakan untuk menunjang tugas akhir ini. Bab III Metodologi Penelitian, pada bab ini akan dijelaskan mengenai langkah-langkah yang digunakan untuk melakukan penelitian ini. Pada pengambilan data, data yang akan diambil antara lain adalah torsi, kontur kecepatan, tekanan, serta *vorticity* kemudian 4 aspek tersebut akan dianalisis pada Bab IV. Kemudian dari hasil analisis dari Bab IV akan ditarik kesimpulan dan juga saran yang akan dimuat pada Bab V yaitu Kesimpulan dan Saran.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1 Turbin Hidrokinetik

Turbin hidrokinetik adalah kelas baru dari teknologi energi terbarukan yang dirancang untuk digunakan di sungai kecil dan aliran air dengan dampak minimal kepada lingkungan pada ekosistem lokal (Rat dkk., 2018). Sistem konversi energi hidrokinetik merepresentasikan kelas baru dari teknologi *hydropower* yang digunakan pada *free-flowing/zero-head hydro streams*. Proses konversi energi hidrokinetik menunjukkan pemanfaatan energi kinetik yang terdapat pada aliran air sungai, arus pasang surut, maupun arus air buatan manusia untuk menghasilkan listrik tanpa memberikan dampak yang besar pada aliran tersebut (Khan dkk., 2009). Turbin hidrokinetik didesain untuk dapat mengekstrak energi kinetik dari aliran air untuk memutar generator yang kemudian dapat memproduksi listrik (Ogunjuyigbe dan Ayodele, 2015). Berdasarkan sumbu putarnya, turbin hidrokinetik dibagi menjadi 3 yaitu sumbu horizontal, sumbu vertikal, dan *crossflow*.

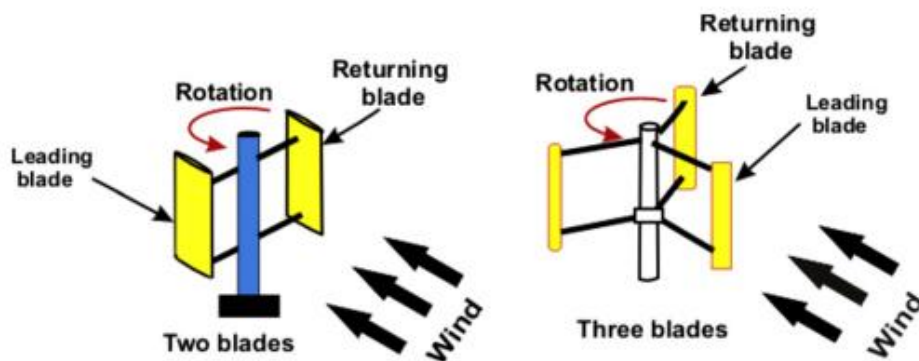


Gambar 2. 1 Klasifikasi Turbin Hidrokinetik (Santos dkk., 2019)

Turbin hidrokinetik jenis vertikal memiliki kelebihan yakni dapat menerima aliran dari berbagai arah, *blade* dari turbin mudah dibuat dan *span*-nya mudah

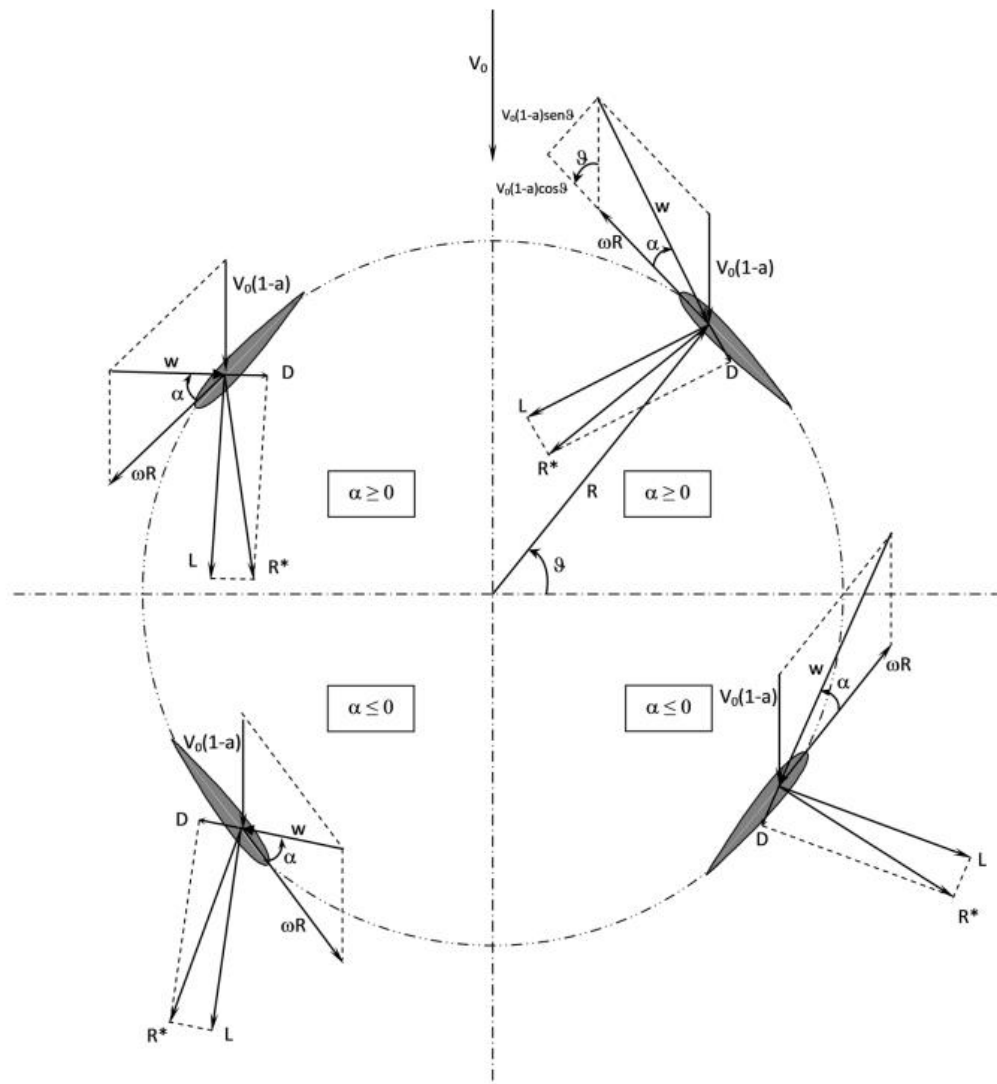
ditingkatkan, tetapi kekurangannya yaitu efisiensinya sedikit lebih kecil daripada turbin hidrokinetik jenis horizontal. Sedangkan turbin hidrokinetik jenis horizontal memiliki kelebihan yaitu efisiensi yang lebih tinggi serta perkembangan teknologinya lebih maju daripada vertikal turbin. Bagaimanapun juga turbin tetap bergantung pada arah dari aliran dan memiliki mekanisme kompleks untuk perputaran dari *blade*-nya (Ogunjuyigbe dan Ayodele, 2015).

Turbin Darrieus pertama kali ditemukan oleh *engineer* asal Perancis yaitu Darrieus (Mohamed, 2012). Turbin ini memiliki beberapa keunggulan di antaranya bentuk *blade* yang simpel, dapat menerima aliran dari segala arah, instalasi generator dan sistem kontrol yang mudah. Sedangkan kekurangannya yaitu efek hidrodinamika yang kompleks karena sudut azimuth dan *angle of attack* yang berubah-ubah, *self-starting* yang buruk atau bahkan tidak dapat berputar sama sekali, fluktuasi torsi, serta percepatan sentrifugal yang dapat menyebabkan *bending* (Du dkk., 2019).



Gambar 2. 2 Turbin Darrieus 2 *blades* dan 3 *blades* (Mohamed, 2012)

Turbin Darrieus memiliki posisi antar *hydrofoil* yang dinamakan dengan sudut azimuth. Sehingga tiap-tiap *hydrofoil* akan memiliki nilai *angle of attack* yang berbeda-beda pada setiap posisi sudut azimuth. Hal tersebut dapat diamati pada **Gambar 2. 3** berikut.



Gambar 2. 3 Gaya yang bekerja pada *hydrofoil* sebuah turbin (Paraschivoiu, 2002)

Angle of attack dari **Gambar 2. 3** Gaya yang bekerja pada *hydrofoil* sebuah turbin (Paraschivoiu, 2002) di atas, dibagi menjadi 2 daerah, dimana pada daerah *upward* bernilai positif, sedangkan pada daerah *downward* bernilai negatif. Nilai *angle of attack* tiap *hydrofoil* dapat didekati dengan persamaan berikut.

$$\alpha = \arctan\left(\frac{\sin\theta}{TSR + \cos\theta}\right) \quad (2.1)$$

Keterangan :

α = *Angle of attack* ($^{\circ}$)

θ = Sudut azimuth turbin ($^{\circ}$)

TSR = *Tip speed ratio*

Untuk mengetahui performansi turbin, digunakan beberapa parameter antara lain torsi, koefisien performansi, *tip speed ratio* (TSR), daya yang dapat dibangkitkan turbin, *aspect ratio*, dan *blockage ratio*.

a) Torsi

Torsi merupakan gaya yang menyebabkan suatu benda berotasi. Kebanyakan permasalahan *engineering* melibatkan momen dari momentum linier aliran air dan efek rotasi yang disebabkan dari aliran air tersebut. Permasalahan tersebut dapat dianalisis dari persamaan momentum angular atau torsi yang dirumuskan sebagai berikut (Cengel dan Cimbala, 2013).

$$\tau = F r \sin \theta \quad (2.8)$$

Keterangan :

τ = Torsi (*Nm*)

F = Gaya (*N*)

r = Jarak putaran terhadap poros (*m*)

θ = Besar sudut gaya terhadap sumbu horisontal ($^{\circ}$)

b) Koefisien Performansi (C_p)

Koefisien performansi adalah sebuah parameter atau koefisien yang melambangkan fraksi daya pada aliran air yang dapat dibangkitkan oleh turbin. Koefisien performansi merupakan hasil bagi antara daya mekanik turbin dan daya air. Sehingga C_p dapat dituliskan dalam persamaan berikut.

$$C_p = \frac{P_{turbin}}{P_{air}} \quad (2.9)$$

Keterangan :

C_p = Koefisien performansi turbin

P_{turbin} = Daya turbin (*Watt*)

P_{air} = Daya air (*Watt*)

c) *Tip Speed Ratio* (TSR)

Tip speed ratio atau TSR didefinisikan sebagai rasio kecepatan tangensial pada ujung *blade* dibanding kecepatan aliran (Chica dkk., 2015).

$$TSR = \frac{R\omega}{V} \quad (2.10)$$

Keterangan :

$TSR = Tip\ speed\ ratio$

$R =$ Jari-jari turbin

$\omega =$ Kecepatan angular turbin (rad/s)

$V =$ Kecepatan aliran fluida (m/s)

d) Daya

Daya didefinisikan sebagai kerja yang dilakukan persatuan waktu. Daya rata-rata diperoleh dari membagi kerja yang telah dilakukan dengan waktu untuk melakukan kerja tersebut. Untuk benda berputar seperti turbin, daya dapat dihitung dengan menurunkan prinsip yang sama (Morrison, 2011).

$$P = \tau\omega \quad (2.11)$$

Sehingga untuk menghitung daya yang dapat dibangkitkan oleh turbin dapat digunakan persamaan 2.9 berikut.

$$P = \frac{1}{2}\rho AV^3 C_p \quad (2.12)$$

Keterangan :

$P =$ Daya turbin ($Watt$)

$\rho =$ Densitas fluida (kg/m^3)

$A =$ Luas sapuan turbin (m^2)

$V =$ Kecepatan fluida (m/s)

$C_p =$ Koefisien daya turbin

e) *Aspect Ratio*

Aspect ratio dibagi menjadi 2 yaitu *aspect ratio* turbin dan *aspect ratio hydrofoil*. *Aspect ratio* turbin yaitu adalah perbandingan antara tinggi turbin dan diameter turbin ($H\ to\ D$) (Shashikumar dkk., 2021). Sedangkan *aspect ratio hydrofoil* yaitu perbandingan antara panjang *span* dan *chord hydrofoil*.

g) Bilangan Reynolds

Bilangan Reynolds merupakan parameter nondimensional yang paling penting, yang mana menyatakan nilai perbandingan gaya inersia dengan gaya viskos. Bilangan Reynolds dapat dihitung menggunakan persamaan (2.13) berikut (Bachant dan Wosnik, 2016).

$$Re = \frac{U_{\infty} \cdot c}{\nu} \quad (2.13)$$

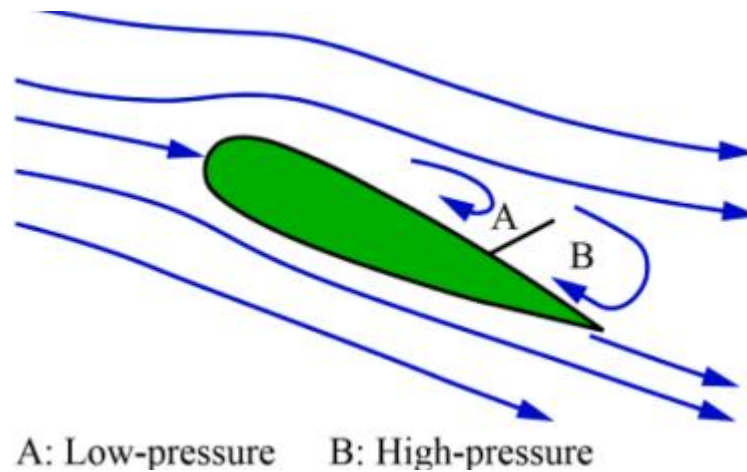
U_{∞} = Kecepatan fluida (m/s)

c = Panjang *chord* (m)

ν = Viskositas kinematik fluida (m^2/s)

2.2 Flow Control Devices

Flow control devices secara umum dibagi menjadi 2 yaitu *passive flow control* dan *active flow control* (Zhang dkk., 2021). *Active flow control* akan menambah banyak perangkat mekanik, yang berujung pada kerumitan pada saat pemasangan maupun *maintenance* sedangkan *passive flow control* lebih simpel dan mudah untuk diterapkan salah satunya yaitu dengan penambahan *flap* untuk menekan terjadinya separasi aliran dengan adanya *vortex generator*. Separasi aliran akan menyebabkan turunnya gaya *lift* secara drastis, kenaikan *drag*, dan beban kerja yang berlebih. Tidak seperti *active control*, *passive control* tidak memerlukan tenaga atau daya eksternal sehingga lebih simpel dan mudah diterapkan (Hao dkk., 2021).

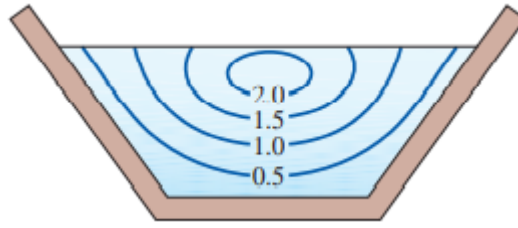


Gambar 2. 4 Fenomena yang terjadi pada *flap* (Hao dkk., 2021)

Terinspirasi dari burung, diamati bahwa ketika burung terbang dengan kecepatan yang rendah, bagian atas bulu dari sayap burung akan terangkat. Terangkatnya bulu tersebut diakibatkan oleh adanya separasi aliran dan untuk mencegah adanya *reverse flow* sehingga menunda terjadinya separasi aliran sehingga gaya angkat yang dihasilkan cukup untuk mempertahankan burung tetap terbang (Hao dkk., 2021).

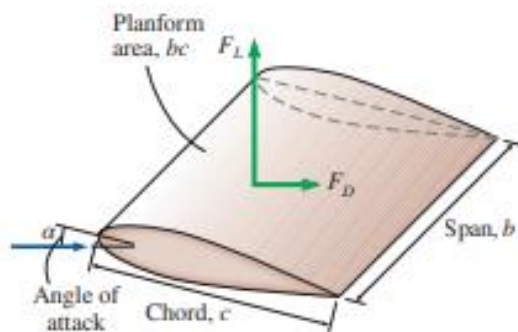
2.3 Aliran Eksternal

Aliran eksternal pada kanal terbuka adalah aliran sebuah fluida pada kanal yang terbuka pada atmosfer atau dalam kanal yang sebagian terisi fluida cair dan fluida gas dimana perbatasan fluida cair dan gas tersebut dinamakan *free surface*. Pada aliran kanal terbuka ini, kecepatan aliran pada permukaan samping dan bawah adalah 0 m/s karena adanya kondisi *no-slip*, dan kecepatan maksimum terdapat pada bidang tengah untuk geometri simetris. Kondisi *no-slip* tersebut menimbulkan gradien kecepatan, dan tegangan geser dinding τ_w berkembang disepanjang permukaan yang basah. Tegangan geser dinding tersebut bervariasi disepanjang keliling permukaan yang basah dan memberikan hambatan air untuk mengalir. Besarnya hambatan ini tergantung pada viskositas fluida serta besar gradien kecepatan pada permukaan dinding, yang mana dipengaruhi oleh kekasaran dinding (Cengel dan Cimbala, 2013).



Gambar 2. 5 Aliran kanal terbuka (Cengel dan Cimbala, 2013)

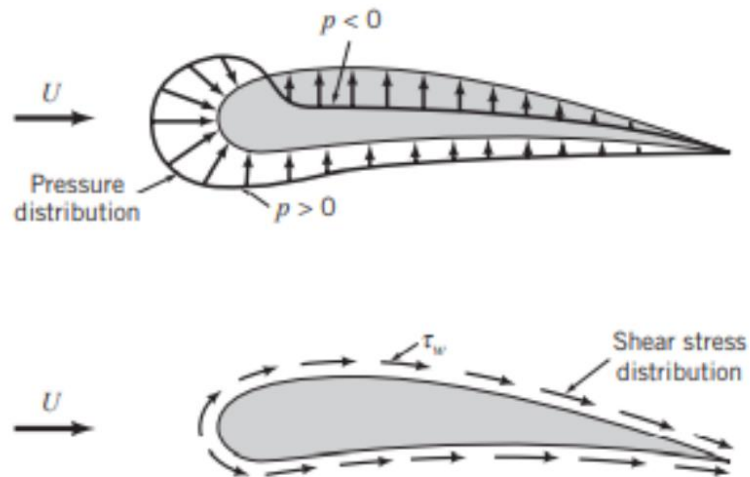
Pada penelitian ini aliran tergolong dalam aliran eksternal karena terdapat turbin yang tersusun atas *hydrofoil*. *Hydrofoil* sendiri merupakan suatu benda yang memiliki bentuk seperti sayap atau pisau yang dapat menghasilkan efek aerodinamik ketika melewati suatu aliran udara. *Hydrofoil* adalah sebuah perangkat yang didesain untuk menghasilkan gaya *lift* dan menjaga agar gaya *drag* tetap minimum. Tetapi pada beberapa kasus seperti *spoilers* dan *inverted hydrofoils* pada mobil balap malah sengaja didesain untuk menghindari *lift* atau memproduksi *lift* negatif untuk meningkatkan kontrol (Cengel dan Cimbala, 2013). Harapannya kecepatan fluida di bagian permukaan atas lebih tinggi daripada permukaan bawah sehingga rata-rata tekanannya berbanding terbalik agar menghasilkan gaya *lift* (Young, n.d.). Pengembangan dari *hydrofoil* yang efisien menjadi fokus pada investigasi eksperimental tahun 1930. *Hydrofoil* kemudian di standarisasi oleh *National Advisory Committee for Aeronautics* (NACA) yang sekarang menjadi NASA (Cengel dan Cimbala, 2013).



Gambar 2. 6 Geometri *hydrofoil* (Cengel dan Cimbala, 2013)

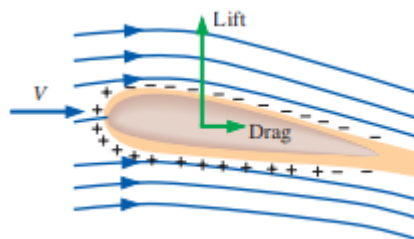
Ketika sebuah benda dilewati oleh fluida, maka akan terjadi interaksi antara benda dan fluida, efek ini dapat ditinjau dari gaya yang bekerja pada permukaan fluida dan benda. Efek tersebut ditunjukkan dalam bentuk tekanan dan tegangan

geser permukaan (τ_w), dikarenakan adanya efek viskos dan tegangan normal oleh tekanan p . Gambar 2.5 berikut menunjukkan tegangan geser dan distribusi tekanan pada *hydrofoil* (Young, n.d.).



Gambar 2. 7 Persebaran tekanan dan tegangan geser pada *hydrofoil* (Young, n.d.)

Resultan gaya yang bekerja pada *hydrofoil* pada arah yang sama dengan arah aliran disebut *drag*, sedangkan resultan gaya yang bekerja pada *hydrofoil* yang tegak lurus terhadap arah aliran disebut dengan *lift* (Young, n.d.).



Gambar 2. 8 Gaya *lift* dan *drag* pada *hydrofoil* (Cengel dan Cimbala, 2013)

Kemudian resultan dari tegangan geser dan persebaran tekanan dapat diperoleh dengan melakukan integral pada keduanya yakni masing-masing sumbu x dan y . Komponen x dan y dari gaya fluida yang bekerja pada sebagian area diekspresikan pada persamaan berikut ini.

$$dF_x = (p \, dA) \cos \theta + (\tau_w \, dA) \sin \theta \quad (2.14)$$

$$dF_y = -(p \, dA) \sin \theta + (\tau_w \, dA) \cos \theta \quad (2.15)$$

Kemudian persamaan (2.14) dan (2.15) diintegrasikan dan dapat diekspresikan menjadi persamaan berikut ini.

$$F_D = \int dF_x = \int p \cos \theta \, dA + \int \tau_w \sin \theta \, dA \quad (2.16)$$

$$F_L = \int dF_y = - \int p \sin \theta \, dA + \int \tau_w \cos \theta \, dA \quad (2.17)$$

Drag dan *lift* juga dapat diekspresikan sebagai sebuah koefisien tanpa satuan yang diperoleh dari persamaan berikut.

$$C_D = \frac{F_D}{\frac{1}{2} \rho A V^2} \quad (2.18)$$

$$C_L = \frac{F_L}{\frac{1}{2} \rho A V^2} \quad (2.19)$$

Keterangan :

F_x = Gaya pada komponen sumbu x (N)

F_y = Gaya pada komponen sumbu y (N)

F_D = Gaya *drag* (N)

F_L = Gaya *lift* (N)

p = Tekanan (N/m^2)

τ = Tegangan geser (N/m^2)

θ = Besar sudut antara gaya dengan komponen sumbu acuan ($^\circ$)

A = Luas daerah sapuan (m^2)

ρ = Densitas fluida (kg/m^3)

V = Kecepatan aliran fluida (m/s)

Selain menggunakan persamaan (2.18) dan (2.19), untuk memperoleh nilai C_L dan C_D , juga dapat menggunakan persamaan (2.20) dan (2.21) berikut ini (Paraschivoiu, 2002).

$$C_{Normal} = C_L \cos \alpha + C_D \sin \alpha \quad (2.20)$$

$$C_{Tangensial} = C_L \sin \alpha - C_D \cos \alpha \quad (2.21)$$

Keterangan :

C_{Normal} = Koefisien gaya normal (N)

$C_{Tangensial}$ = Koefisien gaya tangensial (N)

C_L = Koefisien gaya *lift* (N)

C_D = Koefisien gaya *drag* (N)

α = *Angle of attack* ($^\circ$)

2.4 Computational Fluid Dynamics

Computational Fluid Dynamic (CFD) adalah suatu cara untuk menganalisis aliran fluida pada suatu sistem, sistem tersebut dapat berupa sistem aliran fluida cair seperti menganalisis hidrodinamika, tekanan dari fluida, atau aliran darah pada pembuluh (Tu dkk., 2018). Simulasi CFD merupakan proses pendekatan numerik yang memanfaatkan *software* untuk melakukan komputasi. Meskipun hanya pendekatan, namun metode numerik dapat menyediakan hasil-hasil yang mendekati dengan kondisi asli dan dengan waktu yang lebih cepat. Juga dengan dukungan kemajuan teknologi, melalui *software* tersebut, hasil akan didekati melalui perhitungan numerik menggunakan persamaan-persamaan yang tertulis pada (2.23) sampai (2.29).

Adapun rumus yang digunakan pada CFD ini beberapa gagasan untuk menguantifikasi turbulensi ini berdasarkan eksperimen, dan metode yang paling terkenal adalah yang dikemukakan oleh Osborne Reynolds (1883), yang menemukan sebuah rasio non-dimensional yang mampu memprediksi apakah

aliran tersebut akan laminar atau turbulen, nilai ini dikenal juga dengan Reynolds Number, Re = rasio antara gaya internal dengan gaya eksternal.

$$Re = \frac{\rho v D}{\mu} \quad (2.22)$$

Keterangan :

Re = Bilangan Reynolds

ρ = Densitas fluida (kg/m^3)

v = Kecepatan fluida (m/s)

D = Panjang karakteristik (m)

μ = Viskositas dinamis fluida ($kg/m s$)

Bilangan Reynolds ini dapat digunakan untuk menentukan apakah aliran yang terjadi bersifat laminar, turbulen, ataupun transisi (perubahan dari laminar ke turbulen). Pada bilangan Reynolds yang besar, gaya inersia, yang sebanding dengan densitas fluida dan kuadrat dari kecepatan fluida, relatif besar terhadap gaya viskos, sehingga gaya viskos tidak dapat menahan fluktuasi yang acak dan cepat dari fluida (aliran turbulen). Pada *Reynolds number* rendah, gaya viskos relatif besar untuk menahan fluktuasi tersebut dan tetap menahan fluida agar tetap segaris (aliran laminar). Bilangan Reynolds yang menjadi transisi aliran menuju turbulen disebut dengan bilangan Reynolds kritis yang nilainya bergantung pada geometri dan kondisi aliran. Metode numerik dengan menggunakan komputer digital tentu saja bisa digunakan untuk menyelesaikan berbagai macam masalah aliran seperti berikut ini:

- a) Persamaan kontinuitas (Hukum kekekalan massa)

Persamaan-persamaan dasar yang digunakan dalam analisa aliran fluida terdiri dari hukum kekekalan massa. Persamaan kontinuitas untuk suatu fluida *compressible* pada aliran *unsteady* dapat ditulis sebagai berikut:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho w)}{\partial z} = 0 \quad (2.23)$$

Untuk aliran *incompressible*, nilai densitas fluida akan konstan dan persamaan 2.10 menjadi:

$$\frac{\partial(V_x)}{\partial x} + \frac{\partial(V_y)}{\partial y} + \frac{\partial(V_z)}{\partial z} = 0 \quad (2.24)$$

b) Hukum kekekalan momentum

Kekekalan momentum di sepanjang aliran dapat berubah ke dalam bentuk lain yakni gaya, dan begitu pula sebaliknya. Persamaan momentum dibahas oleh ilmuwan bernama Navier dan Stokes.

x direction :

$$\begin{aligned} \rho \left(\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} \right) \\ = - \frac{\partial p}{\partial x} + \rho g_x + \mu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right) \end{aligned} \quad (2.25)$$

y direction :

$$\begin{aligned} \rho \left(\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} \right) \\ = - \frac{\partial p}{\partial y} + \rho g_y + \mu \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right) \end{aligned} \quad (2.26)$$

z direction :

$$\rho \left(\frac{\partial w}{\partial t} + u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} \right) = - \frac{\partial p}{\partial z} + \rho g_z + \mu \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right) \quad (2.27)$$

c) Hukum kekekalan energi

Energi di sepanjang aliran adalah kekal, hanya saja energi dapat berubah dari suatu bentuk ke bentuk lainnya. Setidaknya ada 5 jenis energi yang dibawa oleh aliran fluida yaitu energi tekan, energi potensial, energi viskos, energi kalor, serta energi total yang terdiri dari energi dalam (u) dan energi kinetik. Kelima energi tersebut ditunjukkan oleh persamaan berikut :

$$\begin{aligned}
\frac{\partial(E_r)}{\partial t} + \frac{\partial(uE_r)}{\partial x} + \frac{\partial(vE_r)}{\partial y} + \frac{\partial(wE_r)}{\partial z} = -\frac{\partial(u\rho)}{\partial x} - \frac{\partial(v\rho)}{\partial y} - \frac{\partial(w\rho)}{\partial z} + \\
\frac{1}{Re_r} \left[\frac{\partial}{\partial x} (u\tau_{xx} + u\tau_{xy} + u\tau_{xz}) + \frac{\partial}{\partial y} (u\tau_{xy} + u\tau_{yy} + u\tau_{yz}) + \right. \\
\left. \frac{\partial}{\partial z} (u\tau_{xz} + u\tau_{yz} + u\tau_{zz}) - \frac{1}{Re_f Pr_f} \left[\frac{\partial q_x}{\partial x} + \frac{\partial q_y}{\partial y} + \frac{\partial q_z}{\partial z} \right] \right]
\end{aligned} \quad (2.28)$$

Ketiga persamaan pada tiap poin tersebut akan diproses ketika dilakukan simulasi pada CFD. Selain itu juga perlu diperhatikan pemilihan model turbulensi untuk tiap-tiap simulasi yang ingin dilakukan. Model turbulensi adalah prosedur komputasi untuk menutup sistem persamaan aliran rata-rata sehingga masalah aliran yang kurang lebih beragam dapat dihitung. Beberapa model turbulensi yang umum digunakan pada simulasi VAHT yaitu SST k- ω dan SST k- ϵ , dimana untuk masing-masing model turbulensi memiliki kekurangan dan kelemahan. Untuk SST k- ω (2.17), model turbulensi ini lebih akurat daripada k- ϵ pada sekitaran *boundary layer* dan juga dapat memodelkan aliran dengan fenomena *adverse pressure gradient*. Namun model turbulensi k- ϵ lebih unggul ketika memodelkan aliran yang bersifat *free stream* atau jauh dari *boundary layer*. Hal ini menyebabkan persamaan k- ω masih belum bisa menggantikan persamaan k- ϵ sebagai persamaan skala standar, disamping keunggulannya pada daerah *boundary layer*. (Menter dkk., 2003).

$$\begin{aligned}
\frac{\partial(\rho\omega)}{\partial t} + \text{div}(\rho\omega U) = \text{div} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_{\omega,1}} \right) \text{grad}(\omega) \right] + \gamma_2 \left(2\rho S_{ij} \cdot S_{ij} - \right. \\
\left. \frac{2}{3} \rho \omega \frac{\partial U_i}{\partial x_j} \delta_{ij} \right) - \beta_2 \rho \omega^2 + 2 \frac{\rho}{\sigma_{\omega,2} \omega} \frac{\partial k}{\partial x_k} \frac{\partial \omega}{\partial x_k}
\end{aligned} \quad (2.29)$$

Pada proses kerja CFD, secara umum alur pengerjaan simulasi akan dibagi menjadi 3 bagian yaitu :

a) *Preprocessing*

Pada bagian ini dilakukan pembentukan geometri dari fenomena fluida yang ingin diselesaikan. Geometri tersebut nantinya akan dibagi menjadi bagian-bagian yang lebih kecil (*meshing*) untuk dihitung menggunakan 3 persamaan tadi. Kemudian *boundary condition* juga harus didefinisikan serta properti fluida yang digunakan. Semakin banyak bagian-

bagian yang terbentuk pada proses *meshing* semakin akurat juga hasilnya, tetapi beban komputasi akan menjadi semakin berat juga.

b) *Processing*

Pada bagian ini geometri dan *meshing* yang telah dilakukan akan diproses dan dihitung oleh *software*. Pada tahap ini dapat ditentukan grafik ataupun hasil apa saja yang ingin ditampilkan. Jumlah iterasi juga ditetapkan disini. Iterasi yang baik adalah ketika grafik yang terbentuk menuju konvergen.

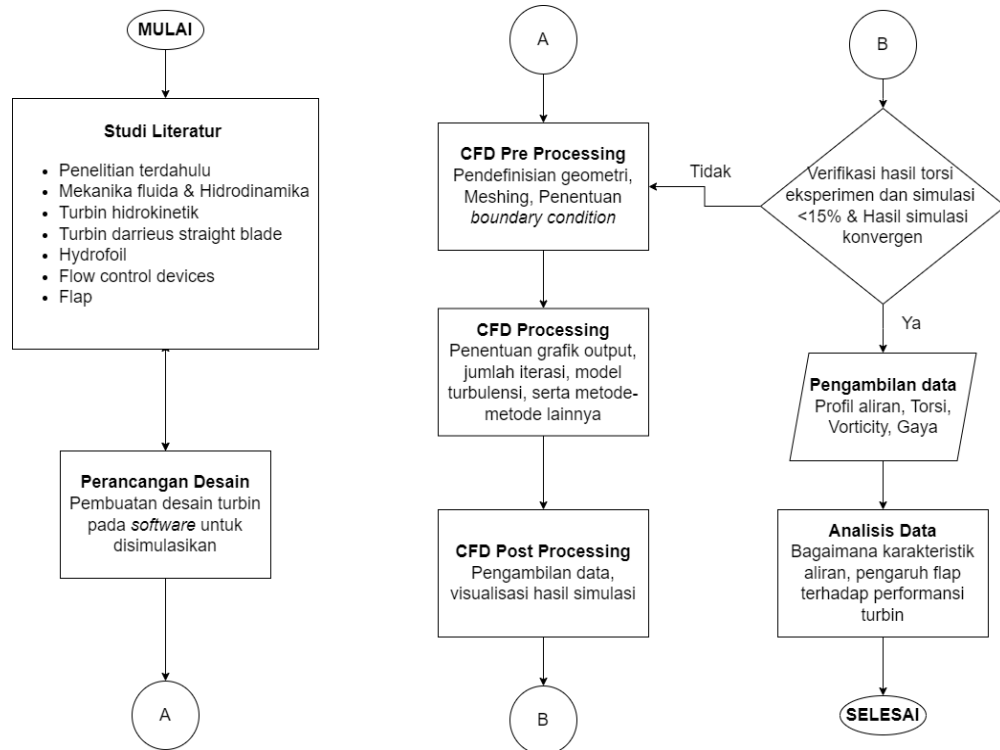
c) *Postprocessing*

Pada bagian ini dapat dilihat hasil dari simulasi yang telah dilakukan mulai dari grafik, kontur kecepatan / tekanan, dan profil fluida lainnya. Pada tahap ini dapat dipilih mengenai visualisasi dari hasil simulasi.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Pada studi simulasi yang akan dilakukan ini, kegiatan dilaksanakan sesuai dengan diagram alir pada **Gambar 3. 1**



Gambar 3. 1 Diagram alir metode penelitian

3.1 Identifikasi dan Perumusan Masalah

Untuk mendukung alur pelaksanaan studi simulasi ini dengan sistematis, maka akan dilakukan perumusan masalah. Pada penelitian ini perumusan masalah yang akan dibahas yaitu mengenai pengaruh penambahan *flap* terhadap performansi dari turbin. Sementara luaran yang diinginkan dan dianalisis lebih lanjut antara lain adalah torsi, kontur kecepatan, kontur tekanan, serta kontur *vorticity* yang akan dihasilkan oleh turbin setelah ditambahkan *flow control device* yaitu *flap*. Penambahan *flap* dilakukan dengan 3 variasi atau variabel bebas yaitu konfigurasi *flap* (*in*, *out*, dan *both*), sudut bukaan maksimal yang dapat dicapai oleh *flap*, serta kecepatan inlet turbin. Seluruh variasi dapat dilihat pada **Tabel 3. 1** berikut.

Tabel 3. 1 Matriks variasi

No	Konfigurasi Flap	Sudut Bukaannya (°)	Kecepatan Aliran (m/s)	No	Konfigurasi Flap	Sudut Bukaannya (°)	Kecepatan Aliran (m/s)
1	<i>In</i>	90	0.17	19	<i>In</i>	45	0.17
2	<i>In</i>	90	0.21	20	<i>In</i>	45	0.21
3	<i>In</i>	90	0.29	21	<i>In</i>	45	0.29
4	<i>Out</i>	90	0.17	22	<i>Out</i>	45	0.17
5	<i>Out</i>	90	0.21	23	<i>Out</i>	45	0.21
6	<i>Out</i>	90	0.29	24	<i>Out</i>	45	0.29
7	<i>Both</i>	90	0.17	25	<i>Both</i>	45	0.17
8	<i>Both</i>	90	0.21	26	<i>Both</i>	45	0.21
9	<i>Both</i>	90	0.29	27	<i>Both</i>	45	0.29
10	<i>In</i>	60	0.17	28	<i>In</i>	30	0.17
11	<i>In</i>	60	0.21	29	<i>In</i>	30	0.21
12	<i>In</i>	60	0.29	30	<i>In</i>	30	0.29
13	<i>Out</i>	60	0.17	31	<i>Out</i>	30	0.17
14	<i>Out</i>	60	0.21	32	<i>Out</i>	30	0.21
15	<i>Out</i>	60	0.29	33	<i>Out</i>	30	0.29
16	<i>Both</i>	60	0.17	34	<i>Both</i>	30	0.17
17	<i>Both</i>	60	0.21	35	<i>Both</i>	30	0.21
18	<i>Both</i>	60	0.29	36	<i>Both</i>	30	0.29

3.2 Simulasi CFD (*Preprocessing, processing, postprocessing*)

Pada simulasi ini, proses dibagi menjadi 3 tahapan yaitu *preprocessing*, *processing*, dan *postprocessing*.

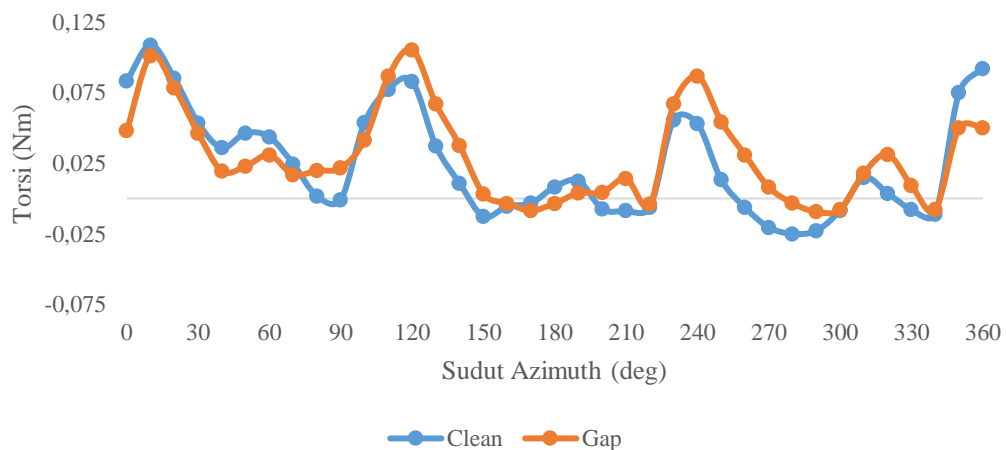
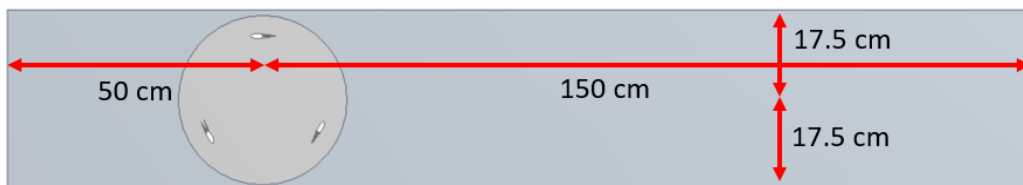
3.2.1 *Preprocessing*

Pada bagian *preprocessing* akan dibagi menjadi 2 yaitu penentuan geometri kemudian *meshing*. Penentuan geometri terdiri atas dimensi *span*, *chord*, *arm*, *shaft*, yang disesuaikan dengan tempat pengaplikasian alat. Penentuan geometri ini untuk menjadi acuan dalam proses desain turbin pada *software*. Alat ini akan diletakkan pada suatu kanal buatan berupa *flume tank* sebagai perangkat yang dapat digunakan sebagai pengganti kanal terbuka. *Flume tank* ini bermanfaat untuk menirukan aliran pada kanal terbuka asli pada tempat yang jauh dari kanal. *Flap* akan dipasang sepanjang 50% dari *chord hydrofoil* dengan panjang mulai dari 50% *chord* sampai dengan *trailing edge*. Dimensi turbin pada setiap aspek di dalamnya terdapat pada **Tabel 3. 2** di bawah ini.

Tabel 3. 2 Dimensi turbin

No	Bagian Turbin	Dimensi (cm)
1	<i>Chord hydrofoil</i>	5
2	<i>Span hydrofoil</i>	25
3	Diameter Turbin (D)	25

Pada desain pembuatan geometri, akan dilakukan penyesuaian yaitu dengan penambahan *gap* yaitu sebesar 2 % dari nilai *chord hydrofoil* yaitu sebesar 0.1 cm. Penyesuaian tersebut dilakukan agar *flap* dapat disimulasikan bergerak dengan nilai kecepatan angular tertentu. Penyesuaian geometri tersebut menghasilkan selisih nilai torsi sebesar 0.0054 Nm dengan geometri tanpa *gap* (*clean*). **Gambar 3. 2** berikut adalah grafik perbedaan nilai torsi terhadap sudut azimuth dari geometri dengan *gap* dan tanpa *gap*. Serta **Gambar 3. 3** Domain Simulasi yakni dimensi domain yang digunakan untuk simulasi.

**Gambar 3. 2** Grafik perbedaan nilai torsi antara geometri *clean* dan *gap***Gambar 3. 3** Domain Simulasi

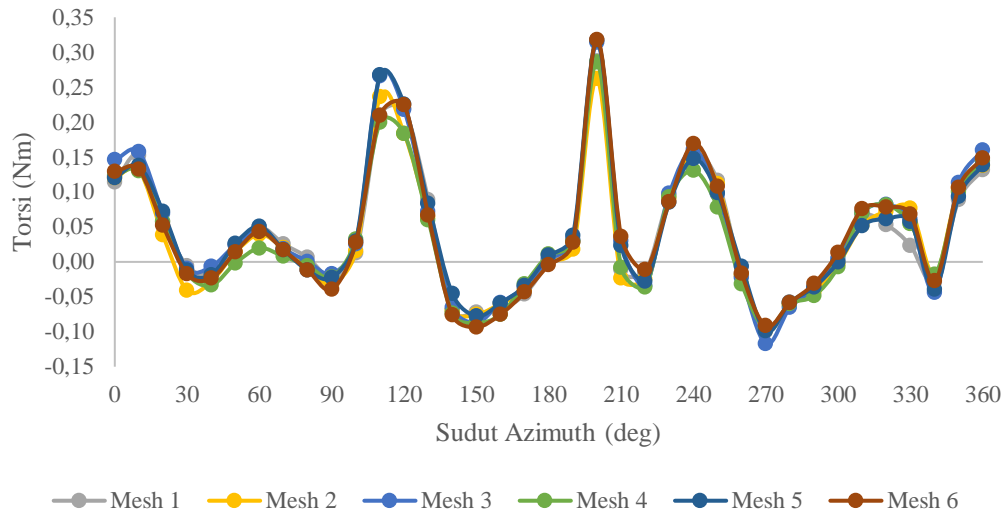
Pada tahap *meshing* akan dilakukan metode *Mesh Independence Test* untuk mendapatkan ukuran *mesh* yang paling optimal sehingga didapatkan hasil yang

sesuai serta tidak memakan waktu komputasi yang lama. Untuk itu, berikut merupakan **Tabel 3. 3** dari *Mesh Independence Test* yang telah dilakukan.

Tabel 3. 3 *Mesh independence test*

<i>Mesh</i>	<i>Element Size (mm)</i>	<i>Face Sizing Domain Rot (mm)</i>	<i>Edge Sizing Interface</i>	<i>Edge Sizing Flap</i>	<i>Edge Sizing Hydrofoil</i>	<i>Edge Sizing Flap Belakang</i>	<i>Number of Element</i>	<i>Number of Nodes</i>	<i>Skewness Max</i>
<i>Mesh 1</i>	5	5	130	130	100	50	51119	36066	0.73
<i>Mesh 2</i>	4.5	4	180	180	120	60	68961	51099	0.7
<i>Mesh 3</i>	4	3.5	220	220	150	70	103763	81967	0.78
<i>Mesh 4</i>	3.5	3	250	250	180	80	159841	131192	0.81
<i>Mesh 5</i>	3	2.5	270	270	220	90	174961	138008	0.72
<i>Mesh 6</i>	2.5	2	300	200	250	100	187022	145547	0.74

Berikut merupakan hasil nilai torsi dari tiap-tiap *mesh* pada **Tabel 3. 3** di atas. Dari **Gambar 3. 4** di bawah, untuk tiap *mesh* relatif memiliki tren yang sama untuk nilai torsinya, oleh karena itu dipilihlah *mesh 6* sebagai *setup* yang akan digunakan untuk seluruh variasi.



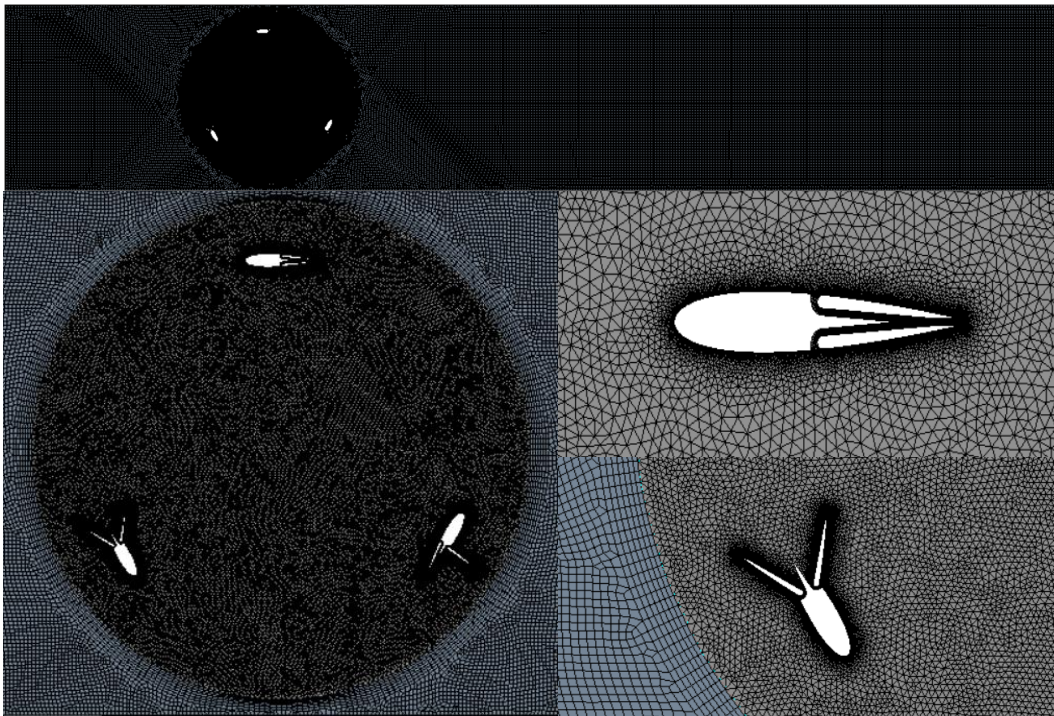
Gambar 3. 4 Torsi tiap *mesh* terhadap sudut azimuth

Pemilihan tersebut dengan mempertimbangkan bahwa *mesh 6* cukup sesuai dimana *mesh 6* ini tidak menyebabkan munculnya *error negative cell volume* serta ukuran *cell* pada *fixed domain* juga cukup detail sehingga dapat diamati *wake* yang dihasilkan oleh turbin di daerah *downstream*.

Tabel 3. 4 Parameter *Meshing* pada Variasi 22

<i>Parameter</i>	<i>Detail</i>	<i>Value</i>
<i>Method</i>	<i>Geometri : Rotate domain, Triangles</i>	<i>Default</i>
<i>Inflation</i>	<i>Geometri : Interface, First Layer Thickness 1.5 mm</i>	<i>Transition ratio : 0.272 Growth rate : 1.05 Maximum Layer : 7</i>
<i>Face Sizing Rotate Domain</i>	<i>Element Size</i>	<i>2 mm</i>
<i>Edge Sizing Interface</i>	<i>Number of Division</i>	<i>300</i>
<i>Edge Sizing Flap</i>	<i>Number of Division</i>	<i>200</i>
<i>Edge Sizing Hydrofoil</i>	<i>Number of Division</i>	<i>250</i>
<i>Edge Sizing Flap belakang</i>	<i>Number of Division</i>	<i>100</i>
<i>Skewness</i>	<i>Skewness maximum</i>	<i>0.68</i>
<i>Number of Elements & Nodes</i>	<i>Variasi 22 (Tabel 3.1)</i>	<i>184500 & 144303</i>

Tabel 3. 4 di atas merupakan rincian *setup* yang digunakan pada *meshing* seluruh variasi. Dimana nilai *skewness maximum* digunakan sebagai parameter untuk menilai *meshing* dan didapatkan nilainya yaitu sebesar 0.68, dimana nilainya dapat diterima. Jumlah *element* yang didapatkan yaitu sebanyak 184500 dengan jumlah *nodes* yaitu 144303. **Gambar 3. 5** berikut merupakan hasil visualisasi dari *meshing* yang telah dilakukan.



Gambar 3. 5 Mesh pada domain serta *hydrofoil*

3.2.2 *Processing*

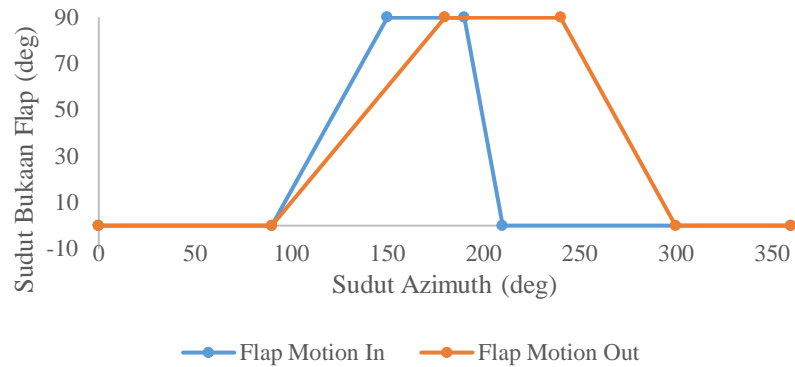
Pada tahap ini ditentukan metode-metode yang akan digunakan dalam simulasi yang akan dieksekusi nantinya. Data yang akan diekstrak dari simulasi adalah gaya yang bekerja pada sumbu x dan sumbu y, kemudian juga kontur kecepatan, tekanan, serta *vorticity*. Gaya pada sumbu x dan sumbu y nantinya akan diolah menjadi nilai gaya tangensial setiap lengan, kemudian dikalikan jari-jari turbin untuk memperoleh nilai torsi tiap lengan, kemudian dijumlahkan untuk memperoleh nilai torsi yang dihasilkan oleh turbin. Simulasi pada *set up* yang digunakan dilakukan sebanyak 360 *time steps* dengan *time step size* yang digunakan adalah untuk setiap perpindahan sebesar 1° sudut azimuth, dengan kata lain data

gaya yang diambil adalah setiap 1° derajat. Selain itu dengan menetapkan jumlah iterasi maksimum sebesar 200 setiap *time step* sudah menghasilkan iterasi yang memenuhi toleransi konvergensi yaitu sebesar 10^{-3} .

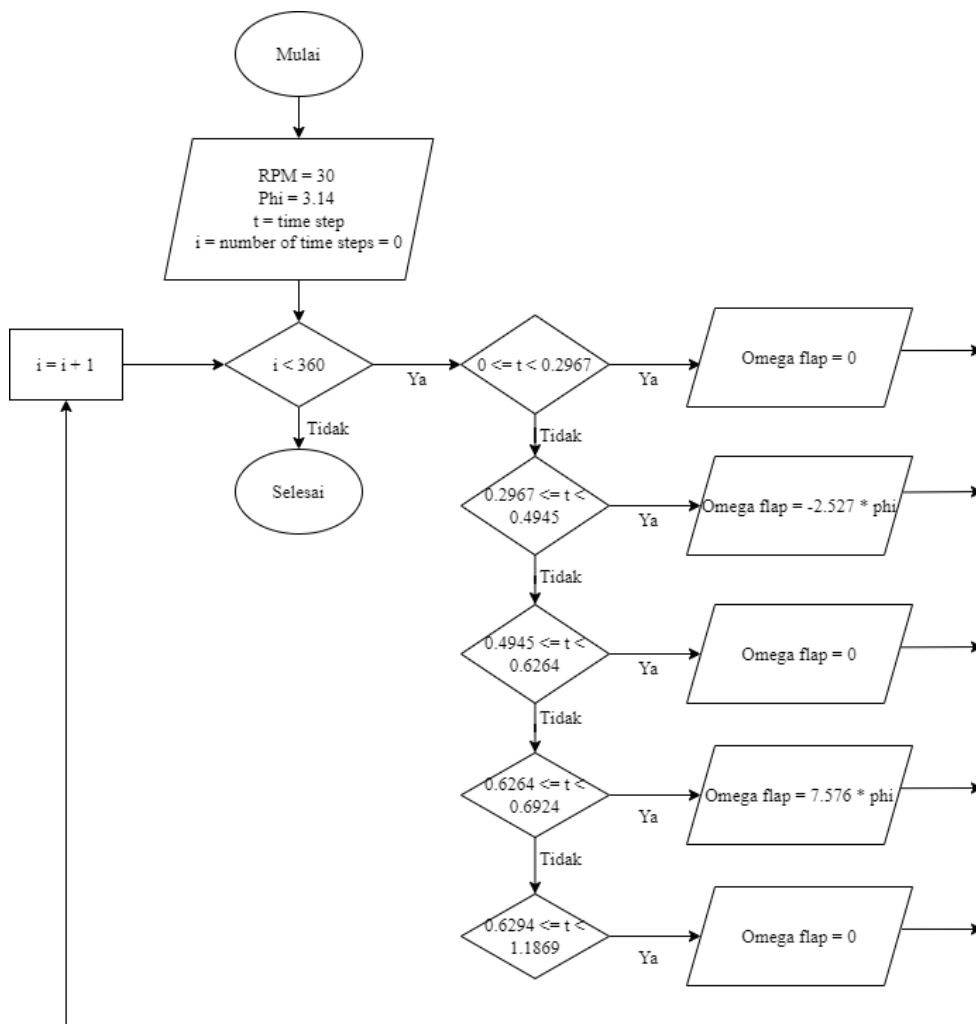
Tabel 3. 5 Parameter *set up*

<i>Tab</i>	<i>Parameter</i>	Kondisi
<i>General</i>	<i>Time</i>	<i>Transient</i>
<i>Model</i>	<i>Viscous</i>	<i>k-ω SST</i>
<i>Material</i>	<i>Fluid</i>	<i>Water Liquid</i>
<i>Boundary</i>	<i>Velocity Inlet</i>	<i>0.17 ; 0.21 ; 0.29 m/s</i>
<i>Dynamic Mesh</i>	<i>Smoothing</i>	<i>Spring Constant Factor = 0.5</i>
		<i>Convergence Tolerance = 10^{-3}</i>
		<i>Number of Iterations = 100</i>
		<i>Elements = All</i>
	<i>Remeshing</i>	<i>Minimum Length Scale = 0.0005 m</i>
		<i>Maximum Length Scale = 0.001 m</i>
<i>Maximum Cell Skewness = 0.85</i>		
<i>References Values</i>	<i>Area</i>	<i>0.0125 m²</i>
	<i>Length</i>	<i>0.05 m</i>
	<i>Depth</i>	<i>0.25 m</i>
	<i>Velocity</i>	<i>0.17 ; 0.21 ; 0.29 m/s</i>
	<i>Density</i>	<i>998.2 kg/m³</i>

Pergerakan *flap* akan didefinisikan menggunakan fitur *dynamic mesh* dan *user defined function*. Pergerakan *flap* didefinisikan berdasarkan hasil pengamatan pada studi eksperimental. **Gambar 3. 6** berikut menunjukkan pergerakan *flap* terhadap sudut azimuth. Pada konfigurasi *both*, gerakan *flap out* dan *in* dipadukan. Untuk fitur *dynamic mesh*, diperlukan pembuatan *user defined function* (UDF) terlebih dahulu, dimana *code* ini akan mendefinisikan pergerakan yang akan dilakukan oleh *flap*.



Gambar 3. 6 Grafik gerakan *flap* terhadap sudut azimuth



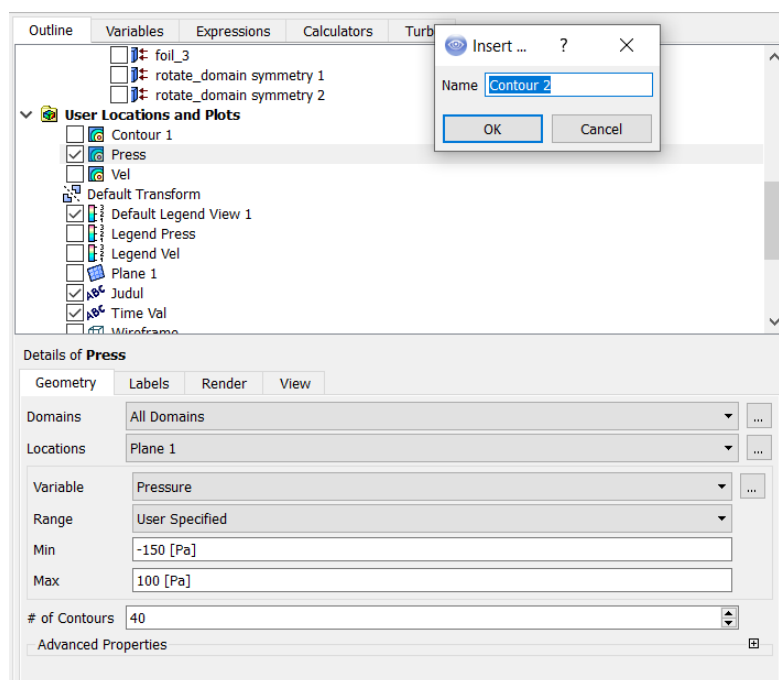
Gambar 3. 7 Diagram alir *user defined function*

Gambar 3. 7 merupakan penjelasan bagaimana cara kerja *user defined function*. Secara sederhana, UDF bekerja dengan membagi satu putaran turbin menjadi beberapa zona waktu yang merepresentasikan sudut azimuth turbin.

Kemudian dari setiap zona waktu tersebut, akan diberikan nilai omega atau kecepatan angular (ω) dari *flap*.

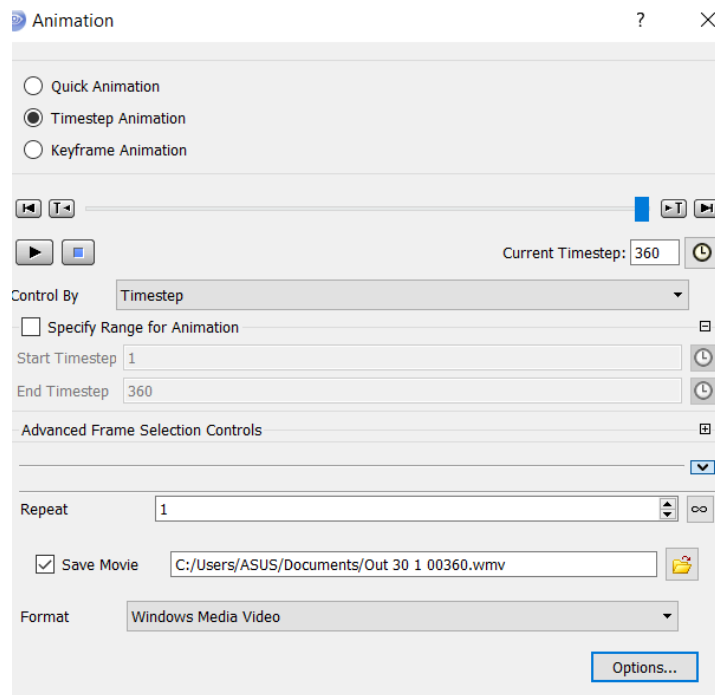
3.2.3 Postprocessing

Pada bagian ini dapat dilihat hasil dari simulasi yang telah dilakukan mulai dari grafik, kontur kecepatan / tekanan, dan *vorticity*. Sementara untuk memperoleh nilai torsi akan diolah dari nilai gaya yang sudah didapatkan. Pada tahap ini dapat dipilih mengenai visualisasi dari hasil simulasi yang telah dilakukan. Untuk menampilkan kontur yang diinginkan, langkah pertama adalah membuat *plane* 2 dimensi yang akan digunakan untuk letak kontur nanti. Kemudian tekan ikon kontur, dan atur untuk kontur yang ingin ditampilkan seperti pada **Gambar 3. 8** di bawah. Kemudian atur skala kontur yang akan ditampilkan kemudian *apply*.



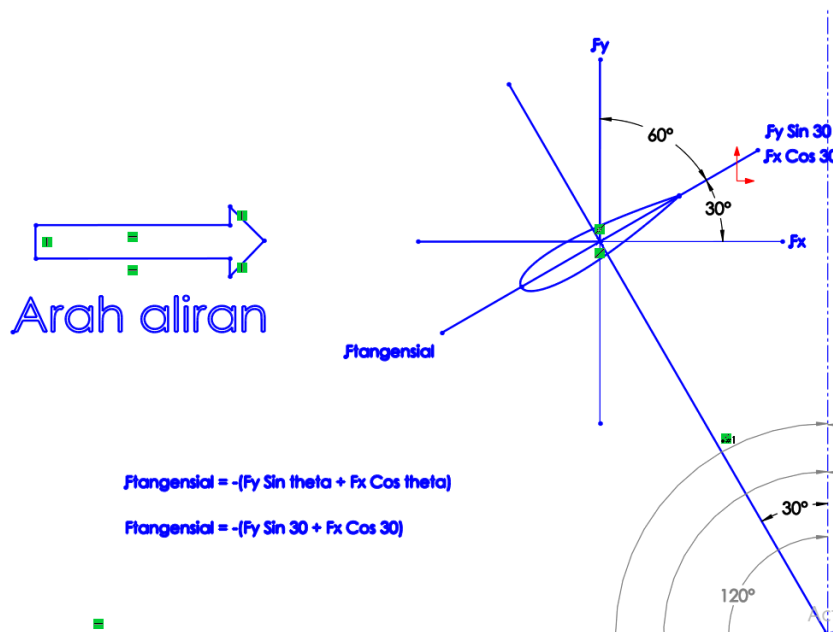
Gambar 3. 8 Penentuan kontur

Kemudian untuk mengekspor video dari kontur tersebut tekan ikon film kemudian pilih *time step animation* dan centang pada bagian *save movie* dan atur *directory* penyimpanan yang diinginkan seperti pada **Gambar 3. 9** Kemudian putar video, setelah selesai video akan otomatis tersimpan pada *directory* yang sudah diatur.



Gambar 3. 9 Pengambilan video kontur

Untuk melakukan pengolahan data torsi, akan dilakukan perhitungan gaya tangensial yang bekerja pada tiap lengan terlebih dahulu (**Gambar 3. 10**), kemudian setelah itu dikalikan dengan jari-jari turbin untuk mendapatkan nilai torsi pada satu lengan. Untuk memperoleh nilai torsi yang dihasilkan turbin, maka dilakukan penjumlahan pada hasil torsi tiap lengan.



Gambar 3. 10 Mengubah F_x dan F_y menjadi $F_{tangensial}$

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Validasi Hasil Simulasi

Hasil pengambilan data yang dilakukan dari simulasi, kemudian akan divalidasi dengan data eksperimental. **Tabel 4. 1** di bawah merupakan hasil validasi data simulasi dengan data eksperimental dan nilai selisihnya.

Tabel 4. 1 Validasi Hasil Simulasi dengan Eksperimental

No	Konfigurasi	Vin	Bukaan	TSR	Cp	Cp Eksp	Selisih
1	<i>In</i>	0.29 m/s	90°	1.940	0.0874	0.083	5.09%
2	<i>Both</i>			1.755	0.0663	0.062	6.55%

Validasi pada **Tabel 4. 1** dilakukan dengan membandingkan nilai Cp turbin yang diperoleh dari hasil simulasi dengan hasil eksperimental. Proses validasi dilakukan pada 2 variasi yaitu konfigurasi *in* dan *both*, sudut bukaan 90° dengan kecepatan inlet 0.29 m/s. Dari hasil simulasi diperoleh nilai Cp sebesar 0.0874 pada konfigurasi *in* dan 0.062 pada konfigurasi *both* dengan selisih sebesar 5.09% dan 6.55% pada setiap variasi. Nilai selisih yang kurang dari 15% dapat dikatakan bahwa data yang didapatkan dari hasil simulasi telah tervalidasi.

Berikut merupakan hasil pengambilan data dari simulasi yang telah dilakukan. Simulasi dilakukan dengan 3 variasi konfigurasi *flap* yaitu konfigurasi *out*, *in*, dan *both*. Untuk masing-masing konfigurasi, sudut bukaan maksimum yang dapat dicapai *flap* juga divariasikan yaitu 30°, 45°, 60°, dan 90°. Kemudian kecepatan inlet juga divariasikan menjadi 0.17 m/s, 0.21 m/s, dan 0.29 m/s. Untuk masing-masing variasi kecepatan inlet, akan menghasilkan nilai Bilangan Reynolds yang berbeda-beda. Pada kecepatan 0.17 m/s, nilai Bilangan Reynolds-nya adalah 8500. Untuk kecepatan 0.21 m/s, nilai Bilangan Reynolds-nya adalah 10500, sedangkan untuk kecepatan 0.29 m/s, nilai Bilangan Reynolds-nya adalah 14500.

Tabel 4. 2 Data hasil simulasi konfigurasi *out*

No	Konfigurasi	Sudut Bukaan	Vin (m/s)	TSR	Torsi (Nm)	Cp
1	<i>Out</i>	30°	0.17	0.4620	0.0314	0.0142
2			0.21	0.3740	0.0606	0.0145
3			0.29	0.2708	0.0930	0.0085
4		45°	0.17	0.4620	0.0316	0.0143
5			0.21	0.3740	0.0576	0.0138
6			0.29	0.2708	0.1065	0.0097
7		60°	0.17	0.4620	0.0318	0.0144
8			0.21	0.3740	0.0556	0.0133
9			0.29	0.2708	0.1118	0.0102
10		90°	0.17	0.4620	0.0275	0.0124
11			0.21	0.3740	0.0552	0.0132
12			0.29	0.2708	0.1092	0.0099

Pada **Tabel 4. 2** di atas adalah hasil olah data dari turbin dengan konfigurasi *out* dimana nilai Cp tertinggi dihasilkan oleh variasi sudut bukaan 60° pada kecepatan 0.17 m/s dengan nilai 0.0144. Sedangkan untuk Cp terendah dihasilkan oleh variasi konfigurasi *out*, sudut bukaan 30°, dengan kecepatan inlet 0.17 m/s yaitu sebesar 0.0085.

Tabel 4. 3 Data hasil simulasi konfigurasi *in*

No	Konfigurasi	Sudut Bukaan	Vin (m/s)	TSR	Torsi (Nm)	Cp
1	<i>In</i>	30°	0.17	0.2726	0.0064	0.0017
2			0.21	2.4464	0.0211	0.0331
3			0.29	2.2589	0.0467	0.0354
4		45°	0.17	0.6899	0.0056	0.0038
5			0.21	2.3930	0.0246	0.0376
6			0.29	2.2646	0.0397	0.0302
7		60°	0.17	1.1073	0.0028	0.0031
8			0.21	2.3396	0.0177	0.0265
9			0.29	2.2703	0.0410	0.0313
10		90°	0.17	1.9419	0.0103	0.0196
11			0.21	2.2328	0.0196	0.0280
12			0.29	2.2817	0.0503	0.0385

Pada **Tabel 4. 3** di atas adalah hasil olah data dari turbin dengan konfigurasi *in* dimana nilai Cp tertinggi dihasilkan oleh variasi sudut bukaan 90° pada kecepatan 0.29 m/s dengan nilai 0.0385. Sedangkan untuk Cp terendah dihasilkan oleh variasi konfigurasi *in*, sudut bukaan 30°, dengan kecepatan inlet 0.17 m/s yaitu sebesar 0.0017.

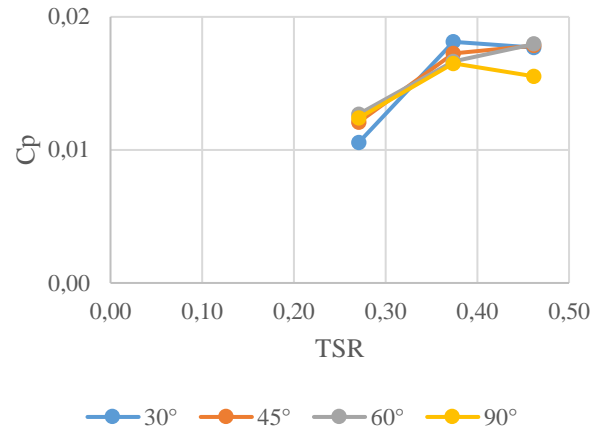
Tabel 4. 4 Data hasil simulasi konfigurasi *both*

No	Konfigurasi	Sudut Bukaan	Vin (m/s)	TSR	Torsi (Nm)	Cp
1	<i>Both</i>	30°	0.17	0.0000	0.0000	0.0000
2			0.21	0.6952	0.0093	0.0041
3			0.29	2.2412	0.0452	0.0340
4		45°	0.17	0.0000	0.0000	0.0000
5			0.21	1.0466	0.0044	0.0030
6			0.29	2.1874	0.0493	0.0362
7		60°	0.17	0.0000	0.0000	0.0000
8			0.21	1.3979	0.0006	0.0005
9			0.29	2.1335	0.0335	0.0240
10		90°	0.17	0.0000	0.0000	0.0000
11			0.21	2.0258	0.0022	0.0040
12			0.29	2.1006	0.0315	0.0161

Pada **Tabel 4. 4** di atas adalah hasil olah data dari turbin dengan konfigurasi *both* dimana nilai Cp tertinggi dihasilkan oleh variasi sudut bukaan 45° pada kecepatan 0.29 m/s dengan nilai 0.0362. Sedangkan untuk Cp terendah dihasilkan oleh variasi konfigurasi *both*, sudut bukaan 60°, dengan kecepatan inlet 0.21 m/s yaitu sebesar 0.0005. Sedangkan pada kecepatan 0.17 m/s, hasil menunjukkan bahwa turbin tidak dapat berputar, sehingga nilai torsi dan Cp tidak dapat diperoleh.

4.2 Hasil Simulasi Turbin Konfigurasi *Flap Out*

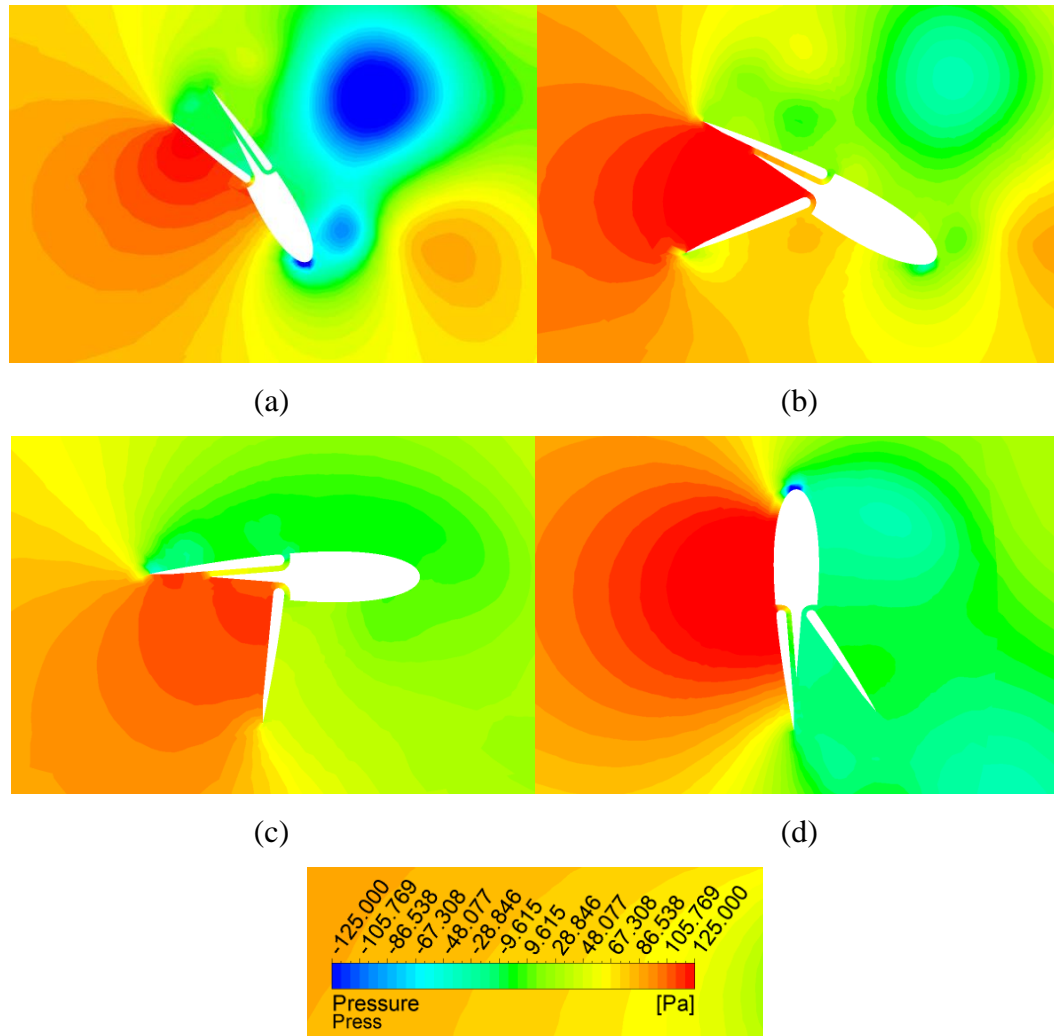
Pada bagian ini akan dibahas lebih detail dan ditampilkan dalam grafik serta gambar data dari variasi-variasi yang sudah disimulasikan. Konfigurasi *flap out* adalah konfigurasi dimana *flap* yang difungsikan atau dibuka hanya *flap* yang menghadap ke *shaft* (*flap out*) sementara *flap* yang membelakangi *shaft* (*flap in*) akan tertutup selama turbin berputar. Data yang akan ditampilkan adalah grafik dari torsi terhadap sudut azimuth turbin, gambar kontur kecepatan, tekanan, serta *vorticity* dari tiap variasi, dan juga grafik Cp terhadap TSR. Pada variasi konfigurasi ini, RPM turbin akan dikunci dengan nilai 6 karena tidak adanya data RPM yang tersedia pada penelitian eksperimental.



Gambar 4. 1 Grafik C_p terhadap TSR pada konfigurasi *out*

Pada konfigurasi *out*, nilai C_p tertinggi didapatkan oleh variasi bukaan 30° kecepatan 0.21 m/s dengan TSR sebesar 0.374 yaitu dengan nilai C_p 0.0145 . Sedangkan C_p terendah terjadi pada variasi bukaan 30° kecepatan 0.29 m/s dengan TSR 0.271 yaitu sebesar 0.0084 .

Sedangkan pada **Gambar 4. 2** ditampilkan kontur tekanan untuk *single hydrofoil* (lengan 1) yang sedang berotasi melalui sudut azimuth 120° sampai 270° dimana pada sudut azimuth tersebut, *flap out* sedang mengalami proses pembukaan sampai penutupan (kecepatan inlet dari sisi kiri). Pada **Gambar 4. 2** (a) ditunjukkan bahwa *hydrofoil* pada sudut azimuth 120° . Pada gambar tersebut ditampilkan perbedaan tekanan pada 2 sisi *hydrofoil* dimana pada bagian yang ditumbuk oleh aliran air membentuk tekanan yang tinggi (air menumbuk *flap* bagian luar), hal tersebut terjadi karena ada penurunan kecepatan air didaerah tumbukan tersebut. Perbedaan tekanan tersebut menyebabkan resultan gaya lebih didominasi oleh gaya *drag*. Pada azimuth 120° ini, *flap out* juga sedang mengalami proses pembukaan sekitar 30° . Dengan terbukanya *flap out* ini, menyebabkan variasi perbedaan nilai tekanan lebih besar.



Gambar 4. 2 Kontur tekanan *hydrofoil* pada sudut azimuth 120° , 150° , 180° , dan 270° pada konfigurasi *out*

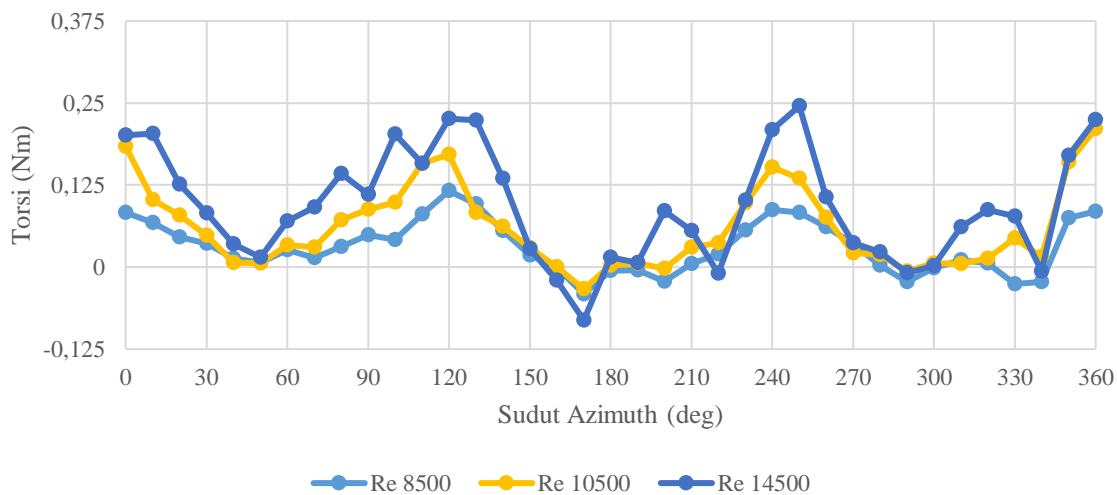
Nilai torsi yang dihasilkan lengan 1 pada sudut azimuth 90° adalah 0.32 Nm . Sehingga pada sudut azimuth ini, lengan 1 memiliki kinerja yang cukup baik. Lengan 1 ini juga menghasilkan pusaran air yang ditandai dengan kontur berwarna biru berbentuk bulat.

Pada **Gambar 4. 2** (b) ditunjukkan bahwa *hydrofoil* pada sudut azimuth 150° dengan *flap* sedang dalam proses pembukaan yakni sekitar 60° . Bukaan *flap* tersebut memisahkan 2 area dengan nilai tekanan yang rendah, sehingga pada bagian belakang *flap* terdapat area yang memiliki nilai tekanan yang cukup tinggi karena ditumbuk air secara langsung (air menumbuk *flap* bagian dalam). Adanya area tersebut membuat *flap* dapat terus terbuka. Kemudian untuk sudut azimuth 180° ditampilkan pada **Gambar 4. 2** (c) dimana pada gambar ditampilkan 2 area dengan perbedaan nilai tekanan dan dipisahkan oleh *flap*. Perbedaan tekanan tersebut menyebabkan gaya *drag* sangat dominan pada azimuth 180° ini, hal tersebut berkaitan dengan penambahan luas area yang ditumbuk oleh air secara langsung,

sehingga air seolah-olah mendorong *flap*. Kemudian pada **Gambar 4. 2** (d) ditunjukkan *hydrofoil* sedang pada sudut azimuth 270° . Pada sudut azimuth ini *hydrofoil* berada tegak lurus dengan arah aliran, dengan kondisi *flap out* masih terbuka sekitar 30° . Hal tersebut menyebabkan *hydrofoil* didominasi oleh gaya *drag* karena perbedaan tekanan yang sangat besar di antara 2 sisi *hydrofoil*. Sehingga nilai torsi yang dihasilkan pada sudut azimuth ini terbilang cukup kecil yaitu 0.047 Nm.

4.2.1 Sudut Buka 30°

Berikut merupakan data grafik torsi terhadap sudut azimuth serta kontur tekanan, kecepatan, dan *vorticity* pada konfigurasi *out*, sudut bukaan 30° .

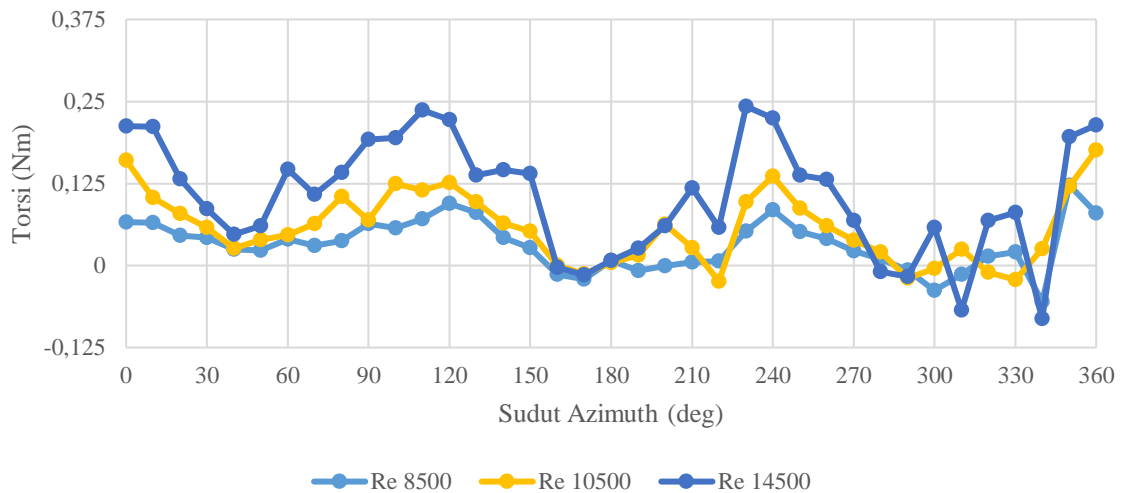


Gambar 4. 3 Grafik torsi terhadap sudut azimuth pada konfigurasi *out* sudut bukaan 30°

Gambar 4. 3 menunjukkan torsi tiap sudut azimuth dari turbin konfigurasi *out* dengan sudut bukaan 30° . Nilai torsi rata-rata dari tiap Bilangan Reynolds 8500, 10500, dan 14500 secara berturut-turut adalah 0.0314 Nm, 0.0606 Nm, dan 0.0927 Nm. Jika dilihat pada grafik, ketiga kecepatan memiliki pola garis yang sama, namun ketika kecepatan bertambah maka torsi tiap azimuth akan bertambah juga, sehingga membentuk 3 grafik yang mirip hanya berbeda amplitudo dari torsinya saja. Untuk kecepatan inlet yang semakin besar, maka sumber energi kinetik yang tersedia akan semakin banyak juga, sehingga dalam kasus ini turbin dapat mengekstrak energi kinetik lebih banyak ketika kecepatan inletnya bertambah. Pada sudut azimuth tertentu, turbin menghasilkan nilai torsi negatif, dimana torsi negatif ini berarti gaya putar yang dihasilkan cenderung menghambat arah putar turbin yang sebenarnya. Torsi terendah pada kecepatan 0.17 m/s, 0.21 m/s dan 0.29 m/s berturut-turut adalah -0.0409 Nm, -0.0333 Nm, -0.0809 Nm dan seluruhnya terjadi pada sudut azimuth 170° .

4.2.2 Sudut Bukaannya 45°

Berikut merupakan data grafik torsi terhadap sudut azimuth serta kontur tekanan, kecepatan, dan *vorticity* pada konfigurasi *out*, sudut bukaan 45°.

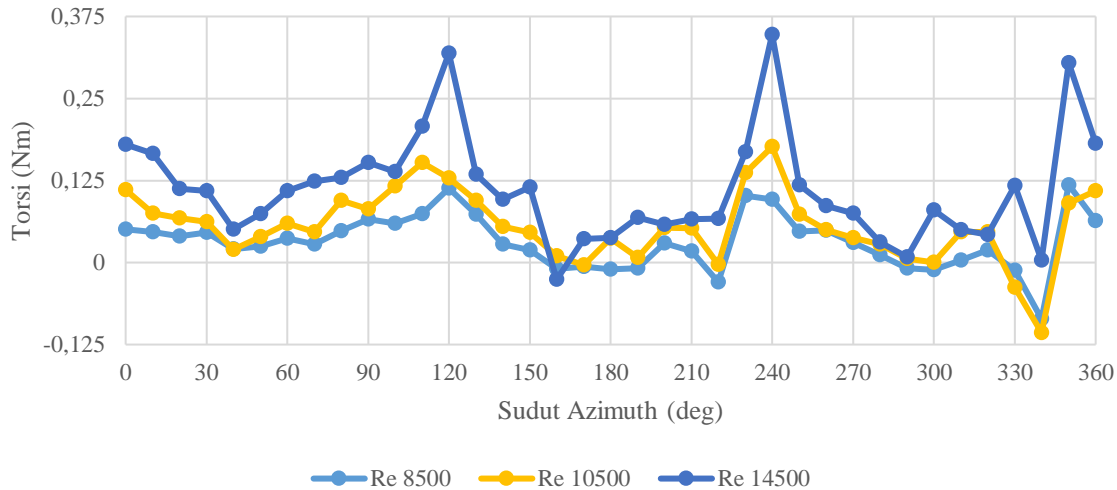


Gambar 4. 4 Grafik torsi terhadap sudut azimuth pada konfigurasi *out* sudut bukaan 45°

Gambar 4. 4 menunjukkan torsi tiap sudut azimuth dari turbin konfigurasi *out* dengan sudut bukaan 45°. Nilai torsi rata-rata dari tiap Bilangan Reynolds 8500, 10500, dan 14500 secara berturut-turut adalah 0.0317 Nm, 0.0576 Nm, dan 0.1058 Nm. Jika dilihat pada grafik, ketiga kecepatan memiliki pola garis yang sama, namun ketika kecepatan bertambah maka torsi tiap azimuth akan bertambah juga, sehingga membentuk 3 grafik yang mirip hanya berbeda amplitudo dari torsinya saja. Untuk kecepatan inlet yang semakin besar, maka sumber energi kinetik yang tersedia akan semakin banyak juga, sehingga dalam kasus ini turbin dapat mengekstrak energi kinetik lebih banyak ketika kecepatan inletnya bertambah. Pada sudut azimuth tertentu, turbin menghasilkan nilai torsi negatif, dimana torsi negatif ini berarti gaya putar yang dihasilkan cenderung menghambat arah putar turbin yang sebenarnya. Torsi terendah pada kecepatan 0.17 m/s, 0.21 m/s dan 0.29 m/s berturut-turut adalah -0.055 Nm pada sudut azimuth 340°, -0.0241 Nm pada sudut azimuth 220°, -0.0814 Nm pada sudut azimuth 340°.

4.2.3 Sudut Buka 60°

Berikut merupakan data grafik torsi terhadap sudut azimuth serta kontur tekanan, kecepatan, dan *vorticity* pada konfigurasi *out*, sudut bukaan 60°.

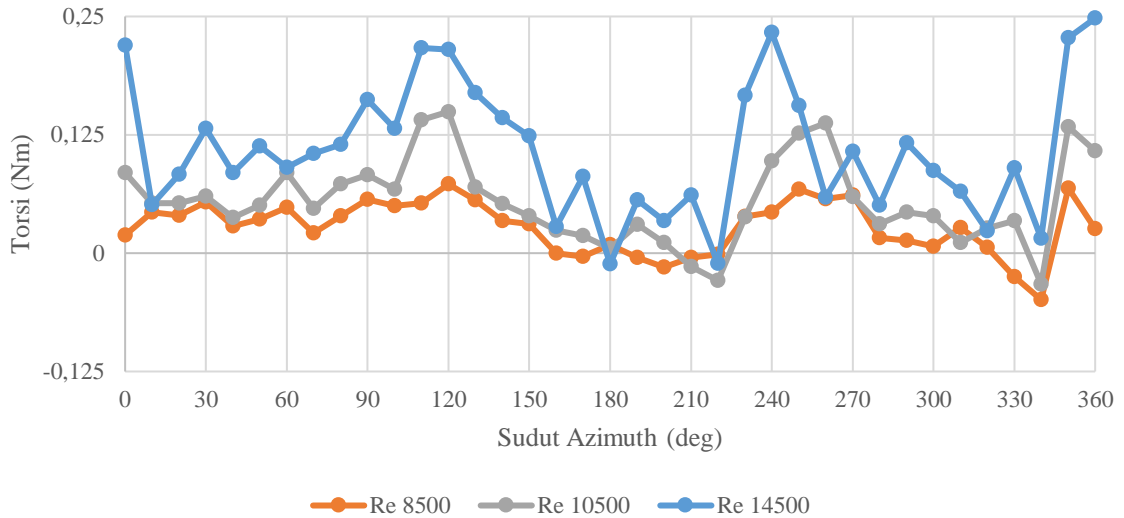


Gambar 4. 5 Grafik torsi terhadap sudut azimuth pada konfigurasi *out* sudut bukaan 60°

Gambar 4. 5 menunjukkan torsi tiap sudut azimuth dari turbin konfigurasi *out* dengan sudut bukaan 60°. Nilai torsi rata-rata dari tiap Bilangan Reynolds 8500, 10500, dan 14500 secara berturut-turut adalah 0.0318 Nm, 0.0556 Nm, dan 0.1119 Nm. Jika dilihat pada grafik, ketiga kecepatan memiliki pola garis yang sama, namun ketika kecepatan bertambah maka torsi tiap azimuth akan bertambah juga, sehingga membentuk 3 grafik yang mirip hanya berbeda amplitudo dari torsinya saja. Untuk kecepatan inlet yang semakin besar, maka sumber energi kinetik yang tersedia akan semakin banyak juga, sehingga dalam kasus ini turbin dapat mengekstrak energi kinetik lebih banyak ketika kecepatan inletnya bertambah. Pada sudut azimuth tertentu, turbin menghasilkan nilai torsi negatif, dimana torsi negatif ini berarti gaya putar yang dihasilkan cenderung menghambat arah putar turbin yang sebenarnya. Torsi terendah pada kecepatan 0.17 m/s, 0.21 m/s dan 0.29 m/s berturut-turut adalah -0.0859 Nm pada sudut azimuth 340°, -0.1068 Nm pada sudut azimuth 340°, -0.026 Nm pada sudut azimuth 160°.

4.2.4 Sudut Buka 90°

Berikut merupakan data grafik torsi terhadap sudut azimuth serta kontur tekanan, kecepatan, dan *vorticity* pada konfigurasi *out*, sudut bukaan 90°.



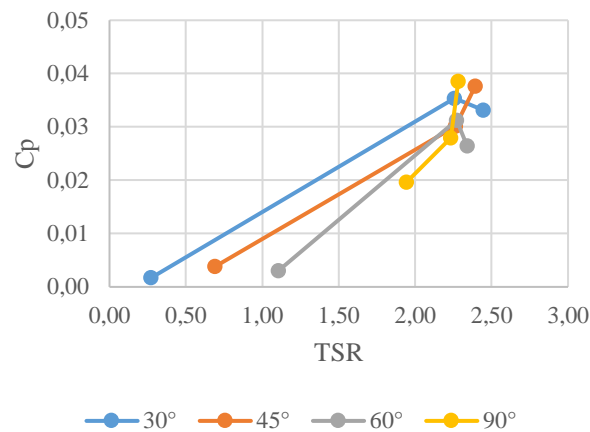
Gambar 4. 6 Grafik torsi terhadap sudut azimuth pada konfigurasi *out* sudut bukaan 90°

Gambar 4. 6 menunjukkan torsi tiap sudut azimuth dari turbin konfigurasi *out* dengan sudut bukaan 90°. Nilai torsi rata-rata dari tiap Bilangan Reynolds 8500, 10500, dan 14500 secara berturut-turut adalah 0.0275 Nm, 0.0552 Nm, dan 0.1092 Nm. Jika dilihat pada grafik, ketiga kecepatan memiliki pola garis yang sama, namun ketika kecepatan bertambah maka torsi tiap azimuth akan bertambah juga, sehingga membentuk 3 grafik yang mirip hanya berbeda amplitudo dari torsinya saja. Untuk kecepatan inlet yang semakin besar, maka sumber energi kinetik yang tersedia akan semakin banyak juga, sehingga dalam kasus ini turbin dapat mengekstrak energi kinetik lebih banyak ketika kecepatan inletnya bertambah. Pada sudut azimuth tertentu, turbin menghasilkan nilai torsi negatif, dimana torsi negatif ini berarti gaya putar yang dihasilkan cenderung menghambat arah putar turbin yang sebenarnya. Torsi terendah pada kecepatan 0.17 m/s, 0.21 m/s dan 0.29 m/s berturut-turut adalah -0.0492 Nm pada sudut azimuth 340°, -0.0326 Nm pada sudut azimuth 340°, -0.0115 Nm pada sudut azimuth 180°.

4.3 Hasil Simulasi Turbin Konfigurasi *Flap In*

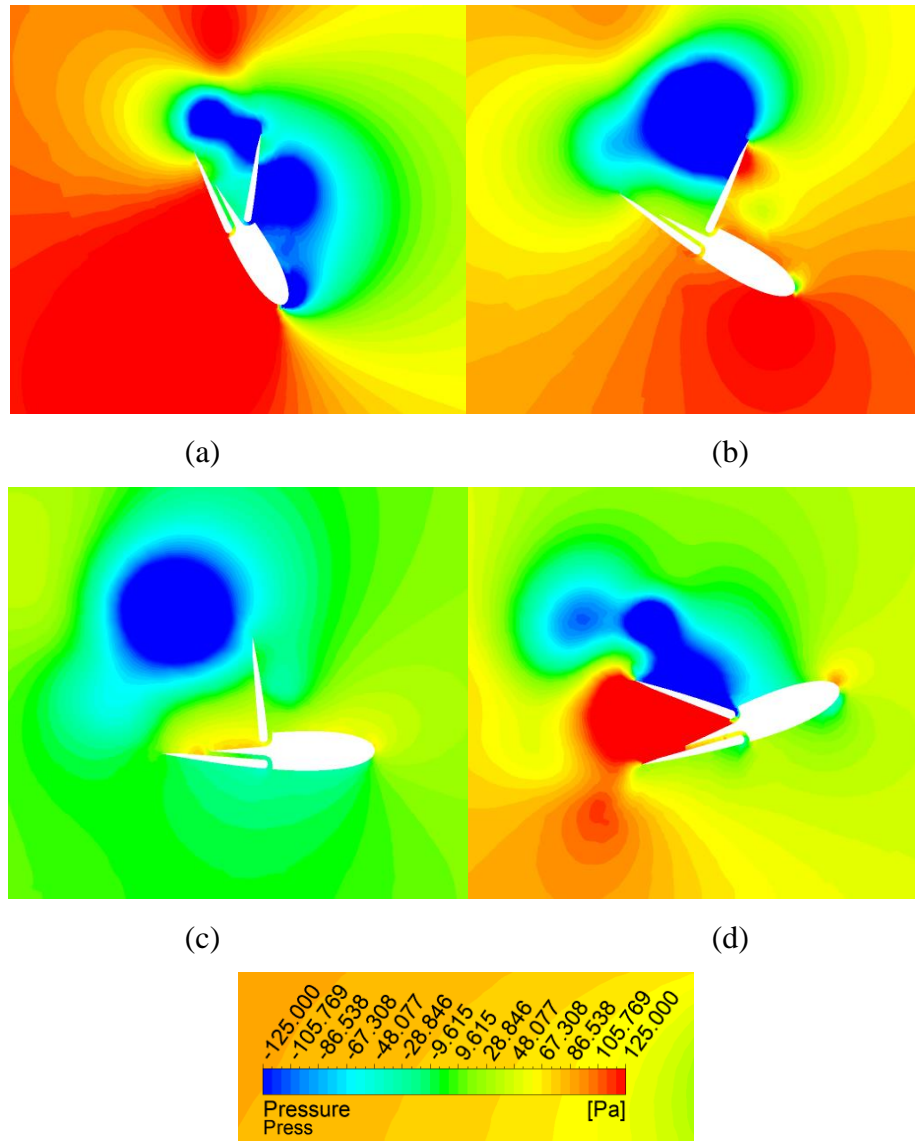
Pada bagian ini akan dibahas lebih detail dan ditampilkan dalam grafik serta gambar data dari variasi-variasi yang sudah disimulasikan. Konfigurasi *flap in* adalah konfigurasi dimana *flap* yang difungsikan atau dibuka hanya *flap* yang membelakangi *shaft* (*flap out*) sementara *flap* yang menghadap *shaft* (*flap in*) akan tertutup selama turbin berputar. Data

yang akan ditampilkan adalah grafik dari torsi terhadap sudut azimuth turbin, grafik C_p terhadap TSR, gambar kontur kecepatan, tekanan, serta *vorticity* dari tiap variasi.



Gambar 4. 7 Grafik C_p terhadap TSR pada konfigurasi *in*

Pada konfigurasi *in*, nilai C_p tertinggi didapatkan oleh variasi bukaan 90° kecepatan 0.29 m/s dengan TSR sebesar 2.282 yaitu dengan nilai C_p 0.0385. Sedangkan C_p terendah terjadi pada variasi bukaan 60° kecepatan 0.17 m/s dengan TSR 1.107 yaitu sebesar 0.0031. Sedangkan pada **Gambar 4. 8** ditampilkan kontur tekanan untuk *single hydrofoil* (lengan 1) yang sedang berotasi melalui sudut azimuth 120° sampai 200° dimana pada sudut azimuth tersebut, *flap in* sedang mengalami proses pembukaan sampai penutupan (kecepatan inlet dari sisi kiri).



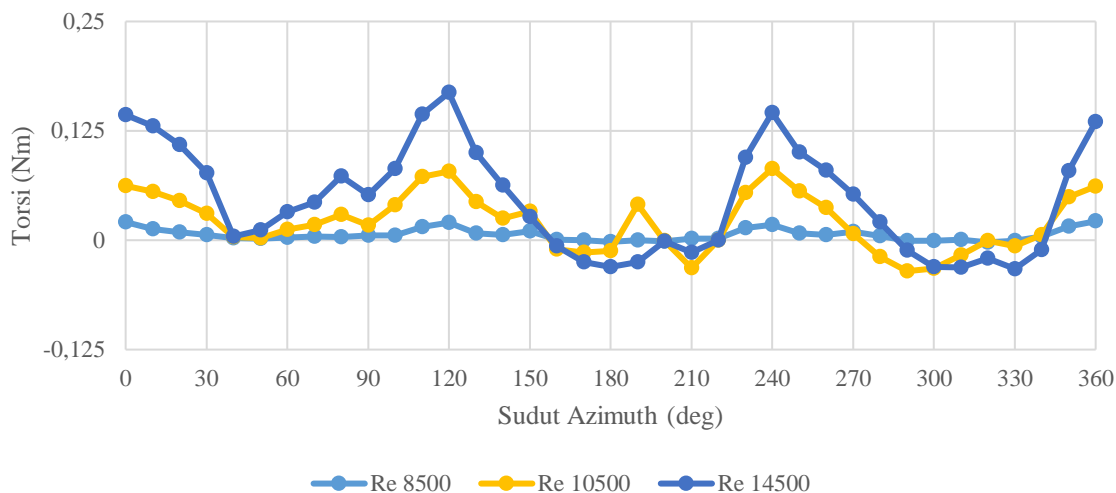
Gambar 4. 8 Kontur tekanan *hydrofoil* pada sudut azimuth 120° , 150° , 180° , dan 200° pada konfigurasi *in*

Pada **Gambar 4. 8** (a) ditunjukkan bahwa *hydrofoil* pada sudut azimuth 120° dengan *flap* sedang dalam proses pembukaan yakni sekitar 30° . Bukaan *flap* tersebut memisahkan 2 area dengan nilai tekanan yang rendah, sehingga pada bagian belakang *flap* terdapat area kecil yang memiliki nilai tekanan yang cukup tinggi. Adanya area kecil tersebut membuat nilai torsi yang dihasilkan lengan 1 pada sudut azimuth 120° ini lebih besar daripada sudut azimuth 90° yakni sebesar 0.3 Nm . Kemudian untuk sudut azimuth 150° dan 180° ditampilkan pada **Gambar 4. 8** (b) dan (c) dimana pada gambar ditampilkan area yang cukup besar dengan nilai tekanan yang rendah. Penurunan tekanan tersebut terjadi oleh karena aliran air yang menumbuk bagian ujung *flap* membentuk pusaran air. Hal tersebut terjadi dikarenakan adanya perbedaan antara kecepatan aliran air dan kecepatan angular *hydrofoil*.

Kemudian pada **Gambar 4. 8** (d) ditunjukkan kontur tekanan pada sudut azimuth 200° , dimana *flap* sedang dalam proses penutupan. Dalam proses penutupan, *flap* akan mendesak air yang ada pada area bukaan *flap*, sehingga menimbulkan tekanan yang tinggi didaerah tersebut. Sedangkan ketika bergerak menutup, *flap* akan meninggalkan area ketika *flap* terbuka maksimum, sehingga hal tersebut membuat air akan berusaha mengisi ruang yang ditinggalkan atau disapu oleh *flap* tersebut. Perbedaan tekanan pada kedua sisi *hydrofoil* juga menyebabkan *hydrofoil* memiliki resultan gaya yang cenderung ke arah *drag* daripada *lift*. Hal tersebut ditandai dengan rendahnya nilai rasio Cl/Cd yaitu sebesar 0.255. Karena nilai Cl/Cd dibawah 1, maka menandakan lengan 1 pada sudut azimuth 200° memiliki *drag* yang lebih tinggi.

4.3.1 Sudut Bukaan 30°

Berikut merupakan data grafik torsi terhadap sudut azimuth serta kontur tekanan, kecepatan, dan *vorticity* pada konfigurasi *in*, sudut bukaan 30° .



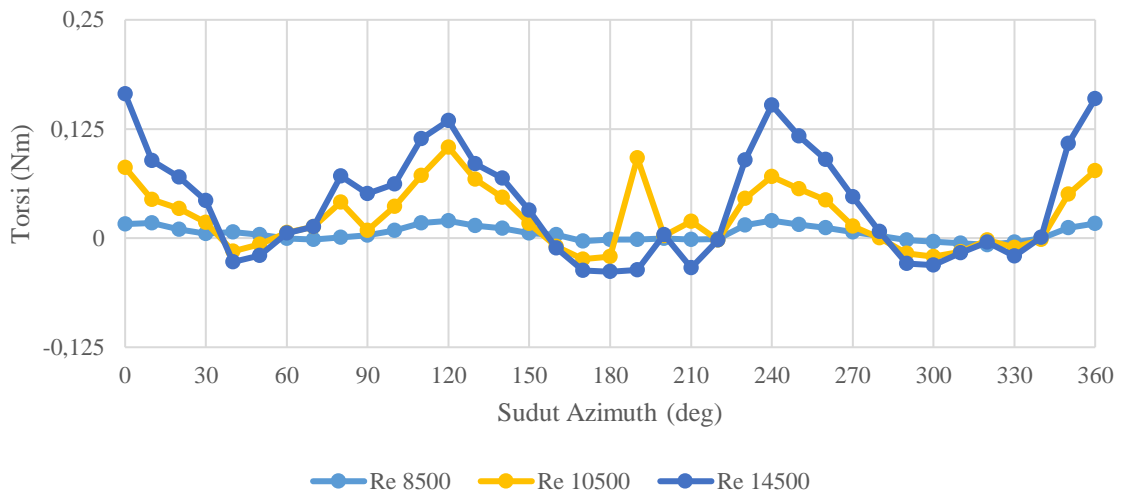
Gambar 4. 9 Grafik torsi terhadap sudut azimuth pada konfigurasi *in* sudut bukaan 30°

Gambar 4. 9 menunjukkan torsi tiap sudut azimuth dari turbin konfigurasi *in* dengan sudut bukaan 30° . Nilai torsi rata-rata dari tiap Bilangan Reynolds 8500, 10500, dan 14500 secara berturut-turut adalah 0.0064 Nm, 0.0211 Nm, dan 0.0467 Nm. Jika dilihat pada grafik, ketiga kecepatan memiliki pola garis yang sama, namun ketika kecepatan bertambah maka torsi tiap azimuth akan bertambah juga, sehingga membentuk 3 grafik yang mirip hanya berbeda amplitudo dari torsinya saja. Untuk kecepatan inlet yang semakin besar, maka sumber energi kinetik yang tersedia akan semakin banyak juga, sehingga dalam kasus ini turbin dapat mengekstrak energi kinetik lebih banyak ketika kecepatan inletnya bertambah.

Pada sudut azimuth tertentu, turbin menghasilkan nilai torsi negatif, dimana torsi negatif ini berarti gaya putar yang dihasilkan cenderung menghambat arah putar turbin yang sebenarnya. Torsi terendah pada kecepatan 0.17 m/s, 0.21 m/s dan 0.29 m/s berturut-turut adalah -0.0024 Nm pada sudut azimuth 320°, -0.0354 Nm pada sudut azimuth 290°, -0.0327 Nm pada sudut azimuth 330°.

4.3.2 Sudut Bukaan 45°

Berikut merupakan data grafik torsi terhadap sudut azimuth serta kontur tekanan, kecepatan, dan *vorticity* pada konfigurasi *in*, sudut bukaan 45°.

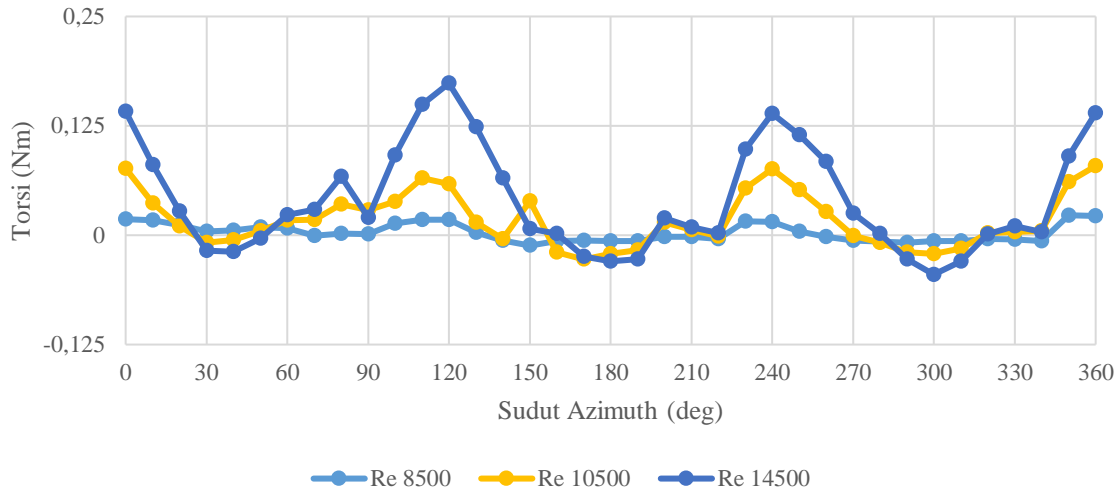


Gambar 4.10 Grafik torsi terhadap sudut azimuth pada konfigurasi *in* sudut bukaan 45°

Gambar 4.10 menunjukkan torsi tiap sudut azimuth dari turbin konfigurasi *in* dengan sudut bukaan 45°. Nilai torsi rata-rata dari tiap Bilangan Reynolds 8500, 10500, dan 14500 secara berturut-turut adalah 0.0056 Nm, 0.0246 Nm, dan 0.0397 Nm. Jika dilihat pada grafik, ketiga kecepatan memiliki pola garis yang sama, namun ketika kecepatan bertambah maka torsi tiap azimuth akan bertambah juga, sehingga membentuk 3 grafik yang mirip hanya berbeda amplitudo dari torsinya saja. Untuk kecepatan inlet yang semakin besar, maka sumber energi kinetik yang tersedia akan semakin banyak juga, sehingga dalam kasus ini turbin dapat mengekstrak energi kinetik lebih banyak ketika kecepatan inletnya bertambah. Pada sudut azimuth tertentu, turbin menghasilkan nilai torsi negatif, dimana torsi negatif ini berarti gaya putar yang dihasilkan cenderung menghambat arah putar turbin yang sebenarnya. Torsi terendah pada kecepatan 0.17 m/s, 0.21 m/s dan 0.29 m/s berturut-turut adalah -0.0076 Nm pada sudut azimuth 320°, -0.0241 Nm pada sudut azimuth 170°, -0.0385 Nm pada sudut azimuth 180°.

4.3.3 Sudut Buka 60°

Berikut merupakan data grafik torsi terhadap sudut azimuth serta kontur tekanan, kecepatan, dan *vorticity* pada konfigurasi *in*, sudut bukaan 60°.

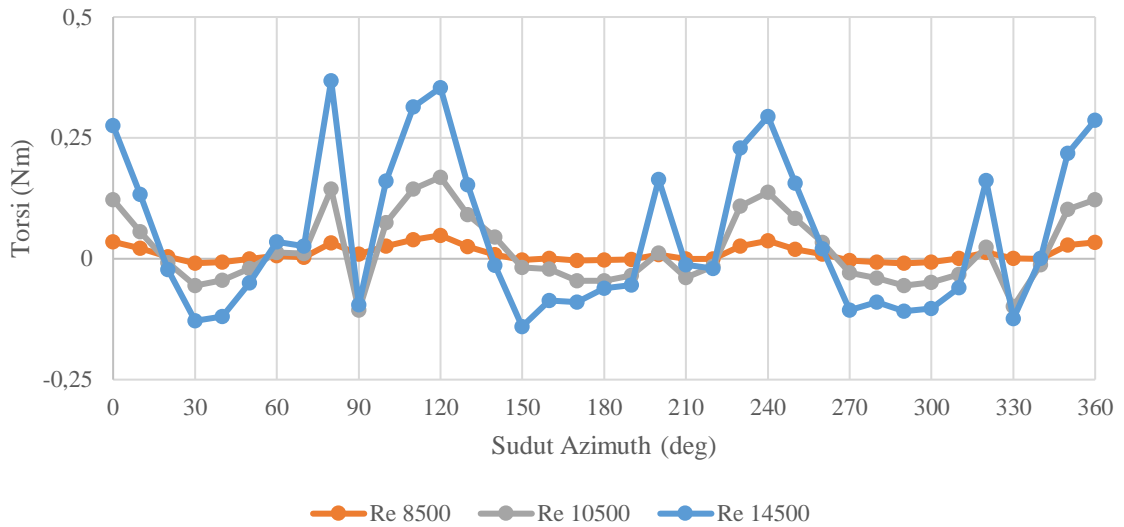


Gambar 4. 11 Grafik torsi terhadap sudut azimuth pada konfigurasi *in* sudut bukaan 60°

Gambar 4. 11 menunjukkan torsi tiap sudut azimuth dari turbin konfigurasi *in* dengan sudut bukaan 60°. Nilai torsi rata-rata dari tiap kecepatan 0.17 m/s, 0.21 m/s, dan 0.29 m/s secara berturut-turut adalah 0.0029 Nm, 0.0177 Nm, dan 0.0401 Nm. Jika dilihat pada grafik, ketiga kecepatan memiliki pola garis yang sama, namun ketika kecepatan bertambah maka torsi tiap azimuth akan bertambah juga, sehingga membentuk 3 grafik yang mirip hanya berbeda amplitudo dari torsinya saja. Untuk kecepatan inlet yang semakin besar, maka sumber energi kinetik yang tersedia akan semakin banyak juga, sehingga dalam kasus ini turbin dapat mengekstrak energi kinetik lebih banyak ketika kecepatan inletnya bertambah. Pada sudut azimuth tertentu, turbin menghasilkan nilai torsi negatif, dimana torsi negatif ini berarti gaya putar yang dihasilkan cenderung menghambat arah putar turbin yang sebenarnya. Torsi terendah pada kecepatan 0.17 m/s, 0.21 m/s dan 0.29 m/s berturut-turut adalah -0.0119 Nm pada sudut azimuth 150°, -0.0277 Nm pada sudut azimuth 170°, -0.0449 Nm pada sudut azimuth 300°.

4.3.4 Sudut Buka 90°

Berikut merupakan data grafik torsi terhadap sudut azimuth serta kontur tekanan, kecepatan, dan *vorticity* pada konfigurasi *in*, sudut bukaan 90°.



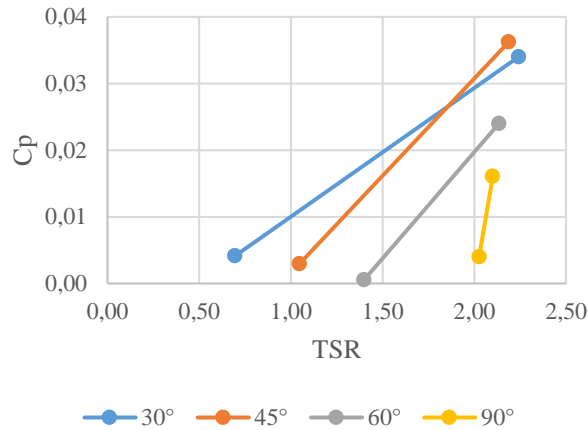
Gambar 4.12 Grafik torsi terhadap sudut azimuth pada konfigurasi *in* sudut bukaan 90°

Gambar 4.12 menunjukkan torsi tiap sudut azimuth dari turbin konfigurasi *in* dengan sudut bukaan 90°. Nilai torsi rata-rata dari tiap Bilangan Reynolds 8500, 10500, dan 14500 secara berturut-turut adalah 0.0103 Nm, 0.0196 Nm, dan 0.0503 Nm. Jika dilihat pada grafik, ketiga kecepatan memiliki pola garis yang sama, namun ketika kecepatan bertambah maka torsi tiap azimuth akan bertambah juga, sehingga membentuk 3 grafik yang mirip hanya berbeda amplitudo dari torsi saja. Untuk kecepatan inlet yang semakin besar, maka sumber energi kinetik yang tersedia akan semakin banyak juga, sehingga dalam kasus ini turbin dapat mengekstrak energi kinetik lebih banyak ketika kecepatan inletnya bertambah. Pada sudut azimuth tertentu, turbin menghasilkan nilai torsi negatif, dimana torsi negatif ini berarti gaya putar yang dihasilkan cenderung menghambat arah putar turbin yang sebenarnya. Torsi terendah pada kecepatan 0.17 m/s, 0.21 m/s dan 0.29 m/s berturut-turut adalah -0.010 Nm pada sudut azimuth 290°, -0.1068 Nm pada sudut azimuth 90°, -0.1403 Nm pada sudut azimuth 150°.

4.4 Hasil Simulasi Turbin Konfigurasi *Flap Both*

Pada bagian ini akan dibahas lebih detail dan ditampilkan dalam grafik serta gambar data dari variasi-variasi yang sudah disimulasikan. Konfigurasi *flap both* adalah konfigurasi dimana kedua *flap* baik *flap in* maupun *flap out* akan dibuka. Data yang akan ditampilkan

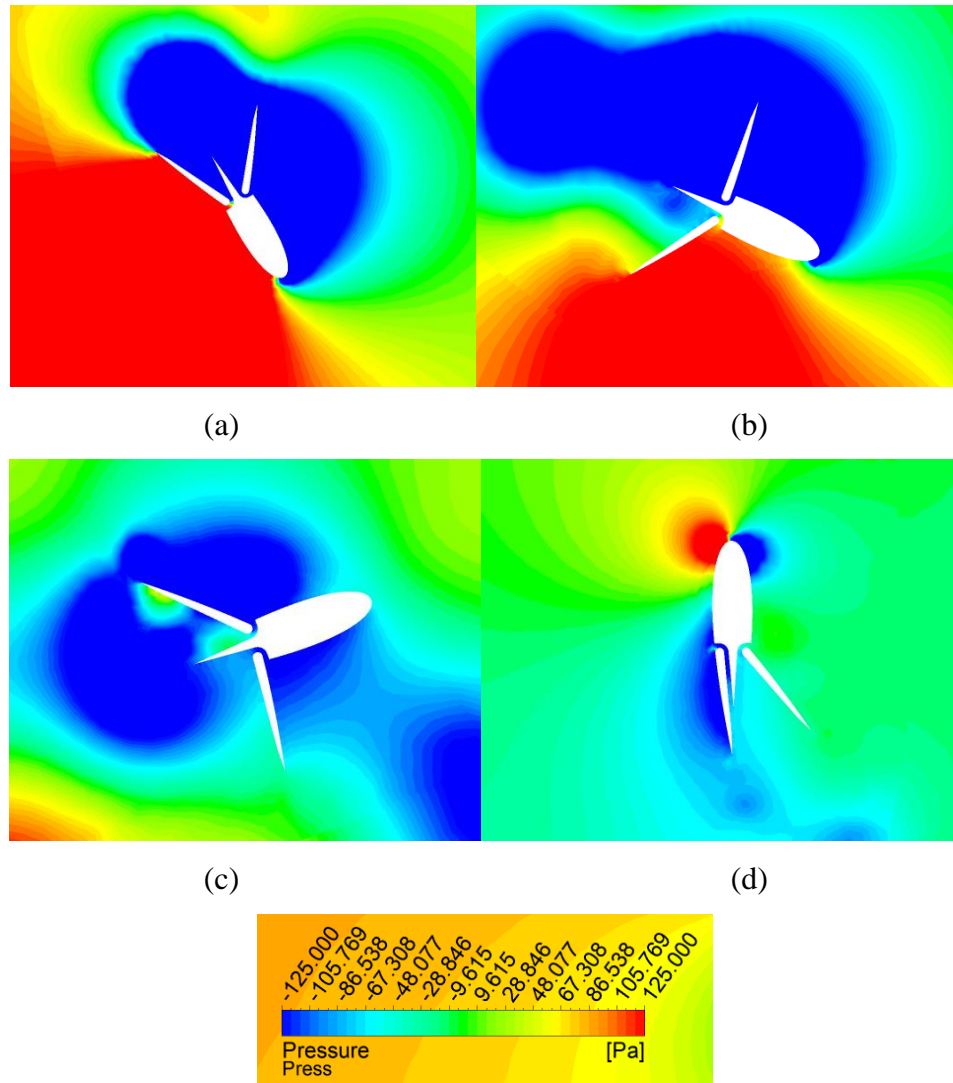
adalah grafik dari torsi terhadap sudut azimuth turbin, grafik C_p terhadap TSR, gambar kontur kecepatan, tekanan, serta *vorticity* dari tiap variasi. Didapati pada variasi konfigurasi *both* dengan variasi kecepatan inlet 0.17 m/s, seluruh turbin tidak dapat berputar. Maka dari itu untuk grafik torsi terhadap sudut azimuth pada kecepatan 0.17 m/s tidak akan ditampilkan.



Gambar 4. 13 Grafik C_p terhadap TSR pada konfigurasi *both*

Pada konfigurasi *both*, nilai C_p tertinggi didapatkan oleh variasi bukaan 45° kecepatan 0.29 m/s dengan TSR sebesar 2.187 yaitu dengan nilai C_p 0.0362. Sedangkan pada bukaan 90° turbin hanya menghasilkan C_p sebesar 0.0041.

Sedangkan pada **Gambar 4. 14** ditampilkan kontur tekanan untuk *single hydrofoil* (lengan 1) yang sedang berotasi melalui sudut azimuth 90° sampai 200° dimana pada sudut azimuth tersebut, *flap in* sedang mengalami proses pembukaan sampai penutupan (kecepatan inlet dari sisi kiri). Pada **Gambar 4. 14** (a) ditunjukkan bahwa *hydrofoil* pada sudut azimuth 90° dengan *angle of attack* 23°. Pada gambar tersebut ditampilkan perbedaan tekanan pada 2 sisi *hydrofoil* dimana pada bagian yang ditumbuk oleh aliran air membentuk tekanan yang tinggi, hal tersebut terjadi karena ada penurunan kecepatan air didaerah tumbukan tersebut. Perbedaan tekanan tersebut menyebabkan resultan gaya lebih didominasi oleh gaya *drag*. Nilai torsi yang dihasilkan lengan 1 pada sudut azimuth 90° adalah 0.11 Nm. Sehingga pada sudut azimuth ini, lengan 1 memiliki kinerja yang buruk.



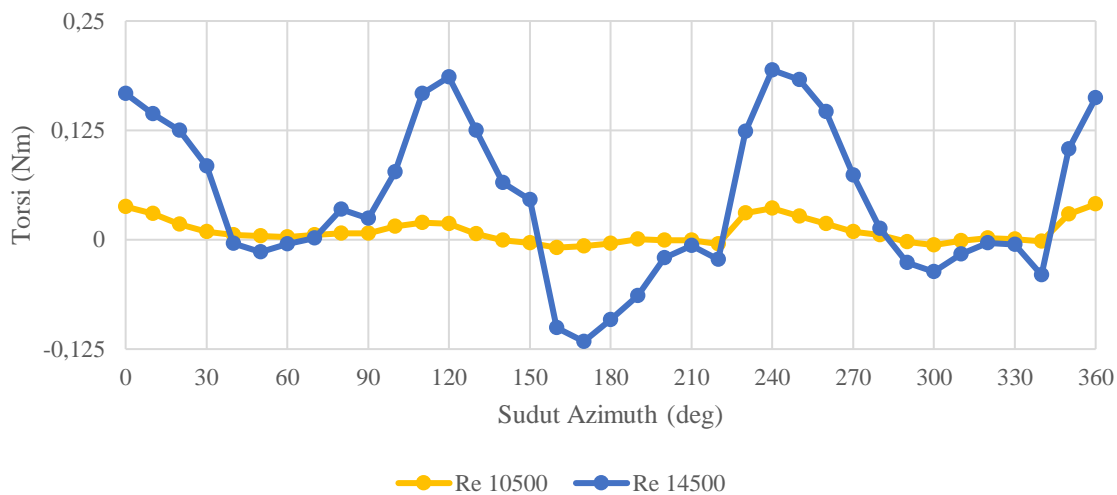
Gambar 4. 14 Kontur tekanan *hydrofoil* pada sudut azimuth 120° , 150° , 200° , dan 270° pada konfigurasi *both*

Pada **Gambar 4. 14** (a) ditunjukkan bahwa *hydrofoil* pada sudut azimuth 120° dengan kedua *flap* sedang dalam proses pembukaan yakni sekitar 45° . Bukaan *flap* tersebut memunculkan area dengan tekanan yang rendah. Hal tersebut membuat *hydrofoil* sangat didominasi dengan gaya drag. Nilai torsi dihasilkan pada sudut azimuth ini adalah sebesar 0.95 Nm , terbilang cukup besar karena perbedaan tekanan yang cukup besar. Sedangkan pada **Gambar 4. 14** (b) ditampilkan *hydrofoil* pada sudut azimuth 150° dengan perilaku yang hampir mirip dengan sudut azimuth 120° yaitu kedua *flap* membuat area dengan tekanan yang sangat rendah dibagian atas sisi *hydrofoil*. Perbedaan tekanan pada kedua sisi *hydrofoil* ini membuat resultan gaya yang bekerja searah dengan arah putar turbin malah semakin kecil yaitu 0.22 Nm nilai torsinya. Kemudian pada **Gambar 4. 14** (c) ditampilkan *hydrofoil* pada sudut azimuth 200° dimana tekanan rendah mendominasi area di sekitar

hydrofoil. Hal ini jelas membuat nilai torsi semakin berkurang, karena gaya resultan yang dihasilkan cenderung berlawanan dengan arah putar turbin, dengan nilai torsi 0.11 Nm. Kemudian pada **Gambar 4. 14** (d) *hydrofoil* juga berada tegak lurus dengan arah aliran, hal ini jelas membuat gaya *drag* lebih dominan, ditandai dengan nilai torsi negatif yaitu -0.022 Nm. Hal ini membuat kinerja *hydrofoil* pada sudut azimuth ini cukup buruk malah menghambat putaran turbin.

4.4.1 Sudut Buka 30°

Berikut merupakan data grafik torsi terhadap sudut azimuth serta kontur tekanan, kecepatan, dan *vorticity* pada konfigurasi *both*, sudut bukaan 30°.

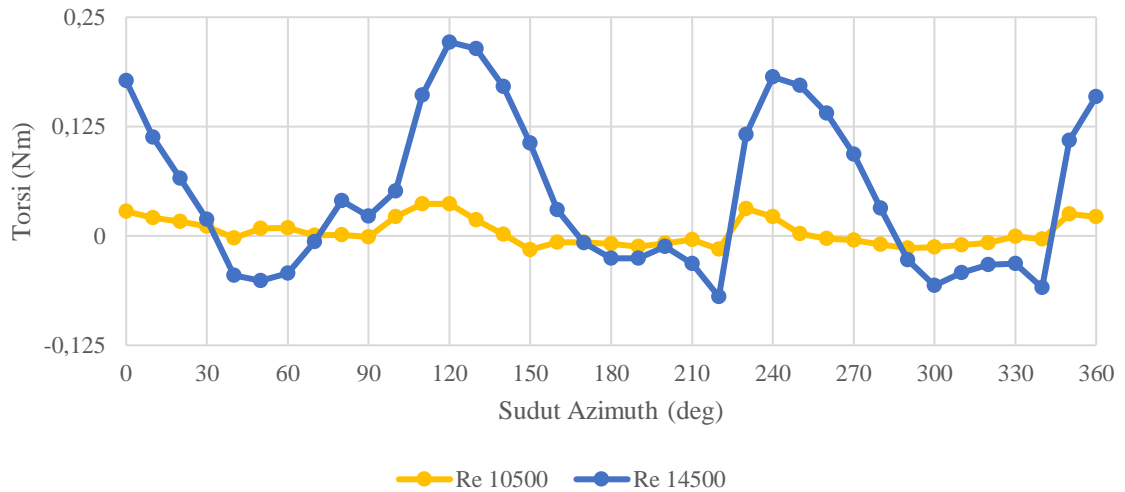


Gambar 4. 15 Grafik torsi terhadap sudut azimuth pada konfigurasi *both* sudut bukaan 30°

Gambar 4. 15 menunjukkan torsi tiap sudut azimuth dari turbin konfigurasi *both* dengan sudut bukaan 30°. Nilai torsi rata-rata dari tiap Bilangan Reynolds 8500, 10500, dan 14500 secara berturut-turut adalah 0.0093 Nm dan 0.0452 Nm. Jika dilihat pada grafik, ketiga kecepatan memiliki pola garis yang sama, namun ketika kecepatan bertambah maka torsi tiap azimuth akan bertambah juga, sehingga membentuk 3 grafik yang mirip hanya berbeda amplitudo dari torsinya saja. Untuk kecepatan inlet yang semakin besar, maka sumber energi kinetik yang tersedia akan semakin banyak juga, sehingga dalam kasus ini turbin dapat mengekstrak energi kinetik lebih banyak ketika kecepatan inletnya bertambah. Pada sudut azimuth tertentu, turbin menghasilkan nilai torsi negatif, dimana torsi negatif ini berarti gaya putar yang dihasilkan cenderung menghambat arah putar turbin yang sebenarnya. Torsi terendah pada kecepatan 0.21 m/s dan 0.29 m/s berturut-turut adalah -0.009 Nm pada sudut azimuth 160° dan -0.1163 Nm pada sudut azimuth 170°.

4.4.2 Sudut Buka 45°

Berikut merupakan data grafik torsi terhadap sudut azimuth serta kontur tekanan, kecepatan, dan *vorticity* pada konfigurasi *both*, sudut bukaan 45°.

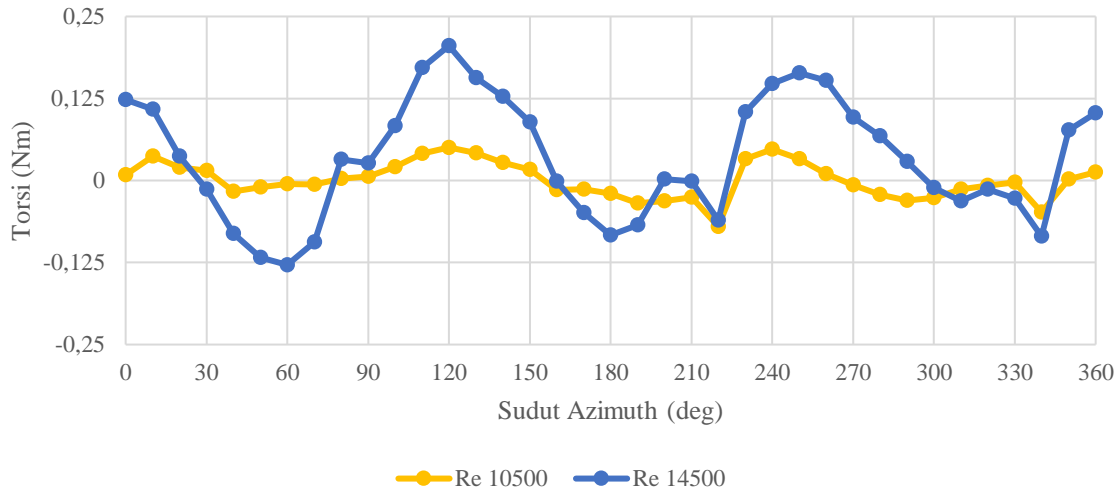


Gambar 4. 16 Grafik torsi terhadap sudut azimuth pada konfigurasi *both* sudut bukaan 45°

Gambar 4. 16 menunjukkan torsi tiap sudut azimuth dari turbin konfigurasi *both* dengan sudut bukaan 45°. Nilai torsi rata-rata dari tiap Bilangan Reynolds 8500, 10500, dan 14500 secara berturut-turut adalah 0.004 Nm dan 0.0494 Nm. Jika dilihat pada grafik, ketiga kecepatan memiliki pola garis yang sama, namun ketika kecepatan bertambah maka torsi tiap azimuth akan bertambah juga, sehingga membentuk 3 grafik yang mirip hanya berbeda amplitudo dari torsinya saja. Untuk kecepatan inlet yang semakin besar, maka sumber energi kinetik yang tersedia akan semakin banyak juga, sehingga dalam kasus ini turbin dapat mengekstrak energi kinetik lebih banyak ketika kecepatan inletnya bertambah. Pada sudut azimuth tertentu, turbin menghasilkan nilai torsi negatif, dimana torsi negatif ini berarti gaya putar yang dihasilkan cenderung menghambat arah putar turbin yang sebenarnya. Torsi terendah pada kecepatan 0.21 m/s dan 0.29 m/s berturut-turut adalah -0.0158 Nm pada sudut azimuth 150° dan -0.0695 Nm pada sudut azimuth 220°.

4.4.3 Sudut Buka 60°

Berikut merupakan data grafik torsi terhadap sudut azimuth serta kontur tekanan, kecepatan, dan *vorticity* pada konfigurasi *both*, sudut bukaan 60°.

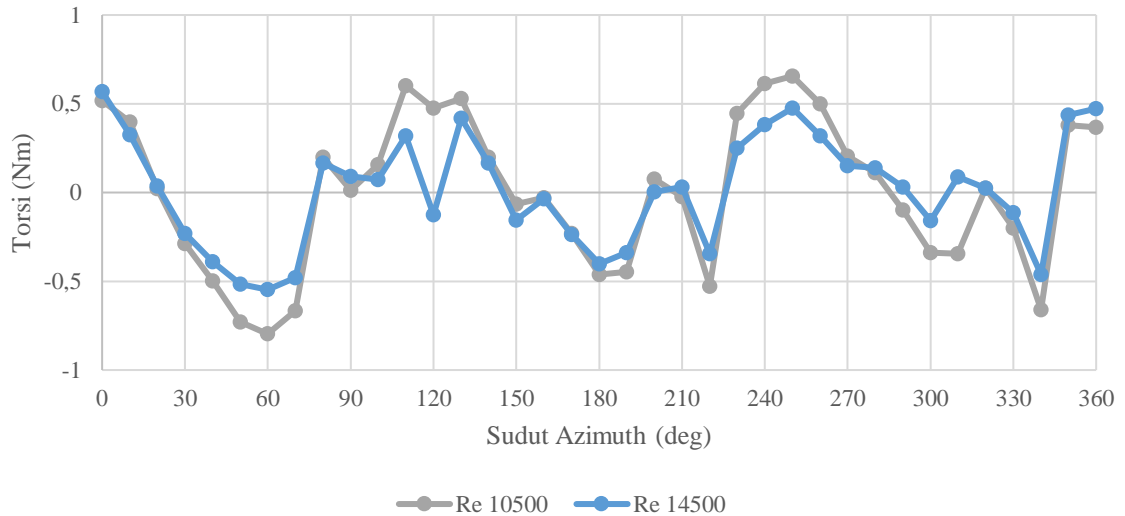


Gambar 4. 17 Grafik torsi terhadap sudut azimuth pada konfigurasi *both* sudut bukaan 60°

Gambar 4. 17 menunjukkan torsi tiap sudut azimuth dari turbin konfigurasi *both* dengan sudut bukaan 60°. Nilai torsi rata-rata dari tiap Bilangan Reynolds 8500, 10500, dan 14500 secara berturut-turut adalah 0.0006 Nm dan 0.0335 Nm. Jika dilihat pada grafik, ketiga kecepatan memiliki pola garis yang sama, namun ketika kecepatan bertambah maka torsi tiap azimuth akan bertambah juga, sehingga membentuk 3 grafik yang mirip hanya berbeda amplitudo dari torsinya saja. Untuk kecepatan inlet yang semakin besar, maka sumber energi kinetik yang tersedia akan semakin banyak juga, sehingga dalam kasus ini turbin dapat mengekstrak energi kinetik lebih banyak ketika kecepatan inletnya bertambah. Pada sudut azimuth tertentu, turbin menghasilkan nilai torsi negatif, dimana torsi negatif ini berarti gaya putar yang dihasilkan cenderung menghambat arah putar turbin yang sebenarnya. Torsi terendah pada kecepatan 0.21 m/s dan 0.29 m/s berturut-turut adalah -0.0701 Nm pada sudut azimuth 220° dan -0.1286 Nm pada sudut azimuth 60°.

4.4.4 Sudut Bukaannya 90°

Berikut merupakan data grafik torsi terhadap sudut azimuth serta kontur tekanan, kecepatan, dan *vorticity* pada konfigurasi *both*, sudut bukaan 90°.

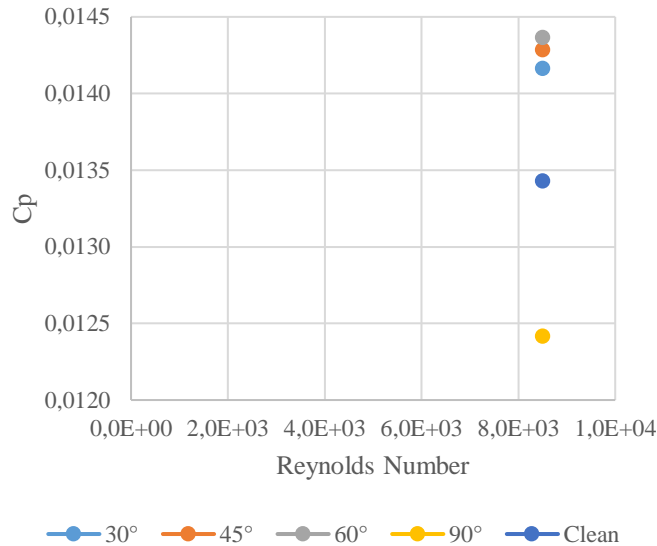


Gambar 4.18 Grafik torsi terhadap sudut azimuth pada konfigurasi *both* sudut bukaan 90°

Gambar 4.18 menunjukkan torsi tiap sudut azimuth dari turbin konfigurasi *both* dengan sudut bukaan 90°. Nilai torsi rata-rata dari tiap Bilangan Reynolds 8500, 10500, dan 14500 secara berturut-turut adalah 0.0022 Nm dan 0.0315 Nm. Jika dilihat pada grafik, ketiga kecepatan memiliki pola garis yang sama, namun ketika kecepatan bertambah maka torsi tiap azimuth akan bertambah juga, sehingga membentuk 3 grafik yang mirip hanya berbeda amplitudo dari torsinya saja. Untuk kecepatan inlet yang semakin besar, maka sumber energi kinetik yang tersedia akan semakin banyak juga, sehingga dalam kasus ini turbin dapat mengekstrak energi kinetik lebih banyak ketika kecepatan inletnya bertambah. Pada sudut azimuth tertentu, turbin menghasilkan nilai torsi negatif, dimana torsi negatif ini berarti gaya putar yang dihasilkan cenderung menghambat arah putar turbin yang sebenarnya. Torsi terendah pada kecepatan 0.21 m/s dan 0.29 m/s berturut-turut adalah -0.797 Nm pada sudut azimuth 220° dan -0.5475 Nm pada sudut azimuth 60°.

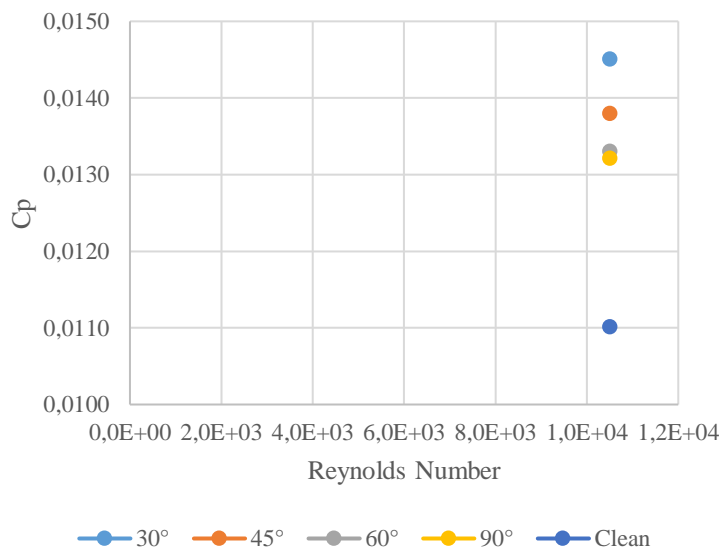
4.5 Diskusi

Pada bagian ini akan dibahas lebih lanjut mengenai performansi dari tiap-tiap variasi baik bukaan maupun konfigurasi *flap*. Kemudian dari data-data yang ada akan dianalisis fenomena yang terjadi pada tiap variasi untuk mencari kombinasi variasi terbaik untuk dapat meningkatkan performansi daripada turbin.



Gambar 4. 19 Grafik Cp terhadap Bilangan Reynolds konfigurasi *out* kecepatan 0.17 m/s

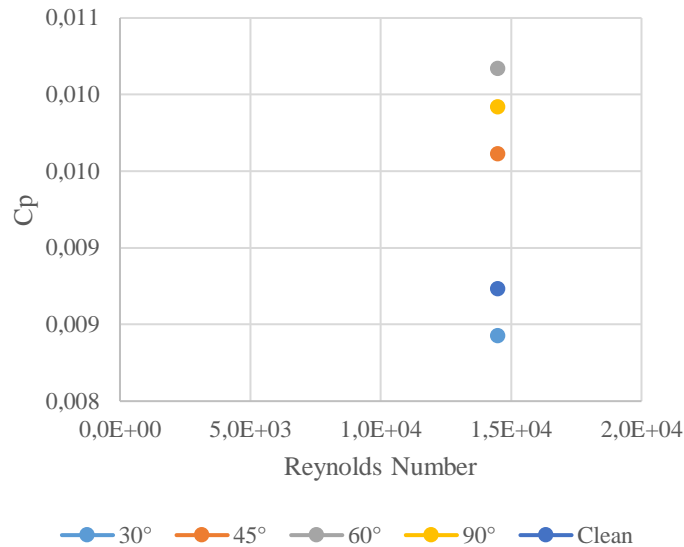
Pada **Gambar 4. 19** di atas, telah di plot grafik Cp terhadap Re pada konfigurasi *out* dengan kecepatan 0.17 m/s. Hasil yang ditunjukkan pada grafik tersebut terlihat bahwa Cp tertinggi yaitu 0.144 dihasilkan oleh variasi bukaan *flap* sebesar 60° diikuti dengan 45° dengan nilai Cp 0.143, kemudian 30° dengan nilai Cp 0.142 dan yang terendah yaitu 90° dengan nilai Cp 0.124. Sedangkan untuk turbin tanpa penambahan *passive movable flap* memiliki nilai Cp yaitu 0.0134.



Gambar 4. 20 Grafik Cp terhadap Bilangan Reynolds konfigurasi *out* kecepatan 0.21 m/s

Pada **Gambar 4. 20** di atas, telah di plot grafik Cp terhadap Re pada konfigurasi *out* dengan kecepatan 0.21 m/s. Hasil yang ditunjukkan pada grafik tersebut terlihat bahwa Cp tertinggi yaitu 0.145 dihasilkan oleh variasi bukaan *flap* sebesar 30° diikuti dengan 45°

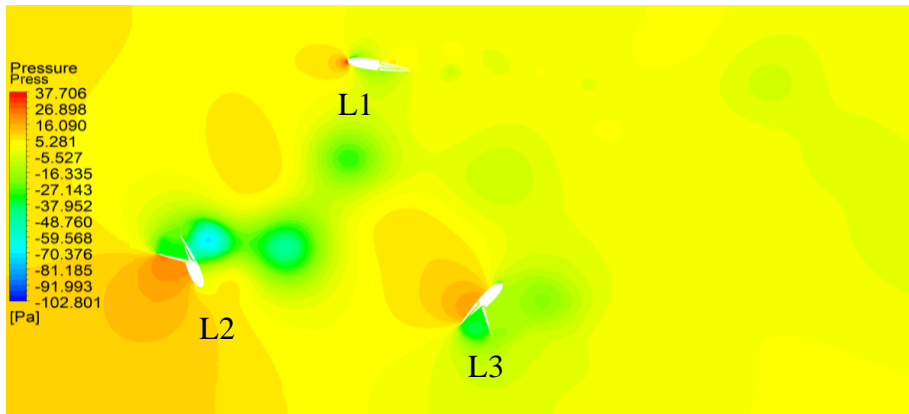
dengan nilai C_p 0.138, kemudian 60° dengan nilai C_p 0.133 dan yang terendah yaitu 90° dengan nilai C_p 0.132. Sedangkan untuk turbin tanpa penambahan *passive movable flap* memiliki nilai C_p yaitu 0.011.



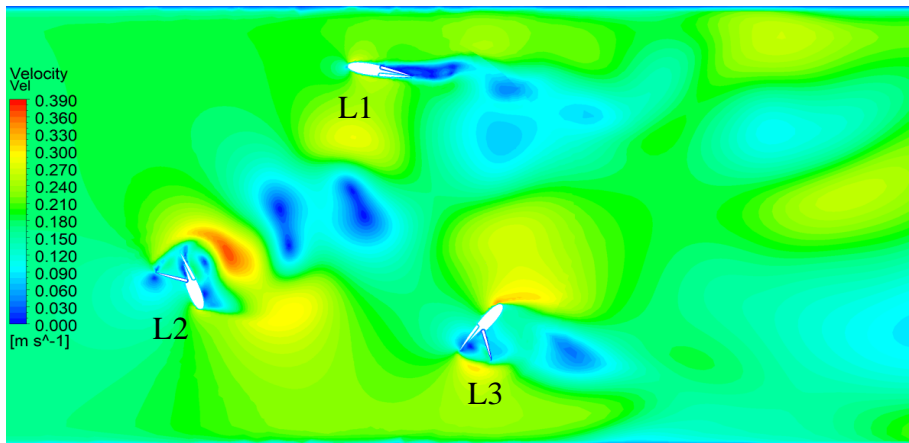
Gambar 4. 21 Grafik C_p terhadap Bilangan Reynolds konfigurasi *out* kecepatan 0.29 m/s

Pada **Gambar 4. 21** di atas, telah di plot grafik C_p terhadap Re pada konfigurasi *out* dengan kecepatan 0.29 m/s. Hasil yang ditunjukkan pada grafik tersebut terlihat bahwa C_p tertinggi yaitu 0.145 dihasilkan oleh variasi bukaan *flap* sebesar 30° diikuti dengan 45° dengan nilai C_p 0.138, kemudian 60° dengan nilai C_p 0.133 dan yang terendah yaitu 90° dengan nilai C_p 0.132. Sedangkan untuk turbin tanpa penambahan *passive movable flap* memiliki nilai C_p yaitu 0.0087.

Dari **Gambar 4. 19**, **Gambar 4. 20**, dan **Gambar 4. 21** untuk variasi konfigurasi *out*, bukaan sudut 60° secara dominan memberikan pengaruh peningkatan C_p yang cukup tinggi. Sebagai contoh untuk variasi konfigurasi *out* pada sudut bukaan 60° dengan kecepatan inlet 0.17 m/s memiliki nilai C_p 0.0144. Pada variasi tersebut, nilai torsi rata-rata yaitu sebesar 0.0318 Nm. Sedangkan nilai torsi tertinggi terjadi pada sudut azimuth 350° dengan nilai torsi 0.118 Nm.



(a)



(b)

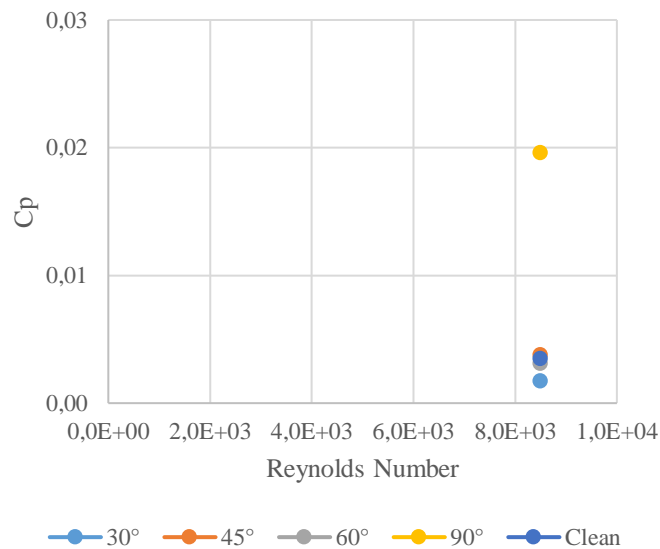
Gambar 4. 22 Kontur tekanan dan kecepatan pada variasi konfigurasi *out*, sudut bukaan 60° , kecepatan 0.17 m/s pada sudut azimuth 350°

Pada **Gambar 4. 22** (a), menunjukkan bagaimana kontur tekanan yang terjadi ketika turbin berada pada sudut azimuth 350° , dimana pada lengan 1 *flap out* sedang tertutup penuh (L1 pada **Gambar 4. 22** (a)) dan memiliki tekanan yang besar pada daerah *leading edge* yakni sekitar 37 Pa . **Gambar 4. 22** (b) menunjukkan kontur kecepatan yang terjadi ketika turbin berada di sudut azimuth 350° . Ditunjukkan bahwa pada lengan 1 (L1 pada **Gambar 4. 22** (b)) kecepatan di sekitar *trailing edge* lebih rendah daripada di sekitar *leading edge* hal tersebut menyebabkan tingginya gaya *drag* pada lengan 1 tersebut. Torsi yang dihasilkan oleh lengan 1 tersebut sebesar -0.00495 Nm dimana berarti lengan 1 ini cenderung bergerak ke arah yang berlawanan dari putaran turbin seharusnya (menghambat). Jika ditinjau dari koefisien *lift* dan *drag*-nya, lengan 1 menghasilkan C_l sebesar 0.0034 dan C_d sebesar 0.0283 .

Sedangkan pada lengan 2 (L2 pada **Gambar 4. 22** (a)) *flap out* sedang pada proses membuka yakni sekitar 45° dan memiliki perbedaan tekanan pada daerah luar dan dalam turbin. Perbedaan tekanan antara kedua daerah tersebut menyebabkan adanya gaya *lift* yang

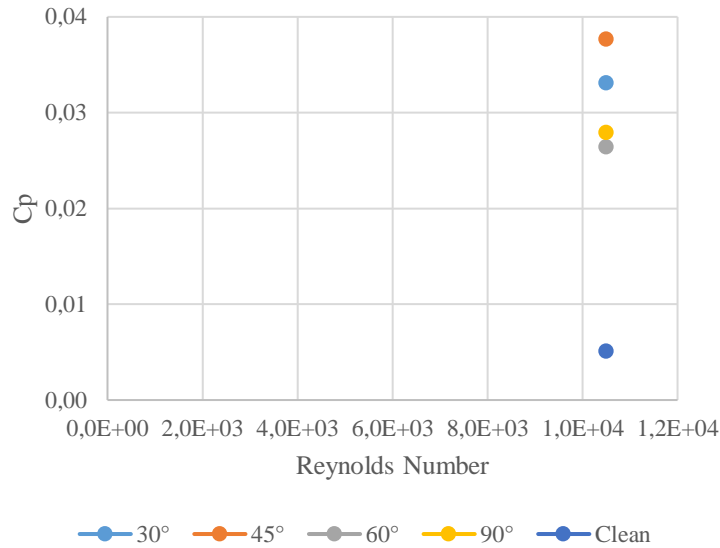
dihasilkan oleh lengan 2. Lengan 2 (L2 pada **Gambar 4. 22** (b)) memperlihatkan tingginya kecepatan di sekitar *trailing edge* namun aliran air tersebut sudah terpisah dari permukaan *hydrofoil* sehingga tidak terlalu menimbulkan gaya *drag* pada lengan 2. Torsi yang dihasilkan oleh lengan 2 yaitu sebesar 0.1195 Nm. Sedangkan nilai koefisien *lift* dan *drag*-nya yaitu adalah C_l sebesar 0.6615 dan C_d sebesar 0.1937.

Untuk lengan 3 (L3 pada **Gambar 4. 22** (a)) *flap out* sedang pada proses menutup yakni sekitar 45° dan memiliki perbedaan tekanan pada daerah luar dan dalam turbin seperti lengan 2. Pada lengan 3 (L3 pada **Gambar 4. 22** (b)), memperlihatkan nilai kecepatan yang rendah di sekitar *flap* yang sedang menutup tetapi tinggi pada daerah *leading edge*, hal tersebut membuat aliran berusaha bergerak menuju ke *leading edge* sehingga cukup memberikan gaya tangensial yang searah dengan perputaran turbin. Torsi yang dihasilkan pada lengan 3 yaitu sebesar 0.00375 Nm dan nilai C_l dan C_d nya yaitu secara berturut-turut 0.0195 dan 0.0093.



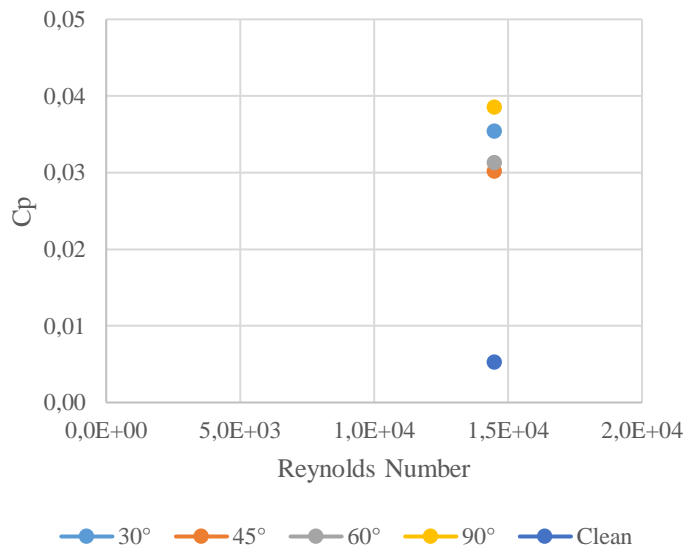
Gambar 4. 23 Grafik C_p terhadap Bilangan Reynolds konfigurasi *in* kecepatan 0.17 m/s

Pada **Gambar 4. 23** di atas, telah di plot grafik C_p terhadap Re pada konfigurasi *in* dengan kecepatan 0.17 m/s. Hasil yang ditunjukkan pada grafik tersebut terlihat bahwa C_p tertinggi yaitu 0.196 dihasilkan oleh variasi bukaan *flap* sebesar 90° diikuti dengan 30° dengan nilai C_p 0.0085, kemudian 45° dengan nilai C_p 0.0038 dan yang terendah yaitu 60° dengan nilai C_p 0.0031. Sedangkan untuk turbin tanpa penambahan *passive movable flap* memiliki nilai C_p yaitu 0.0035.



Gambar 4. 24 Grafik C_p terhadap Bilangan Reynolds konfigurasi *in* kecepatan 0.21 m/s

Pada **Gambar 4. 24** di atas, telah di plot grafik C_p terhadap Re pada konfigurasi *in* dengan kecepatan 0.21 m/s. Hasil yang ditunjukkan pada grafik tersebut terlihat bahwa C_p tertinggi yaitu 0.0377 dihasilkan oleh variasi bukaan *flap* sebesar 45° diikuti dengan 30° dengan nilai 0.0331, kemudian 90° dengan nilai C_p 0.028 dan yang terendah yaitu 60° dengan nilai C_p 0.0265. Sedangkan untuk turbin tanpa penambahan *passive movable flap* memiliki nilai C_p yaitu 0.0051.

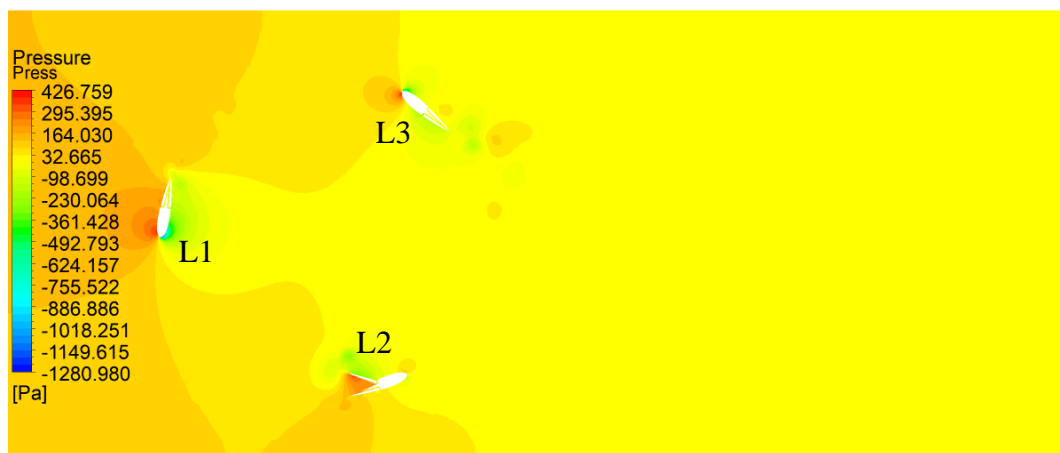


Gambar 4. 25 Grafik C_p terhadap Bilangan Reynolds konfigurasi *in* kecepatan 0.29 m/s

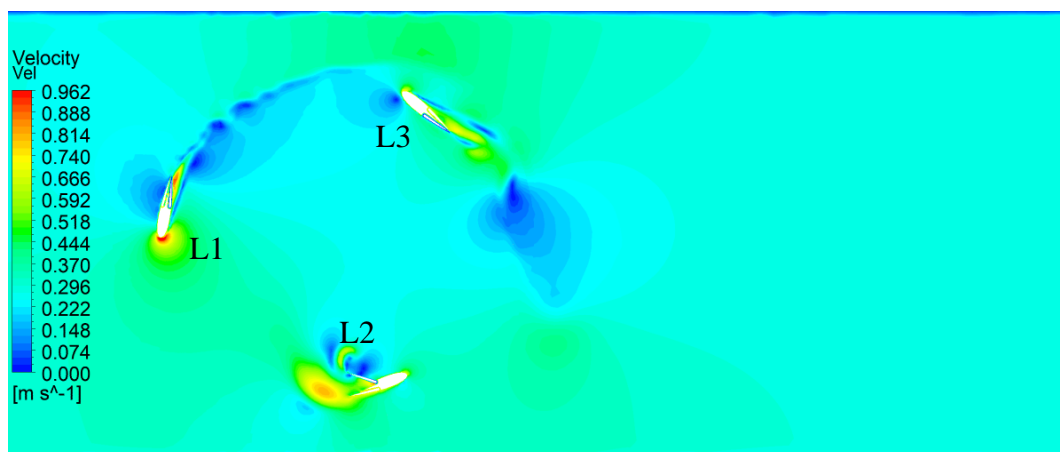
Pada **Gambar 4. 25** di atas, telah di plot grafik C_p terhadap Re pada konfigurasi *in* dengan kecepatan 0.29 m/s. Hasil yang ditunjukkan pada grafik tersebut terlihat bahwa C_p tertinggi yaitu 0.0385 dihasilkan oleh variasi bukaan *flap* sebesar 90° diikuti dengan 30°

dengan nilai 0.0354, kemudian 60° dengan nilai C_p 0.0312 dan yang terendah yaitu 45° dengan nilai C_p 0.0302. Sedangkan untuk turbin tanpa penambahan *passive movable flap* memiliki nilai C_p yaitu 0.052.

Dari **Gambar 4. 23**, **Gambar 4. 24**, dan **Gambar 4. 25** dapat dilihat bahwa untuk variasi konfigurasi *in*, bukaan sudut 90° secara dominan memberikan pengaruh peningkatan C_p yang cukup tinggi. Sebagai contoh untuk variasi konfigurasi *in* pada sudut bukaan 90° dengan kecepatan inlet 0.29 m/s memiliki nilai C_p 0.0385. Pada variasi tersebut, nilai torsi rata-rata yaitu sebesar 0.0503 Nm. Sedangkan nilai torsi tertinggi terjadi pada sudut azimuth 80° dengan nilai torsi 0.3686 Nm. **Gambar 4. 26** berikut merupakan kontur tekanan dan kecepatan pada sudut azimuth 80° .



(a)



(b)

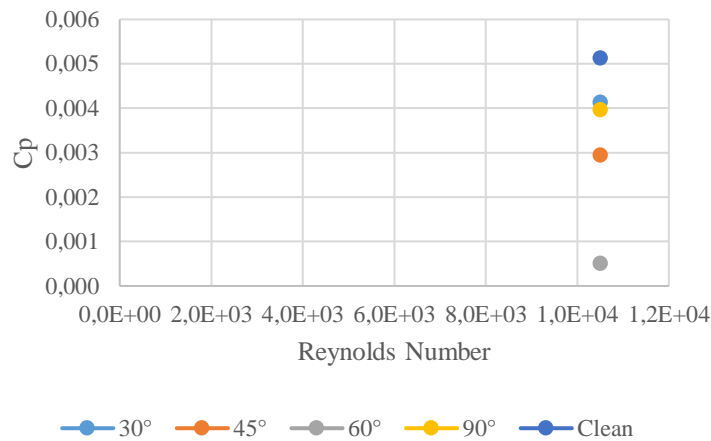
Gambar 4. 26 Kontur tekanan dan kecepatan pada variasi konfigurasi *in*, sudut bukaan 90° , kecepatan 0.29 m/s pada sudut azimuth 80°

Pada **Gambar 4. 26** (a) di atas, menunjukkan bagaimana kontur tekanan yang terjadi ketika turbin berada pada sudut azimuth 80° , dimana pada lengan 1 *flap in* sedang tertutup

penuh (L1 pada **Gambar 4. 26** (a)) dan memiliki tekanan yang besar pada daerah *leading edge* yakni sekitar 426 Pa. **Gambar 4. 26** (b) menunjukkan kontur kecepatan yang terjadi ketika turbin berada di sudut azimuth 80° . Ditunjukkan bahwa pada lengan 1 (L1 pada **Gambar 4. 26** (b)) kecepatan di sekitar *trailing edge* dan *leading edge* kurang lebih sama yakni berwarna merah dengan nilai sekitar 0.9 m/s, tetapi area yang memiliki kecepatan berwarna merah tersebut lebih banyak pada daerah *leading edge*, hal tersebut menyebabkan tekanan pada *leading edge* lebih rendah daripada *trailing edge* sehingga lengan 1 cenderung bergerak mengarah ke *leading edge* dengan nilai torsi yang dihasilkan oleh lengan 1 tersebut sebesar 0.1069 Nm. Jika ditinjau dari koefisien *lift* dan *drag*-nya, lengan 1 menghasilkan Cl sebesar 0.2295 dan Cd sebesar 0.5723.

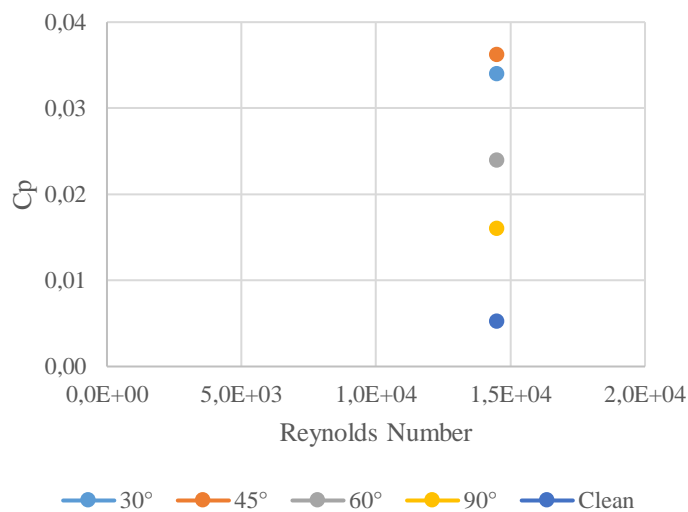
Sedangkan pada lengan 2 (L2 pada **Gambar 4. 26** (a)) *flap in* sedang pada proses membuka yakni sekitar 40° dan memiliki perbedaan tekanan pada daerah yang dibatasi oleh *flap*. Perbedaan tekanan antara kedua daerah tersebut dapat menyebabkan terjadinya fenomena pembukaan *flap* serta terjadinya gaya *lift* yang mendukung pergerakan lengan 2 sesuai dengan arah putaran turbin. Lengan 2 (L2 pada **Gambar 4. 26** (b)) memperlihatkan tingginya kecepatan di sekitar *trailing edge* sehingga menimbulkan gaya *drag* pada lengan 2 hal tersebut dibuktikan dengan tingginya nilai koefisien *drag* dibanding koefisien *lift* yaitu 0.516 dibanding 1.38. Torsi yang dihasilkan oleh lengan 2 yaitu sebesar 0.2469 Nm.

Untuk lengan 3 (L3 pada **Gambar 4. 26** (a)) *flap in* sedang pada kondisi tertutup dan memiliki perbedaan tekanan pada daerah luar dan dalam turbin seperti lengan 2 yang menyebabkan lengan 3 bergerak sesuai dengan arah putaran turbin. Pada lengan 3 (L3 pada **Gambar 4. 26** (b)), memperlihatkan bahwa aliran yang akan diterima oleh lengan 3 tersebut merupakan aliran yang telah terpengaruh oleh lengan 1, sehingga energi kinetik yang dibawa oleh air telah diekstrak sebagian oleh lengan 1, hal tersebut menyebabkan torsi yang dihasilkan oleh lengan 3 tidak maksimal. Torsi yang dihasilkan pada lengan 3 yaitu sebesar 0.0148 Nm dan nilai Cl dan Cd nya yaitu secara berturut-turut 0.01765 dan 0.0835.



Gambar 4. 27 Grafik C_p terhadap Bilangan Reynolds konfigurasi *both* kecepatan 0.21 m/s

Pada **Gambar 4. 27** di atas, telah di plot grafik C_p terhadap Re pada konfigurasi *both* dengan kecepatan 0.21 m/s. Hasil yang ditunjukkan pada grafik tersebut terlihat bahwa C_p tertinggi yaitu 0.0041 dihasilkan oleh variasi bukaan *flap* sebesar 30° diikuti dengan 90° dengan nilai 0.004, kemudian 45° dengan nilai C_p 0.0024 dan yang terendah yaitu 60° dengan nilai C_p 0.0005. Sedangkan untuk turbin tanpa penambahan *passive movable flap* memiliki nilai C_p yaitu 0.0051 lebih tinggi daripada variasi dengan penambahan *passive movable flap*.

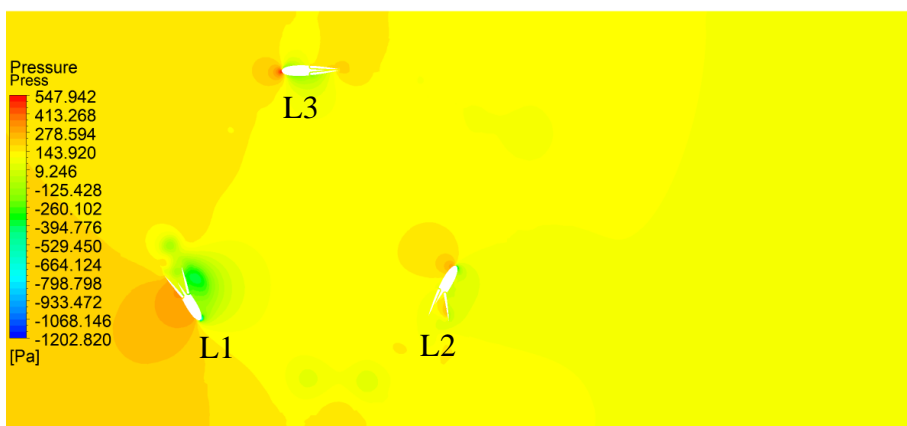


Gambar 4. 28 Grafik C_p terhadap Bilangan Reynolds konfigurasi *both* kecepatan 0.29 m/s

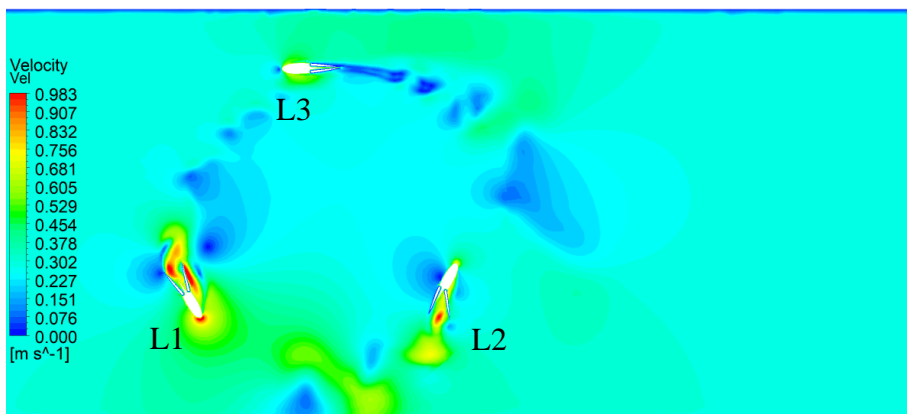
Pada **Gambar 4. 28** di atas, telah di plot grafik C_p terhadap Re pada konfigurasi *both* dengan kecepatan 0.29 m/s. Hasil yang ditunjukkan pada grafik tersebut terlihat bahwa C_p tertinggi yaitu 0.036 dihasilkan oleh variasi bukaan *flap* sebesar 45° diikuti dengan 30° dengan nilai 0.034, kemudian 90° dengan nilai 0.016 dan yang terendah yaitu 60° dengan nilai 0.024. Sedangkan untuk turbin tanpa penambahan *passive movable flap* memiliki nilai C_p yaitu 0.006 lebih rendah daripada variasi dengan penambahan *passive movable flap*.

nilai C_p 0.0005. Sedangkan untuk turbin tanpa penambahan *passive movable flap* memiliki nilai C_p yaitu 0.0052.

Dari **Gambar 4. 27** dan **Gambar 4. 28** dapat dilihat bahwa untuk variasi konfigurasi *both*, bukaan sudut 45° secara dominan memberikan pengaruh peningkatan C_p yang cukup tinggi. Sebagai contoh untuk variasi konfigurasi *both* pada sudut bukaan 45° dengan kecepatan inlet 0.29 m/s memiliki nilai C_p 0.0362. Pada variasi tersebut, nilai torsi rata-rata yaitu sebesar 0.0494 Nm. Sedangkan nilai torsi tertinggi terjadi pada sudut azimuth 120° dengan nilai torsi 0.2216 Nm. **Gambar 4. 29** berikut merupakan kontur tekanan dan kecepatan pada sudut azimuth 120° .



(a)



(b)

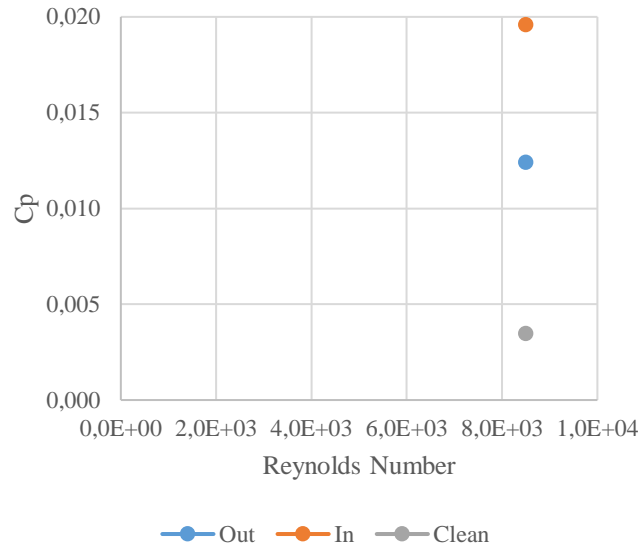
Gambar 4. 29 Kontur tekanan dan kecepatan pada variasi konfigurasi *both*, sudut bukaan 45° , kecepatan 0.29 m/s pada sudut azimuth 120°

Pada **Gambar 4. 29** (a) di atas, menunjukkan bagaimana kontur tekanan yang terjadi ketika turbin berada pada sudut azimuth 120° , dimana pada lengan 1 kedua *flap* sedang dalam proses membuka (L1 pada **Gambar 4. 29** (a)) dan memiliki tekanan yang besar pada daerah *leading edge* yakni sekitar 547 Pa. **Gambar 4. 29** (b) menunjukkan kontur kecepatan yang

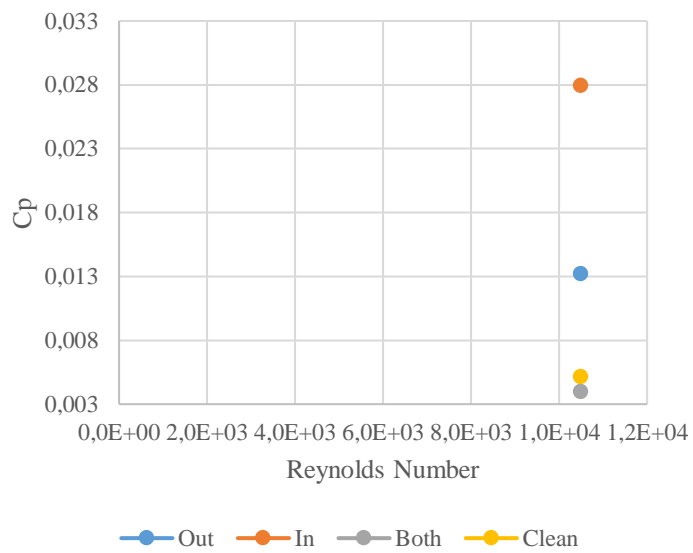
terjadi ketika turbin berada di sudut azimuth 120° . Ditunjukkan bahwa pada lengan 1 (L1 pada **Gambar 4. 29** (b)) kecepatan di sekitar *hydrofoil* memiliki nilai yang tinggi yaitu sekitar 0.9 m/s dengan ditandai kontur berwarna merah, namun terdapat perbedaan nilai kecepatan yang cukup mencolok pada satu sisi *hydrofoil* dengan sisi lainnya pada lengan 1, hal tersebut membuat tekanan di masing-masing sisi memiliki nilai yang sangat timpang, sehingga menyebabkan gaya *lift* yang mendorong ke arah putaran turbin, hal ini ditandai dengan tingginya nilai torsi yang dihasilkan lengan 1 yaitu 0.2506 Nm. Jika ditinjau dari koefisien *lift* dan *drag*-nya, lengan 1 menghasilkan C_l sebesar 0.6602 dan C_d sebesar 1.2863.

Sedangkan pada lengan 2 (L2 pada **Gambar 4. 29** (a)) *flap in* sedang pada proses menutup yakni sekitar 30° dan memiliki tekanan yang tinggi pada daerah *leading edge*. Tingginya tekanan pada daerah *leading edge* tersebut menyebabkan gaya tangensial yang mengarah ke *leading edge* malah berbalik menuju ke *trailing edge* atau menghambat perputaran turbin ditandai dengan nilai torsi yang negatif yaitu -0.03752 Nm. Lengan 2 (L2 pada **Gambar 4. 29** (b)) memperlihatkan tingginya kecepatan di celah antara *flap* dan *hydrofoil* sehingga menyebabkan *flap* dapat bergerak menutup. Untuk nilai koefisien *lift* dan *drag* dari variasi ini yaitu secara berturut-turut 0.0988 dan 0.1926. Untuk lengan 3 (L3 pada **Gambar 4. 29** (a)) *hydrofoil* sedang berada pada *angle of attack* 0° , yang berarti untuk *hydrofoil* simetris tidak dihasilkan gaya *lift* tetapi hanya menghasilkan gaya *drag*. Hal tersebut ditandai dengan rendahnya nilai C_l yaitu hanya 0 sedangkan nilai C_d cukup besar yaitu 0.04872. Hal tersebut juga didukung pada lengan 3 (L3 pada **Gambar 4. 29** (b)), memperlihatkan bahwa kedua sisi *hydrofoil* memiliki kontur warna kecepatan yang sama, sehingga tidak ada perbedaan tekanan yang menyebabkan terjadinya gaya *lift*. Nilai torsi pada lengan 3 yaitu sebesar 0.0084.

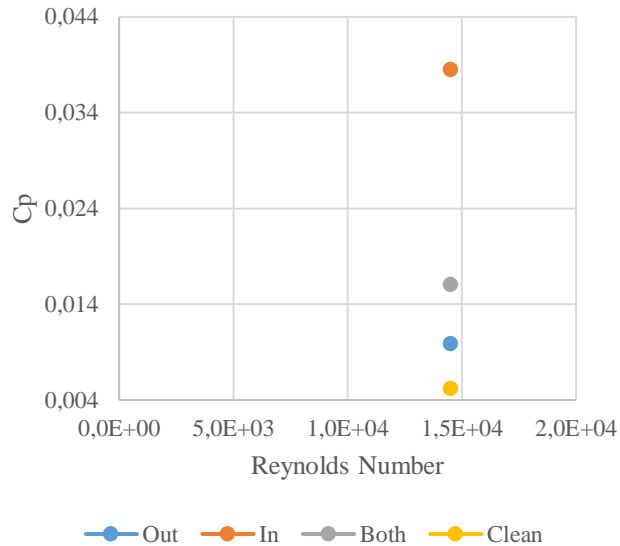
Sehingga dari **Gambar 4. 19** sampai **Gambar 4. 28** dapat disimpulkan bahwa sudut bukaan 90° adalah sudut bukaan optimal yang dapat meningkatkan nilai C_p . Kemudian dilakukan plot grafik TSR terhadap C_p kembali, untuk membandingkan nilai C_p antar konfigurasi untuk melihat bagaimana pengaruh variasi konfigurasi terhadap performansi dari turbin.



Gambar 4. 30 Grafik Cp terhadap Bilangan Reynolds sudut bukaan 90° kecepatan 0.17 m/s

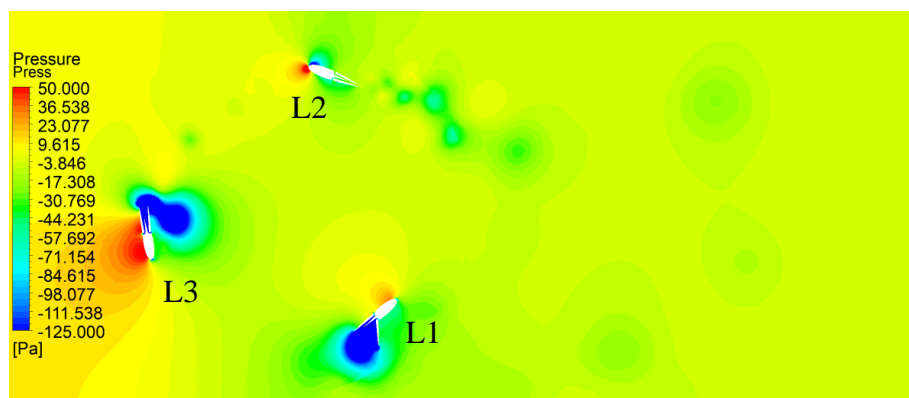


Gambar 4. 31 Grafik Cp terhadap Bilangan Reynolds sudut bukaan 90° kecepatan 0.21 m/s

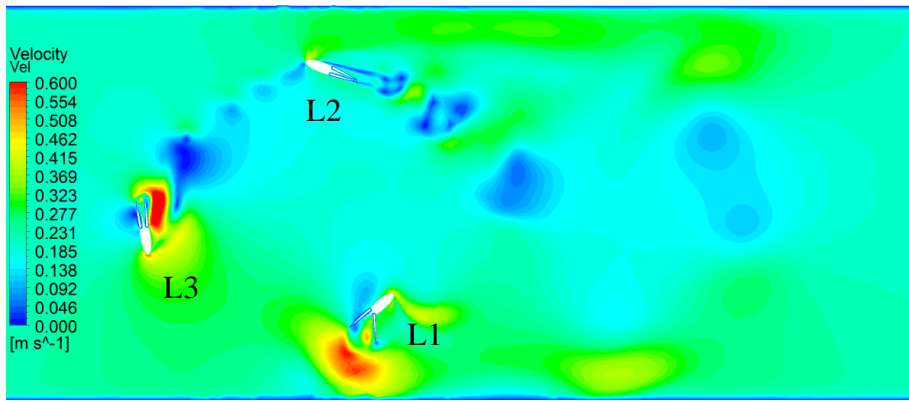


Gambar 4. 32 Grafik C_p terhadap Bilangan Reynolds sudut bukaan 90° kecepatan 0.29 m/s

Dari **Gambar 4. 30** hingga **Gambar 4. 32** disajikan grafik C_p terhadap Re pada ketiga variasi konfigurasi yaitu *in*, *out*, dan *both*, serta ditambah *clean* yaitu *hydrofoil* tanpa penambahan *passive movable flap*. Dari **Gambar 4. 30** hingga **Gambar 4. 32**, dapat diamati bahwa untuk konfigurasi *in*, selalu memiliki nilai C_p di atas variasi lainnya. Sedangkan konfigurasi *out* pada beberapa percobaan juga memiliki nilai C_p yang cukup tinggi dibandingkan konfigurasi *both*. Sementara pada variasi konfigurasi *both*, pada sudut bukaan 60° , dengan kecepatan inlet 0.21 m/s menghasilkan nilai C_p terendah dari seluruh variasi yaitu 0.005. Selain itu perilaku grafik menunjukkan bagaimana C_p akan meningkat seiring bertambahnya nilai bilangan Reynolds juga sangat mempengaruhi nilai C_p pada turbin sebagaimana penelitian yang dilakukan oleh (Brusca dkk., 2014) Berikut akan ditampilkan kontur variasi tersebut pada sudut azimuth 220° (sudut azimuth yang menghasilkan nilai torsi terendah) untuk melihat bagaimana fenomena aliran yang terjadi.



(a)



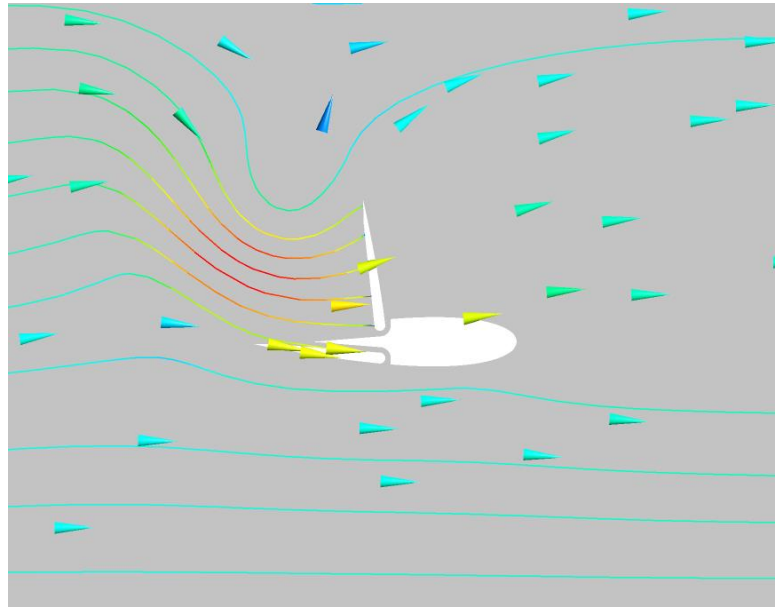
(b)

Gambar 4. 33 Kontur tekanan dan kecepatan pada variasi konfigurasi *both*, sudut bukaan 60° , kecepatan 0.21 m/s pada sudut azimuth 220°

Gambar 4. 33 menunjukkan kontur tekanan dan kecepatan pada azimuth 220° dimana torsi terendah dihasilkan oleh konfigurasi *both* pada bukaan 60° di kecepatan 0.21 m/s dengan nilai C_p 0.0005 . Nilai torsi yang dihasilkan turbin pada azimuth 220° adalah -0.07 Nm dengan rincian torsi tiap lengannya dari lengan 1 ke lengan 3 adalah -0.0357 Nm , 0.0003 Nm , dan -0.034 Nm . Jika ditinjau melalui kontur tekanan pada **Gambar 4. 33** (a), terlihat pada lengan 1 dan lengan 3 (L1 dan L3 pada **Gambar 4. 33** (a)), pada bagian *trailing edge* kedua lengan memiliki nilai tekanan yang sangat rendah, dimana hal tersebut membuat *hydrofoil* malah bergerak menuju ke *trailing edge* dikarenakan adanya perbedaan tekanan yang cukup tinggi tersebut. Pada lengan 1, *flap out* sedang terbuka, dimana pembukaan *flap* tersebut menimbulkan nilai tekanan yang rendah di bagian *trailing edge* sehingga malah menimbulkan *drag* yang merugikan, bukan menguntungkan (searah dengan arah putar turbin). Sedangkan pada lengan 2 (L2 pada **Gambar 4. 33** (b)) terlihat bahwa *wake* atau aliran yang berada di belakang lengan 3 akan mengganggu aliran yang diterima oleh lengan 2, hal tersebut juga dapat dibuktikan dengan rendahnya nilai torsi yang dihasilkan lengan 2 pada sudut azimuth ini yakni sebesar 0.0003 Nm saja.

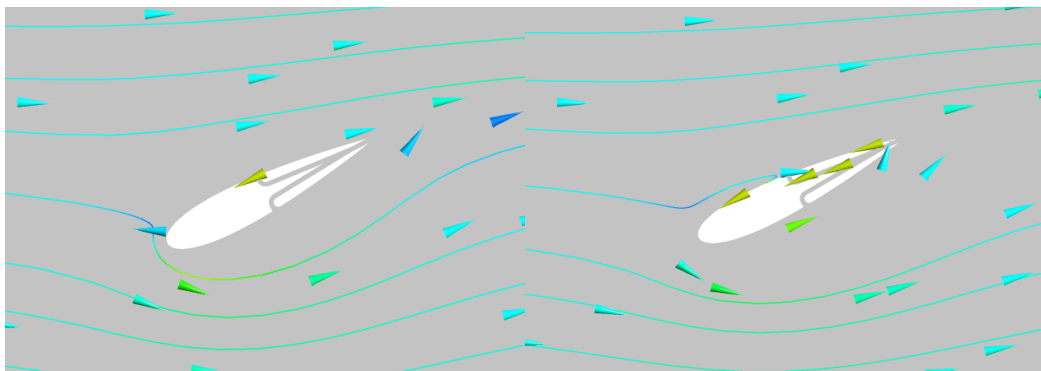
Gambar 4. 26 menunjukkan kontur tekanan dan kecepatan pada azimuth 80° dimana torsi tertinggi dihasilkan oleh konfigurasi *in* pada bukaan 90° di kecepatan 0.29 m/s dengan nilai C_p 0.0385 . Dimana C_p tersebut merupakan C_p tertinggi dari seluruh variasi yang telah disimulasikan. Nilai torsi yang dihasilkan turbin pada azimuth 80° adalah 0.3686 Nm , dengan rincian torsi tiap lengannya dari lengan 1 ke lengan 3 secara berturut-turut adalah 0.1069 Nm , 0.2469 Nm , dan 0.0148 Nm . Pada azimuth 80° ini, ketiga lengan menghasilkan torsi yang bernilai positif berarti tiap lengan cenderung bergerak menuju ke arah putar turbin yang seharusnya mengingat bahwa turbin yang digunakan adalah turbin tipe *lift device* yang

berarti memanfaatkan gaya *lift* untuk berputar dan dengan adanya penambahan *passive movable flap*, turbin akan memanfaatkan *drag* yang dihasilkan *flap* untuk menambah gaya dorong pada lengan yang menghasilkan gaya *drag* terutama pada sudut azimuth 90° hingga 270° .



Gambar 4. 34 Vektor kecepatan ketika *flap in* terbuka penuh

Gambar 4. 34 menunjukkan bagaimana kondisi variasi konfigurasi *in* dengan sudut bukaan 90° ketika *flap in* terbuka penuh yaitu ketika pada sudut azimuth 180° . Ketika *flap* terbuka penuh, terbentuk area dengan kecepatan tinggi di bagian *upward* dari turbin, tepatnya di belakang *flap* ditandai dengan warna merah pada gambar. Kondisi tersebut membuat penambahan luas area yang ditumbuk oleh air, sehingga gaya yang dihasilkan akan lebih besar ketika luas penampang diperbesar. Sedangkan pada **Gambar 4. 35** ditampilkan bagaimana fenomena separasi aliran terjadi.



Gambar 4. 35 Fenomena separasi aliran

Pada **Gambar 4. 35** terjadi separasi aliran pada sudut azimuth 27° - 28° ketika lengan 1 pada variasi konfigurasi *in* dengan sudut bukaan 90° memiliki *angle of attack* sebesar 8° - 9° (*stall angle*). *Stall angle* umumnya dipengaruhi oleh besarnya Bilangan Reynolds. Ketika Bilangan Reynolds dibawah 1.5×10^6 , maka *stall angle* dan nilai C_l maksimum dikatakan hampir konstan (Brunner dkk., 2021). Sedangkan menurut (Melani dkk., 2019) NACA 0018 dengan Bilangan Reynolds 6×10^4 *stall angle* terjadi pada *angle of attack* sekitar 7° sampai 11° . Pada kasus penelitian ini, Bilangan Reynolds yang dihasilkan bisa dikatakan cukup rendah daripada Bilangan Reynolds pada penelitian-penelitian lain yang mencapai ratusan ribu atau jutaan. Dengan rendahnya Bilangan Reynolds ini maka *stall angle* seharusnya terjadi juga tidak jauh dari *angle of attack* 7° sampai 11° . Pada penelitian ini aliran dapat dikategorikan sebagai aliran laminar sesuai dengan (Cengel dan Cimbala, 2013). Untuk aliran eksternal, Bilangan Reynolds transisi dari laminar ke turbulen adalah sekitar 2×10^5 sampai 3×10^6 tergantung beberapa faktor seperti kekasaran permukaan (Young, n.d.). *Stall angle* tersebut dapat diamati ketika ditampilkan kontur garis kecepatan yang mulai menjauhi dari permukaan *hydrofoil*. Separasi aliran ini tidak dapat dicegah oleh *flap* dikarenakan *flap* belum terbuka ketika terjadi separasi aliran tersebut. Meski ternyata *flap* tidak dapat menunda separasi aliran, tetapi *flap* pada konfigurasi *in* ini dapat membantu meningkatkan performansi turbin melalui penambahan luas area relatif yang ditabrak air, serta membuat variasi nilai tekanan sehingga menghasilkan gaya resultan yang sesuai dengan arah gaya tangensial untuk turbin berputar seperti pada **Gambar 4. 34**.

Sehingga dari **Gambar 4. 30** hingga **Gambar 4. 32** dapat disimpulkan bahwa konfigurasi *in* memberikan peningkatan C_p yang cukup signifikan ketika dipadukan dengan sudut bukaan *flap* 90° . Konfigurasi *in* dengan sudut bukaan 90° pada kecepatan inlet 0.29 m/s dengan Bilangan Reynolds 14500 menghasilkan nilai C_p tertinggi dari seluruh variasi yaitu 0.0385.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, maka dapat ditarik beberapa poin kesimpulan yakni sebagai berikut:

- Penambahan *passive movable flap* memberikan pengaruh positif terhadap performansi turbin hidrokinetik sumbu vertikal tipe Darrieus. Penambahan *passive movable flap* dapat membuat tekanan di bagian *trailing edge hydrofoil* lebih tinggi daripada di bagian *leading edge hydrofoil*. Hal tersebut menyebabkan adanya gaya resultan yang mendorong *hydrofoil* untuk bergerak menuju kearah putar turbin yang sebenarnya. Selain itu ketika *passive movable flap* terbuka saat membelakangi aliran, maka luas area yang akan ditabrak oleh air akan semakin besar, area yang ditabrak air tersebut akan menghasilkan tekanan tinggi sehingga hal tersebut menyebabkan gaya *drag hydrofoil* akan meningkat.
- Besarnya sudut bukaan *passive movable flap* memiliki pengaruh yang berbeda-beda terhadap performansi turbin. Dimana dalam penelitian ini bukaan sudut yang paling optimal berada pada variasi sudut 90° dengan nilai C_p 0.0385. Sudut bukaan yang besar tersebut menyebabkan penambahan area yang ditumbuk oleh air dari kecepatan inlet. Penambahan area tersebut akan menambah nilai nilai resultan gaya yang mengarah ke *leading edge hydrofoil* hal tersebut sesuai dengan persamaan bahwa gaya adalah tekanan dikali luas area.
- Peletakkan *passive movable flap* pada daerah dalam rotasi turbin (konfigurasi *in*) memiliki pengaruh yang lebih baik daripada peletakkan di daerah luar rotasi turbin (konfigurasi *out*). Sedangkan peletakkan *passive movable flap* pada kedua daerah baik dalam maupun luar rotasi turbin (konfigurasi *both*) berada diantara konfigurasi *in* dan konfigurasi *out*. Hal tersebut dibuktikan dengan nilai kenaikan C_p pada tiap konfigurasi dibandingkan dengan *hydrofoil clean* pada

konfigurasi *in* meningkat sebesar 81%, pada konfigurasi *both* meningkat sebesar 70%, dan pada konfigurasi *out* meningkat sebesar 63%.

5.2 Saran

Terdapat beberapa saran berdasarkan penelitian yang telah dilakukan untuk penelitian selanjutnya yaitu:

- Untuk mendapatkan hasil yang lebih akurat dan rinci, pengambilan data torsi dapat dilakukan dengan *increment* sudut yang lebih kecil lagi.
- Untuk memperlancar simulasi, disarankan menggunakan metode *overset mesh* daripada *dynamic mesh*, dikarenakan pergerakan *flap* yang cukup jauh sehingga lebih cocok digunakan metode *overset mesh*.
- Perlu diperhatikan lebih lanjut mengenai faktor-faktor yang dapat mempengaruhi *error* hasil simulasi seperti kesesuaian domain simulasi dengan kondisi pengujian

DAFTAR PUSTAKA

- Bachant, P., Wosnik, M., 2016. Effects of Reynoldss number on the energy conversion and near-wake dynamics of a high solidity vertical-axis cross-flow turbine. *Energies* 9, 1–18. <https://doi.org/10.3390/en9020073>
- Brunner, C.E., Kiefer, J., Hansen, M.O.L., Hultmark, M., 2021. Study of Reynoldss number effects on the aerodynamics of a moderately thick airfoil using a high-pressure wind tunnel. *Exp. Fluids* 62, 1–17. <https://doi.org/10.1007/s00348-021-03267-8>
- Brusca, S., Lanzafame, R., Messina, M., 2014. Design of a vertical-axis wind turbine: how the aspect ratio affects the turbine's performance. *Int. J. Energy Environ. Eng.* 5, 333–340. <https://doi.org/10.1007/s40095-014-0129-x>
- Cengel, Y., Cimbala, J., 2013. *Fluid Mechanics Fundamentals and Applications: Third Edition*. MCGRAW-HILL US HIGHER ED.
- Chica, E., Pérez, F., Rubio-Clemente, A., Agudelo, S., 2015. Design of a hidrokinetic turbine. *WIT Trans. Ecol. Environ.* 195, 137–148. <https://doi.org/10.2495/ESUS150121>
- da Rosa, A. V, 2013. *Fundamentals of Renewable Energy Processes*, Online access with subscription: Proquest Ebook Central. Elsevier Science.
- Dai, Y.M., Gardiner, N., Sutton, R., Dyson, P.K., 2011. Hydrodynamic analysis models for the design of Darrieus-type vertical-axis marine current turbines. *Proc. Inst. Mech. Eng. Part M J. Eng. Marit. Environ.* 225, 295–307. <https://doi.org/10.1177/1475090211400684>
- Du, L., Ingram, G., Dominy, R.G., 2019. A review of H-Darrieus wind turbine aerodynamic research. *Proc. Inst. Mech. Eng. Part C J. Mech. Eng. Sci.* 233, 7590–7616. <https://doi.org/10.1177/0954406219885962>
- Hantoro, R., Prananda, J., Mahmashani, A.W., Septyaningru, E., Imanuddin, F., 2018. Performance investigation of an innovative Vertical Axis Hydrokinetic Turbine – Straight Blade Cascaded (VAHT-SBC) for low current speed. *J. Phys. Conf. Ser.* 1022, 012022. <https://doi.org/10.1088/1742->

6596/1022/1/012022

- Hao, W., Bashir, M., Li, C., Sun, C., 2021. Flow control for high-solidity vertical axis wind turbine based on adaptive flap. *Energy Convers. Manag.* 249. <https://doi.org/10.1016/J.ENCONMAN.2021.114845>
- Hashemi, S.M., Moghimi, M., Derakhshan, S., 2020. Experimental and numerical study of a flapping-blade vertical-axis hydrokinetic turbine under free surface deformation and blockage effects. *Int. J. Environ. Sci. Technol.* 17, 3633–3650. <https://doi.org/10.1007/S13762-020-02642-Y/FIGURES/8>
- Kadiri, M., Ahmadian, R., Bockelmann-Evans, B., Rauen, W., Falconer, R., 2012. A review of the potential water quality impacts of tidal renewable energy systems. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 16, 329–341. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.07.160>
- Khan, M.J., Bhuyan, G., Iqbal, M.T., Quaiocoe, J.E., 2009. Hydrokinetic energy conversion systems and assessment of horizontal and vertical axis turbines for river and tidal applications: A technology status review. *Appl. Energy* 86, 1823–1835. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2009.02.017>
- Kumar, P.M., Sivalingam, K., Lim, T.-C., Ramakrishna, S., Wei, H., 2019. Strategies for Enhancing the Low Wind Speed Performance of H-Darrieus Wind Turbine—Part 1. *Clean Technol.* 2019, Vol. 1, Pages 185-204 1, 185–204. <https://doi.org/10.3390/CLEANTECHNOL1010013>
- Liu, Q., Miao, W., Li, C., Hao, W., Zhu, H., Deng, Y., 2019. Effects of trailing-edge movable flap on aerodynamic performance and noise characteristics of VAWT. *Energy* 189. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.116271>
- Mahmashani, A.W., Hantoro, R., Septyaningrum, E., Firmansyah, O.A., Zidna, F., 2018. Impact of Sizing in VAHT-SBC to the Channel Blockage. *Proceeding - 2018 Int. Semin. Intell. Technol. Its Appl. ISITIA 2018* 111–116. <https://doi.org/10.1109/ISITIA.2018.8711188>
- Melani, P.F., Balduzzi, F., Ferrara, G., Bianchini, A., 2019. An annotated database of low Reynolds aerodynamic coefficients for the NACA0018 airfoil. *AIP Conf. Proc.* 2191. <https://doi.org/10.1063/1.5138843>
- Menter, F.R., Kuntz, M., Langtry, R., 2003. Ten Years of Industrial Experience with the SST Turbulence Model Turbulence heat and mass transfer.

Cfd.Spbstu.Ru 4, 625–632.

- Mohamed, M.H., 2012. Performance investigation of H-rotor Darrieus turbine with new airfoil shapes. *Energy* 47, 522–530. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2012.08.044>
- Morrison, T.J., 2011. *Basic Principles with Applications, Functional Analysis*. <https://doi.org/10.1002/9781118032992.ch2>
- Ogunjuyigbe, A., Ayodele, T., 2015. A Review of Hydrokinetic Energy Potential in Nigeria.
- Paraschivoiu, I., 2002. *Wind Turbine Design: With Emphasis on Darrieus Concept - Ion Paraschivoiu - Google Boeken*. Press. Inter Polytech.
- Rat, C.L., Prostean, O., Filip, I., 2018. Hardware-in-the-Loop emulator for a hydrokinetic turbine. *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.* 294, 012071. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/294/1/012071>
- Saini, G., Saini, R.P., 2020. Comparative investigations for performance and self-starting characteristics of hybrid and single Darrieus hydrokinetic turbine. *Energy Reports* 6, 96–100. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2019.11.047>
- Santos, I.F.S. dos, Camacho, R.G.R., Tiago Filho, G.L., Botan, A.C.B., Vinent, B.A., 2019. Energy potential and economic analysis of hydrokinetic turbines implementation in rivers: An approach using numerical predictions (CFD) and experimental data. *Renew. Energy* 143, 648–662. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.05.018>
- Septyaningrum, E., Hantoro, R., Utama, I.K.A.P., Prananda, J., Nugroho, G., Mahmasani, A.W., Satwika, N.A., 2019. Performance analysis of multi-row vertical axis hydrokinetic turbine—straight blade cascaded (VAHT-SBC) turbines array. *J. Mech. Eng. Sci.* 13, 5665–5688. <https://doi.org/10.15282/jmes.13.3.2019.28.0454>
- Shashikumar, C.M., Vijaykumar, H., Vasudeva, M., 2021. Numerical investigation of conventional and tapered Savonius hydrokinetic turbines for low-velocity hydropower application in an irrigation channel. *Sustain. Energy Technol. Assessments* 43, 100871. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2020.100871>
- Tu, J., Yeoh, G.-H., Liu, C., 2018. *Computational Fluid Dynamics A Practical Approach*, 3 ed. Butterworth-Heinemann, Cambridge.

Young, D.F., n.d. *F of Fluid Mechanics, Engineering.*

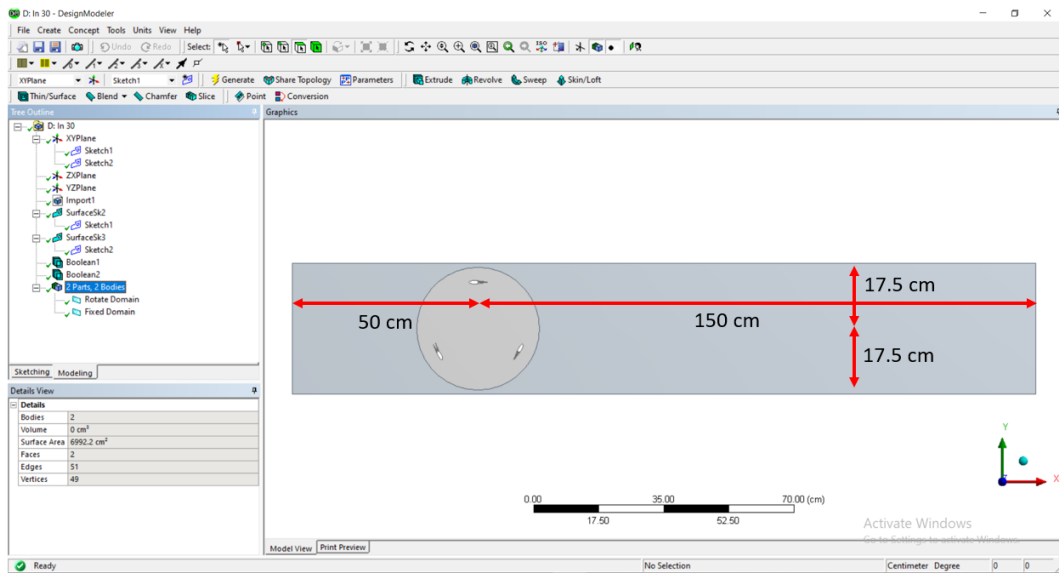
Zhang, L., Gu, J., Hu, K., Zhu, H., Miao, J., Li, X., Ma, D., Mi, Y., Wang, Z., 2021.

Influences of trailing edge split flap on the aerodynamic performance of vertical axis wind turbine. *Energy Sci. Eng.* 9, 101–115.
<https://doi.org/10.1002/ese3.818>

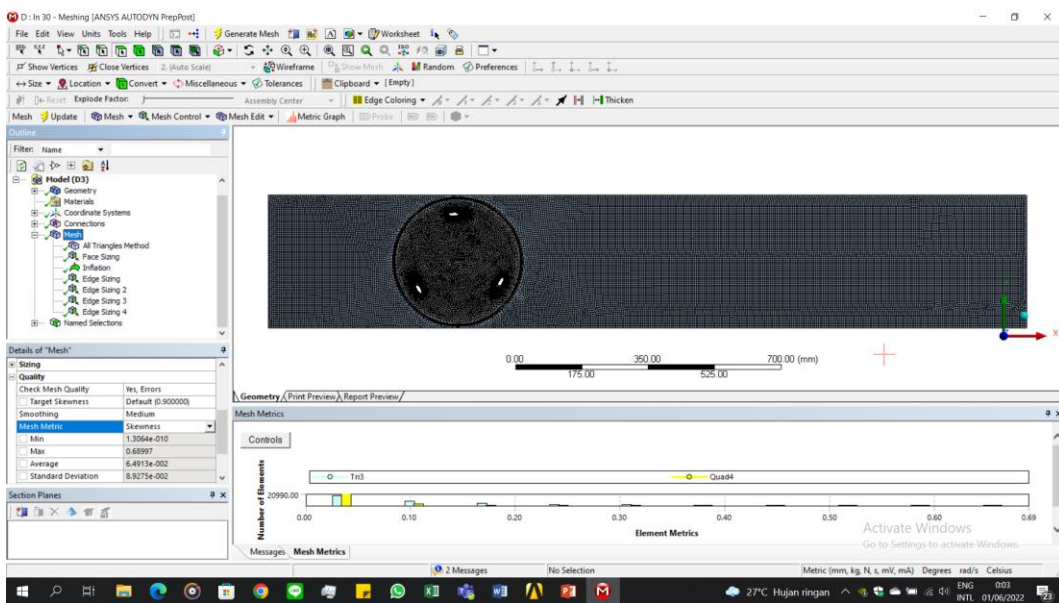
LAMPIRAN

A. Langkah-langkah Simulasi

1. Penentuan geometri sesuai dengan dimensi *flume tank*



2. Melakukan *meshing*



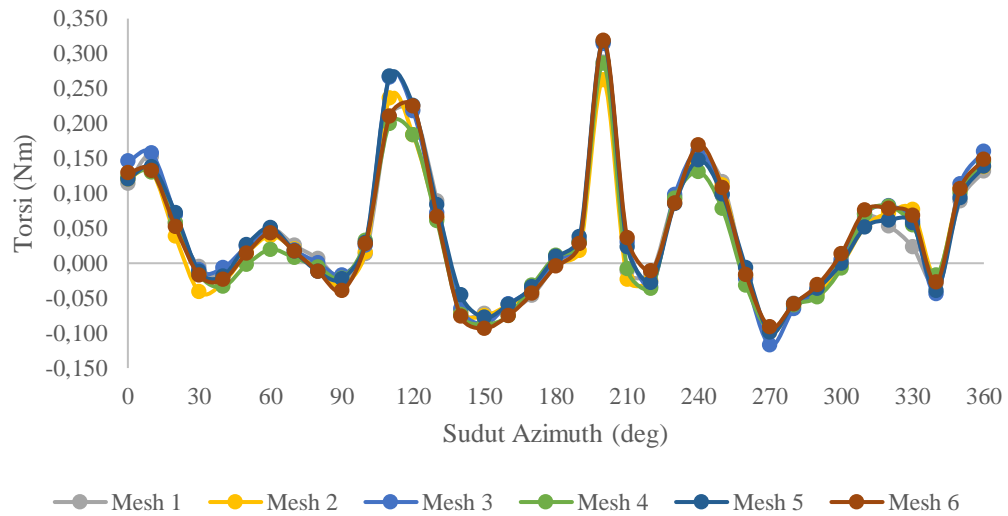
Berikut merupakan parameter *meshing* yang digunakan

<i>Parameter</i>	<i>Detail</i>	<i>Value</i>
<i>Method</i>	<i>Geometri : Rotate domain, Triangles</i>	<i>Default</i>
<i>Inflation</i>	<i>Geometri : Interface, First Layer Thickness 1.5 mm</i>	<i>Transition ratio : 0.272 Growth rate : 1.05 Maximum Layer : 7</i>
<i>Face Sizing Rotate Domain</i>	<i>Element Size</i>	<i>2 mm</i>
<i>Edge Sizing Interface</i>	<i>Number of Division</i>	<i>300</i>
<i>Edge Sizing Flap</i>	<i>Number of Division</i>	<i>200</i>
<i>Edge Sizing Hydrofoil</i>	<i>Number of Division</i>	<i>250</i>
<i>Edge Sizing Flap belakang</i>	<i>Number of Division</i>	<i>100</i>
<i>Skewness</i>	<i>Skewness maximum</i>	<i>0.68</i>
<i>Number of Elements & Nodes</i>	<i>Variasi 22 (Tabel 3.1)</i>	<i>184500 & 144303</i>

Pemilihan parameter tersebut didasarkan dengan uji sensitivitas *mesh* yang telah dilakukan, dimana dilakukan pengujian pada 8 variasi *mesh* sesuai pada tabel berikut ini.

<i>Mesh</i>	<i>Element Size (mm)</i>	<i>Face Sizing Domain Rot (mm)</i>	<i>Edge Sizing Interface</i>	<i>Edge Sizing Flap</i>	<i>Edge Sizing Hydrofoil</i>	<i>Edge Sizing Flap Belakang</i>	<i>Number of Element</i>	<i>Number of Nodes</i>	<i>Skewness Max</i>
<i>Mesh 1</i>	<i>5</i>	<i>5</i>	<i>130</i>	<i>130</i>	<i>100</i>	<i>50</i>	<i>51119</i>	<i>36066</i>	<i>0.73</i>
<i>Mesh 2</i>	<i>4.5</i>	<i>4</i>	<i>180</i>	<i>180</i>	<i>120</i>	<i>60</i>	<i>68961</i>	<i>51099</i>	<i>0.7</i>
<i>Mesh 3</i>	<i>4</i>	<i>3.5</i>	<i>220</i>	<i>220</i>	<i>150</i>	<i>70</i>	<i>103763</i>	<i>81967</i>	<i>0.78</i>
<i>Mesh 4</i>	<i>3.5</i>	<i>3</i>	<i>250</i>	<i>250</i>	<i>180</i>	<i>80</i>	<i>159841</i>	<i>131192</i>	<i>0.81</i>
<i>Mesh 5</i>	<i>3</i>	<i>2.5</i>	<i>270</i>	<i>270</i>	<i>220</i>	<i>90</i>	<i>174961</i>	<i>138008</i>	<i>0.72</i>
<i>Mesh 6</i>	<i>2.5</i>	<i>2</i>	<i>300</i>	<i>200</i>	<i>250</i>	<i>100</i>	<i>187022</i>	<i>145547</i>	<i>0.74</i>

Grafik torsi terhadap sudut azimuth yang dihasilkan dari tiap mesh pada tabel di atas disajikan pada grafik berikut ini.



Dari gambar di atas, torsi tiap mesh terhadap sudut azimuth di atas, ternyata untuk tiap *mesh* relatif memiliki tren yang sama untuk nilai torsinya, oleh karena itu dipilih lah *mesh 6* sebagai *setup* yang akan digunakan untuk seluruh variasi dengan pertimbangan bahwa *mesh 6* cukup sesuai dimana *mesh 6* ini tidak menyebabkan munculnya *error negative cell volume* serta ukuran *cell* pada *fixed domain* juga cukup detail sehingga dapat diamati *wake* yang dihasilkan oleh turbin di daerah *downstream*.

3. Processing

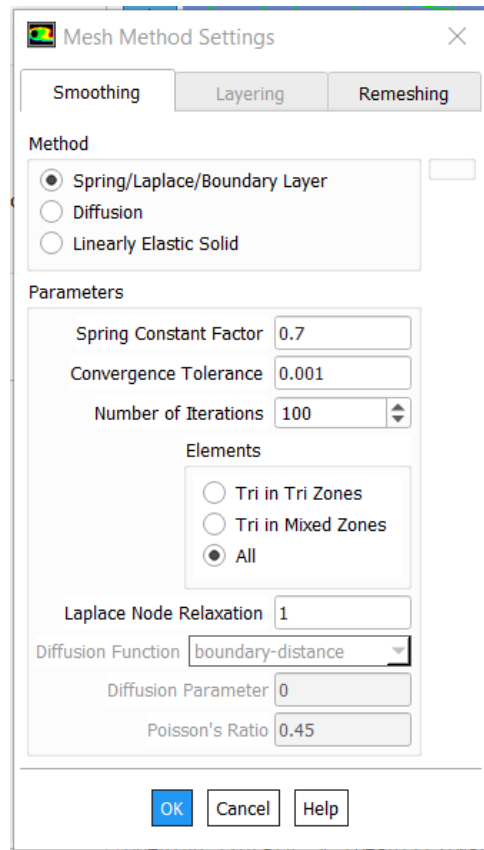
Pada bagian *time*, digunakan *transient* yang berarti hasil simulasi akan berubah-ubah terhadap waktu (tidak *steady*), kemudian pada bagian *model*, dipilih model turbulensi yaitu *k- ω SST*.

Alasan pemilihan model turbulensi tersebut dikarenakan model turbulensi ini lebih akurat secara substansial daripada *k- ϵ* pada sekitaran dinding pembatas, dan juga dapat memodelkan aliran dengan gradien tekanan sedang, tetapi gagal untuk memodelkan separasi aliran. Selain itu persamaan ω menunjukkan sensitivitas yang tinggi terhadap nilai pada *freestream* diluar *boundary layer*. Sensitivitas tersebut yang membuat persamaan ω tidak tergantikan oleh persamaan ϵ sebagai persamaan standar dalam pemodelan turbulensi (Menter dkk., 2003).

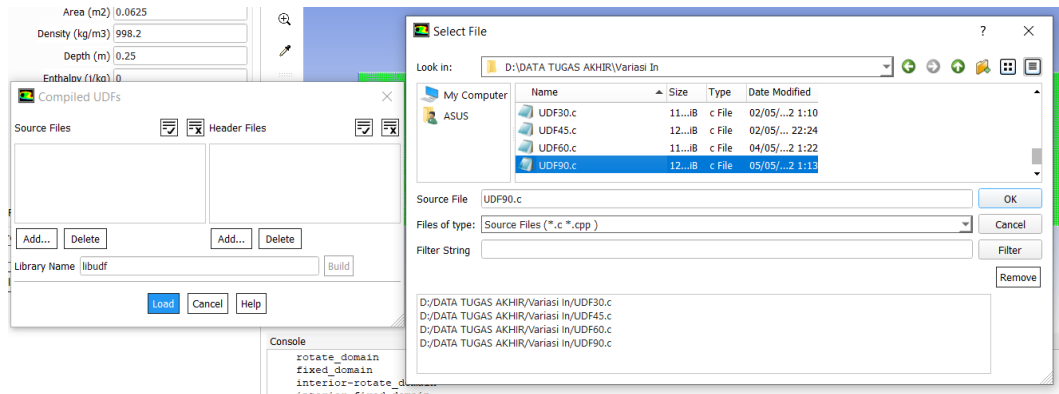
Berikut merupakan tabel *setting* yang digunakan pada *setup* simulasi.

<i>Tab</i>	<i>Parameter</i>	<i>Kondisi</i>
<i>General</i>	<i>Time</i>	<i>Transient</i>
<i>Model</i>	<i>Viscous</i>	<i>k-ω SST</i>
<i>Material</i>	<i>Fluid</i>	<i>Water Liquid</i>
<i>Boundary</i>	<i>Velocity Inlet</i>	<i>0.17 ; 0.21 ; 0.29 m/s</i>
<i>Dynamic Mesh</i>	<i>Smoothing</i>	<i>Spring Constant Factor = 0.7</i>
		<i>Convergence Tolerance = 10^{-3}</i>
		<i>Number of Iterations = 100</i>
	<i>Remeshing</i>	<i>Elements = All</i>
		<i>Minimum Length Scale = 0.001 m</i>
<i>Maximum Length Scale = 0.002 m</i>		
	<i>Maximum Cell Skewness = 0.85</i>	
<i>References Values</i>	<i>Area</i>	<i>0.0625 m²</i>
	<i>Length</i>	<i>0.05 m</i>
	<i>Depth</i>	<i>0.25 m</i>
	<i>Velocity</i>	<i>0.17 ; 0.21 ; 0.29 m/s</i>
	<i>Density</i>	<i>998.2 kg/m³</i>

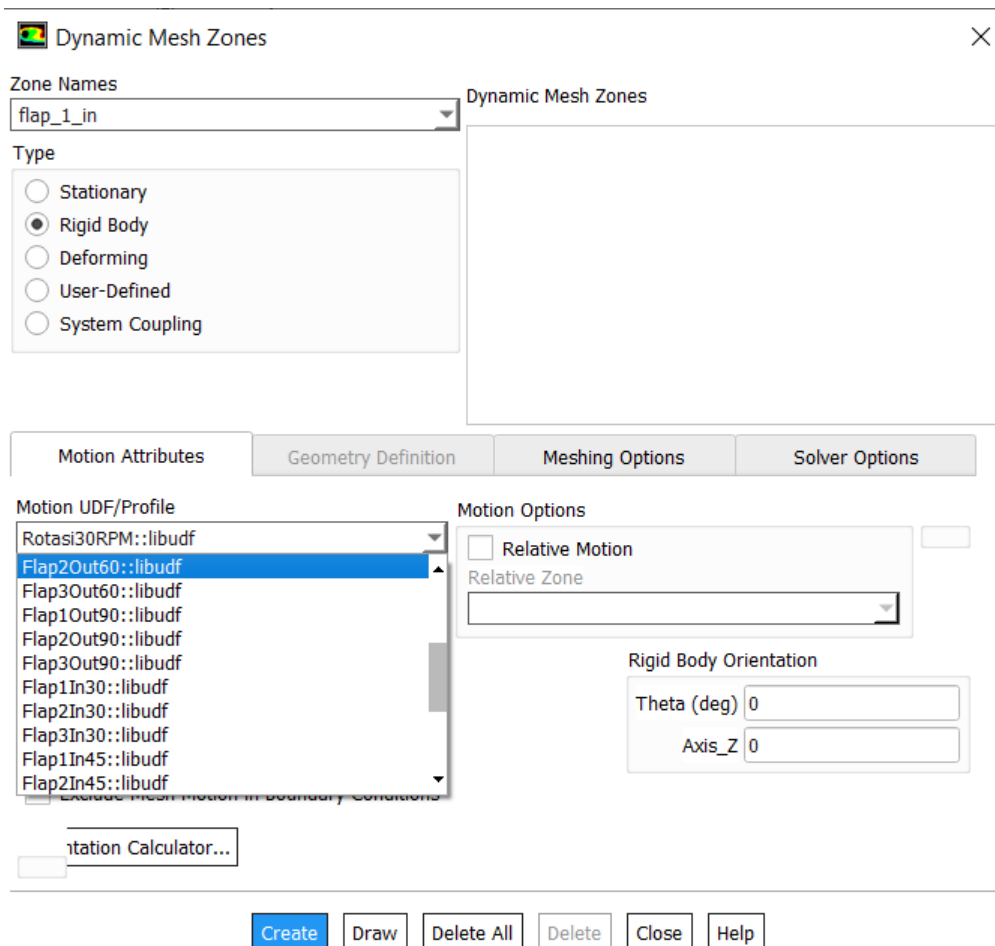
Berikut merupakan *setting* yang digunakan pada *dynamic mesh*.



Melakukan *compile* untuk *code* yang telah ditulis dalam format *.c*.



Kemudian dilakukan *input user define function* atau UDF ke masing-masing *flap* untuk mendefinisikan gerakan *flap*.



Memasukkan nilai *reference values* seperti pada gambar berikut

Reference Values	
Area (m2)	0.0125
Density (kg/m3)	998.2
Depth (m)	0.25
Enthalpy (j/kg)	0
Length (m)	0.05
Pressure (pascal)	0
Temperature (k)	288.16
Velocity (m/s)	0.29

Mengambil data berupa gaya yang bekerja pada sumbu x dan sumbu y pada masing-masing lengan turbin.

Force Report Definition

Name
fx-lengan-1

Options
 Per Zone
Average Over (Time Steps)
1

Force Vector
X: 1, Y: 0, Z: 1

Report Files [0/0]

Report Plots [0/0]

Create
 Report File
 Report Plot
Frequency: 1
 Print to Console
 Create Output Parameter

Wall Zones
Filter Text

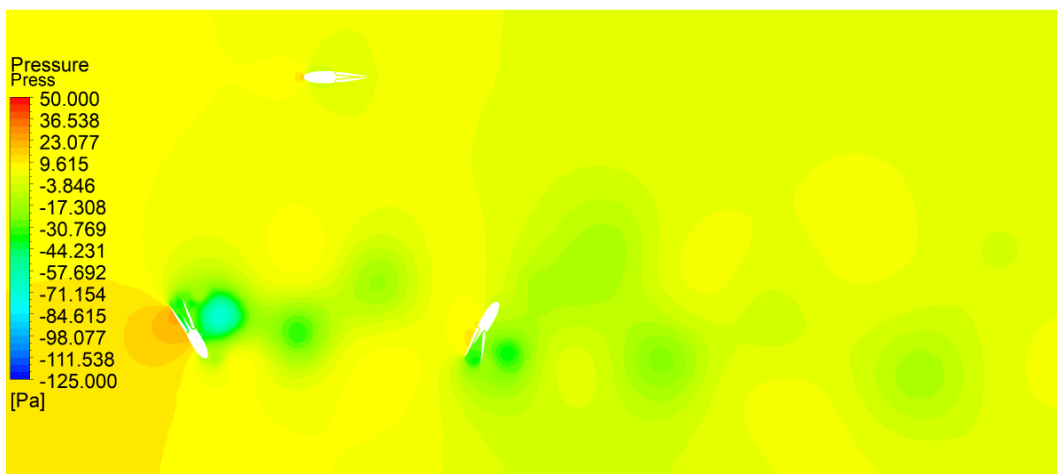
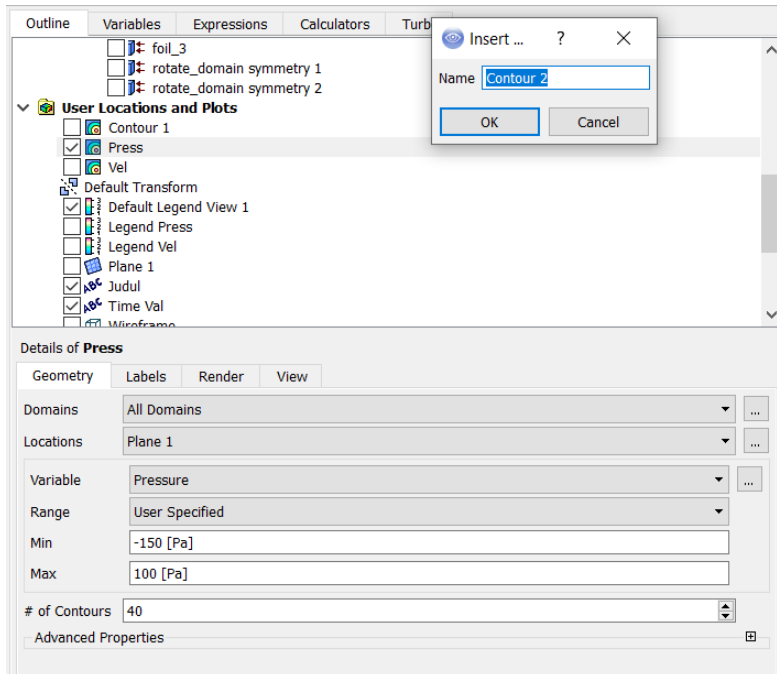
- flap_in_1
- flap_in_2
- flap_in_3
- flap_out_1
- flap_out_2
- flap_out_3
- foil_1
- foil_2
- foil_3
- wall
- wall-21
- wall-22

OK Compute Cancel Help

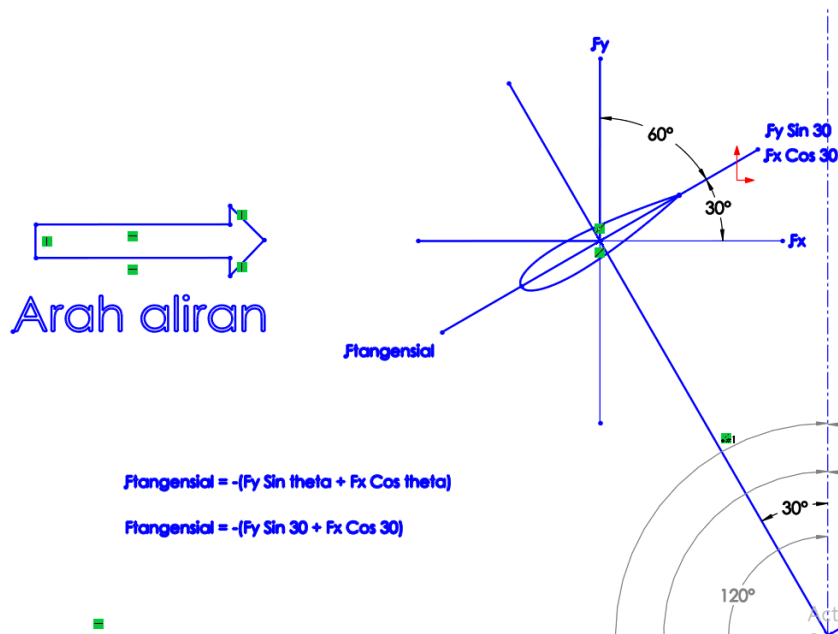
Kemudian melakukan *inisialization* dan menginputkan nilai *time step size* dan *number of time step* sehingga data akan diambil setiap *increment* 1° sudut azimuth dan turbin berputar sebanyak 1 kali.

4. Post-processing

Membuat kontur kecepatan, tekanan, serta *vorticity*, yang akan diplot pada bidang datar (*plane*) yang sudah dibuat sebelumnya.



Pengolahan data torsi dilakukan berdasarkan gaya pada sumbu x dan sumbu y yang telah diambil, dan di ubah menjadi gaya tangensial seperti pada gambar berikut ini.



B. Kode UDF

Berikut adalah contoh Kode UDF yang digunakan pada variasi konfigurasi *in*, sudut bukaan 30° dengan kecepatan inlet 0.29 m/s.

Kode untuk menginput RPM turbin

```
DEFINE_CG_MOTION(Rotasiv2RPM,dt,cg_vel,cg_omega,time,dtime)
{
    real omega_z;
    omega_z = 1.1679771;

    cg_vel[0] = 0.0;
    cg_vel[1] = 0.0;
    cg_vel[2] = 0.0;
    cg_omega[0] = 0.0;
    cg_omega[1] = 0.0;
    cg_omega[2] = omega_z;
}
```

Kode untuk mendefinisikan gerakan *flap*

```
DEFINE_CG_MOTION(IN1v3,dt,cg_vel,cg_omega,time,dttime)
{
    real t = CURRENT_TIME;
    real pi, i;
    pi = 3.141592654;
    NV_S (cg_omega, =, 0.0);

    for (i = 0; i < 5; ++i)
    {
        if ((t > (1.208*i)+0) && (t <= ((1.208*i)+0.302)))
        {
            cg_vel[0] = 0.0;
            cg_vel[1] = 0.0;
            cg_vel[2] = 0.0;

            cg_omega[0] = 0.0;
            cg_omega[1] = 0.0;
            cg_omega[2] = 0.0;
        }
        if ((t > (1.208*i)+0.302) && (t <= ((1.208*i)+0.5)))
        {
            cg_vel[0] = 0.0;
            cg_vel[1] = 0.0;
            cg_vel[2] = 0.0;

            cg_omega[0] = 0.0;
            cg_omega[1] = 0.0;
            cg_omega[2] = -0.8417*pi;
        }
    }
}
```

```

if ((t > ((1.208*i)+0.5)) && (t <= ((1.208*i)+0.6377)))
{
cg_vel[0] = 0.0;
cg_vel[1] = 0.0;
cg_vel[2] = 0.0;

cg_omega[0] = 0.0;
cg_omega[1] = 0.0;
cg_omega[2] = 0.0;
}
if ((t > ((1.208*i)+0.6377)) && (t <= ((1.208*i)+0.7048)))
{
cg_vel[0] = 0.0;
cg_vel[1] = 0.0;
cg_vel[2] = 0.0;

cg_omega[0] = 0.0;
cg_omega[1] = 0.0;
cg_omega[2] = 2.483*pi;
}
if ((t > ((1.208*i)+0.7048)) && (t <= ((1.208*i)+1.208)))
{
cg_vel[0] = 0.0;
cg_vel[1] = 0.0;
cg_vel[2] = 0.0;

cg_omega[0] = 0.0;
cg_omega[1] = 0.0;
cg_omega[2] = 0.0;
}
}

```

C. Pengolahan Data

Dari data gaya yang diperoleh pada tiap lengan pada sumbu x maupun sumbu y, kemudian akan dihitung nilai resultan gaya tangensialnya untuk kemudian dikalikan dengan jari-jari turbin sehingga didapatkan torsi tiap lengan. Contoh perhitungan pada variasi konfigurasi *out* sudut bukaan 30° , kecepatan 0.17 m/s pada sudut azimuth 0° yaitu sebagai berikut

Lengan 1 :

$$F_x = 0.0793 \text{ N}$$

$$F_y = 0.1087 \text{ N}$$

$$F_t \text{ Lengan 1} = -((F_y \sin 0^\circ) + (F_x \cos 0^\circ))$$

$$F_t \text{ Lengan 1} = -((0.01087 \sin 0^\circ) + (0.0793 \cos 0^\circ))$$

$$F_t \text{ Lengan 1} = -(0.0793 + 0)$$

$$F_t \text{ Lengan 1} = -0.0793 \text{ N}$$

$$Torsi \text{ lengan 1} = F_t \text{ Lengan 1} \times r_{\text{turbin}}$$

$$Torsi \text{ lengan 1} = -0.0793 \times 0.125$$

$$Torsi \text{ lengan 1} = -0.00991 \text{ Nm}$$

Lengan 2 :

$$F_x = 1.4571 \text{ N}$$

$$F_y = 0.6208 \text{ N}$$

$$F_t \text{ Lengan 2} = (F_x \cos(180^\circ - 120^\circ)) + (F_y \sin(180^\circ - 120^\circ))$$

$$F_t \text{ Lengan 2} = ((1.4571 \cos 60^\circ) + (0.6208 \sin 60^\circ))$$

$$F_t \text{ Lengan 2} = (0.72826 + 0.53763)$$

$$F_t \text{ Lengan 2} = 1.266 \text{ N}$$

$$Torsi \text{ lengan 2} = F_t \text{ Lengan 2} \times r_{\text{turbin}}$$

$$Torsi \text{ lengan 1} = 1.266 \times 0.125$$

$$Torsi \text{ lengan 2} = 0.15827 \text{ Nm}$$

Lengan 3 :

$$F_x = 1.17 \text{ N}$$

$$F_y = -0.5181 \text{ N}$$

$$Ft \text{ Lengan 3} = (F_x \sin (270^\circ - 240^\circ)) + (F_y \cos (270^\circ - 240^\circ))$$

$$Ft \text{ Lengan 3} = (1.17 \sin (30^\circ)) + (-0.5181 \cos (30^\circ))$$

$$Ft \text{ Lengan 3} = (0.585 - 0.448)$$

$$Ft \text{ Lengan 3} = 0.136 \text{ N}$$

$$\text{Torsi lengan 3} = Ft \text{ Lengan 3} \times r_{\text{turbin}}$$

$$\text{Torsi lengan 3} = 0.136 \times 0.125$$

$$\text{Torsi lengan 3} = 0.017 \text{ Nm}$$

$$\text{Torsi turbin total : Torsi lengan 1} + \text{Torsi lengan 2} + \text{Torsi lengan 3}$$

$$\text{Torsi turbin total : } -0.00991 \text{ Nm} + 0.15827 \text{ Nm} + 0.017 \text{ Nm}$$

$$\text{Torsi turbin total : } 0.1654 \text{ Nm}$$

$$\text{Torsi turbin total : } -0.00991 \text{ Nm} + 0.15827 \text{ Nm} + 0.017 \text{ Nm}$$

Untuk menghitung nilai C_l dan C_d , dari gaya-gaya yang telah dihasilkan dari simulasi akan diproyeksikan ke arah gaya *lift* dan gaya *drag* sesuai *angle of attack* kemudian dicari nilai koefisien *lift* dan *drag* nya. Berikut contoh perhitungan nilai C_l dan C_d yang bekerja pada lengan 1 dengan variasi konfigurasi *in*, sudut bukaan 90° , kecepatan inlet 0.29 m/s.

Lengan 1 :

$$F_x = 0.0793 \text{ N}$$

$$F_y = 0.1087 \text{ N}$$

$$Ft \text{ Lengan 1} = -((F_y \sin 0^\circ) + (F_x \cos 0^\circ))$$

$$Ft \text{ Lengan 1} = -((0.01087 \sin 0^\circ) + (0.0793 \cos 0^\circ))$$

$$Ft \text{ Lengan 1} = -(0.0793 + 0)$$

$$Ft \text{ Lengan 1} = -0.0793 \text{ N}$$

$$\text{Lift lengan 1} = Ft \text{ Lengan 1} \sin 0^\circ$$

$$\text{Lift lengan 1} = 0 \text{ N}$$

$$Cl \text{ lengan 1} = \frac{\text{Lift lengan 1}}{0.5 \rho A V^2}$$

$$Cl \text{ lengan } 1 = \frac{0}{0.5 \cdot 998.2 \cdot 0.05 \cdot 0.25 \cdot 0.29^2}$$

$$Cl \text{ lengan } 1 = 0$$

D. Pembuatan UDF

Pembuatan *user defined function* didasarkan pada RPM yang dihasilkan turbin serta sudut azimuth bukaan *flap*. Untuk mengatur bukaan *flap*, dilakukan pembagian zona waktu pada tiap variasi yang disimulasikan. Setelah mengetahui sudut azimuth kapan *flap* terbuka dan tertutup, sudut azimuth tersebut akan dituliskan dalam satuan waktu agar bisa terbaca oleh *software*. Berikut adalah contoh pembuatan UDF pada variasi konfigurasi *in*, sudut bukaan 30° dengan kecepatan inlet 0.17 m/s.

Tabel pembagian azimuth

Sudut azimuth	Jarak tempuh	Waktu yang diperlukan
0°-90°	90	4.2372881
90°-150°	60	2.8248588
150°-190°	40	1.8832392
190°-210°	20	0.9416196
210°-360°	150	7.0621469

Pada tabel di atas, kolom waktu yang diperlukan diisi menggunakan persamaan

$$t = \frac{\theta}{\omega}$$

Kolom sudut azimuth adalah pembagian zona azimuth dimana pada sudut 90°-150° *flap* mulai dalam proses pembukaan sedangkan pada 190°-210° *flap* mulai menutup kembali, sedangkan selain pada sudut azimuth tersebut, *flap* tidak bergerak atau diam. Kemudian nilai θ adalah jarak tempuh, sedangkan nilai ω diperoleh dari RPM turbin yang sudah dikonversi menjadi *rad/s*.

Kemudian akan dihitung nilai kecepatan sudut yang dimiliki *flap* pada sudut azimuth 90°-150° untuk terbuka sejauh sudut bukaan 30° yaitu menggunakan persamaan berikut

$$\omega = 2\pi f$$

$$\omega = 2\pi \frac{n}{t}$$

$$\omega = 2\pi \frac{\frac{\text{sudut bukaan max}}{360^\circ}}{2.8248588}$$

$$\omega = -0.06\pi \text{ rad/s}$$

Dimana nilai negatif menandakan *flap* bergerak berlawanan jarum jam (membuka).

Kemudian akan dihitung nilai kecepatan sudut yang dimiliki *flap* pada sudut azimuth 190° - 210° untuk menutup sejauh sudut bukaan 30° yaitu menggunakan persamaan berikut

$$\omega = 2\pi f$$

$$\omega = 2\pi \frac{n}{t}$$

$$\omega = 2\pi \frac{\frac{\text{sudut bukaan max}}{360^\circ}}{0.9416196}$$

$$\omega = 0.18\pi \text{ rad/s}$$

Dimana nilai positif menandakan *flap* bergerak searah jarum jam (menutup).

E. Data Hasil Simulasi

Konfigurasi *out*, sudut bukaan 30°, kecepatan 0.17 m/s

Sudut Azimuth	Lengan 1		Lengan 2		Lengan 3	
	Fx (N)	Fy (N)	Fx (N)	Fy (N)	Fx (N)	Fy (N)
0	0.0793	0.1087	1.4571	0.6208	1.1700	-0.5181
10	0.2311	-0.8999	0.5468	0.7773	1.7624	-0.4189
20	0.4702	-1.4563	0.2384	0.4846	1.6683	-0.1143
30	0.8667	-1.8246	0.1858	0.2959	1.6973	0.1043
40	1.4158	-1.8141	0.1434	0.0420	1.3483	0.2511
50	1.4881	-1.2475	0.1514	-0.3425	1.2366	0.4337
60	1.9719	-1.4353	0.2620	-0.5710	1.2058	0.8047
70	2.4985	-0.8257	0.4490	-0.7079	1.1549	0.9959
80	2.3161	-0.4304	0.6554	-0.6030	0.5717	0.5690
90	2.0604	-0.2657	0.7488	-0.4029	0.0319	-0.0931
100	2.3321	0.0772	0.9065	-0.5549	0.3356	1.3669
110	1.7128	0.5480	1.0508	-0.6745	0.1045	0.4286
120	1.2965	1.0499	1.7971	-0.8194	0.1106	-0.3125
130	1.0545	1.3171	2.1193	-0.6622	0.2471	-0.7855
140	0.6200	1.0287	1.1746	-0.1905	0.5279	-1.4302
150	0.3565	0.3569	1.1759	0.0358	0.9529	-1.9247
160	0.2597	0.1550	1.6711	0.3065	1.4465	-1.9071
170	0.1361	-0.0925	2.4230	1.2302	1.7831	-1.4321
180	0.1932	-0.3090	1.8468	1.0636	1.9210	-1.2377
190	0.3458	-0.4921	1.1813	0.9607	2.4206	-0.9901
200	0.5797	-0.6020	0.8544	1.0737	2.7079	-0.2980
210	0.7101	-0.5157	0.0794	-0.1601	2.4174	0.0054
220	0.7427	-0.4250	0.1202	0.2551	1.9807	0.0101
230	0.8819	-0.4926	0.1222	0.7797	2.0379	0.3814
240	1.2912	-0.5191	0.0987	-0.2979	1.2474	0.7103
250	1.5303	-0.3593	0.2536	-0.9132	0.8358	1.1324
260	1.1187	-0.1673	0.5110	-1.4009	0.5300	1.1367
270	1.0982	0.0280	0.8103	-1.6799	0.3198	0.7705
280	1.9301	0.4166	1.4161	-1.8660	0.2340	0.1261
290	2.5722	0.9299	1.7190	-1.3154	0.1903	-0.1924
300	2.0208	1.2880	1.6492	-1.0062	0.2468	-0.4645
310	1.2469	1.1132	2.2812	-1.0083	0.3855	-0.5880
320	0.8227	1.0004	2.2558	-0.4391	0.5506	-0.5637
330	0.1829	0.1684	2.6816	0.3773	0.6591	-0.3566
340	0.0892	0.0465	2.1939	0.7606	0.7406	-0.3549
350	0.1375	0.6387	1.5567	0.5982	0.8765	-0.4873
360	0.0793	0.1087	1.4571	0.6208	1.1700	-0.5181

Konfigurasi *out*, sudut bukaan 30°, kecepatan 0.21 m/s

Sudut Azimuth	Lengan 1		Lengan 2		Lengan 3	
	Fx (N)	Fy (N)	Fx (N)	Fy (N)	Fx (N)	Fy (N)
0	0.15697	-0.4963	1.811141	2.201507	2.948042	-1.37511
10	0.29424	-1.24032	0.819079	1.19171	2.414706	-0.5779
20	0.639739	-2.08503	0.563057	0.835741	2.399736	-0.24045
30	1.291407	-2.61995	0.382136	0.233502	2.189044	0.135473
40	1.843719	-2.19379	0.285893	-0.25306	1.970734	0.418764
50	1.800514	-1.60265	0.278906	-0.57002	1.739408	0.791938
60	2.64301	-1.66396	0.433659	-0.78439	1.886569	1.10605
70	3.195102	-1.01681	0.772329	-1.06952	1.409542	1.124763
80	3.098658	-0.80098	1.029302	-0.37221	0.413969	0.403931
90	3.669751	-0.51417	1.250705	-0.40314	0.194013	0.304923
100	3.057745	0.482551	1.360652	-0.72523	0.557023	1.543813
110	2.853503	1.414875	1.880217	-1.46627	0.100053	-0.19013
120	2.113923	1.449904	2.385753	-1.07287	0.173858	-0.08298
130	1.484155	0.620545	1.422627	-0.30198	0.307109	-0.87507
140	1.02038	0.861316	0.096604	-0.06	0.681765	-2.10505
150	0.45864	0.914095	1.12219	0.005597	1.520662	-3.04024
160	0.290534	0.847043	2.302922	0.508456	1.865957	-2.31965
170	0.252258	0.329277	2.470005	1.094697	2.427126	-1.87486
180	0.426683	-0.76586	2.152331	1.228838	2.556138	-1.61969
190	0.784823	-1.19397	0.966792	0.868316	3.624455	-1.59681
200	1.146104	-0.75174	0.646375	0.789761	3.744737	-0.46872
210	1.332867	-0.42944	0.152226	-0.05357	3.338389	0.039808
220	1.34322	-0.67459	0.287671	1.057414	2.637286	-0.08321
230	1.65241	-1.10143	0.156838	0.500949	2.9213	0.78067
240	2.558515	-1.11562	0.145771	-0.61836	1.841101	1.436198
250	2.460913	-0.68094	0.32223	-1.1078	1.402674	1.831766
260	1.96455	-0.17871	0.695787	-2.0396	0.840536	1.100101
270	0.895054	-0.15393	1.203512	-2.55838	0.657456	0.378657
280	3.001193	0.734785	1.698004	-2.55933	0.310916	0.031614
290	2.703794	1.119797	2.036837	-1.83871	0.216628	-0.17076
300	2.072433	1.24313	2.590829	-1.85989	0.394649	-0.57922
310	1.520889	1.466972	3.392565	-1.05812	0.721312	-1.03764
320	0.522929	0.47981	3.477652	-0.61927	1.030411	-0.60641
330	0.214155	0.352048	3.73977	-0.34217	1.252314	-0.43226
340	0.548658	1.72874	3.619827	0.696708	1.366503	-0.61346
350	0.129459	-0.12408	1.954621	1.837595	1.832122	-1.30947
360	0.15697	-0.4963	1.811141	2.201507	2.948042	-1.37511

Konfigurasi *out*, sudut bukaan 30°, kecepatan 0.29 m/s

Sudut Azimuth	Lengan 1		Lengan 2		Lengan 3	
	Fx (N)	Fy (N)	Fx (N)	Fy (N)	Fx (N)	Fy (N)
0	0.1907	-0.5356	2.4356	1.9148	3.3963	-1.3545
10	0.4465	-2.0855	1.8108	2.1330	3.9815	-0.8871
20	1.0467	-3.6663	1.1438	0.6000	3.3519	-0.0925
30	1.9939	-4.1103	0.7979	0.0085	4.0508	0.2897
40	2.6923	-3.4734	0.5790	0.2681	4.0192	0.9591
50	3.1716	-2.7486	0.6363	-0.8011	3.4832	1.6105
60	4.1035	-2.9156	1.0083	-2.0580	3.0198	2.1663
70	4.8846	-1.8672	1.4781	-0.5127	2.1656	1.8123
80	4.7432	-1.6427	1.5992	-0.1186	0.7243	0.8266
90	5.1173	-0.4082	2.4213	-1.0991	1.2510	2.5235
100	5.7042	1.1298	2.5769	-1.4379	0.3261	0.6342
110	4.0363	0.7130	2.0819	-1.0388	0.2459	1.7854
120	3.3246	1.3157	2.2370	-0.5667	0.1905	-0.0424
130	2.5123	2.9023	3.7877	-1.1086	0.5094	-1.9690
140	1.5748	1.6758	3.6838	-0.2649	1.1435	-3.5892
150	1.0444	0.3979	3.5779	-0.0578	2.1971	-4.2791
160	0.5202	0.5109	5.8112	1.4144	2.7807	-3.6065
170	0.4907	-0.3765	4.0559	2.4751	3.5901	-3.0741
180	0.9056	-1.6218	3.6065	2.1487	4.8791	-3.2942
190	1.5784	-1.5589	2.5397	2.1966	5.5952	-1.9344
200	1.6309	0.1523	0.4034	0.5235	5.0725	-1.6436
210	2.3845	-1.1675	1.3386	2.3214	5.4318	-0.3573
220	2.5324	-1.2736	0.2752	0.5699	6.0712	1.3425
230	2.2098	-0.9871	0.2974	1.8379	4.2209	0.2679
240	2.4700	-0.9423	0.1997	-0.4317	3.2384	1.7291
250	4.0074	-1.1272	0.5247	-2.0179	2.6699	3.2388
260	3.6620	-0.0442	1.1329	-3.5711	1.3881	0.9391
270	4.4197	-0.1273	1.7541	-4.0158	0.9430	0.4207
280	5.6778	1.3814	3.0534	-3.8846	0.5311	0.4702
290	5.0957	2.2172	3.4926	-2.9603	0.5721	-0.7364
300	3.8762	2.2756	4.1007	-2.6029	0.9705	-1.8451
310	2.5720	2.4500	4.4981	-1.7241	1.5074	-1.0801
320	1.1056	1.2879	4.7057	-1.5537	1.6220	-0.2079
330	0.9140	1.5783	4.6304	-0.1999	2.2693	-0.8244
340	0.5013	1.4477	5.1025	1.7009	2.3367	-0.8830
350	0.2853	1.2860	3.2512	1.1973	2.1580	-0.9699
360	0.1907	-0.5356	2.4356	1.9148	3.3963	-1.3545

Konfigurasi *out*, sudut bukaan 45°, kecepatan 0.17 m/s

Sudut Azimuth	Lengan 1		Lengan 2		Lengan 3	
	Fx (N)	Fy (N)	Fx (N)	Fy (N)	Fx (N)	Fy (N)
0	0.1074	-0.0582	0.9933	0.8288	1.5521	-0.9530
10	0.2288	-0.9183	0.5118	0.8459	1.6372	-0.4482
20	0.4461	-1.3842	0.2183	0.5250	1.7917	-0.1453
30	0.8192	-1.8522	0.2597	0.2941	1.7724	0.0969
40	1.3654	-1.8387	0.2738	-0.0417	1.4098	0.2395
50	1.6109	-1.4326	0.3965	-0.4256	1.2101	0.4457
60	2.0653	-1.3098	0.6033	-0.5935	1.2901	0.8239
70	2.3058	-0.7292	0.6692	-0.3909	1.1748	0.9843
80	2.4471	-0.3675	0.6854	-0.1615	0.6163	0.6246
90	1.9457	-0.3347	0.8316	-0.2296	0.1921	0.1851
100	2.5550	0.0853	0.8794	-0.4423	0.1339	0.3944
110	1.7868	0.6576	1.0171	-0.9880	0.1148	0.6065
120	1.2853	1.1929	1.7685	-1.3368	0.1084	-0.3174
130	0.8897	1.3461	1.8908	-0.7481	0.2584	-0.8735
140	0.5245	1.0556	0.9326	-0.3093	0.5222	-1.4483
150	0.3122	0.4186	1.1891	0.1319	0.8973	-1.9268
160	0.3066	0.1460	2.0389	0.5818	1.5736	-2.0442
170	0.2414	-0.1823	2.5514	0.9733	1.8670	-1.4469
180	0.3378	-0.4231	1.5853	0.8107	1.8132	-1.1220
190	0.4819	-0.4801	1.3216	1.4358	2.5622	-1.1658
200	0.5657	-0.2869	0.8558	0.9321	2.5791	-0.4117
210	0.6854	-0.1388	0.1973	-0.0115	2.5710	0.1719
220	0.7776	-0.3489	0.0337	-0.3734	2.0652	0.4269
230	0.8329	-0.5996	0.1178	0.2071	1.7324	0.3805
240	1.0697	-0.6471	0.1924	-0.8264	1.5685	0.6942
250	1.1753	-0.2714	0.4913	-2.0238	0.8365	0.8688
260	1.1163	-0.1574	0.8927	-2.5112	0.5289	0.9421
270	1.3081	0.0842	1.4620	-2.5278	0.3235	0.8282
280	1.9322	0.4763	1.6483	-1.8102	0.2784	0.6180
290	2.1672	1.0246	2.4551	-1.9867	0.2799	0.0346
300	2.0876	1.3678	2.5920	-0.7213	0.4731	-0.5579
310	1.2865	0.8564	2.6420	-0.7068	0.6575	-0.6635
320	0.1610	0.1511	3.2111	-0.7105	0.7565	-0.3291
330	0.3803	0.8634	2.4560	0.1264	0.9735	-0.4129
340	0.1378	0.0763	2.1881	1.3344	0.9787	-0.5806
350	0.0520	-0.2178	1.8301	1.5781	1.2396	-1.2002
360	0.1074	-0.0582	0.9933	0.8288	1.5521	-0.9530

Konfigurasi *out*, sudut bukaan 45°, kecepatan 0.21 m/s

Sudut Azimuth	Lengan 1		Lengan 2		Lengan 3	
	Fx (N)	Fy (N)	Fx (N)	Fy (N)	Fx (N)	Fy (N)
0	0.123923	-0.3847	1.516566	1.734324	2.0457	-0.68524
10	0.297366	-1.2727	0.80206	1.272506	2.265684	-0.57521
20	0.589479	-1.95827	0.593593	0.817971	2.423553	-0.25679
30	1.106462	-2.56754	0.518693	0.104447	2.321762	0.104782
40	1.796751	-2.30918	0.567395	-0.47427	2.035198	0.41966
50	2.339551	-2.13968	0.739811	-0.74609	1.849669	0.780529
60	3.127178	-1.62054	0.996178	-0.64319	1.831002	1.160807
70	3.223552	-1.2451	0.890268	0.262074	1.342852	1.081329
80	3.439207	-1.20177	0.989718	0.111459	0.155646	-0.01131
90	3.074205	-0.25548	1.320547	-0.20179	0.520822	1.281409
100	3.349923	0.911825	1.314773	-0.84762	0.238217	0.509286
110	2.72667	1.154608	1.421066	-1.53212	0.139381	0.351325
120	2.096138	0.691285	1.528621	-0.61918	0.141426	-0.0351
130	1.409342	0.924468	0.59524	0.055739	0.321812	-1.14319
140	0.765025	1.377267	0.608718	-0.23453	0.694936	-2.13803
150	0.60469	1.419607	1.473848	-0.1848	1.181123	-2.6169
160	0.4684	0.778745	2.673043	0.68913	1.968651	-2.44195
170	0.534673	-0.46791	2.731738	1.196338	2.386002	-2.13404
180	0.822239	-1.07503	1.717198	1.057894	2.768054	-1.40727
190	1.099603	-0.92672	1.431325	1.467772	3.033016	-1.20516
200	1.115136	0.085881	0.461744	0.24662	3.82784	-1.11472
210	1.380197	-0.284	0.586649	1.004602	3.430153	0.025535
220	1.409516	-0.79858	0.119165	-0.20028	3.522394	1.132378
230	1.37612	-1.30977	0.169384	-0.03786	2.565261	1.061679
240	1.452932	-0.4584	0.294554	-0.9963	2.218103	0.84336
250	0.652705	0.061965	0.67251	-2.74187	1.43442	1.232194
260	0.972855	-0.31432	1.185179	-3.49514	0.878528	1.443833
270	1.66347	-0.07229	1.944666	-3.28261	0.660696	1.386433
280	2.725667	0.773952	2.311908	-2.72639	0.53611	0.417044
290	2.711212	1.235052	2.543648	-1.60504	0.63666	-0.65206
300	2.087006	1.32792	2.887432	-1.30512	0.880913	-1.10025
310	1.657413	1.394004	3.949438	-1.51774	1.046866	-0.54277
320	0.437488	0.389087	3.407161	0.012172	1.130006	-0.12777
330	0.165146	0.192717	3.698613	0.821888	1.412952	-0.5266
340	0.484452	1.960449	2.720244	0.595405	1.313424	-0.69672
350	0.15389	1.167484	2.963693	1.008945	1.486433	-1.20212
360	0.123923	-0.3847	1.516566	1.734324	2.0457	-0.68524

Konfigurasi *out*, sudut bukaan 45°, kecepatan 0.29 m/s

Sudut Azimuth	Lengan 1		Lengan 2		Lengan 3	
	F _x (N)	F _y (N)	F _x (N)	F _y (N)	F _x (N)	F _y (N)
0	0.173793	-0.00187	2.924	1.976089	1.962992	-0.67923
10	0.453346	-2.1525	1.854448	2.294136	3.710307	-0.81193
20	0.937519	-3.44034	1.361565	0.740456	3.941344	-0.39656
30	1.772688	-4.17305	1.027847	-0.5513	4.053061	0.221721
40	2.790007	-3.59962	1.123641	-0.582	4.098526	1.00246
50	3.678386	-3.12924	1.557189	-1.52126	3.645147	1.683551
60	4.298948	-2.88858	2.180085	-0.69972	3.267252	2.107444
70	5.197596	-2.27059	1.307522	1.235995	2.099232	1.9287
80	5.772374	-1.16947	2.031661	0.118592	0.582734	0.437968
90	4.861714	-1.16172	2.343633	0.510339	1.210569	2.851236
100	5.193095	0.860507	2.536962	-0.89279	0.509247	1.408494
110	5.339252	2.457287	2.414667	-2.60984	0.235159	0.727523
120	3.485695	1.108203	2.010763	-0.42625	0.211714	0.200605
130	1.995749	1.707109	1.166916	-0.2931	0.507196	-2.1898
140	1.713189	2.977604	2.93659	-0.98439	1.076229	-3.62301
150	1.286555	0.988676	5.611259	0.967174	1.926698	-4.33189
160	0.876707	-0.39659	5.86133	1.043101	2.968634	-3.68176
170	0.903555	-0.83876	4.950625	2.11465	3.569203	-3.19596
180	1.543442	-1.96509	3.963915	3.140625	4.219324	-2.64557
190	1.527907	0.603262	2.523005	2.745606	5.57726	-2.39804
200	1.522619	0.425384	0.79774	0.091342	6.212883	-1.02848
210	2.608631	-0.59659	1.377445	2.410296	5.326234	-0.87413
220	2.573058	-0.55583	0.588154	1.4513	5.009726	0.74869
230	2.563696	-2.32086	0.25719	-0.22992	5.219376	2.852944
240	2.029429	-0.5024	0.531457	-1.72563	3.053024	1.52619
250	0.790348	0.106226	1.053764	-4.61947	2.448781	1.917721
260	3.035391	-0.79239	1.809735	-5.64687	1.769759	2.635907
270	4.86147	0.730543	3.129424	-4.9646	1.305175	0.952778
280	5.458653	1.310158	3.799376	-4.4654	0.969708	-0.54113
290	4.61956	2.184968	4.15499	-2.75685	1.137338	-1.17806
300	4.482863	3.212441	5.476116	-3.33486	1.662081	-1.62855
310	1.954381	1.222032	6.123151	-1.16781	1.286419	1.176213
320	0.698244	1.258146	5.626827	-1.05249	1.770152	0.093944
330	1.422721	2.391321	5.626671	0.099046	2.773053	-0.58022
340	0.313263	0.666246	5.80291	2.891191	2.465277	-0.9604
350	0.269362	2.445599	3.897588	1.61675	2.287253	-1.62612
360	0.173793	-0.00187	2.924	1.976089	1.962992	-0.67923

Konfigurasi *out*, sudut bukaan 60°, kecepatan 0.17 m/s

Sudut Azimuth	Lengan 1		Lengan 2		Lengan 3	
	Fx (N)	Fy (N)	Fx (N)	Fy (N)	Fx (N)	Fy (N)
0	0.115592	-0.05304	0.867736	0.725253	1.356238	-0.93958
10	0.231889	-0.9489	0.454011	0.832815	1.495249	-0.67115
20	0.466831	-1.4478	0.224199	0.524729	1.719746	-0.22196
30	0.831463	-1.79957	0.265017	0.328604	1.55935	0.157257
40	1.419306	-1.81347	0.274684	-0.01205	1.508802	0.270803
50	1.639174	-1.48628	0.385283	-0.42047	1.140607	0.417859
60	1.814021	-1.06837	0.592481	-0.5767	1.127914	0.679963
70	2.261537	-0.6391	0.679452	-0.39259	1.096825	0.896764
80	2.175853	-0.44011	0.691149	-0.11453	0.548628	0.485606
90	2.247283	-0.38891	0.903049	-0.31759	0.219489	0.29295
100	2.365335	0.18249	0.841518	-0.41584	0.170613	0.519307
110	1.543861	0.768334	1.09296	-1.05597	0.107984	0.337903
120	1.290061	1.363699	1.912026	-1.25585	0.11445	-0.34283
130	0.836028	1.300937	1.791647	-0.72371	0.289631	-0.96071
140	0.412288	0.605287	0.998536	-0.14495	0.544721	-1.43135
150	0.458455	0.33622	0.453302	-0.02061	0.975486	-1.97186
160	0.309334	0.045661	1.667443	0.418429	1.398272	-1.74485
170	0.293673	-0.23111	2.459718	0.927318	1.772001	-1.60598
180	0.428899	-0.31213	1.532567	0.929911	2.268915	-1.17392
190	0.529737	-0.27139	1.273492	1.226972	2.407601	-0.82558
200	0.55707	-0.04546	0.528052	0.403078	2.439684	-0.70162
210	0.749455	-0.22631	0.093294	0.15135	2.633994	-0.18981
220	0.81615	-0.47358	0.308551	0.937262	2.178721	0.771084
230	1.024274	-1.09461	0.070431	-0.26963	1.825311	1.400816
240	1.337884	-1.04119	0.127134	-0.36534	1.371452	1.24441
250	1.129688	-0.40557	0.236667	-0.70251	0.911835	0.616287
260	0.433064	0.034761	0.506706	-1.40978	0.696052	0.624328
270	0.446776	0.087164	0.901292	-1.8612	0.405625	0.471287
280	1.797822	0.383721	1.331245	-1.77206	0.244227	0.346914
290	1.994519	0.75954	2.014392	-1.68187	0.242755	0.171239
300	1.80721	1.126893	2.259036	-1.07176	0.394378	-0.06522
310	1.326828	1.042433	2.193015	-0.8184	0.503971	-0.25208
320	0.526934	0.519192	2.607011	-0.76769	0.57487	-0.13168
330	0.299247	0.693003	2.648069	0.427229	0.702801	-0.16398
340	0.233149	0.430077	1.753474	1.730563	0.783983	-0.50143
350	0.036908	-0.24649	1.155914	1.737686	0.936013	-1.02213
360	0.115592	-0.05304	0.867736	0.725253	1.356238	-0.93958

Konfigurasi *out*, sudut bukaan 60°, kecepatan 0.21 m/s

Sudut Azimuth	Lengan 1		Lengan 2		Lengan 3	
	F _x (N)	F _y (N)	F _x (N)	F _y (N)	F _x (N)	F _y (N)
0	0.126669	0.128464	2.069627	0.75206	1.34796	-0.53364
10	0.299652	-1.31661	0.746032	1.259013	2.149184	-0.96814
20	0.619119	-2.06392	0.613604	0.817442	2.222152	-0.42375
30	1.151565	-2.52232	0.518978	0.149297	2.068014	0.202998
40	1.953806	-2.33514	0.572318	-0.46161	2.248118	0.466519
50	1.969906	-1.80117	0.754384	-0.79819	1.794054	0.745548
60	2.701752	-1.63994	0.954549	-0.61065	1.777553	1.109801
70	3.544682	-1.13719	0.854181	0.270846	1.580322	1.325441
80	2.961579	-0.96589	0.955626	0.074856	0.301993	0.132328
90	3.60074	-0.48498	1.323004	-0.34261	0.412398	1.031775
100	3.19445	0.847971	1.185	-0.65756	0.449929	1.26815
110	2.927448	1.662494	1.500983	-1.589	0.120175	-0.0064
120	1.830104	1.08996	1.946232	-1.07483	0.162101	-0.10652
130	1.589322	0.887811	0.814637	-0.11671	0.359098	-1.22581
140	0.848189	0.974708	0.183229	-0.07291	0.735949	-2.12408
150	0.59905	1.109238	1.318587	0.002938	1.358693	-2.71688
160	0.505839	0.862872	2.345025	0.585325	2.002688	-2.58447
170	0.658657	-0.2671	2.740848	1.098592	2.276551	-1.82704
180	1.030013	-0.92774	1.789294	1.117213	3.090065	-2.12016
190	1.205441	-0.51998	1.365149	1.337821	3.648222	-1.14415
200	1.121273	0.256108	0.232626	-0.03118	3.271255	-0.66435
210	1.394519	-0.26516	0.335631	0.782549	3.371252	-0.44796
220	1.4141	-0.86939	0.483152	1.438381	3.018243	0.532024
230	1.826595	-1.90399	0.090074	-0.3338	2.556947	1.908587
240	2.309019	-1.04795	0.175856	-0.33027	1.971019	1.837419
250	1.622896	-0.22307	0.314429	-0.9093	1.103608	0.689556
260	-0.23824	-0.09103	0.685653	-2.00898	0.984301	0.806618
270	0.706521	0.000931	1.190729	-2.52654	0.5773	0.646456
280	2.253152	0.49149	1.732858	-2.21139	0.510852	0.599394
290	2.268655	0.927103	2.672805	-2.28219	0.639391	-0.06916
300	2.003768	1.172795	3.274752	-1.58592	1.039321	-0.85664
310	1.193368	0.921571	3.007134	-1.31304	1.167629	-0.46161
320	0.030035	-0.03253	3.930861	-1.06402	1.126836	0.164473
330	0.593147	1.168486	3.940439	1.26019	1.376087	-0.14972
340	0.082132	-0.14283	3.210129	2.376193	1.427155	-0.88404
350	0.121089	0.500087	1.531665	1.189444	1.332593	-1.52122
360	0.126669	0.128464	2.069627	0.75206	1.34796	-0.53364

Konfigurasi *out*, sudut bukaan 60°, kecepatan 0.29 m/s

Sudut Azimuth	Lengan 1		Lengan 2		Lengan 3	
	Fx (N)	Fy (N)	Fx (N)	Fy (N)	Fx (N)	Fy (N)
0	0.232875	0.642694	3.464094	0.993701	2.779956	-1.00652
10	0.454594	-2.23604	1.780313	2.223616	3.820401	-1.52392
20	0.983824	-3.62603	1.337162	0.663957	3.67067	-0.61354
30	1.936382	-4.19104	1.059646	-0.31477	3.876404	0.562625
40	3.092607	-3.57688	1.145335	-0.39388	4.605052	0.873443
50	3.506101	-3.31559	1.601208	-1.62579	4.208625	1.949158
60	4.281789	-2.4189	2.087349	-0.82487	4.578898	2.980003
70	5.283278	-2.54414	1.207073	1.217303	1.821872	1.531658
80	5.269138	-1.13318	1.886716	0.084627	1.359404	1.514965
90	5.383245	-0.40171	2.390605	0.041426	0.64757	1.245901
100	5.432592	0.043711	1.991894	0.001814	0.758012	2.937321
110	4.213854	2.095619	2.867999	-2.73289	0.194161	0.164988
120	3.842957	3.079113	3.615537	-1.80318	0.273298	-0.32395
130	2.319979	1.234434	1.132862	-0.1185	0.568004	-2.02882
140	1.448687	1.576508	1.093177	-0.27481	1.135677	-3.55049
150	1.402049	1.806525	3.85645	0.262219	2.06437	-4.09449
160	1.223473	-0.7149	4.854666	1.420316	3.044741	-3.74224
170	1.599796	-1.77744	4.366324	1.607459	3.818941	-3.50773
180	2.011386	-0.42704	3.865817	2.665653	4.944462	-2.79575
190	1.296949	1.28642	1.215777	0.906332	5.352145	-2.52599
200	1.965976	0.207337	1.446784	1.816925	5.797949	-1.11639
210	2.476906	0.147981	0.35854	0.246384	6.525185	0.222822
220	2.224546	-0.33546	0.781955	2.939923	5.474806	0.147311
230	2.969787	-2.75205	0.20523	0.007248	4.038456	2.021735
240	4.347081	-1.71572	0.267304	-0.32841	3.546587	3.612354
250	1.888396	-0.28191	0.486108	-1.65131	1.785868	1.277202
260	0.258892	-0.06343	1.118966	-3.55014	1.69795	1.038034
270	3.050828	0.149728	1.87495	-3.88745	1.159581	0.915138
280	4.690789	1.148934	2.67524	-3.25698	1.293726	-0.49721
290	3.942121	1.648496	4.299856	-3.60279	1.705938	-2.00432
300	3.455186	2.034252	4.697557	-2.8585	2.066364	0.231821
310	1.692352	1.638556	6.008702	-2.52977	1.449139	0.951376
320	0.502923	0.230646	6.485695	-1.00279	2.191961	0.215843
330	0.970555	2.412783	5.912538	-0.10123	2.417236	0.477626
340	0.609019	1.684194	4.861076	1.760265	2.59596	-0.86904
350	0.142103	0.222935	4.262226	4.064787	3.035622	-3.26133
360	0.232875	0.642694	3.464094	0.993701	2.779956	-1.00652

Konfigurasi *out*, sudut bukaan 90°, kecepatan 0.17 m/s

Sudut Azimuth	Lengan 1		Lengan 2		Lengan 3	
	F _x (N)	F _y (N)	F _x (N)	F _y (N)	F _x (N)	F _y (N)
0	0.095241	0.034451	1.022299	0.429704	0.907377	-1.08356
10	0.229629	-0.92128	0.35785	0.774351	1.759719	-0.71183
20	0.482395	-1.45652	0.270797	0.51079	1.672479	-0.24135
30	0.83214	-1.81569	0.364097	0.320434	1.704879	0.196384
40	1.32701	-1.83462	0.438322	-0.05914	1.513485	0.362527
50	1.586114	-1.397	0.565367	-0.34246	1.282233	0.441132
60	2.183191	-1.36427	0.670307	-0.27159	1.232634	0.701795
70	2.591267	-0.75499	0.550905	-0.10486	1.171941	0.992174
80	2.395107	-0.41054	0.545246	-0.02497	0.551636	0.44307
90	2.272706	-0.34533	0.67365	-0.22171	0.091621	-0.02814
100	2.626607	0.243837	0.841699	-0.74673	0.21769	0.790187
110	1.486483	0.830569	0.986197	-1.46204	0.119984	0.444151
120	0.995247	1.429758	1.621849	-1.73483	0.121332	-0.56019
130	0.655341	1.339051	1.839326	-0.95756	0.278004	-0.97349
140	0.497481	0.696804	1.077644	-0.1975	0.549473	-1.51833
150	0.576795	0.263849	0.859616	0.073033	0.951126	-1.98848
160	0.527556	0.031258	1.94153	0.509865	1.645706	-2.16661
170	0.516233	-0.26029	2.54463	0.959801	1.769622	-1.34278
180	0.469275	-0.20848	1.608087	0.965144	1.967203	-1.26708
190	0.430659	-0.02943	1.632233	1.438173	2.457204	-0.91289
200	0.466595	-0.01712	0.819252	0.821123	2.947126	-0.25764
210	0.606781	-0.21329	0.178175	0.13856	2.587377	0.133292
220	0.77101	-0.58818	0.181791	0.53022	2.214175	0.223231
230	0.890618	-1.18229	0.135778	1.052417	2.07304	0.650931
240	1.270796	-1.31123	0.092477	-0.15625	0.858046	0.856889
250	1.69666	-0.76117	0.24166	-0.83708	0.749445	1.243954
260	1.346784	-0.37341	0.513628	-1.43788	0.695677	1.116738
270	1.550515	0.209492	0.873724	-1.84461	0.579811	0.804258
280	1.81227	0.349181	1.481189	-1.93605	0.560054	0.126819
290	2.722231	1.007427	1.659061	-1.48852	0.590833	-0.13618
300	1.877524	1.091018	1.910987	-1.05104	0.574669	-0.21953
310	1.528989	1.420321	2.062698	-0.99882	0.491078	-0.12202
320	0.732637	0.830311	2.478879	-0.58091	0.438924	-0.05385
330	0.40266	0.66729	2.622999	0.403028	0.575736	-0.20946
340	0.072608	-0.01075	2.302972	1.03432	0.675888	-0.53257
350	0.113351	0.351491	1.604098	0.990702	0.822623	-1.14542
360	0.095241	0.034451	1.022299	0.429704	0.907377	-1.08356

Konfigurasi *out*, sudut bukaan 90°, kecepatan 0.21 m/s

Sudut Azimuth	Lengan 1		Lengan 2		Lengan 3	
	Fx (N)	Fy (N)	Fx (N)	Fy (N)	Fx (N)	Fy (N)
0	0.152423	0.014991	1.133912	1.534293	1.958325	-1.57334
10	0.296477	-1.28499	0.714049	1.206884	2.255979	-1.31887
20	0.62953	-2.03992	0.750975	0.75846	2.113611	-0.69895
30	1.151133	-2.47988	0.674617	0.012169	2.217947	0.128754
40	2.048555	-2.65029	0.93849	-0.53852	2.199446	0.623868
50	2.179851	-1.73066	1.082763	-0.62178	1.952961	0.787332
60	2.755476	-2.04228	0.972999	0.300319	2.1252	1.233077
70	3.358776	-1.33155	0.657534	0.451166	1.818596	1.618205
80	3.193766	-0.77151	0.751872	0.130557	0.28725	0.007014
90	2.949759	-0.60492	0.99317	-0.23246	0.444306	0.814257
100	2.937437	0.488815	1.022348	-1.15758	0.518982	1.291914
110	2.58515	1.859385	1.456236	-1.86794	0.088431	-0.15821
120	1.905936	2.045029	1.872002	-1.66341	0.170511	-0.36659
130	1.017993	0.720219	1.357273	-0.18703	0.379039	-1.33937
140	1.053818	0.609555	-0.0573	0.002	0.787316	-2.39819
150	0.698572	0.454559	0.840168	0.053276	1.290202	-2.78005
160	0.732842	0.354373	2.311323	0.483766	1.771077	-2.36358
170	0.902808	-0.09917	2.408782	1.063313	2.341321	-2.1633
180	0.882604	-0.13471	2.127149	1.434877	2.80995	-1.54151
190	0.702501	0.32932	1.31233	0.969358	3.437427	-1.55811
200	0.725609	0.344232	0.558744	0.710484	3.547264	-0.65717
210	1.010047	-0.19408	0.278479	0.289055	3.978691	0.420198
220	1.059631	-0.94467	0.216844	0.646655	2.963915	0.650152
230	1.174864	-1.75762	0.154455	1.062881	2.833748	0.753055
240	1.671683	-1.17609	0.134805	-0.35469	1.535709	1.144269
250	1.944895	-0.46499	0.33329	-1.2331	1.273568	1.720248
260	2.426823	0.023611	0.737508	-2.17881	1.252266	1.685494
270	2.245882	0.058958	1.166767	-2.54709	0.966155	0.595667
280	2.961158	0.575673	1.941175	-2.42646	1.145978	-0.17582
290	3.161455	1.319277	1.974608	-1.83028	1.135661	-0.57538
300	2.166677	1.330303	2.691053	-1.6737	1.007253	0.06441
310	1.614875	1.502248	2.800663	-0.9403	0.652894	0.406335
320	0.675586	0.611635	2.75669	-0.76434	0.752819	0.154238
330	0.410074	0.796357	3.592297	-0.31782	0.930729	-0.18118
340	0.300805	0.821871	2.772736	0.901442	1.095936	-1.13608
350	0.106148	0.028679	2.338973	2.122469	1.441675	-2.13211
360	0.152423	0.014991	1.133912	1.534293	1.958325	-1.57334

Konfigurasi *out*, sudut bukaan 90°, kecepatan 0.29 m/s

Sudut Azimuth	Lengan 1		Lengan 2		Lengan 3	
	Fx (N)	Fy (N)	Fx (N)	Fy (N)	Fx (N)	Fy (N)
0	0.274804	-0.04419	2.408182	2.635249	3.386727	-1.60726
10	0.452439	-2.1874	1.813071	2.018388	3.509212	-3.22388
20	1.016905	-3.5345	1.525852	0.479603	3.519363	-1.02728
30	1.725745	-3.93656	1.56003	-0.73414	4.559055	0.652412
40	2.834378	-3.78078	1.765525	-1.07725	4.685898	1.016601
50	3.78273	-3.40708	2.039965	0.344646	4.829177	2.225793
60	4.633214	-2.74573	1.420989	1.858201	4.879026	2.857313
70	6.011806	-2.64424	1.354661	0.873394	2.382421	2.301127
80	6.207501	-0.98886	1.433656	0.931276	1.01827	0.789711
90	5.033385	-0.8615	1.719682	0.597324	1.21788	2.230305
100	5.413122	0.699336	2.028315	-1.75622	0.721628	1.819368
110	5.013835	3.356588	2.729484	-4.34476	0.209735	0.205852
120	2.536139	1.52347	2.826352	-0.94401	0.254897	-0.27342
130	2.470515	1.75105	0.502077	0.180684	0.558673	-2.34161
140	2.14418	2.510962	2.092431	-0.91012	1.107953	-3.76958
150	1.774903	0.652529	5.043431	0.627394	2.202844	-4.55888
160	2.109789	-1.24386	5.096419	1.330627	2.762319	-3.41082
170	2.399019	-0.57839	4.761123	1.96879	4.092367	-3.72316
180	1.314222	2.184061	4.14853	3.014794	4.871186	-2.83149
190	1.352247	1.051025	2.056134	1.761105	5.77983	-2.65875
200	1.626603	0.856296	0.980718	0.854796	6.433186	-0.76818
210	1.746826	0.532911	0.703743	1.519217	5.488585	-0.31175
220	1.989642	-1.52997	0.803172	2.823927	5.588556	0.506453
230	3.087967	-4.77645	0.186736	0.264097	4.144976	3.531249
240	3.354774	-1.42837	0.225496	0.431789	2.683436	2.280575
250	0.666776	0.101195	0.471431	-1.65143	2.74524	1.464021
260	1.374892	-0.61861	1.045109	-3.57555	1.636676	0.869771
270	4.224702	0.382865	1.90497	-4.23953	1.83892	0.411508
280	4.997684	1.450768	2.937949	-3.53943	2.146611	-1.6779
290	4.530189	1.575467	3.854147	-3.75885	2.699579	-0.20516
300	3.671068	2.749667	4.641081	-2.78148	1.331987	2.257391
310	1.822877	1.576757	5.563729	-2.65768	1.491157	0.921165
320	0.942615	0.996083	6.263849	-0.96336	1.543197	1.032489
330	0.699012	1.76936	5.595225	-0.33748	1.697522	0.590871
340	0.997911	3.084682	6.007702	0.796965	1.724632	-1.12541
350	0.167478	-0.16915	4.003359	3.913426	3.175546	-4.89388
360	0.274804	-0.04419	2.408182	2.635249	3.386727	-1.60726

Konfigurasi *in*, sudut bukaan 30°, kecepatan 0.17 m/s

Sudut Azimuth	Lengan 1		Lengan 2		Lengan 3	
	Fx (N)	Fy (N)	Fx (N)	Fy (N)	Fx (N)	Fy (N)
0	0.108178	-0.33844	1.58582	0.909459	1.356886	-0.55973
10	0.171529	-0.7631	0.758876	0.498678	1.46686	-0.34795
20	0.356349	-1.21544	0.397593	0.269994	1.298762	-0.03549
30	0.676975	-1.4043	0.301532	0.048185	1.395864	0.101578
40	0.965663	-1.19014	0.282098	-0.06946	1.327066	0.290211
50	1.269942	-1.07323	0.233618	-0.10414	1.283729	0.534198
60	1.249971	-0.7696	0.18988	-0.25279	1.305892	0.747584
70	1.495479	-0.77535	0.211138	-0.45905	0.573822	0.472415
80	1.622306	-0.40537	0.37612	-0.76802	0.408322	0.387775
90	1.742908	-0.13466	0.482638	-0.33427	0.204136	0.268048
100	1.58655	-0.01076	0.777076	-0.59594	0.2586	0.798079
110	1.258681	0.392337	1.478719	-0.85586	0.098125	-0.06353
120	1.355505	0.742101	1.164036	-0.43775	0.099595	-0.342
130	0.855282	0.266523	0.361218	-0.0939	0.181354	-0.61794
140	0.582898	0.325611	0.387161	-0.08495	0.38342	-1.27865
150	0.57093	0.574371	1.404801	0.140516	0.640334	-1.43024
160	0.481761	0.180894	1.785872	0.4607	1.067425	-1.21509
170	0.28045	-0.32776	1.49893	0.53689	1.175054	-1.07158
180	0.195894	-0.25248	1.309631	0.854806	1.372283	-0.82029
190	0.222375	-0.39719	0.691831	0.574305	1.644828	-0.77742
200	0.334234	-0.66387	0.405542	0.409905	1.654377	-0.3769
210	0.467545	-0.35856	0.186894	0.21294	1.683359	-0.16752
220	0.787065	-0.56451	0.300356	0.958871	1.769375	0.050771
230	1.367633	-0.67335	0.079766	-0.15712	1.360903	0.432106
240	1.268919	-0.55645	0.101092	-0.30164	1.424437	0.737003
250	0.310619	-0.06909	0.184028	-0.6917	0.964527	0.355148
260	0.417031	-0.08652	0.380649	-1.25423	0.587497	0.363307
270	1.395339	0.108598	0.715697	-1.39141	0.608152	0.635515
280	1.760165	0.447853	0.891602	-1.12474	0.479893	0.100616
290	1.438392	0.582619	1.384307	-1.26622	0.27092	-0.32818
300	1.363442	0.903613	1.591941	-0.91516	0.19524	-0.19601
310	0.41235	0.282685	1.749088	-0.90717	0.206907	-0.40103
320	0.503984	0.548756	2.044411	-0.33203	0.368215	-0.78307
330	0.145377	0.109613	2.106421	-0.0217	0.512531	-0.36826
340	0.283665	0.661807	1.938825	-0.02762	0.782678	-0.61527
350	0.070015	-0.12064	1.572146	0.51633	1.291841	-0.61129
360	0.108178	-0.33844	1.58582	0.909459	1.356886	-0.55973

Konfigurasi *in*, sudut bukaan 30°, kecepatan 0.21 m/s

Sudut Azimuth	Lengan 1		Lengan 2		Lengan 3	
	F _x (N)	F _y (N)	F _x (N)	F _y (N)	F _x (N)	F _y (N)
0	0.695674	-5.20294	6.022359	3.172574	3.538093	-1.57149
10	1.901784	-6.50062	2.571838	3.363923	6.704865	-0.9133
20	3.53517	-8.39381	1.694092	2.647969	8.355127	-0.03657
30	5.75967	-9.76585	0.639783	2.031628	9.024119	1.234473
40	8.324207	-10.4895	0.333866	1.326835	9.687725	2.534209
50	10.98064	-10.2052	-0.34963	-0.06622	7.427112	2.911167
60	13.01826	-9.02985	-0.45183	-1.29631	3.378504	1.690705
70	13.66517	-6.83246	-0.04532	-2.35194	1.811408	1.183191
80	14.12445	-4.25184	0.707816	-0.34176	0.377356	0.006926
90	13.97172	-1.83577	-0.24909	-0.61775	0.280698	0.066924
100	11.37413	0.687151	2.389831	-2.08751	-0.1735	-1.61946
110	8.356142	2.576321	3.485007	-2.1299	-0.01	-3.12507
120	5.194694	3.342905	4.61729	-1.80763	0.687364	-4.1506
130	3.496792	3.563185	5.156491	-1.1585	1.779484	-6.06619
140	2.329455	3.142149	5.305628	-0.46064	3.380426	-7.36439
150	3.768387	3.374797	4.981689	0.227049	5.549219	-8.65766
160	0.826626	1.460423	4.43569	0.889961	7.593536	-8.99543
170	0.416698	0.85186	3.372337	1.215506	9.659648	-8.67771
180	0.11249	0.065453	2.878081	1.262833	11.37943	-7.52288
190	3.346452	7.006939	1.928892	1.290347	12.41104	-5.83911
200	0.265924	0.444497	0.107993	-0.48996	12.60486	-3.69296
210	-2.94736	0.148719	-0.60472	-1.65125	11.96543	-1.4861
220	1.116874	-1.17813	-0.38278	-2.30051	10.2028	0.554508
230	1.802321	-1.22457	-0.0398	-2.75235	10.25973	2.387155
240	2.401684	-1.02161	0.692481	-4.18209	8.787651	3.414227
250	3.138378	-0.742	1.704146	-5.52759	6.211385	3.660236
260	4.230297	-0.45268	3.177482	-7.076	3.691626	3.274524
270	4.572649	0.260867	5.488471	-8.65187	1.483796	2.210629
280	4.315832	0.985518	7.662236	-8.98613	-0.08618	0.695417
290	2.974666	0.948501	9.883368	-8.70987	-0.79375	-0.82131
300	1.441647	0.655968	11.67017	-7.54694	-0.61726	-2.06915
310	0.644915	0.124378	12.17979	-5.62089	0.009867	-2.93527
320	-0.01098	-0.28436	12.27616	-3.69905	1.241942	-2.09648
330	-0.59434	-1.83576	11.62664	-1.46209	1.33161	-2.44989
340	-0.44848	-2.2955	10.08567	0.466789	3.222427	-2.86184
350	-0.10737	-3.55146	8.388378	2.254346	3.272536	-2.08554
360	0.695674	-5.20294	6.022359	3.172574	3.538093	-1.57149

Konfigurasi *in*, sudut bukaan 30°, kecepatan 0.29 m/s

Sudut Azimuth	Lengan 1		Lengan 2		Lengan 3	
	Fx (N)	Fy (N)	Fx (N)	Fy (N)	Fx (N)	Fy (N)
0	0.98483	-7.77437	11.84287	5.549917	4.743531	-1.99164
10	3.259595	-11.0995	5.102664	6.094224	11.98083	-1.38417
20	6.318727	-15.359	3.210162	4.625843	14.32945	0.68426
30	10.30745	-17.7335	1.349057	3.329635	16.06969	2.775108
40	14.43481	-18.3569	0.828019	2.245431	16.58785	4.944355
50	18.45457	-17.6693	-0.36679	-0.0051	12.37011	5.000513
60	21.47545	-15.5527	-0.67956	-2.18254	7.077721	3.734875
70	24.03987	-12.3476	-0.08749	-3.95006	2.530031	1.421457
80	24.10798	-8.06009	1.250775	-0.67417	0.717808	-0.06359
90	23.63935	-3.51889	0.013332	-0.71876	-0.35123	-1.73596
100	18.72191	1.232001	3.980278	-3.42976	-0.53883	-3.25904
110	13.64443	4.286843	5.804744	-3.58891	-0.16932	-5.16751
120	10.09269	5.923666	7.926958	-3.23151	0.885639	-6.43635
130	7.399403	6.038698	9.81321	-2.79583	2.850747	-9.73761
140	5.590865	5.479134	10.31394	-1.57207	5.885441	-13.2176
150	3.57854	4.336465	8.644713	0.320038	9.545493	-15.6137
160	2.269997	3.160288	6.707757	1.468968	13.19398	-15.9805
170	1.092879	1.959425	6.98836	2.878722	16.99458	-15.7102
180	0.199354	0.666503	4.929384	2.774602	20.27355	-13.7675
190	-0.18339	-0.60635	2.328298	1.556724	22.7184	-10.9942
200	0.008711	1.389215	-0.04273	-0.56876	22.5961	-7.23619
210	-1.58421	1.070016	-0.51907	-1.57832	21.83779	-3.30727
220	0.862779	-1.0566	-0.99702	-4.57412	18.82638	0.623583
230	1.89131	-1.57707	-0.2517	-5.64562	14.57245	3.62351
240	3.634272	-1.58326	1.095385	-7.78728	11.44011	5.45561
250	6.533925	-1.428	3.03651	-10.7555	8.5885	5.952066
260	8.430322	-0.38085	6.116031	-14.2463	6.155886	5.619542
270	9.905485	1.270635	9.72683	-16.0707	4.301566	4.478636
280	9.628612	2.816191	13.50578	-16.4244	2.561583	3.338766
290	6.671503	2.919661	17.1745	-15.7327	1.13641	1.968897
300	3.84968	2.056805	20.24289	-13.9586	0.153597	0.601569
310	2.574408	2.020136	21.36503	-10.2962	-0.37834	-0.90993
320	0.041057	-0.47815	22.48564	-6.79799	0.036924	0.529702
330	0.045449	-0.59748	20.70752	-2.79583	-1.45107	0.51112
340	-0.43211	-2.73464	16.67416	0.672592	1.452842	-1.67056
350	-0.20564	-5.87543	13.48735	3.430002	2.714893	-1.91959
360	0.98483	-7.77437	11.84287	5.549917	4.743531	-1.99164

Konfigurasi *in*, sudut bukaan 45°, kecepatan 0.17 m/s

Sudut Azimuth	Lengan 1		Lengan 2		Lengan 3	
	Fx (N)	Fy (N)	Fx (N)	Fy (N)	Fx (N)	Fy (N)
0	0.119257	-0.66541	1.740542	0.482542	1.482586	-0.72413
10	0.328485	-1.26576	0.901887	0.713146	2.292815	-0.44743
20	0.666813	-2.01606	0.405723	0.410953	2.384917	-0.2423
30	1.133259	-2.48736	0.086785	0.117063	2.231611	0.025466
40	1.675976	-2.68323	0.011761	-0.11662	1.839289	0.201106
50	2.487687	-2.44708	0.011468	-0.29342	1.528864	0.484866
60	2.555256	-1.52022	0.038715	-0.39461	1.474565	0.990647
70	2.724283	-0.86013	0.073086	-0.39112	1.29664	1.121296
80	2.394138	-0.45943	0.143796	-0.41325	0.791277	0.922161
90	2.348936	-0.23188	0.337215	-0.64931	0.452181	0.671373
100	2.276262	0.128231	0.682326	-0.63487	0.148132	0.166074
110	1.915953	0.484928	1.139575	-0.69767	0.08037	-0.00883
120	1.179423	0.730182	1.459638	-0.56035	0.12074	-0.92762
130	0.78064	0.937188	1.931721	-0.40271	0.349481	-1.59874
140	0.518656	0.899479	2.234568	-0.1278	0.70313	-2.07632
150	0.333497	0.73438	1.654651	0.022689	1.110813	-2.36744
160	0.230238	0.496271	0.776753	0.044651	1.608852	-2.443
170	0.160783	0.209267	1.058278	0.471961	2.443642	-2.31799
180	0.130283	-0.09981	1.625093	0.977451	2.191048	-1.54497
190	0.144669	-0.3313	1.15635	1.059522	2.149152	-1.08786
200	0.202395	-0.38942	0.791446	0.845183	2.482199	-0.73359
210	0.298252	-0.48959	0.35622	0.554327	2.53793	-0.26372
220	0.665284	-0.73686	0.19238	0.32198	1.967806	0.208663
230	1.044641	-0.75138	0.023768	-0.53084	1.532855	0.710325
240	1.318673	-0.61988	0.104212	-1.17003	1.274736	1.000744
250	1.643799	-0.45046	0.358045	-1.66605	1.081364	1.055556
260	1.871335	-0.24035	0.731559	-2.1958	0.727141	0.94676
270	1.689946	-0.0079	1.151683	-2.46366	0.448102	0.737784
280	1.394034	0.133578	1.645125	-2.50221	0.269927	0.517941
290	1.249897	0.357269	2.443579	-2.36401	0.159752	0.346279
300	1.464155	0.779644	2.871816	-1.91463	0.08621	0.211856
310	1.231287	1.072397	2.785294	-0.96038	0.077686	0.060878
320	0.849382	0.908437	2.908188	-0.38908	0.11044	-0.12342
330	0.547486	0.80466	2.612293	-0.03748	0.297805	-0.46562
340	0.102914	-0.13922	2.123188	0.152953	0.683904	-0.69543
350	0.040574	-0.45069	2.044068	0.361065	1.13172	-0.83183
360	0.119257	-0.66541	1.740542	0.482542	1.482586	-0.72413

Konfigurasi *in*, sudut bukaan 45°, kecepatan 0.21 m/s

Sudut Azimuth	Lengan 1		Lengan 2		Lengan 3	
	Fx (N)	Fy (N)	Fx (N)	Fy (N)	Fx (N)	Fy (N)
0	0.551342	-3.39085	8.251638	2.976784	4.43982	-1.5644
10	1.863693	-6.21456	0.853417	3.305013	6.876635	-0.87529
20	3.533466	-8.42659	0.164328	2.469229	7.81602	0.301869
30	5.760448	-9.78425	-0.79553	1.530366	8.756242	1.554276
40	8.021455	-10.1207	-0.84168	0.212092	9.51968	2.667633
50	10.39142	-9.84822	-1.18203	-1.38609	7.410006	2.760088
60	12.15511	-8.49078	-1.12156	-2.83724	4.271238	2.033155
70	13.04388	-6.54922	-0.41653	-3.63172	1.09517	0.307668
80	13.30604	-4.2721	1.312327	0.256199	-0.02802	-0.6256
90	12.81016	-1.84263	-1.63779	0.118245	-0.19598	-0.92867
100	10.4286	0.458683	2.555314	-2.20493	-0.33311	-1.91454
110	8.993315	2.223733	3.571168	-2.20628	0.023446	-2.49019
120	8.844162	3.727432	5.101373	-2.11635	0.686729	-3.97557
130	6.570195	3.601102	4.76839	-1.15707	1.653813	-5.79318
140	4.690223	3.28084	4.863931	-0.49684	3.438129	-7.84469
150	2.269176	2.458662	3.871036	0.36786	5.532285	-9.03525
160	1.15428	1.480636	4.147703	1.129354	7.741287	-9.30962
170	-0.01213	0.042099	3.532876	1.622275	9.743308	-8.85698
180	-0.37744	-1.44248	3.340646	1.916041	11.4914	-7.72491
190	7.603303	8.361675	1.930855	1.294722	12.77743	-5.96928
200	1.425983	-1.80085	0.042973	-0.6229	13.18433	-3.80345
210	6.731891	-8.06133	-0.00504	-0.77482	12.6007	-1.69141
220	1.333984	-1.48888	-0.18896	-1.62167	9.629306	0.644879
230	1.91652	-1.44646	-0.04544	-2.53108	7.245529	2.187612
240	2.54105	-1.16761	0.529935	-3.82426	7.114986	3.100914
250	3.445164	-0.82704	1.678754	-5.59433	6.191433	3.568373
260	4.435424	-0.25662	3.326005	-7.49773	4.223516	3.269169
270	4.817966	0.441504	5.53106	-8.87508	2.012085	2.161808
280	4.069391	1.011303	7.556458	-9.12327	1.168938	1.403189
290	3.480168	1.569126	9.558338	-8.58223	-0.00579	0.066668
300	2.151594	1.354122	11.02647	-7.38826	-0.32927	-1.2177
310	1.162727	0.891743	12.19679	-5.71752	-0.14981	-2.44892
320	0.695311	0.740835	12.61988	-3.60856	1.047422	-1.35271
330	-0.00814	-0.27249	12.22656	-1.54979	0.105315	-0.85152
340	-0.10554	-1.06101	11.00115	0.560654	1.803278	-1.75535
350	0.005933	-2.33354	10.15511	2.043568	2.916933	-1.88217
360	0.551342	-3.39085	8.251638	2.976784	4.43982	-1.5644

Konfigurasi *in*, sudut bukaan 45°, kecepatan 0.29 m/s

Sudut Azimuth	Lengan 1		Lengan 2		Lengan 3	
	F _x (N)	F _y (N)	F _x (N)	F _y (N)	F _x (N)	F _y (N)
0	0.880813	-6.67168	14.96851	5.689344	8.423939	-2.93199
10	3.222689	-10.9154	1.796536	5.817926	12.39536	-1.56799
20	6.160727	-14.657	0.633713	4.410264	14.69376	0.479439
30	10.33487	-17.9897	-1.23294	2.817866	15.82412	3.039299
40	14.66394	-18.6601	-1.18655	0.492078	17.44041	5.108259
50	18.70329	-17.7859	-1.97138	-2.19248	11.82208	5.24471
60	23.42056	-16.4893	-1.85905	-4.83616	5.731338	3.608849
70	23.67663	-11.7212	-0.70907	-6.27263	3.594993	3.124806
80	22.5903	-7.47733	2.366395	0.058352	1.362372	1.620804
90	22.4516	-3.50944	0.688729	-0.42353	0.94921	1.319051
100	18.69356	0.509438	4.671906	-4.22787	-0.26952	-1.77315
110	12.54871	3.329996	6.830156	-4.3537	0.177951	-2.58665
120	8.545825	5.357045	8.609568	-3.87418	0.902959	-6.04954
130	6.82577	5.906821	10.11078	-2.92613	2.800083	-9.68575
140	6.115097	5.71446	9.415554	-1.08108	5.856438	-13.3339
150	4.060484	4.671403	7.569318	0.391591	9.451733	-15.2409
160	2.220915	2.877238	6.847756	1.563161	13.82898	-16.6699
170	0.366841	0.857428	6.804431	3.036054	17.14505	-15.8352
180	-0.55678	-1.60193	4.020825	2.717108	20.22048	-14.1173
190	-0.34815	-4.38791	2.664912	2.793053	22.08585	-11.1356
200	1.97463	-1.84918	0.649701	0.544249	23.03103	-7.24478
210	-1.97452	-0.40981	0.241272	0.749195	21.29766	-3.0806
220	1.833276	-1.97578	-0.10499	-1.45542	19.45852	0.731732
230	3.510888	-2.73386	0.049296	-2.90652	17.77402	3.39467
240	5.591364	-2.47028	0.939725	-5.3633	16.12393	5.421724
250	6.857319	-1.42636	2.872811	-9.69601	12.29685	5.879173
260	9.733322	-0.51175	5.867676	-13.136	8.335915	5.390064
270	10.06509	1.48978	9.697644	-15.7367	4.592224	3.855355
280	8.635276	2.677771	13.51426	-16.4877	2.181334	2.058479
290	7.2644	3.145968	17.44885	-16.0259	0.336744	-0.09911
300	3.907911	2.428126	19.7966	-13.7154	-0.07159	-1.80976
310	2.00523	1.63477	21.67332	-10.7397	0.229846	-3.33774
320	1.013734	1.062282	23.89209	-7.1788	1.507691	-2.02051
330	0.643247	0.452013	21.80095	-2.94021	0.229477	-1.89348
340	-0.19673	-1.69059	19.45569	1.382608	4.434681	-3.98994
350	0.018987	-4.30365	17.42926	4.146534	5.983107	-3.51376
360	0.880813	-6.67168	14.96851	5.689344	8.423939	-2.93199

Konfigurasi *in*, sudut bukaan 60°, kecepatan 0.17 m/s

Sudut Azimuth	Lengan 1		Lengan 2		Lengan 3	
	Fx (N)	Fy (N)	Fx (N)	Fy (N)	Fx (N)	Fy (N)
0	0.175625	-1.30416	0.952757	1.112788	1.902091	-0.89371
10	0.500784	-1.77377	0.333089	0.782735	2.836553	-0.25876
20	1.001838	-2.70435	0.077811	0.660885	3.362607	-0.12914
30	1.734216	-3.40294	-0.13832	0.307686	3.606576	0.118355
40	2.468144	-3.60963	-0.02615	-0.04922	2.748742	0.408939
50	3.114817	-3.43002	-0.07472	-0.28412	1.820822	0.43882
60	3.980933	-3.00468	-0.07832	-0.58846	1.350335	0.654351
70	4.20714	-1.72235	0.006219	-0.96167	1.41753	1.244393
80	3.572989	-0.6213	0.448948	-0.77508	0.786407	0.91405
90	2.890061	0.045439	0.423349	-0.56587	0.443362	0.669967
100	1.713499	0.730772	0.887165	-1.00922	0.128576	0.244824
110	0.989849	0.964521	1.450778	-1.1066	0.098527	-0.06393
120	0.394927	0.954146	2.093614	-0.98	0.188945	-0.90964
130	-0.03459	0.773322	2.754684	-0.89754	0.41992	-1.40162
140	-0.40967	0.476637	2.694797	-0.45958	0.893772	-2.23212
150	-0.54782	0.158175	2.312158	-0.13371	1.523305	-2.95664
160	-0.32954	-0.17708	1.864518	0.19358	2.239637	-3.29788
170	-0.26475	-0.45476	1.507242	0.500926	2.955064	-3.26191
180	-0.10265	-0.55141	1.364787	0.765131	4.043604	-2.82759
190	0.077414	-0.63527	1.010161	0.806472	4.127512	-1.78905
200	0.345857	-0.36315	0.773554	0.801653	3.327717	-0.75398
210	0.635098	-0.72783	0.337757	0.338322	2.680718	-0.01089
220	1.570354	-1.54484	0.151572	0.152236	1.61829	0.620305
230	2.263926	-1.7641	0.125585	0.0461	0.865212	0.937425
240	2.235556	-1.22133	0.157871	-0.47326	0.29507	0.963802
250	2.254042	-0.77557	0.38509	-1.27574	-0.05809	0.852745
260	2.090983	-0.29687	0.830111	-2.129	-0.37364	0.590304
270	2.220764	0.037697	1.479692	-2.82408	-0.40523	0.323371
280	1.943083	0.243167	2.170879	-3.15977	-0.25314	0.073506
290	1.354227	0.253623	2.896994	-3.09666	-0.19898	-0.1078
300	0.919916	0.367209	3.554774	-2.56891	-0.04561	-0.30283
310	0.83984	0.641752	4.685226	-1.96682	0.132134	-0.73331
320	0.585214	0.547063	3.772169	-0.68623	0.613659	-1.08256
330	0.308878	0.265404	3.213984	0.142285	1.05683	-1.54944
340	0.240765	0.248872	2.24748	0.904761	1.811799	-2.06782
350	0.064538	-0.61703	1.657048	1.206645	1.911697	-1.46897
360	0.175625	-1.30416	0.952757	1.112788	1.902091	-0.89371

Konfigurasi *in*, sudut bukaan 60°, kecepatan 0.21 m/s

Sudut Azimuth	Lengan 1		Lengan 2		Lengan 3	
	F _x (N)	F _y (N)	F _x (N)	F _y (N)	F _x (N)	F _y (N)
0	0.434615	-4.11955	7.588558	2.844001	6.178571	-3.22949
10	1.617699	-5.95526	-0.46976	3.123177	6.629235	-0.94899
20	3.188895	-8.22655	-2.0523	2.14309	8.233907	-0.24328
30	5.106296	-9.54832	-2.98524	1.024439	8.928976	1.023771
40	7.072252	-9.77704	-0.70748	0.108351	9.893908	2.421147
50	8.62763	-9.05524	-0.91473	-0.89431	8.091574	2.901993
60	10.63173	-8.12464	-1.01407	-2.21431	3.940644	1.534758
70	11.60423	-6.35122	-0.43785	-3.42204	1.220563	0.431955
80	11.26128	-3.76624	1.673239	-2.03663	1.116393	1.042857
90	11.57524	-1.59494	0.096175	0.788606	0.306955	0.09776
100	8.721326	0.701686	2.90352	-2.49497	-0.03236	-0.7641
110	5.032342	2.798985	4.262629	-2.84812	0.113038	-1.2686
120	1.168717	3.837664	5.38762	-2.67513	0.418683	-2.5314
130	-0.79274	3.520851	5.888724	-1.81115	1.322109	-4.6215
140	-0.9604	3.107357	5.516665	-0.92284	2.77358	-6.30977
150	4.579875	2.217364	4.797459	-0.18618	4.595152	-7.44483
160	-0.56946	0.928459	3.831387	0.274808	6.691797	-8.15003
170	-0.8246	-0.24058	3.86608	1.129868	8.958752	-8.15535
180	-0.82391	-1.17048	2.619449	1.048777	10.77253	-7.38174
190	-0.5884	-1.9638	1.046101	0.334028	11.86946	-5.85443
200	1.194115	0.252492	0.081132	-0.63244	12.27674	-3.92722
210	0.101291	0.655998	-0.72588	-2.22989	11.74183	-1.64212
220	2.165197	-2.23366	-0.80724	-3.40315	10.58647	0.699875
230	3.209586	-2.33955	-0.20253	-4.13399	9.795443	1.849401
240	4.086117	-2.09838	0.530314	-4.96525	8.424833	2.587545
250	4.537803	-1.44959	1.613593	-6.19439	6.076915	2.903466
260	4.797988	-0.81266	3.346007	-7.79076	3.408938	2.461603
270	3.578871	-0.11644	5.296627	-8.75896	1.251782	1.689851
280	2.567584	0.264232	7.16255	-8.80944	1.128362	0.674893
290	1.867513	0.517515	8.995104	-8.39203	0.227121	-0.39184
300	1.018789	0.334803	10.53827	-7.36518	-0.08417	-1.4715
310	-0.71679	-1.11172	11.98733	-5.9177	0.053068	-2.33233
320	-0.52447	-1.17718	12.33563	-3.93863	1.305073	-1.20235
330	-0.31359	-1.08	12.19498	-1.73168	1.165311	-0.34037
340	-0.30882	-1.78335	9.810225	0.544033	3.393192	-3.34936
350	-0.04677	-2.51005	8.624951	2.041925	5.851813	-4.20161
360	0.434615	-4.11955	7.588558	2.844001	6.178571	-3.22949

Konfigurasi *in*, sudut bukaan 60°, kecepatan 0.29 m/s

Sudut Azimuth	Lengan 1		Lengan 2		Lengan 3	
	Fx (N)	Fy (N)	Fx (N)	Fy (N)	Fx (N)	Fy (N)
0	0.756693	-2.68917	12.49337	5.610232	7.606061	-3.26401
10	3.141349	-10.5712	0.506706	5.847193	12.28601	-1.40501
20	5.995633	-14.169	-3.33272	4.185873	15.07584	0.249944
30	9.717314	-16.7452	-5.1003	1.984303	17.27266	2.055089
40	14.04264	-17.9155	-0.94088	0.327707	18.12819	4.696645
50	17.58623	-17.0822	-1.45534	-1.51918	14.15097	5.562531
60	21.44555	-15.182	-1.72932	-3.99294	7.796862	3.179708
70	23.496	-11.6903	-0.79668	-6.48903	5.143314	2.620722
80	24.17837	-7.21879	2.768612	-2.86625	1.56242	0.569957
90	22.91923	-2.12737	-1.70304	0.837702	0.854695	0.359309
100	18.8471	2.524529	5.778488	-5.29222	0.223347	-0.96636
110	18.53003	4.032659	8.180471	-5.25824	0.281191	-1.92897
120	15.6464	4.835495	9.973886	-4.59852	0.871952	-5.04806
130	12.2687	5.001419	11.1573	-3.15776	2.681849	-9.23659
140	6.627059	4.529025	11.12758	-1.63128	5.406191	-12.8368
150	2.76085	3.353507	8.52894	-0.20795	8.860547	-14.7563
160	2.984127	2.333052	7.32004	1.494828	12.93331	-15.9016
170	1.241159	1.039068	5.882605	2.67937	16.96046	-15.8118
180	0.090185	-0.70011	4.92378	3.06039	19.9346	-13.7214
190	-0.18275	-1.94472	4.854566	4.308179	22.12658	-11.046
200	1.298942	1.833307	1.195937	0.997967	22.06899	-7.4472
210	-0.40963	2.80034	0.668788	0.489466	22.28973	-3.26535
220	2.862141	-2.85012	-0.31519	-2.5192	18.87818	0.726059
230	5.229568	-3.22749	-0.20296	-3.54519	16.08997	3.821831
240	6.815882	-2.95127	0.806324	-5.65151	13.94283	4.971574
250	8.97578	-2.07059	2.439482	-8.90268	11.36943	5.552005
260	10.61136	-1.04219	5.407921	-12.9129	7.724831	5.258982
270	9.374224	0.597649	9.590556	-16.0176	3.000032	4.125346
280	8.318337	1.767862	13.42052	-16.6077	2.262208	2.424928
290	6.699161	2.257981	16.49653	-15.4218	0.705803	0.04421
300	4.057932	1.611502	20.37084	-14.2409	-0.46467	-1.83293
310	3.321737	2.198534	22.17223	-10.9196	-0.32063	-3.5811
320	0.91773	0.464696	23.04211	-7.40501	1.782102	-1.88044
330	0.941885	1.12019	21.10366	-3.51694	1.053755	0.859567
340	0.761986	1.273372	15.18651	0.810422	4.050274	-4.28318
350	0.349038	-0.83276	13.10694	3.586413	5.920181	-4.06654
360	0.756693	-2.68917	12.49337	5.610232	7.606061	-3.26401

Konfigurasi *in*, sudut bukaan 90°, kecepatan 0.17 m/s

Sudut Azimuth	Lengan 1		Lengan 2		Lengan 3	
	Fx (N)	Fy (N)	Fx (N)	Fy (N)	Fx (N)	Fy (N)
0	0.233483	-1.16528	4.275324	0.974609	2.279976	-1.22123
10	0.928391	-3.11376	-0.56804	2.04913	3.918865	-0.50238
20	1.775694	-4.29089	-1.5745	1.378477	4.65146	0.040659
30	2.877077	-4.95237	-1.93356	0.847359	5.352479	0.560385
40	4.226697	-5.46986	-0.43102	-0.15792	5.665624	1.362066
50	5.398779	-5.35183	-0.60194	-0.41834	3.686862	1.346202
60	6.296263	-4.65592	-0.7382	-0.60247	2.132073	0.806105
70	7.081739	-3.57045	-0.76467	-0.83113	1.290021	0.838415
80	7.442596	-1.99471	1.363904	1.512234	0.748171	0.625958
90	7.266648	-0.42432	-0.94048	1.944621	0.203122	0.052472
100	6.749099	0.525424	1.167916	-1.25137	-0.06982	-1.01525
110	5.967785	0.741825	1.983108	-1.38175	0.016044	-1.27242
120	5.006496	0.942961	2.811821	-1.32936	0.301662	-1.88954
130	2.77329	1.133401	3.437314	-1.01538	0.888476	-3.06066
140	1.358837	0.858857	3.888206	-0.5411	1.770002	-4.09562
150	0.725239	0.54594	3.475019	-0.07443	2.84819	-4.77035
160	0.684113	-0.01793	2.907494	0.195157	3.99319	-5.06328
170	0.311128	-0.4246	2.685939	0.762683	5.074996	-4.93898
180	0.152904	-0.82647	2.025231	1.054548	5.914241	-4.40146
190	0.294484	-1.13696	0.81852	0.464749	6.681293	-3.40695
200	0.96482	-0.35885	0.927145	0.892431	6.666107	-2.16466
210	-0.55379	1.409993	0.699876	0.982262	6.704341	-0.77517
220	1.032301	-1.10007	0.080844	-0.19377	6.06553	0.219788
230	1.441388	-0.98931	0.148119	-0.23474	5.563124	0.754042
240	1.951156	-0.93595	0.252373	-1.1752	4.419253	1.099011
250	2.39559	-0.69934	0.724092	-2.37112	2.474973	1.032716
260	2.902144	-0.30221	1.512161	-3.47885	1.409806	0.758159
270	2.898294	0.124068	2.555553	-4.21131	0.458454	0.366841
280	2.111783	0.321371	3.772197	-4.76723	0.551299	-0.25365
290	1.516765	0.47099	4.693654	-4.54479	0.242655	-0.70535
300	1.34316	0.790905	5.668762	-4.12929	0.124729	-1.10291
310	1.159369	1.132058	6.573248	-3.41199	0.227106	-1.45236
320	0.933394	1.165548	6.713334	-2.30888	1.194411	-0.11905
330	0.611353	1.113763	6.547429	-0.88254	-0.01766	0.929345
340	0.248598	0.48813	6.226655	0.399405	1.306663	-1.44283
350	0.171492	0.216951	5.69301	0.835432	1.826305	-1.32919
360	0.233483	-1.16528	4.275324	0.974609	2.279976	-1.22123

Konfigurasi *in*, sudut bukaan 90°, kecepatan 0.21 m/s

Sudut Azimuth	Lengan 1		Lengan 2		Lengan 3	
	Fx (N)	Fy (N)	Fx (N)	Fy (N)	Fx (N)	Fy (N)
0	0.516295	-2.92431	6.667839	1.96606	4.613498	-2.24999
10	1.642625	-5.50402	-2.11986	3.677791	6.61467	-0.87489
20	3.156479	-7.36322	-3.65052	2.290084	7.785194	0.110381
30	5.122727	-8.7856	-4.31467	1.198305	8.949443	0.980972
40	7.255323	-9.18776	-1.34958	-0.84399	9.595509	2.267927
50	9.428371	-8.85251	-1.25526	-1.42961	7.918711	2.93053
60	11.09928	-7.77016	-1.28705	-1.84207	3.648837	1.397495
70	11.89467	-6.01866	-1.17005	-2.26655	1.19262	0.523149
80	12.48191	-3.95932	2.757089	3.825885	1.007057	1.009318
90	11.75973	-1.63748	-8.09962	1.88122	0.055466	-0.28389
100	8.670119	1.130919	1.502228	-1.66741	0.052601	-0.61101
110	8.919559	2.22423	2.835342	-2.11467	0.039962	-1.99548
120	6.960883	2.893945	3.782866	-1.92503	0.505861	-3.32015
130	4.227021	2.997037	4.51596	-1.49895	1.539687	-5.44183
140	1.79973	3.42612	4.760012	-0.84437	3.040481	-6.89908
150	-0.35933	3.293876	3.917215	-0.16572	4.810239	-7.74662
160	0.47004	1.14236	2.793346	0.302084	6.959825	-8.34352
170	-0.31155	-0.09591	2.83995	0.916712	9.031602	-8.30929
180	-0.55242	-1.06394	1.956839	1.082553	10.6957	-7.29746
190	-0.24154	-2.00672	1.509046	1.116815	11.85929	-5.80292
200	1.07717	-0.53614	0.28856	0.075765	12.1736	-3.84287
210	-3.48255	3.848261	-0.21457	-0.87367	11.5431	-1.31095
220	1.689246	-1.74878	-0.39563	-2.40476	8.569848	1.233429
230	2.851962	-1.88564	-0.01546	-3.3032	8.162381	2.014907
240	4.058973	-1.82571	0.519545	-4.10401	6.865816	2.306579
250	4.843843	-1.34399	1.707674	-5.81635	4.295863	2.885611
260	5.698967	-0.78556	3.15263	-6.98621	1.279059	2.887275
270	5.956597	0.050388	5.099289	-8.13922	-0.96113	2.384216
280	4.082062	0.38904	7.045618	-8.47322	0.440784	0.464464
290	2.394198	0.311205	8.906341	-8.17465	0.02147	-0.3273
300	1.910606	0.667893	10.15356	-6.89411	-0.16883	-1.00372
310	0.541897	-0.07352	11.10927	-5.48949	-0.08028	-1.83416
320	-0.17044	-0.75252	12.24463	-3.60398	1.842706	1.56657
330	-0.35105	-0.98974	11.98862	-1.15436	-4.31333	3.715791
340	-0.20775	-1.30508	9.600527	1.138893	2.175191	-1.96654
350	0.116791	-1.46416	8.348306	1.841311	3.335559	-2.14574
360	0.516295	-2.92431	6.667839	1.96606	4.613498	-2.24999

Konfigurasi *in*, sudut bukaan 90°, kecepatan 0.29 m/s

Sudut Azimuth	Lengan 1		Lengan 2		Lengan 3	
	Fx (N)	Fy (N)	Fx (N)	Fy (N)	Fx (N)	Fy (N)
0	0.891	-4.639	9.739	5.023	7.857	-3.996
10	3.200	-10.868	-4.365	7.192	12.924	-1.719
20	6.225	-14.596	-7.531	4.581	14.977	0.352
30	10.198	-17.350	-8.733	2.378	16.416	2.421
40	14.147	-17.957	-2.566	-1.866	18.753	4.812
50	18.378	-17.471	-2.519	-2.752	14.830	5.635
60	21.554	-15.328	-2.508	-3.812	7.423	2.978
70	24.314	-12.208	-2.253	-4.669	1.850	0.637
80	23.861	-7.681	5.661	7.544	0.442	-0.210
90	22.828	-3.549	-13.405	9.037	0.171	-0.685
100	19.956	0.909	2.895	-3.082	-0.398	-2.638
110	15.737	3.454	5.189	-3.565	-0.002	-4.625
120	11.683	4.388	7.299	-3.439	1.000	-7.277
130	6.137	4.775	8.676	-2.903	2.952	-10.180
140	-0.154	4.422	9.219	-1.502	5.571	-12.659
150	-3.207	3.766	9.750	-0.026	9.281	-15.062
160	0.506	-0.264	7.374	0.993	13.197	-15.969
170	0.077	-1.802	7.841	2.471	16.769	-15.334
180	-0.062	-3.103	4.750	2.331	19.755	-13.622
190	0.155	-4.217	1.261	0.732	21.914	-11.020
200	4.446	4.467	0.374	0.063	22.940	-7.602
210	-5.001	8.194	0.101	0.000	22.033	-3.628
220	1.551	-1.850	-0.335	-1.809	15.640	0.959
230	3.778	-2.640	0.205	-3.266	12.565	4.041
240	5.968	-2.541	0.816	-5.097	8.390	5.253
250	7.982	-1.898	2.608	-8.547	3.846	5.463
260	9.300	-0.687	6.145	-14.050	-0.053	4.418
270	8.937	0.659	9.252	-14.947	-2.764	2.564
280	7.333	1.707	13.007	-15.594	0.594	-0.641
290	5.128	2.221	16.833	-15.387	-0.076	-2.121
300	3.335	2.063	20.265	-13.937	-0.470	-3.546
310	1.664	1.531	22.196	-10.949	-0.404	-4.631
320	1.127	1.673	23.012	-7.183	5.470	3.995
330	0.336	0.637	21.970	-2.972	-5.453	5.891
340	0.181	0.212	16.600	1.007	3.352	-3.521
350	0.031	-3.311	14.031	3.328	5.794	-3.996
360	0.891	-4.639	9.739	5.023	7.857	-3.996

Konfigurasi *both*, sudut bukaan 30°, kecepatan 0.21 m/s

Sudut Azimuth	Lengan 1		Lengan 2		Lengan 3	
	Fx (N)	Fy (N)	Fx (N)	Fy (N)	Fx (N)	Fy (N)
0	0.15006	-1.27888	2.307396	2.079048	2.199387	-0.98984
10	0.51787	-1.90342	1.521308	1.418489	3.186746	-0.62847
20	1.036601	-2.98975	0.574413	0.716878	3.542938	-0.13586
30	1.825761	-3.75399	0.120275	0.163109	3.564065	0.266936
40	2.808673	-4.09998	0.004033	-0.23137	2.581738	0.436869
50	3.351243	-3.15694	0.062174	-0.48696	2.423305	0.767687
60	3.724869	-2.30339	0.208818	-0.64949	2.388384	1.494174
70	3.528643	-1.56935	0.350217	-0.57534	1.90109	1.666708
80	3.294327	-0.9579	0.439511	-0.48262	1.381389	1.663185
90	3.104707	-0.2571	0.618883	-0.54617	0.996633	1.609559
100	2.770546	0.315435	0.931859	-0.72441	0.293198	0.281687
110	1.906987	0.559469	1.50096	-0.96104	0.048009	-0.52242
120	1.234482	0.718197	1.991618	-1.04395	0.132406	-1.25466
130	0.545555	0.546295	2.304638	-0.63428	0.414744	-2.00773
140	0.057794	0.179636	2.542726	-0.2508	0.965323	-3.07959
150	-0.09528	-0.13124	2.510432	0.201197	1.773597	-3.91174
160	-0.08211	-0.4172	2.343066	0.471506	2.852941	-4.05161
170	0.000394	-0.54959	1.740349	0.691237	3.259241	-3.17036
180	0.123103	-0.35875	1.632724	0.920797	3.206705	-2.06535
190	0.183142	-0.11287	1.386434	1.119762	3.102669	-1.59875
200	0.238998	-0.10086	0.992501	1.092643	3.994554	-1.15353
210	0.478917	-0.38529	0.473004	0.810752	3.767041	-0.39224
220	0.802128	-0.67181	0.187707	0.139276	3.357236	0.680977
230	1.376613	-0.96755	-0.04422	-1.15101	3.129404	1.617695
240	2.021053	-1.14568	0.143575	-1.7895	2.558282	1.956373
250	2.537309	-0.83832	0.511333	-2.28859	1.845739	1.890906
260	2.497281	-0.33806	1.052918	-3.02546	1.100335	1.507599
270	2.088734	0.021922	1.798138	-3.62519	0.68893	0.986322
280	1.345537	0.18338	2.567401	-3.75836	0.541091	0.688471
290	1.45869	0.356948	3.688309	-3.55645	0.393485	0.354484
300	2.73134	1.594408	3.812913	-2.14734	0.320578	0.000158
310	2.33425	2.022924	3.533088	-1.47082	0.360984	-0.41951
320	1.237513	1.483491	3.955091	-1.09409	0.584734	-0.71426
330	0.462206	0.569106	4.361268	-0.41658	0.892573	-0.8954
340	0.254965	0.777109	3.773178	0.611165	1.08806	-1.03533
350	0.064353	-0.2329	2.71812	1.483776	1.488088	-0.98093
360	0.15006	-1.27888	2.307396	2.079048	2.199387	-0.98984

Konfigurasi *both*, sudut bukaan 30°, kecepatan 0.29 m/s

Sudut Azimuth	Lengan 1		Lengan 2		Lengan 3	
	Fx (N)	Fy (N)	Fx (N)	Fy (N)	Fx (N)	Fy (N)
0	0.701152	-3.1188	12.76448	8.540922	5.211151	-2.67273
10	3.13985	-10.92	5.132266	10.06815	9.005427	-1.46282
20	6.28564	-15.1556	3.322135	8.757202	11.32532	0.588254
30	10.20081	-17.5132	0.936721	6.776953	14.44073	2.586972
40	14.58939	-18.449	0.284035	5.205824	15.39439	5.827705
50	18.71031	-17.9269	-1.37395	3.137585	14.0812	7.279923
60	21.81932	-15.6875	-2.54276	0.48619	8.022327	5.215027
70	24.10408	-11.807	-2.24538	-2.10587	2.812649	2.502465
80	24.27139	-7.16928	-0.9961	3.191753	1.598528	2.249215
90	24.92563	-2.45717	-2.09142	2.915071	0.732182	1.5456
100	25.35812	2.730114	-0.13075	-1.53591	-0.15243	-0.9729
110	21.89661	6.409405	1.565472	-2.21341	0.235152	-1.70788
120	15.37643	7.818716	2.923931	-2.2387	0.907267	-5.0581
130	8.906528	7.770848	6.476003	-1.15226	2.7953	-9.02911
140	3.335953	6.923295	8.686251	0.25451	5.917964	-13.151
150	2.998837	6.666541	9.17544	1.674287	9.973412	-15.8685
160	-3.73749	1.930168	9.242144	3.192343	14.14231	-17.2137
170	-4.77124	-1.13786	9.250078	4.724221	18.37211	-17.0186
180	-4.36223	-3.59859	6.790799	4.533041	21.79064	-15.108
190	-2.23741	-5.51789	2.130231	2.233884	22.80944	-11.2895
200	1.204923	-4.46678	0.747271	0.975852	23.22304	-7.18888
210	2.735719	-3.72796	0.030552	0.486204	23.21789	-3.25896
220	3.536681	-4.02267	0.03576	-0.09231	21.9223	1.985942
230	4.163345	-3.19425	0.014004	-1.73555	20.92272	5.822529
240	4.488901	-2.48687	0.665014	-4.16307	19.5257	8.602942
250	5.753041	-1.04575	2.222418	-7.48999	15.13746	9.590889
260	6.677594	0.157857	5.358867	-12.0925	10.20471	9.163574
270	5.69543	0.889841	9.43894	-15.1621	5.267892	7.217725
280	4.342061	1.316303	13.49218	-16.3559	1.916035	4.637911
290	5.55533	2.758408	17.65422	-16.0386	-0.08419	1.406098
300	3.811501	2.392826	20.57221	-14.1581	-0.54779	-1.08083
310	1.690811	1.861106	22.47225	-10.8757	0.149575	-3.39688
320	-0.06052	0.270861	23.02094	-7.01382	1.342183	-3.26456
330	0.196483	0.571686	23.27143	-3.07103	1.436763	-2.56726
340	0.055334	0.64458	20.88032	2.225931	-0.249	-1.9013
350	0.237641	-0.12044	16.34618	6.397672	0.519959	-1.56372
360	0.701152	-3.1188	12.76448	8.540922	5.211151	-2.67273

Konfigurasi *both*, sudut bukaan 45°, kecepatan 0.21 m/s

Sudut Azimuth	Lengan 1		Lengan 2		Lengan 3	
	Fx (N)	Fy (N)	Fx (N)	Fy (N)	Fx (N)	Fy (N)
0	0.190783	-1.25131	1.879005	1.566954	2.490413	-1.28193
10	0.662542	-2.57268	0.375943	1.440789	3.621211	-0.77461
20	1.406242	-3.81642	-0.14187	1.276438	4.747534	-0.21064
30	2.392712	-4.81904	-0.5337	0.638775	5.381295	0.688436
40	3.513284	-5.22874	-0.47429	-0.09278	4.438483	1.196279
50	4.460857	-5.00799	-0.43214	-0.68987	2.858177	0.739029
60	5.956424	-4.4219	-0.24176	-1.20255	2.271228	1.15621
70	6.299347	-2.67991	0.040741	-1.64063	1.958488	1.760655
80	5.60463	-0.9637	0.505875	-0.93632	1.212327	1.469735
90	4.628838	0.067825	0.305654	-0.66481	0.681436	1.121138
100	3.526771	1.312407	1.020421	-1.55169	0.274504	0.566671
110	2.334546	1.915977	2.232925	-1.63386	0.018574	-0.59273
120	0.791946	1.83427	3.523913	-1.20841	0.240645	-1.44527
130	0.075643	1.474787	4.228438	-0.60153	0.593646	-2.07838
140	-0.51585	1.056482	3.975534	-0.14606	1.271193	-3.2989
150	-0.83382	0.346869	3.138967	-0.0978	2.279635	-4.46576
160	-0.49322	-0.1202	2.335724	0.095521	3.305559	-4.98181
170	-0.28964	-0.36733	1.509591	0.404645	4.669596	-4.97677
180	-0.07164	-0.25195	1.24285	0.53265	6.436134	-4.31982
190	0.097986	-0.08629	1.352569	1.144024	6.247819	-2.41577
200	0.256815	0.060532	1.022568	1.093124	5.0886	-0.77295
210	0.943892	-0.85873	0.169431	0.003645	4.304645	0.131169
220	2.353869	-2.34824	0.218445	0.543659	3.475476	1.553187
230	3.03582	-2.56346	0.055804	-0.22771	2.273114	2.058889
240	2.554882	-2.253	0.175855	-1.18482	1.019483	2.007285
250	2.476594	-1.59479	0.548574	-1.9724	0.02243	1.582169
260	2.605724	-0.49206	1.259743	-3.32514	-0.54667	1.055118
270	3.173283	0.30977	2.149642	-4.35885	-0.61651	0.482152
280	2.715111	0.663301	3.367479	-4.93726	-0.65875	0.095579
290	1.668428	0.492384	4.589823	-4.81158	-0.56778	-0.15083
300	1.297919	0.632673	5.786341	-4.08417	-0.33899	-0.05573
310	1.24478	1.178213	5.765062	-2.25724	-0.01377	0.02135
320	0.810092	0.991758	4.942032	-0.77577	0.370877	-0.42448
330	0.41056	0.560108	4.068897	0.063757	1.379957	-1.43538
340	0.191714	0.390374	3.273796	1.050268	2.519426	-2.71841
350	0.02701	-0.61416	2.080039	1.547053	2.522577	-2.59781
360	0.190783	-1.25131	1.879005	1.566954	2.490413	-2.28193

Konfigurasi *both*, sudut bukaan 45°, kecepatan 0.29 m/s

Sudut Azimuth	Lengan 1		Lengan 2		Lengan 3	
	F _x (N)	F _y (N)	F _x (N)	F _y (N)	F _x (N)	F _y (N)
0	0.65759	-2.32155	17.20075	9.81953	1.433254	-3.44575
10	2.84268	-10.4812	2.032962	11.18915	6.545165	-2.25311
20	5.7703	-14.2385	-2.86843	10.19263	9.875257	-0.24647
30	9.620237	-16.7253	-6.10266	9.017828	12.22621	2.23931
40	13.69693	-17.6827	-4.40815	6.86285	14.53207	5.271827
50	17.80274	-17.4302	-5.2711	4.098565	12.99594	6.37907
60	21.32617	-15.5378	-5.89156	1.704602	7.685417	4.808021
70	23.06052	-12.2272	-4.04854	-2.10793	1.613353	1.101309
80	24.73546	-8.17785	-1.17678	1.600988	1.657788	1.976779
90	22.58759	-3.52106	-2.68254	0.80588	0.545274	0.563432
100	22.73848	2.943379	-1.71955	-2.7277	-0.4839	-2.24431
110	23.97491	7.459213	-1.08874	-2.73132	-0.00649	-2.63353
120	22.5784	10.11937	0.387645	-3.69005	0.675641	-5.60261
130	17.59486	10.89663	5.01879	-1.60182	2.727656	-9.76229
140	12.54935	11.09713	5.759272	-0.78073	5.76968	-13.6535
150	6.163328	10.20164	6.769051	1.479453	9.612487	-16.4149
160	4.680807	8.367775	9.059168	3.107197	14.25636	-17.9506
170	2.136961	6.723813	8.184233	4.246756	18.01068	-17.2757
180	0.182732	4.792173	7.145404	4.209235	21.52569	-15.2602
190	-0.20527	2.092205	2.566437	2.541409	24.48518	-11.9517
200	-0.33985	1.944041	0.172462	0.093273	24.79874	-7.52777
210	-1.60514	0.6969	0.404919	0.891983	23.89189	-2.78643
220	-1.37099	-1.75218	-0.0004	-0.05553	26.10893	3.403494
230	-2.26078	-1.58359	0.182593	-0.85181	26.09006	7.165893
240	-3.10193	-1.98891	0.675093	-3.21312	22.59	10.00987
250	0.175441	-1.40526	2.348096	-7.98281	16.68635	10.39419
260	2.013489	-0.69773	5.399439	-12.1542	10.3733	10.55698
270	3.774663	0.6176	9.106033	-14.9795	5.731996	9.130184
280	5.669397	2.069235	13.54091	-16.867	1.568808	6.875065
290	5.423251	3.016545	18.07109	-16.9779	-1.53189	3.451655
300	4.865607	3.50011	20.26552	-14.3495	-3.22052	0.544105
310	3.15759	3.636023	22.87618	-11.6397	-2.78187	-2.26583
320	1.472747	2.612359	24.52952	-7.99933	-1.88659	-2.61326
330	0.746811	2.202952	24.4306	-3.44288	-1.67294	-1.66023
340	0.003093	-0.02001	23.40101	2.370184	-0.574	-3.71099
350	0.388536	0.593844	20.26302	7.584591	0.267432	-3.37285
360	0.65759	-2.32155	17.20075	9.81953	1.433254	-3.44575

Konfigurasi *both*, sudut bukaan 60°, kecepatan 0.21 m/s

Sudut Azimuth	Lengan 1		Lengan 2		Lengan 3	
	Fx (N)	Fy (N)	Fx (N)	Fy (N)	Fx (N)	Fy (N)
0	0.208487	-0.36789	2.073069	3.779487	-0.11864	-3.87833
10	0.89253	-2.91039	0.964564	3.210504	3.698203	-1.04216
20	1.800407	-4.5465	-0.82717	2.45002	4.993852	-0.08307
30	3.021425	-5.66293	-1.41096	2.079786	6.456647	1.190315
40	4.498013	-6.40017	-1.52904	1.212761	6.517431	2.159723
50	5.609265	-6.15514	-1.91077	0.181302	5.004861	1.907873
60	6.852541	-5.45645	-2.05178	-0.70769	3.035757	1.362657
70	7.526764	-4.15758	-1.87682	-1.50275	1.445707	0.84381
80	7.516953	-2.15387	-0.32068	-0.99307	1.434869	1.667721
90	6.925258	-0.60686	-0.27214	-0.04639	0.622645	0.798171
100	6.29744	1.426412	0.441442	-1.92112	0.268255	0.490611
110	4.765697	2.355104	1.310097	-2.01636	0.186389	0.2803
120	3.466124	2.668585	2.68277	-1.8303	0.231833	-0.88955
130	2.172647	2.292816	4.105382	-0.59031	0.673767	-2.21549
140	1.565853	1.614395	5.023598	0.008998	1.585186	-3.71949
150	1.151548	0.768845	5.08938	0.879189	2.921968	-5.28758
160	0.118348	-0.02827	4.490355	1.324239	4.256386	-5.92748
170	-0.67827	-0.624	3.563464	1.093416	5.663211	-5.99427
180	-1.60785	-1.24451	2.615164	1.156864	6.8701	-5.37495
190	-2.09653	-2.55103	1.418587	0.937415	8.109646	-4.1658
200	-0.84018	-4.00293	0.521662	0.379375	7.767563	-2.30614
210	-0.14634	-2.05496	0.567997	0.937475	6.427361	-0.18645
220	-0.43343	-3.92429	0.261396	0.64674	4.906725	2.774766
230	0.417391	-3.30699	0.117684	0.060253	2.282411	4.487355
240	2.029349	-2.31827	0.179036	-0.89726	0.095553	4.863018
250	3.665043	-1.19733	0.653208	-2.25049	-1.31401	4.38871
260	4.085522	-0.11106	1.469784	-3.59884	-2.11572	3.161121
270	5.28445	0.85004	2.59505	-4.63353	-2.33496	1.959927
280	4.995592	1.454653	3.895171	-5.35441	-2.24429	0.758206
290	3.281462	1.036077	5.205324	-5.59977	-1.90454	-0.38247
300	1.889852	0.821231	6.449735	-5.14062	-1.4589	-1.31507
310	1.019524	0.566393	7.810367	-4.08344	-0.5037	-2.71733
320	0.784164	0.885702	8.768524	-2.34752	1.240005	-5.68749
330	0.518466	0.835376	8.180365	-0.48623	2.67653	-5.14786
340	0.39655	1.23991	6.437001	1.940444	1.563412	-6.71168
350	0.191883	0.771536	3.938477	3.190999	-0.49201	-5.01581
360	0.208487	-0.36789	2.073069	3.779487	-0.11864	-3.87833

Konfigurasi *both*, sudut bukaan 60°, kecepatan 0.29 m/s

Sudut Azimuth	Lengan 1		Lengan 2		Lengan 3	
	F _x (N)	F _y (N)	F _x (N)	F _y (N)	F _x (N)	F _y (N)
0	0.554606	-0.70802	17.29072	9.521414	-1.65267	-6.54423
10	2.793928	-10.3475	1.365187	13.54244	4.889424	-3.4845
20	5.588129	-13.6809	-5.4141	11.38519	7.739594	-0.98852
30	9.088048	-15.876	-9.25835	10.35843	10.31369	1.704967
40	13.10408	-17.0424	-7.93824	8.973415	11.86954	5.113397
50	17.10112	-16.8339	-10.3869	6.199269	10.45709	6.119946
60	20.32613	-14.7655	-12.2544	1.531603	7.487219	5.079412
70	21.9868	-11.3391	-10.3325	-3.19945	3.635589	2.973847
80	22.95397	-7.30075	-2.01876	3.167068	1.380922	1.399599
90	21.26835	-3.1373	-5.03687	6.078252	-0.17036	-0.86923
100	15.90567	5.703453	-1.44665	-1.42474	-0.2707	-1.71865
110	12.34491	11.12782	0.14393	-2.05317	-0.02756	-3.47439
120	11.43588	12.32121	2.286947	-2.23618	0.834965	-6.17958
130	9.754749	11.61322	4.58946	-1.72349	2.569263	-8.99123
140	7.506572	11.32257	6.554732	-0.64644	5.638739	-13.034
150	4.027568	10.63499	8.632205	1.80075	9.260595	-15.337
160	1.45128	9.116261	8.763579	2.900974	13.2034	-16.3933
170	-1.2459	6.939463	7.659832	3.919618	17.18021	-16.0586
180	-3.82501	3.521039	6.714584	4.730236	20.21921	-14.1942
190	-4.19548	-1.34271	3.166847	2.469836	21.42151	-10.9365
200	0.47553	0.214737	0.704791	0.45451	22.17167	-7.414
210	-0.69591	1.817937	-0.34317	-0.98062	21.78891	-3.26191
220	-0.40489	-2.67815	-0.53372	-1.98046	25.78279	2.966321
230	-1.47731	-3.5591	0.00463	-2.4809	25.24339	7.351957
240	-1.60289	-4.82767	0.732719	-4.62626	20.90528	9.479702
250	2.007414	-2.59771	2.53587	-8.5855	16.41306	10.60788
260	4.2083	-0.86365	5.652341	-13.0718	11.15285	11.02844
270	6.05549	0.622521	9.31092	-15.5048	6.079071	9.10835
280	5.982546	2.219958	13.51039	-16.8221	4.286731	7.695325
290	7.110472	4.05687	17.1877	-16.4032	1.712528	5.648081
300	6.305582	4.676942	21.3353	-15.3903	-0.54387	3.887278
310	3.186371	3.315915	22.77464	-11.6602	-1.70835	1.144723
320	1.643633	2.416894	23.98473	-7.66227	-0.77545	2.315565
330	1.680153	3.502809	23.55668	-3.40059	-2.68091	2.339882
340	1.172764	3.857008	21.39753	3.471115	-1.9069	-3.76838
350	0.579244	2.554795	19.60866	7.33759	-1.45308	-5.09473
360	0.554606	-0.70802	17.29072	9.521414	-1.65267	-6.54423

Konfigurasi *both*, sudut bukaan 90°, kecepatan 0.21 m/s

Sudut Azimuth	Lengan 1		Lengan 2		Lengan 3	
	Fx (N)	Fy (N)	Fx (N)	Fy (N)	Fx (N)	Fy (N)
0	0.311113	-1.67675	9.807499	6.14919	-4.04686	-4.1866
10	1.429054	-5.22055	-2.80944	11.31224	1.46078	-3.82484
20	2.925442	-7.1937	-5.67313	9.071312	2.330119	-1.45442
30	4.825941	-8.40713	-7.56193	7.649824	3.478932	0.341968
40	6.986401	-8.99947	-5.5294	5.260134	4.83359	2.009026
50	8.861553	-8.63463	-6.6653	3.487679	4.938871	2.834586
60	10.20397	-7.57364	-7.56917	1.928945	4.253336	2.977216
70	11.47635	-5.89889	-7.21786	0.192528	0.674047	0.619598
80	11.34726	-3.83284	-1.34515	3.299925	0.436088	0.560922
90	11.32141	-1.74342	-5.79832	6.597732	0.038337	-0.08939
100	11.08539	2.93399	-3.83923	-1.1734	-0.36204	-1.53896
110	10.45494	5.492884	-4.17409	-1.77333	0.079642	-1.01355
120	8.132938	6.018199	-3.5267	-4.65848	0.439723	-2.75727
130	5.212176	6.842854	-1.85769	-2.32589	1.403129	-4.76121
140	1.288409	6.937741	-1.74253	-1.78015	2.969198	-6.73685
150	-1.11937	6.488193	-1.04973	-1.01977	4.791689	-7.91864
160	-0.16278	4.898949	0.732425	0.174722	6.893158	-8.50618
170	-0.69406	4.383789	1.926078	1.20655	9.0282	-8.41382
180	-2.298	2.968594	2.95136	2.111003	10.44932	-7.2773
190	-2.60544	0.779729	0.654453	0.719165	12.00484	-5.65054
200	0.979142	1.187632	-0.12907	-0.21804	11.53731	-3.41113
210	-1.7819	4.07233	-0.05313	-0.33923	11.41165	-1.19102
220	-1.33097	-1.39526	-0.35977	-1.78063	12.81869	2.701283
230	-2.64644	-2.47229	0.023992	-2.40769	12.23397	4.773856
240	-3.34257	-3.89682	0.522868	-3.80027	9.273013	6.8224
250	-1.84485	-1.96017	1.692397	-5.98894	4.897443	8.219095
260	-0.95513	-1.34846	3.549501	-8.3212	1.952416	8.366329
270	-0.36939	-0.61466	5.758545	-9.51664	-0.38719	7.390913
280	0.547426	0.215654	7.959771	-9.87393	0.395375	4.827808
290	1.555279	0.966762	10.16571	-9.43008	-0.68512	3.489304
300	2.868069	1.660605	12.00389	-8.54761	-1.97269	1.763607
310	1.236902	1.485079	12.37729	-6.27388	-2.43563	0.040031
320	0.703923	1.207072	12.7051	-4.11803	0.274556	0.985679
330	0.659434	1.655921	12.47851	-1.56737	-2.64754	3.488929
340	0.288762	1.210952	11.78782	3.170714	-1.96229	-1.39874
350	0.068774	-0.39906	11.98277	5.284777	-2.87646	-2.84876
360	0.311113	-1.67675	9.807499	6.14919	-4.04686	-4.1866

Konfigurasi *both*, sudut bukaan 90°, kecepatan 0.29 m/s

Sudut Azimuth	Lengan 1		Lengan 2		Lengan 3	
	F _x (N)	F _y (N)	F _x (N)	F _y (N)	F _x (N)	F _y (N)
0	0.460989	-1.65705	17.647	11.57368	-3.63902	-6.81524
10	2.655888	-9.61222	-4.87195	20.02043	3.473825	-6.71647
20	5.258987	-13.0017	-9.92258	16.09063	5.106568	-2.48968
30	8.703403	-15.4004	-13.381	13.20832	7.205739	0.494237
40	12.15464	-16.0533	-9.24439	8.691446	9.423156	4.326171
50	16.10847	-15.9187	-10.9306	6.000579	9.096123	5.232224
60	18.3598	-13.7857	-12.4687	3.105908	7.282563	4.864056
70	20.91447	-11.3909	-12.5169	0.256177	2.650607	2.606421
80	20.58753	-7.64937	-2.43994	4.106252	0.630256	0.707897
90	19.13505	-3.73374	-8.82074	11.09136	0.149228	0.152541
100	15.03732	5.240276	-6.11563	-3.03226	-0.47529	-1.95938
110	16.11412	9.749543	-6.47839	-6.28718	-0.10892	-2.2137
120	15.80467	11.61165	-5.4514	-9.17978	0.660008	-4.41447
130	8.859896	12.68184	-2.158	-4.8867	2.240572	-8.105
140	1.990028	12.90278	-1.95044	-3.71361	4.656168	-10.9465
150	-2.28444	12.32394	-0.1684	-1.86545	7.969074	-13.5806
160	-0.66111	9.172527	2.506685	0.704343	11.99876	-14.9965
170	-2.69972	7.574758	3.603183	2.319741	15.03975	-14.6072
180	-4.76303	4.57913	5.589129	4.774133	17.87203	-13.0781
190	-4.86993	0.528743	2.233151	2.564598	20.29782	-10.4311
200	1.982856	1.076347	0.758909	0.987245	21.54653	-6.97571
210	-2.0758	6.879755	0.486298	0.88405	22.02234	-2.83415
220	-1.96693	-2.88393	0.033085	-0.49296	20.8787	3.32959
230	-4.24508	-5.24066	0.107041	-2.27492	21.83928	7.243774
240	-4.55775	-7.60364	0.819771	-5.89828	18.64764	9.431641
250	-1.43057	-3.73759	3.038541	-10.9744	11.9739	11.50613
260	-0.05956	-2.15646	6.619153	-15.4753	4.53476	11.82251
270	1.263334	-0.40948	10.60691	-18.0376	0.887281	9.55253
280	1.962388	0.71407	14.89638	-18.7333	2.406397	7.36755
290	3.084795	1.993417	18.05643	-17.5161	0.293606	6.01356
300	4.904235	3.46135	21.05786	-14.9325	-2.27621	4.678157
310	2.90295	2.950058	23.03263	-11.5582	2.7543	4.649726
320	1.442561	2.289304	21.55723	-6.62214	0.464034	4.638074
330	1.206613	2.974333	19.34903	-2.10615	-0.21851	-3.20908
340	0.497375	2.211855	18.45871	6.320192	-2.04108	-1.72044
350	0.129456	0.308486	21.23034	9.734658	-2.63438	-4.60168
360	0.460989	-1.65705	17.647	11.57368	-3.63902	-6.81524

Konfigurasi *clean*, kecepatan 0.17 m/s

Sudut Azimuth	Lengan 1		Lengan 2		Lengan 3	
	Fx (N)	Fy (N)	Fx (N)	Fy (N)	Fx (N)	Fy (N)
0	0.143724	-0.06831	1.638598	0.547566	1.372344	-0.61286
10	0.316586	-1.15294	1.134633	0.520536	2.185035	-0.44093
20	0.679289	-1.88841	0.575886	0.360313	2.261123	-0.19457
30	1.048733	-2.21389	0.198783	0.057453	1.921243	0.162443
40	1.558959	-2.30964	0.037223	-0.17596	1.694233	0.319315
50	2.347573	-2.19043	-0.00102	-0.36195	1.751096	0.487578
60	2.542827	-1.35316	0.018615	-0.47869	1.532155	0.936442
70	2.391078	-0.8618	0.064134	-0.53031	1.137706	0.881598
80	2.347405	-0.64788	0.159167	-0.56904	0.761836	0.995144
90	2.756642	-0.2706	0.36089	-0.63655	0.358628	0.485267
100	2.146427	0.1898	0.709277	-0.69563	0.242464	0.698552
110	1.9635	0.810407	1.045604	-0.61734	0.098288	-0.12893
120	1.566908	1.109855	1.529235	-0.64561	0.127462	-0.96365
130	1.156794	1.190516	1.970447	-0.49484	0.323467	-1.23063
140	0.793037	1.12663	2.06483	-0.27146	0.631875	-1.61203
150	0.466321	0.936215	1.095311	-0.12658	1.053113	-2.04869
160	0.22068	0.641426	0.594376	-0.00135	1.676412	-2.31531
170	0.09908	0.402066	1.377498	0.461036	2.172444	-2.01506
180	0.051191	0.146694	1.799103	1.116024	2.486572	-1.47522
190	0.080402	-0.15292	1.400905	1.076061	2.460972	-1.06992
200	0.180379	-0.42499	0.909284	0.82941	2.262033	-0.5017
210	0.427344	-0.67803	0.444817	0.472139	1.981961	0.048167
220	0.781198	-0.86353	0.094995	-0.1242	2.086692	0.50309
230	1.104799	-0.8009	0.042501	-0.438	1.803314	0.776316
240	1.365274	-0.63116	0.132256	-0.67803	1.361785	0.763861
250	1.397466	-0.34521	0.298276	-1.05972	0.962311	0.576371
260	1.31054	-0.10291	0.647948	-1.73516	0.783428	0.486827
270	0.981265	0.003842	1.123577	-2.24699	0.505488	0.437927
280	0.527721	-0.01605	1.679257	-2.35666	0.207165	0.286209
290	1.33072	0.475427	1.904793	-1.81349	0.027805	0.0433
300	1.673972	1.01016	2.395081	-1.59425	0.006149	-0.16118
310	1.189756	0.914604	2.607149	-1.0015	0.077712	-0.31409
320	0.651485	0.705604	2.728427	-0.31767	0.234038	-0.54798
330	0.347192	0.481341	2.662288	0.107519	0.52342	-0.80835
340	0.051864	-0.20282	2.326868	0.385984	0.836162	-0.92741
350	0.055708	-0.36364	1.71926	0.328995	1.145996	-0.81601
360	0.143724	-0.06831	1.638598	0.547566	1.372344	-0.61286

Konfigurasi *clean*, kecepatan 0.21 m/s

Sudut Azimuth	Lengan 1		Lengan 2		Lengan 3	
	F _x (N)	F _y (N)	F _x (N)	F _y (N)	F _x (N)	F _y (N)
0	0.261656	-2.00733	2.543261	1.754337	3.666166	-1.50352
10	0.699778	-2.47012	2.372261	1.170991	4.096052	-0.5774
20	1.37807	-3.6654	1.334693	0.861986	4.539214	-0.15199
30	2.249767	-4.42873	0.615177	0.464942	4.642004	0.286588
40	3.243348	-4.82659	0.202548	0.010121	3.337157	0.517996
50	4.096425	-4.48907	0.049832	-0.41978	2.98969	0.665243
60	5.051577	-3.72704	0.076297	-0.76913	2.133712	1.116652
70	5.579863	-2.42209	0.219687	-1.18778	1.905273	1.801559
80	5.10566	-0.81861	0.307729	-1.20946	1.183333	1.481701
90	4.548404	0.26316	0.441579	-1.00755	0.708103	1.18794
100	3.4003	0.713644	0.780182	-0.87627	0.467262	0.890294
110	2.694335	0.982808	1.511594	-0.90541	0.109647	-0.48161
120	2.004363	1.035542	2.948948	-1.21063	0.247707	-1.2988
130	1.271423	0.876926	4.159019	-1.06679	0.617967	-1.97296
140	0.659157	0.531825	4.288933	-0.66328	1.266245	-3.13714
150	0.245764	0.186056	3.588872	-0.15536	2.125215	-4.10989
160	0.004986	-0.1536	3.06608	0.240296	3.293637	-4.79446
170	-0.08362	-0.34862	1.895446	0.483908	4.181684	-4.39734
180	-0.08691	-0.29823	1.535137	0.911292	4.841011	-3.56312
190	-0.12427	0.025149	1.673295	1.550863	5.166797	-2.22308
200	-0.10933	0.134116	1.342273	1.619288	4.781288	-1.05468
210	0.258849	-0.29582	0.609307	0.774387	4.220627	-0.41062
220	1.311756	-1.27317	0.334809	0.55685	3.904504	0.318919
230	2.825374	-2.16417	0.150169	-0.32315	3.154147	0.717096
240	3.606614	-1.90636	0.256124	-1.0539	2.388758	1.069069
250	3.225292	-1.1053	0.592012	-2.21457	1.38949	0.866901
260	3.101108	-0.43144	1.290919	-3.45705	0.723312	0.594117
270	3.234372	0.012291	2.287064	-4.52977	0.276746	0.13366
280	3.083084	0.591745	3.353004	-4.73587	0.117135	-0.27923
290	2.346768	0.93346	4.055637	-4.25963	0.180269	-0.74832
300	1.239412	0.539413	4.551534	-3.2882	0.323889	-1.68633
310	0.768226	0.400388	5.265503	-2.54164	0.586145	-2.49449
320	0.652921	0.674841	5.679966	-1.4747	0.6572	-2.40213
330	0.567189	0.960164	5.349653	0.120191	0.534108	-1.40535
340	0.27871	0.235971	4.557019	1.094977	0.599551	-0.90215
350	0.130226	-0.63119	3.564937	1.665039	1.503471	-0.96724
360	0.261656	-2.00733	2.543261	1.754337	3.666166	-1.50352

Konfigurasi *clean*, kecepatan 0.29 m/s

Sudut Azimuth	Lengan 1		Lengan 2		Lengan 3	
	Fx (N)	Fy (N)	Fx (N)	Fy (N)	Fx (N)	Fy (N)
0	1.380312	-5.5256	16.98988	6.917809	2.775333	-1.60354
10	4.44429	-13.8717	12.60126	10.20381	14.07167	-2.11262
20	8.572481	-18.8244	9.676828	10.77957	16.76156	0.413078
30	13.02785	-21.0617	6.135138	9.816772	19.16473	3.163431
40	18.31475	-21.873	3.044844	8.172537	18.02288	5.488531
50	23.67017	-21.0413	0.677291	5.627947	15.11283	6.643039
60	26.32124	-17.1574	-0.52889	2.757398	10.9535	6.20235
70	30.25618	-13.581	-0.34538	-0.38503	2.349794	0.885427
80	29.70563	-8.22768	0.703731	-2.72684	0.178892	-0.77006
90	29.63162	-3.03438	2.635152	-3.95731	0.745487	0.052185
100	25.88548	1.355131	4.958468	-4.84686	-0.17464	-2.58605
110	22.9535	5.286413	7.461665	-4.68997	0.362461	-4.53952
120	18.54421	8.127059	9.308218	-3.71804	1.286009	-6.87312
130	12.17822	8.269491	10.82789	-2.28653	3.613027	-10.8704
140	7.35336	7.555322	10.49324	-0.27901	7.015058	-14.6955
150	3.877824	6.230178	10.02478	1.086645	12.1404	-18.698
160	1.666783	4.696789	8.869124	2.714626	17.06379	-19.5604
170	0.120362	2.805393	7.57124	3.98856	20.90093	-18.0769
180	-0.49239	-0.45971	7.346191	5.011581	23.72028	-14.5362
190	0.152813	-2.96215	4.904872	4.688772	26.38372	-11.2892
200	1.364945	-3.89265	2.957641	3.31954	26.45989	-6.66218
210	3.245072	-4.70771	-0.43214	-2.08009	25.32985	-2.32563
220	5.05217	-4.65012	0.040435	-1.73024	24.46389	1.713456
230	7.306498	-4.77382	0.415399	-2.06205	19.22999	4.702356
240	8.813705	-4.19644	1.10785	-2.65246	15.55408	6.717666
250	8.545655	-1.96716	3.203546	-9.05572	12.37543	8.328708
260	10.64833	-1.09692	6.211813	-12.6569	8.070866	7.978075
270	9.883821	0.288094	10.23207	-15.3852	3.498383	5.243458
280	10.91513	2.17872	15.21962	-17.1747	1.251338	3.407644
290	8.69594	3.244514	20.47036	-16.9624	-0.09916	0.809417
300	4.1381	2.292076	22.90464	-14.0427	-0.342	-0.78481
310	2.4058	1.388895	25.92168	-10.8541	0.065775	-2.3
320	0.59342	0.009274	27.81046	-7.03292	1.060192	-3.53213
330	0.514654	-0.18254	24.13907	-2.11486	2.319802	-3.87149
340	-0.20229	-2.99195	23.41047	1.264019	3.479792	-3.5872
350	0.47441	-3.71413	20.8893	4.664077	3.142045	-2.42456
360	1.380312	-5.5256	16.98988	6.917809	2.775333	-1.60354

Konfigurasi *clean*, 6 RPM, kecepatan 0.17 m/s

Sudut Azimuth	Lengan 1		Lengan 2		Lengan 3	
	F _x (N)	F _y (N)	F _x (N)	F _y (N)	F _x (N)	F _y (N)
0	0.111824	-0.30954	1.338625	0.555228	1.386935	-0.37057
10	0.240563	-0.94314	0.974048	0.559977	1.978667	-0.52862
20	0.503766	-1.57729	0.406345	0.247261	1.807296	-0.18715
30	0.806385	-1.78333	0.152237	0.056704	1.716494	0.02789
40	1.093941	-1.7032	0.043136	-0.07354	1.348189	0.206397
50	2.043142	-1.85747	0.008212	-0.21183	1.332744	0.450514
60	2.159524	-1.04617	0.034464	-0.33574	1.311008	0.799608
70	1.96221	-0.73418	0.101305	-0.45384	1.130154	0.883576
80	2.078878	-0.69614	0.252156	-0.66192	0.363971	0.324465
90	2.259453	-0.21767	0.615831	-1.01432	0.48109	0.889395
100	2.372579	0.543225	0.979736	-0.96177	0.074	-0.1198
110	2.025821	0.835908	1.177835	-0.59945	0.05167	-0.29399
120	1.437254	0.713983	1.448579	-0.51912	0.130468	-0.10662
130	1.192632	0.444194	0.950003	-0.24897	0.239848	-0.76922
140	0.847121	0.585644	0.086262	-0.06937	0.501379	-1.48999
150	0.382424	0.452074	0.438593	-0.04846	0.861844	-1.82931
160	0.140886	0.382407	1.184903	0.282763	1.369714	-1.86524
170	0.033528	0.186451	1.671864	0.67784	1.412865	-1.34076
180	0.038872	-0.1181	1.347661	0.810453	2.111524	-1.44574
190	0.120045	-0.51029	0.945858	0.815018	2.082021	-0.87178
200	0.299263	-0.77689	0.640794	0.680482	2.295784	-0.39828
210	0.669874	-1.13687	0.047385	-0.15532	1.916504	-0.20594
220	1.050228	-1.07869	0.167014	0.566927	1.920205	0.016792
230	1.316671	-0.73115	0.07955	0.153015	1.596594	0.367796
240	1.857504	-0.60038	0.114965	-0.50563	1.421737	0.86837
250	2.119492	-0.51811	0.265523	-0.86103	1.174846	1.131864
260	1.251799	-0.30458	0.525892	-1.40092	0.854484	1.053104
270	0.421999	-0.10774	0.887178	-1.76712	0.506567	0.526489
280	1.297103	0.188806	1.340834	-1.77556	0.299111	0.164629
290	2.442336	0.894703	1.429265	-1.29861	0.098237	-0.04595
300	1.521146	0.859073	1.958399	-1.22608	0.050237	-0.27155
310	1.297752	1.180949	2.166655	-0.874	0.104008	-0.42275
320	0.830861	0.845386	2.428284	-0.32975	0.259793	-0.68108
330	0.225678	0.219954	2.25611	-0.02545	0.588819	-0.97191
340	0.141889	0.291136	1.852886	-0.01297	0.940334	-0.87309
350	0.147886	0.619054	1.896267	0.314327	1.184462	-0.65906
360	0.111824	-0.30954	1.338625	0.555228	1.386935	-0.37057

Konfigurasi *clean*, 6 RPM, kecepatan 0.21 m/s

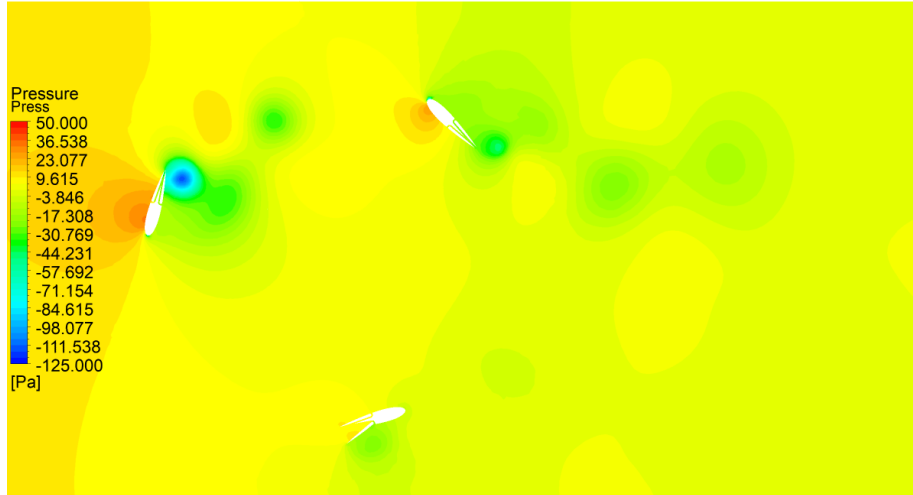
Sudut Azimuth	Lengan 1		Lengan 2		Lengan 3	
	Fx (N)	Fy (N)	Fx (N)	Fy (N)	Fx (N)	Fy (N)
0	0.158258	-0.63996	2.225162	1.407843	2.796583	-0.91262
10	0.312465	-1.31808	1.377972	0.832529	2.672626	-0.71765
20	0.669336	-2.22131	0.604276	0.372864	2.401249	-0.22608
30	1.139141	-2.49711	0.26069	0.06025	2.31713	0.076248
40	1.385766	-2.18719	0.085827	-0.16797	1.92179	0.36611
50	2.594076	-2.23977	0.025929	-0.35427	1.928688	0.72832
60	2.676885	-1.45708	0.063754	-0.43435	1.797804	1.08903
70	2.935868	-1.31595	0.165798	-0.66501	1.119481	0.845008
80	3.133581	-0.76964	0.45834	-1.13121	0.769493	1.034389
90	3.741997	0.075981	1.12993	-1.82753	0.196829	0.016103
100	3.024021	0.389135	1.390916	-1.04625	0.171044	0.33454
110	2.548307	0.231517	1.580406	-0.50759	0.159936	1.00445
120	2.2907	0.912645	1.850184	-0.61187	0.143763	-0.18804
130	1.565032	1.310039	2.028936	-0.60222	0.325307	-1.31588
140	1.257917	1.642562	1.977327	-0.37025	0.677716	-2.11183
150	0.743319	0.993268	3.157963	0.286133	1.161296	-2.51458
160	0.470591	0.16756	3.89391	0.950132	1.846039	-2.44838
170	0.121108	-0.19983	3.559317	1.323122	2.143352	-2.20645
180	0.063453	-0.35442	2.453013	1.74815	2.900558	-1.6509
190	0.160035	-0.60537	1.982312	1.678609	2.702843	-1.51255
200	0.410619	-1.05296	0.596917	0.687669	3.825184	-1.02395
210	1.018796	-1.66458	0.744776	1.329051	3.294011	0.037801
220	1.452216	-1.29509	0.065906	-0.11152	3.300483	0.722861
230	1.640128	-0.75478	0.133366	0.379369	2.362553	0.501443
240	1.47852	-0.47029	0.140888	-0.15732	2.477124	0.687126
250	0.802277	-0.31113	0.32372	-1.19532	1.499278	0.894719
260	1.581491	-0.40956	0.685527	-2.05085	1.100016	1.405674
270	2.435432	0.390642	1.152411	-2.34677	0.79249	1.393983
280	4.347593	0.962735	1.719627	-2.22846	0.393996	0.275422
290	3.077401	1.051047	2.005108	-1.76863	0.159397	-0.28452
300	2.292038	1.545369	2.720641	-1.71562	0.077903	-0.50893
310	1.887514	1.675797	3.138047	-1.3121	0.165686	-0.70004
320	0.851145	0.949915	3.472593	-0.4951	0.429108	-1.08742
330	0.189862	0.136202	3.015522	-0.20966	1.016113	-1.57728
340	0.380903	1.527344	3.036279	-0.07886	1.36928	-0.79788
350	0.17444	0.310825	2.454408	0.548836	2.005616	-0.90514
360	0.158258	-0.63996	2.225162	1.407843	2.796583	-0.91262

Konfigurasi *clean*, 6 RPM, kecepatan 0.29 m/s

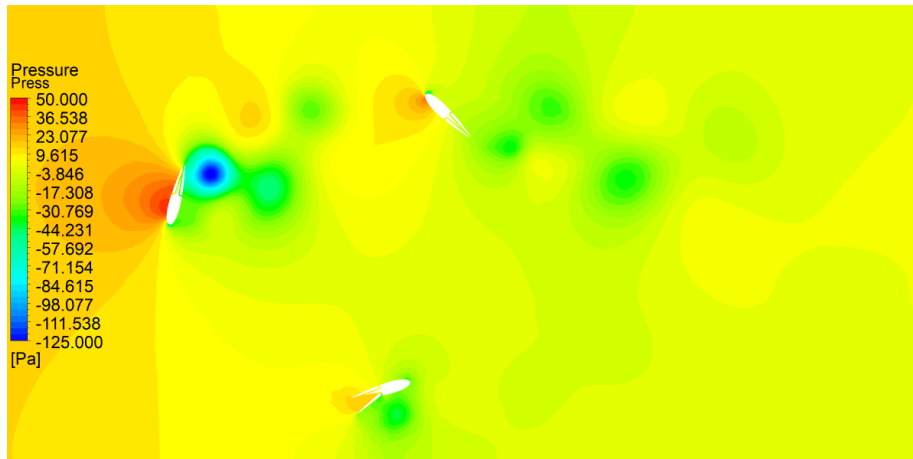
Sudut Azimuth	Lengan 1		Lengan 2		Lengan 3	
	F _x (N)	F _y (N)	F _x (N)	F _y (N)	F _x (N)	F _y (N)
0	0.112799	-0.73972	3.675612	1.961547	4.042427	-0.13425
10	0.229326	-2.25957	2.467794	1.498583	4.43823	-0.7402
20	0.501459	-3.72782	1.065974	0.322451	3.892334	-0.31105
30	0.969565	-4.22988	0.452299	-0.1492	3.987112	-0.48872
40	1.04661	-3.66834	0.226073	0.160538	3.628868	0.060701
50	1.721754	-3.10096	0.129066	-0.33402	3.884536	0.380301
60	1.977537	-2.66877	0.144307	-0.80784	3.30223	0.729647
70	2.134296	-1.57744	0.33233	-1.33809	2.321497	1.133514
80	2.31802	-1.22248	0.919815	-2.18855	1.045147	0.785871
90	2.569244	-0.96626	2.227159	-2.68284	1.107996	2.214194
100	2.499817	0.883151	2.934769	-1.42888	0.396469	1.434736
110	2.222779	1.361537	3.097022	-1.69764	0.249775	2.002615
120	1.799989	1.025967	1.66983	-0.32088	0.225566	0.90206
130	1.16206	1.39082	1.859106	-0.55327	0.49691	-1.18443
140	1.048902	2.553352	3.665698	-0.48901	1.066163	-2.19419
150	0.532284	0.464443	5.824999	0.29656	1.907529	-3.41709
160	0.183512	-0.17916	5.257738	1.398603	2.650575	-3.07726
170	0.054451	-0.01912	5.30718	2.431675	3.630566	-3.43144
180	0.062529	-0.85755	4.068423	2.677912	4.206487	-3.02585
190	0.144517	-1.16405	2.296951	2.371618	4.597763	-3.15207
200	0.408367	-2.10942	1.136482	0.967554	6.290805	-1.86491
210	0.963931	-2.54768	0.693387	1.130655	5.202731	-1.02251
220	1.229561	-1.42843	0.652562	2.302274	5.113743	0.099223
230	2.030823	-2.59667	0.197433	0.443243	4.909336	1.06076
240	1.421597	-0.93591	0.258228	0.016545	4.073202	2.008516
250	0.4641	-0.29586	0.519643	-1.85752	3.117949	1.122336
260	0.978784	-0.53166	1.12151	-3.61436	1.670203	0.964226
270	2.140059	0.889012	1.864517	-3.916	1.374442	1.876212
280	3.070923	1.45913	2.88939	-3.71404	0.566875	-0.20329
290	2.33982	1.711341	3.208762	-3.11946	0.099464	-0.56214
300	2.073346	3.239085	4.495574	-2.65964	0.129699	-0.71824
310	1.192047	1.760422	4.796947	-2.03587	0.321925	-0.81071
320	0.541786	1.73678	5.269144	-1.72159	0.913009	-0.96004
330	0.401239	1.093806	5.84227	-0.00067	2.162248	-0.6673
340	0.235756	1.682996	5.015459	0.365213	2.257749	0.195773
350	0.147764	1.233339	4.668887	0.551149	2.945634	-0.60965
360	0.112799	-0.73972	3.675612	1.961547	4.042427	-0.13425

F. Kontur Tekanan, Kecepatan, dan *Vorticity*.

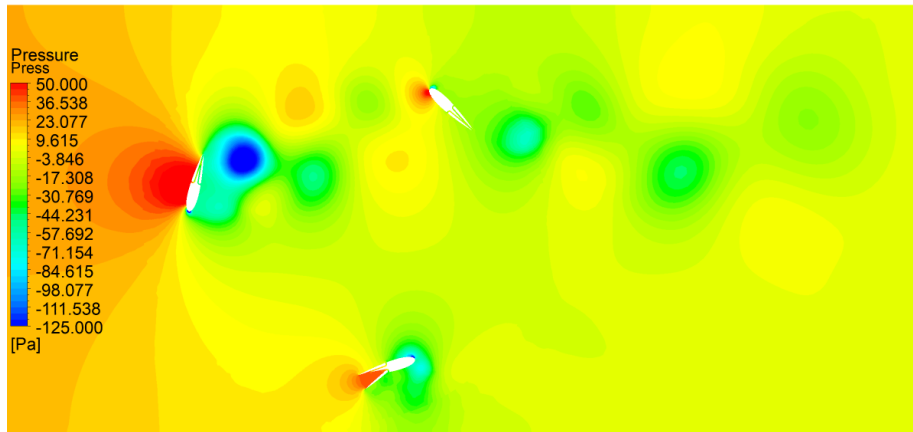
Konfigurasi *out*, sudut bukaan 30° , kecepatan (a) 0.17 m/s, (b) 0.21 m/s, dan (c) 0.29 m/s



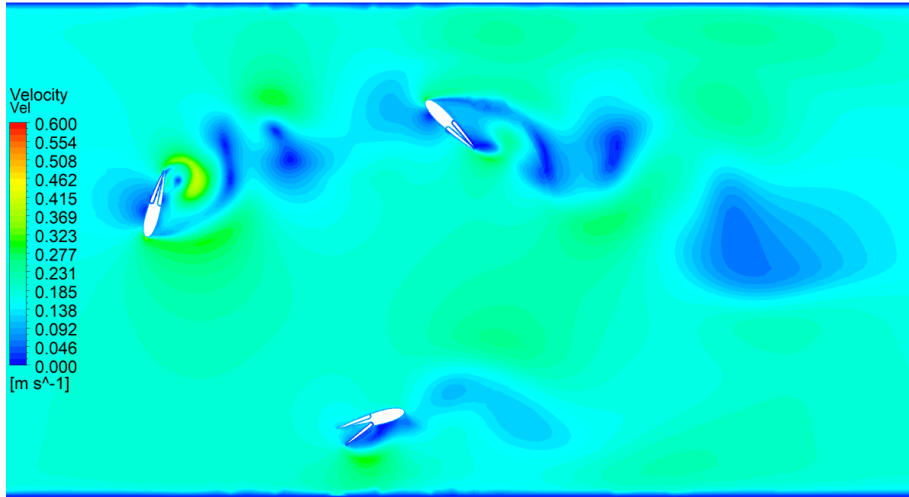
(a)



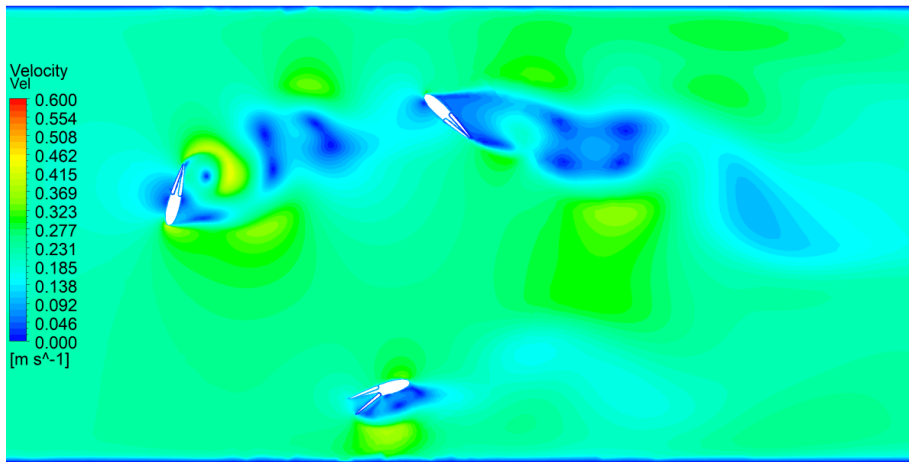
(b)



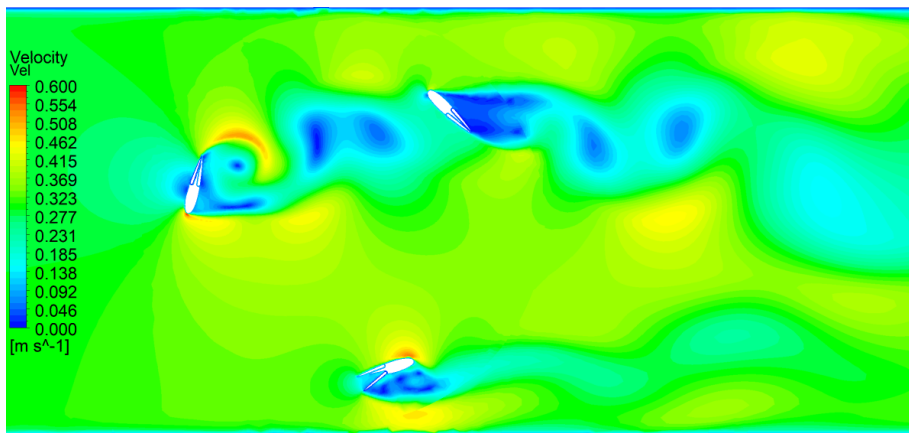
(c)



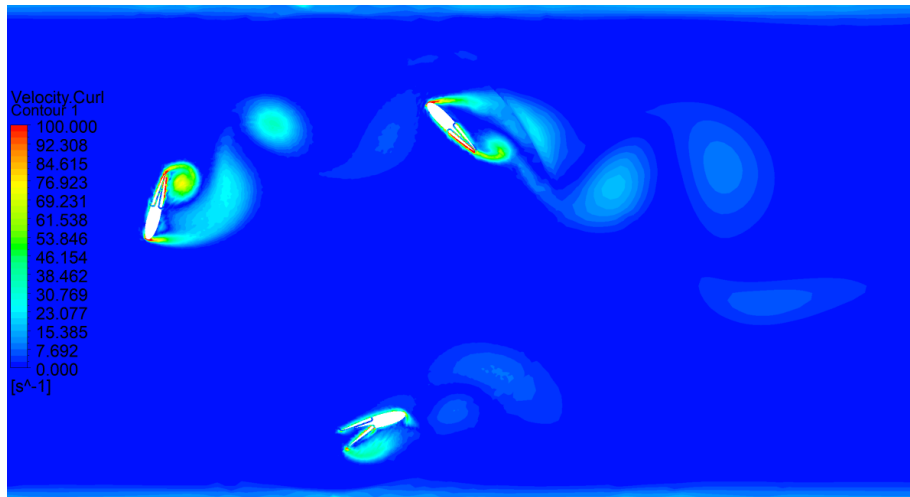
(a)



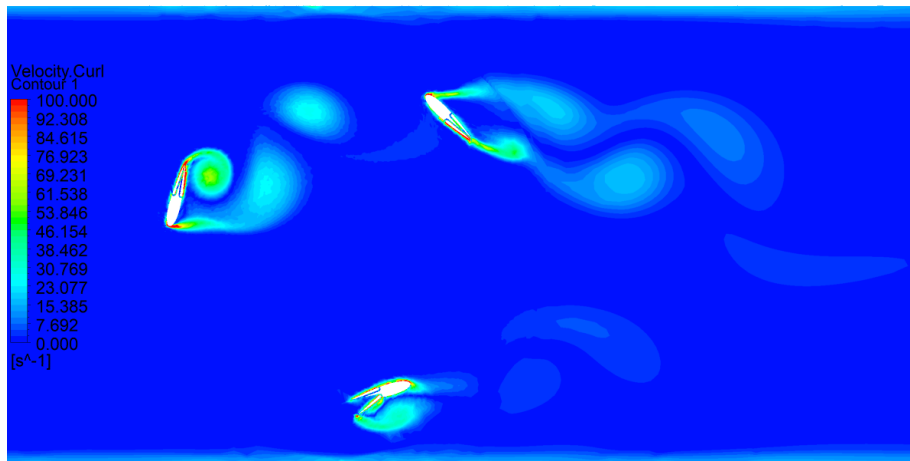
(b)



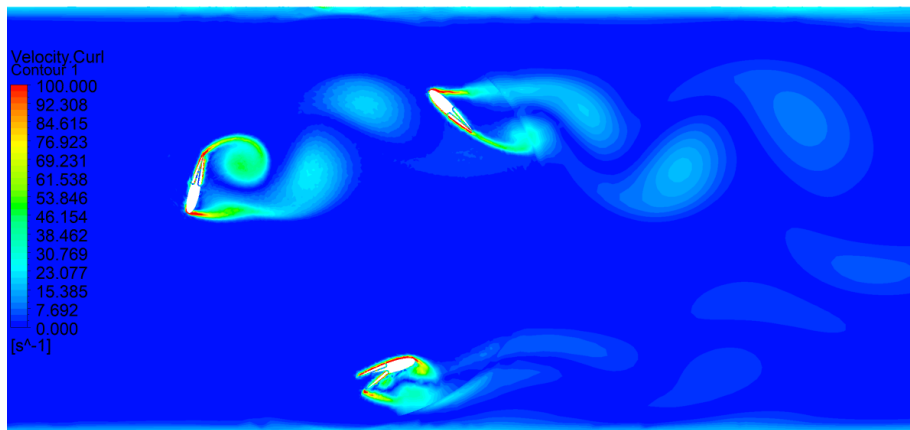
(c)



(a)

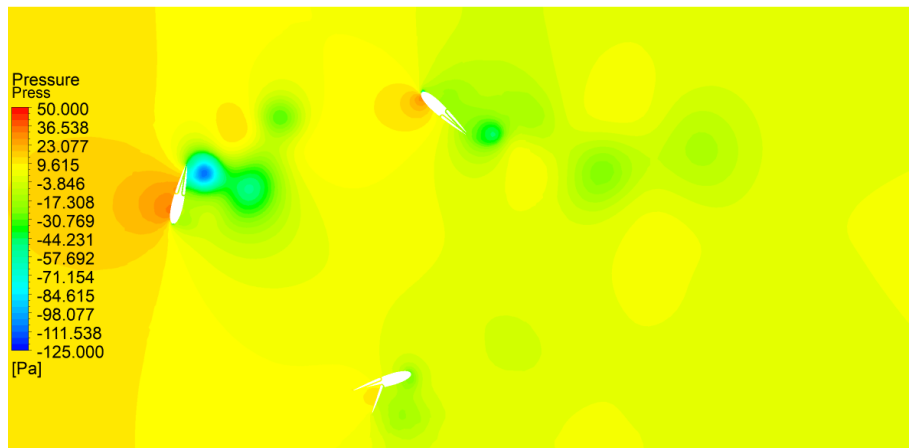


(b)

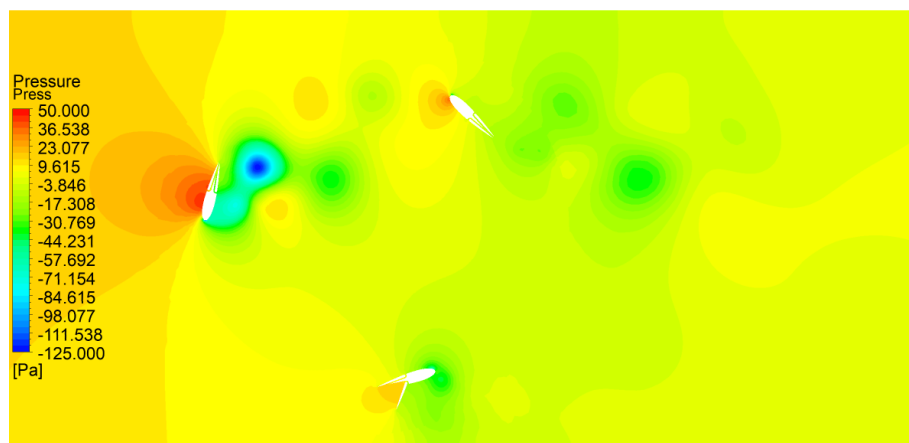


(c)

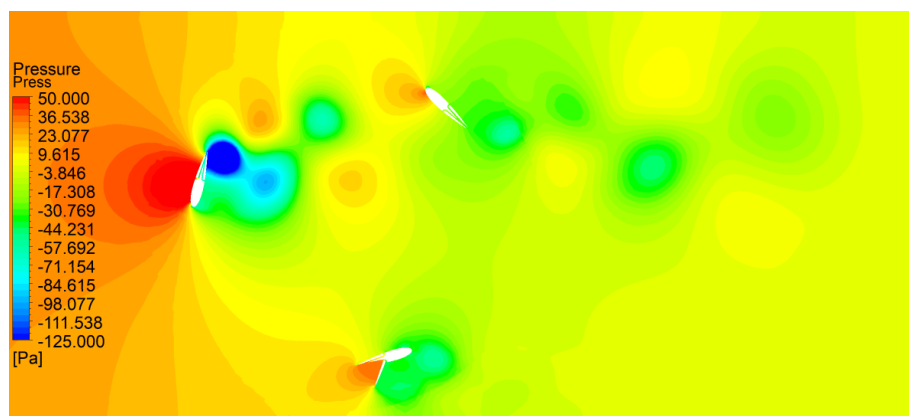
Konfigurasi *out*, sudut bukaan 45° , kecepatan (a) 0.17 m/s, (b) 0.21 m/s, dan (c) 0.29 m/s



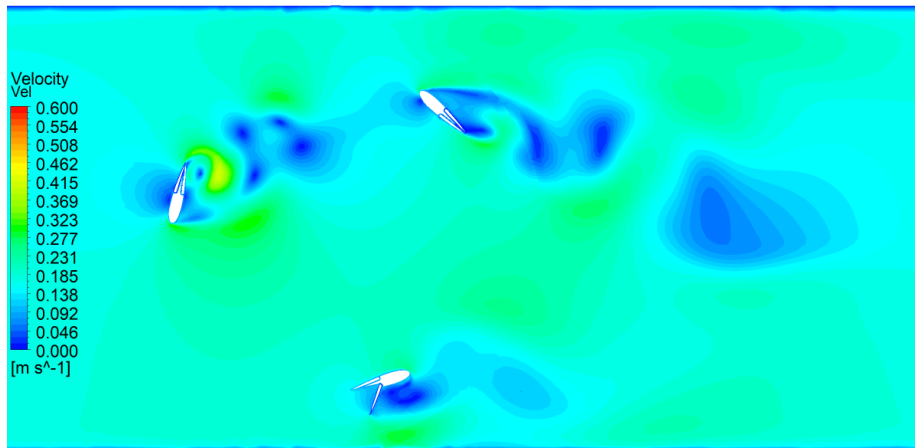
(a)



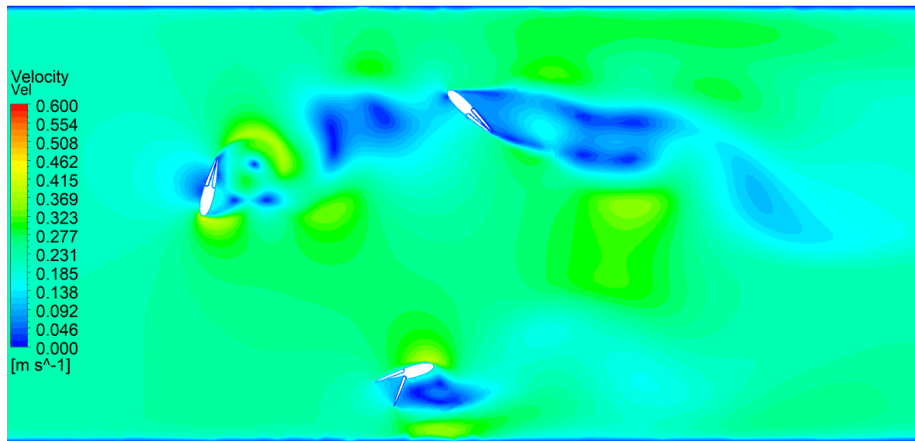
(b)



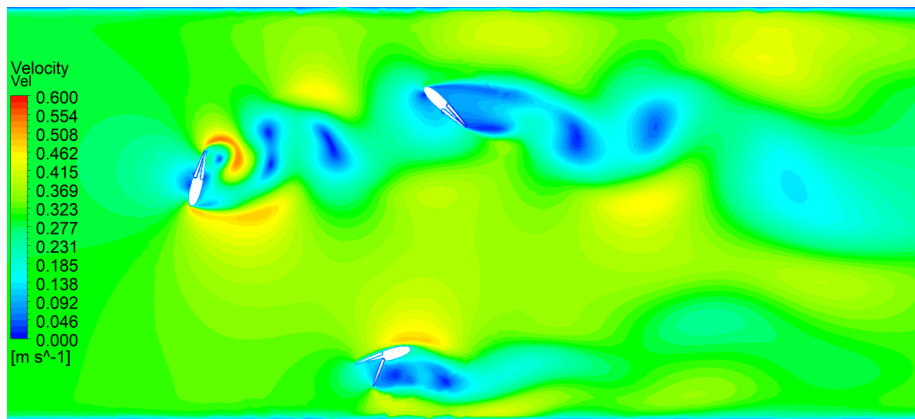
(c)



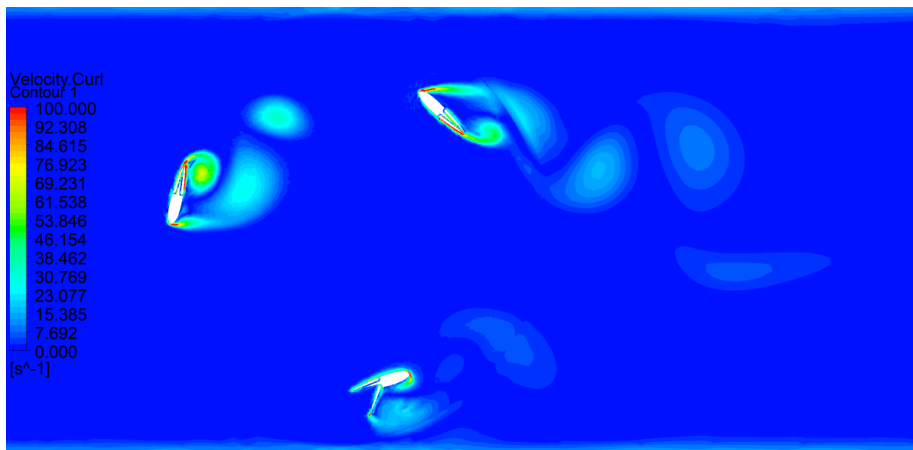
(a)



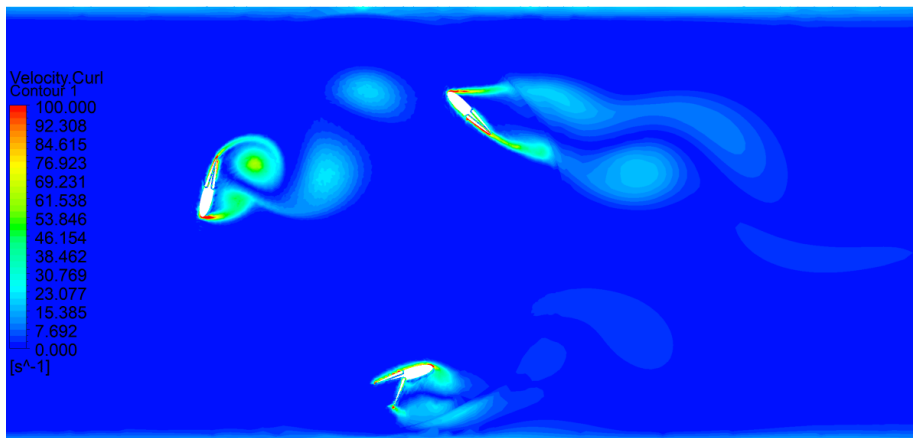
(b)



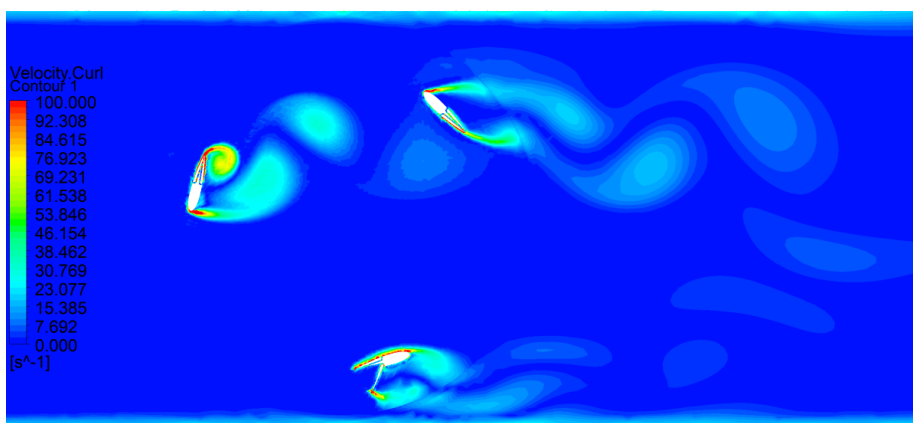
(c)



(a)

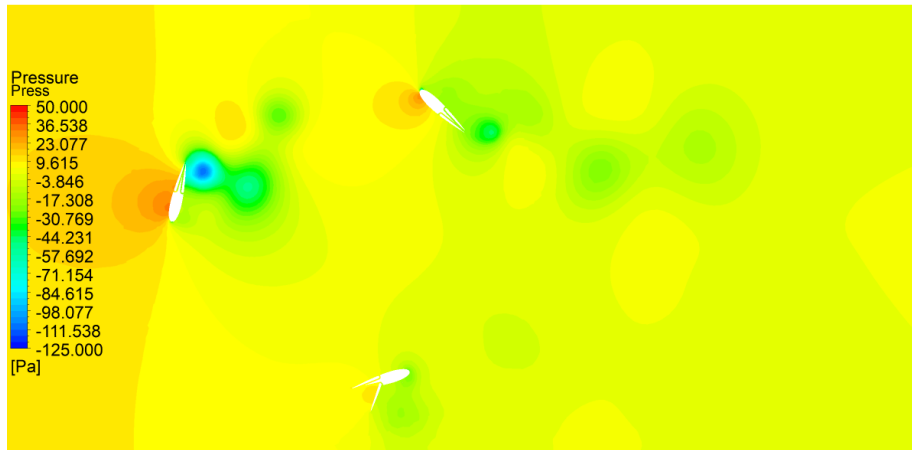


(b)

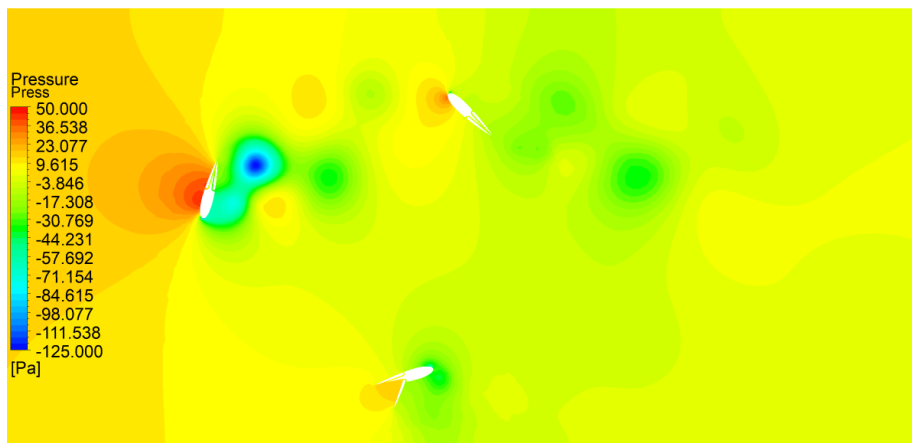


(c)

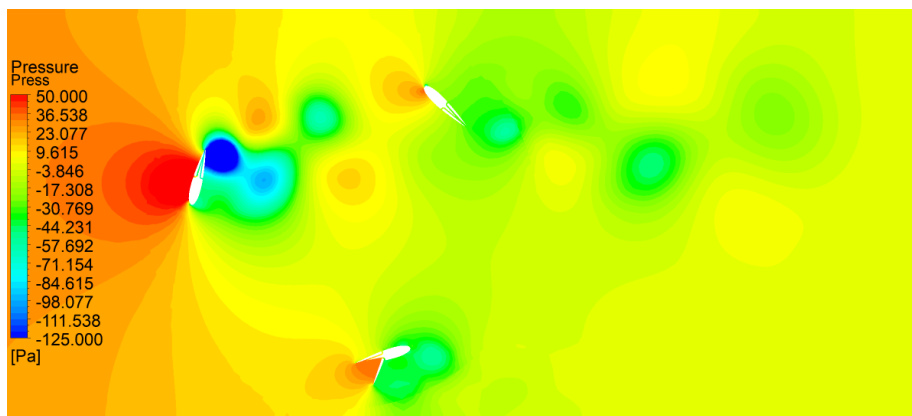
Konfigurasi *out*, sudut bukaan 60° , kecepatan (a) 0.17 m/s, (b) 0.21 m/s, dan (c) 0.29 m/s



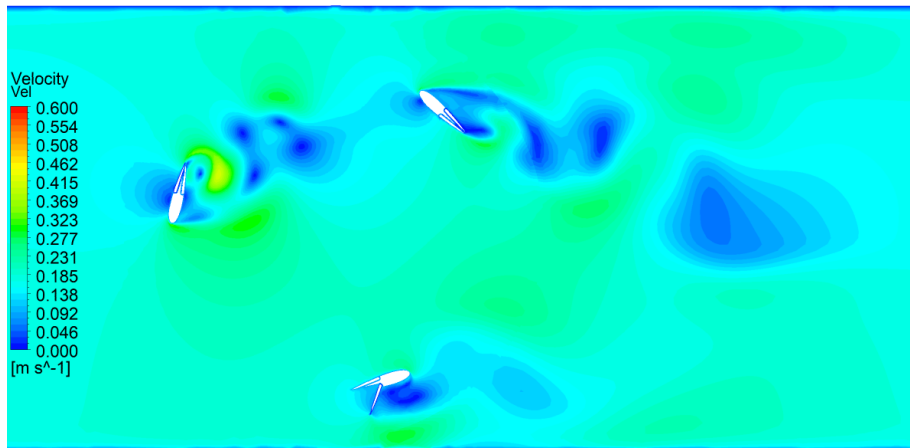
(a)



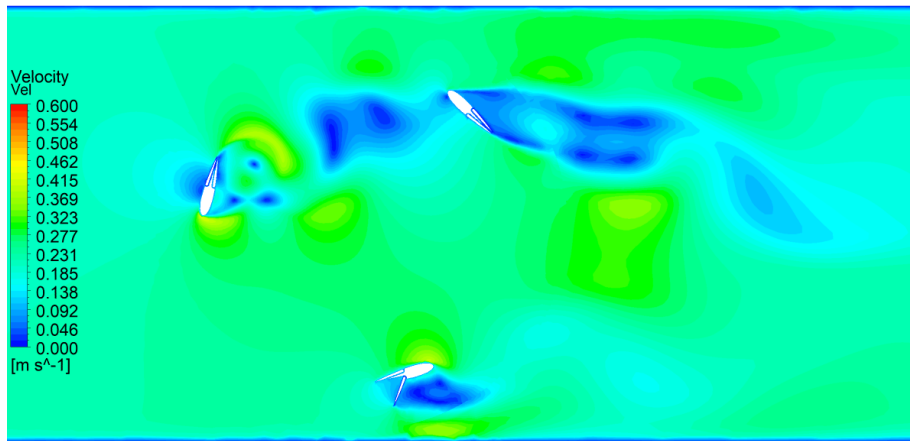
(b)



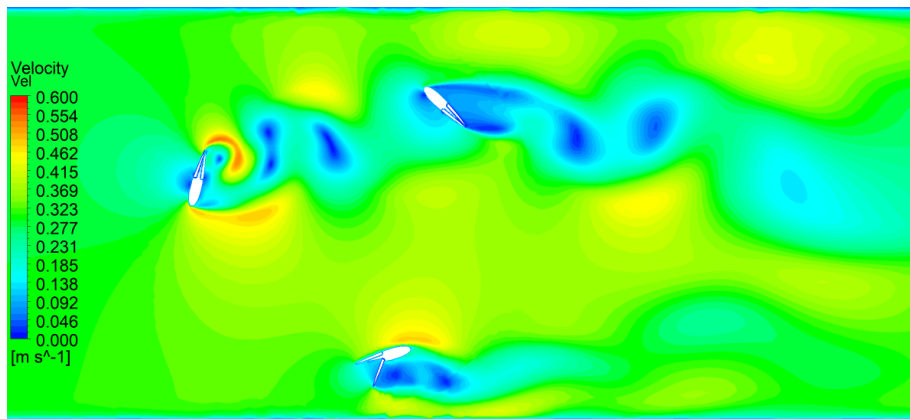
(c)



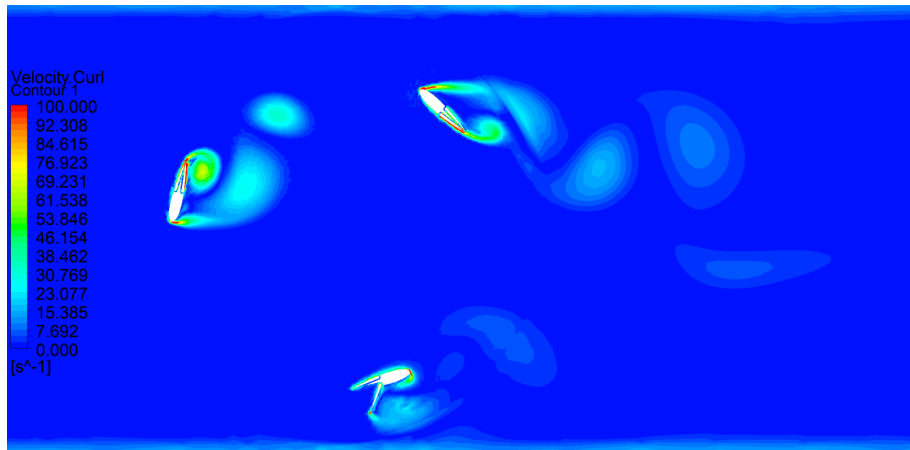
(a)



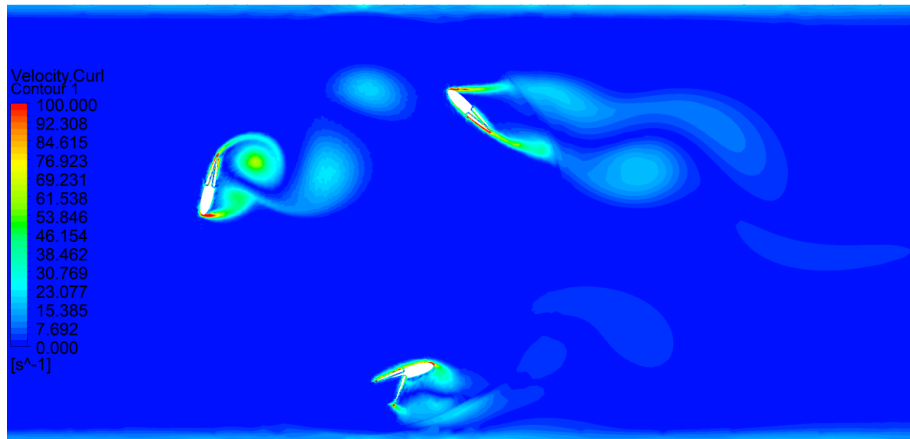
(b)



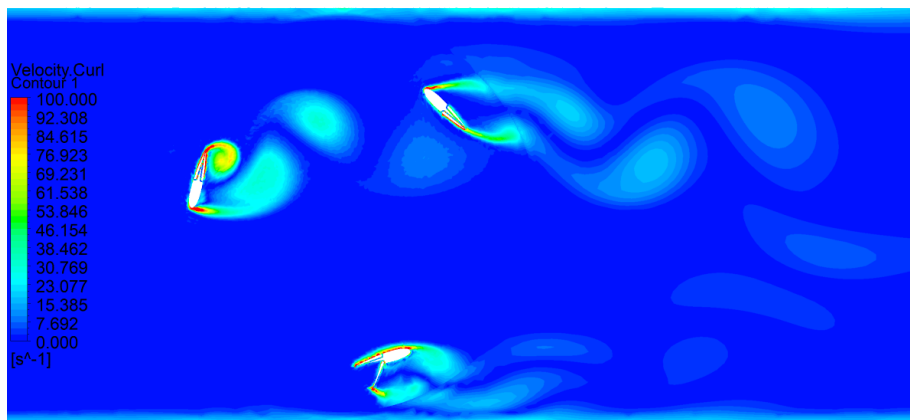
(c)



(a)

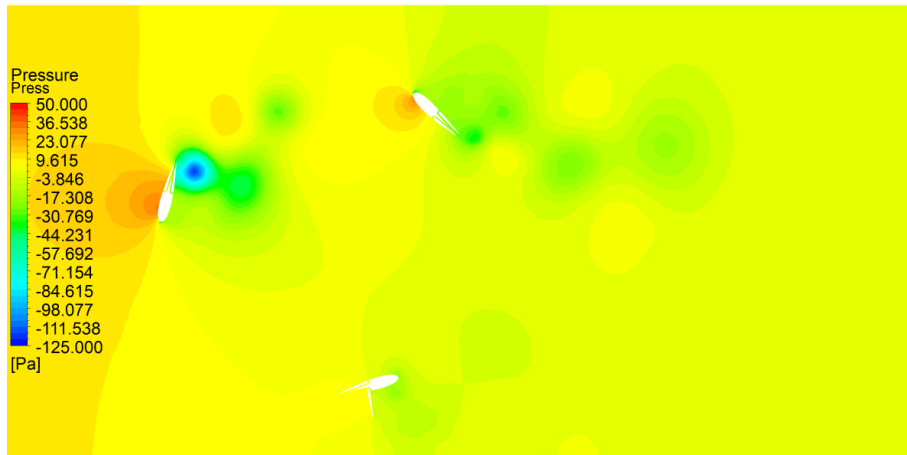


(b)

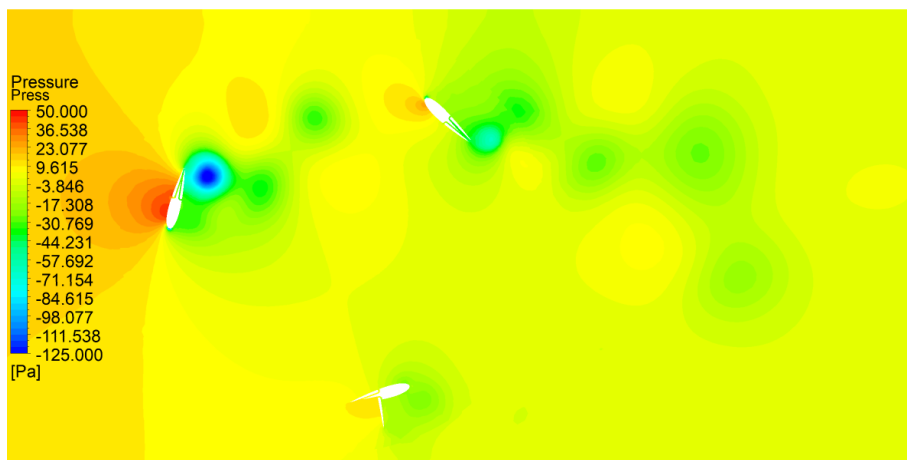


(c)

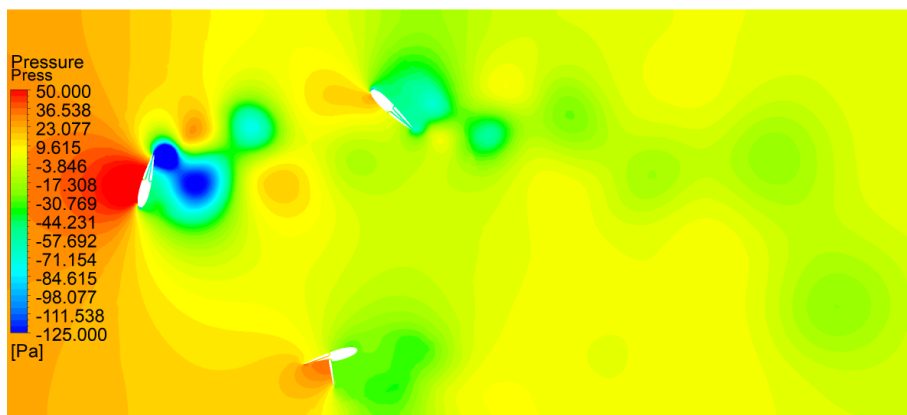
Konfigurasi *out*, sudut bukaan 90°, kecepatan (a) 0.17 m/s, (b) 0.21 m/s, dan (c) 0.29 m/s



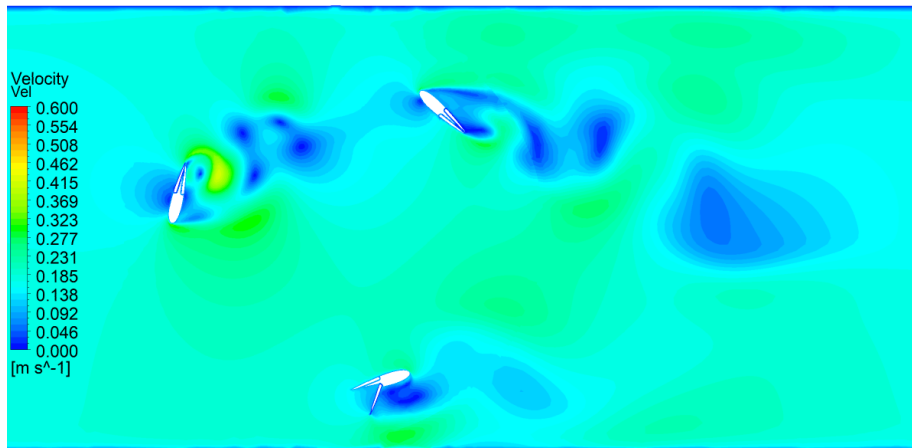
(a)



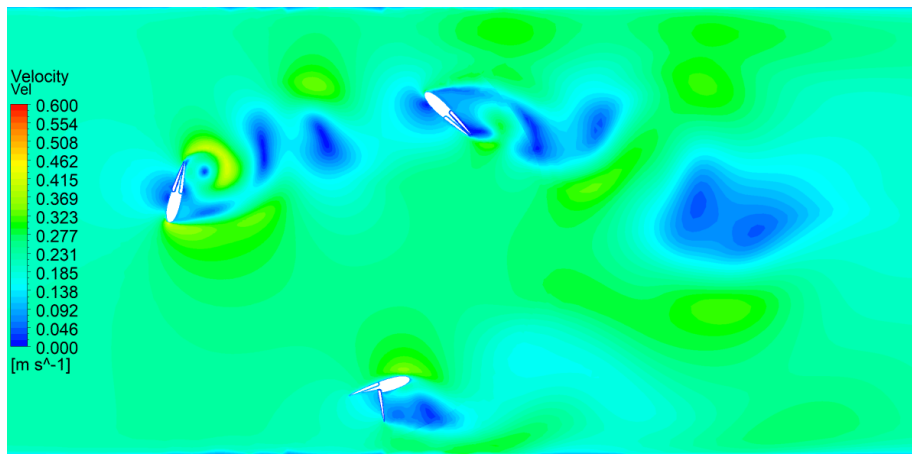
(b)



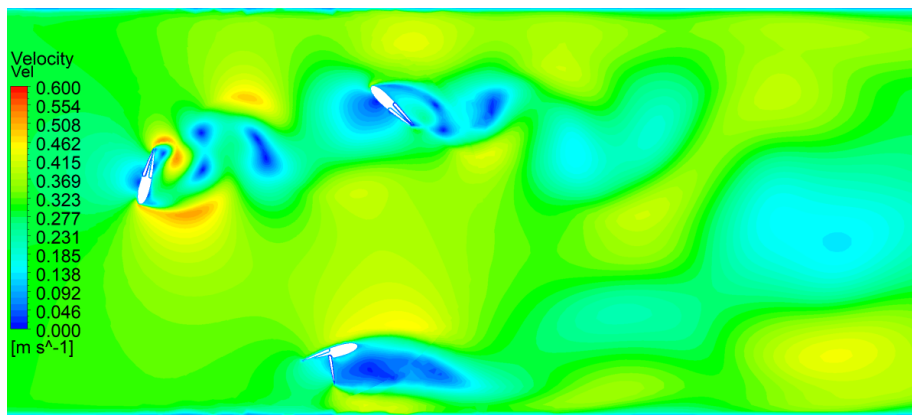
(c)



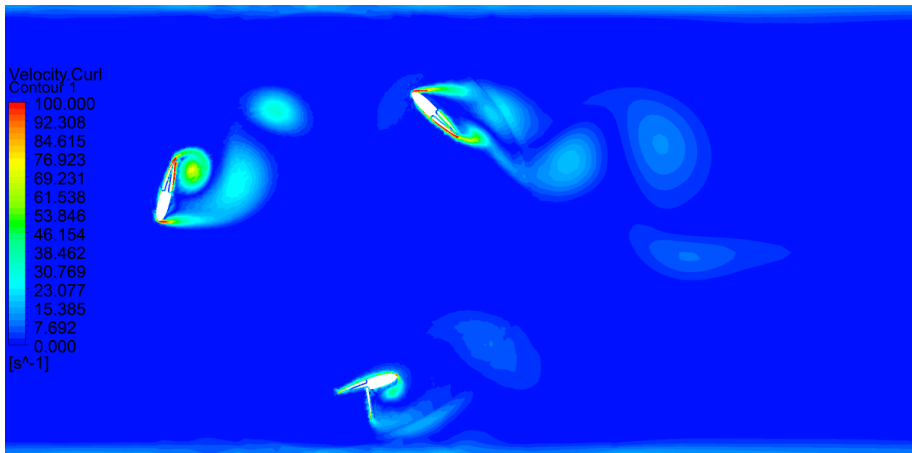
(a)



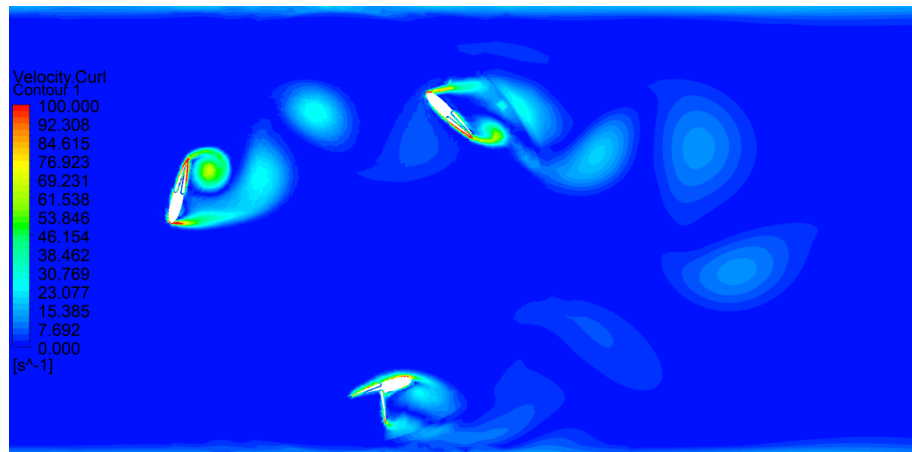
(b)



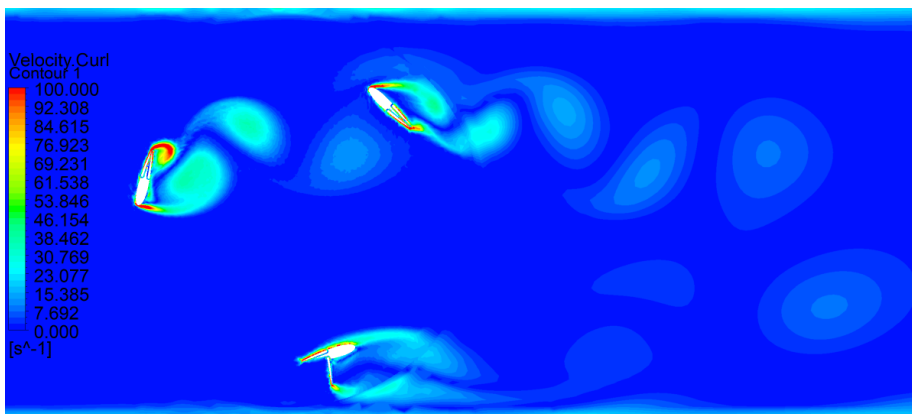
(c)



(a)

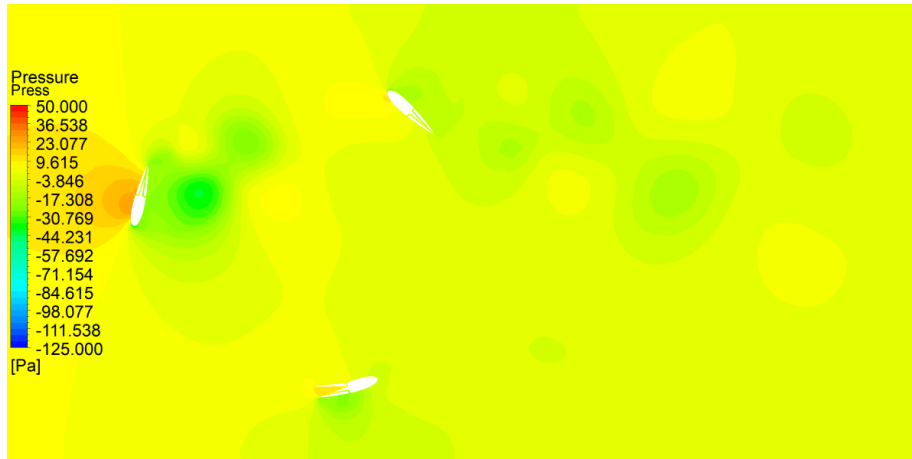


(b)

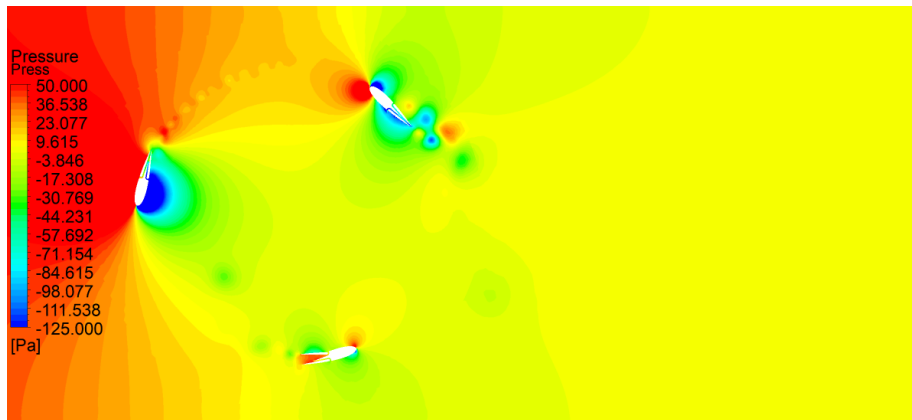


(c)

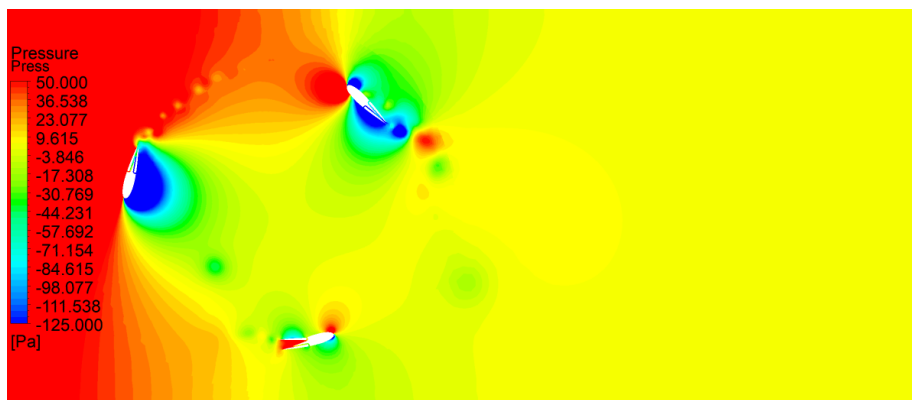
Konfigurasi *in*, sudut bukaan 30°, kecepatan (a) 0.17 m/s, (b) 0.21 m/s, dan (c) 0.29 m/s



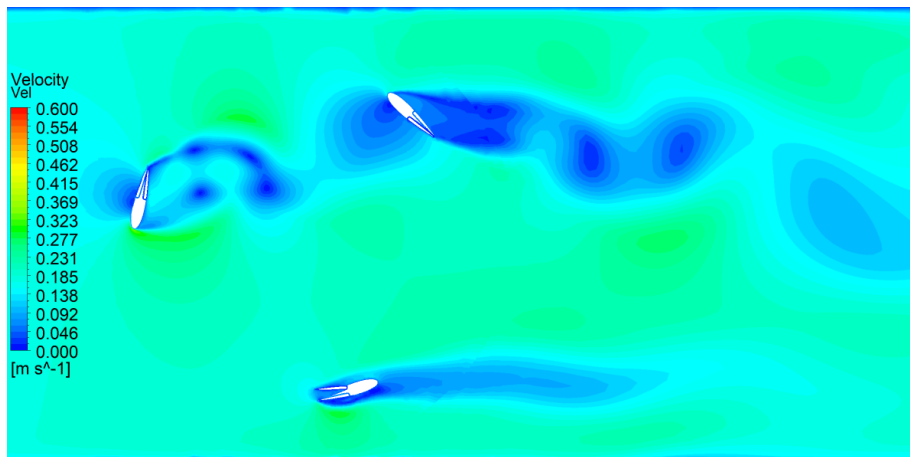
(a)



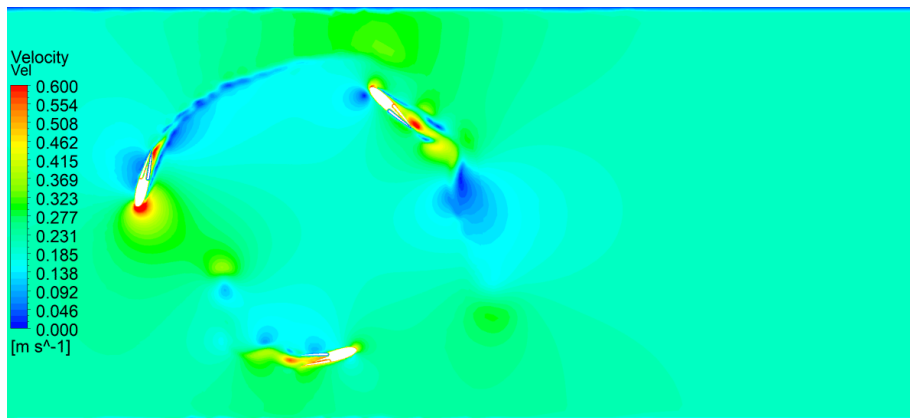
(b)



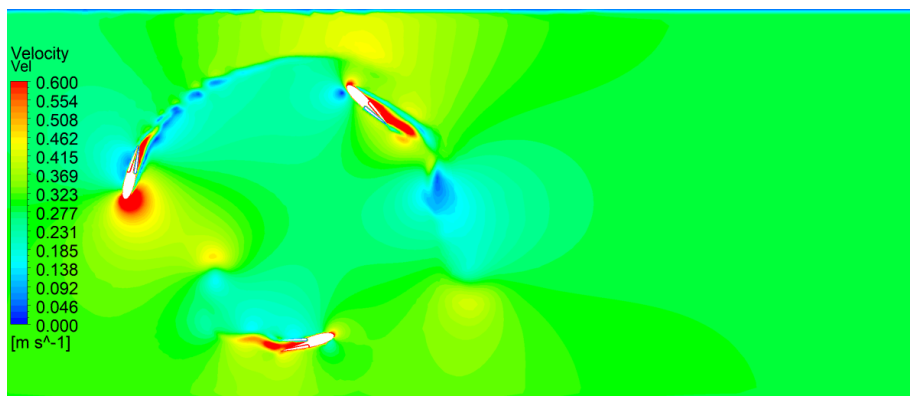
(c)



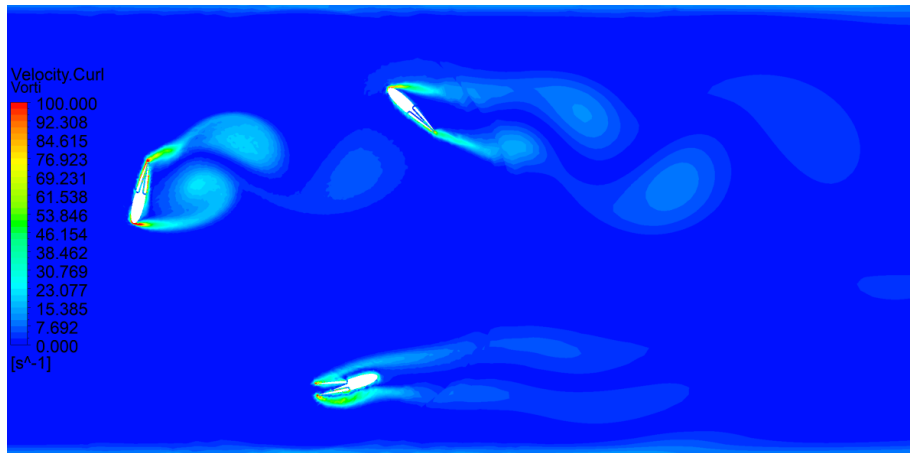
(a)



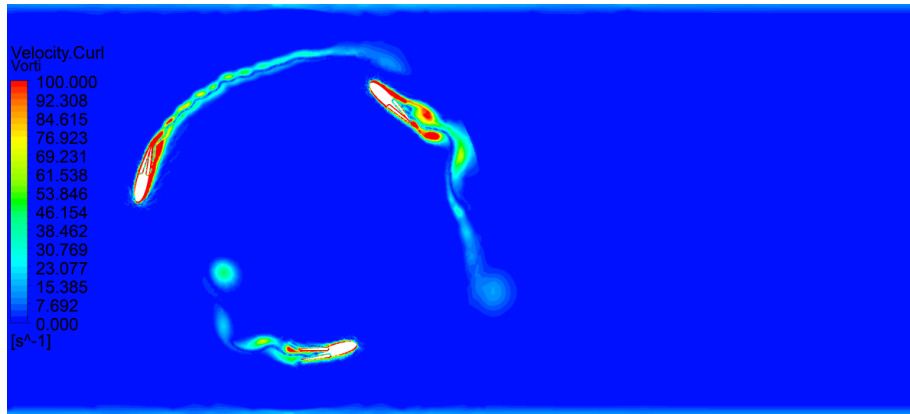
(b)



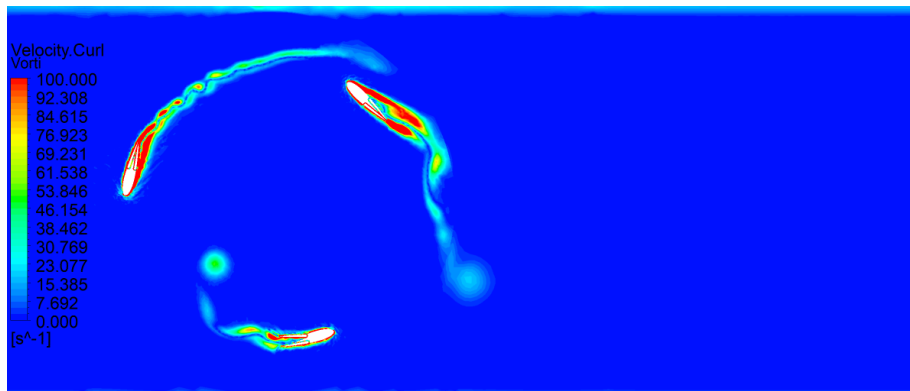
(c)



(a)

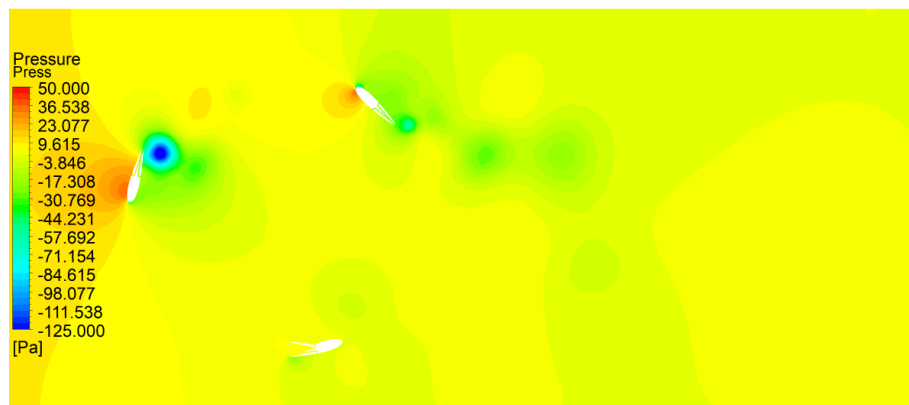


(b)

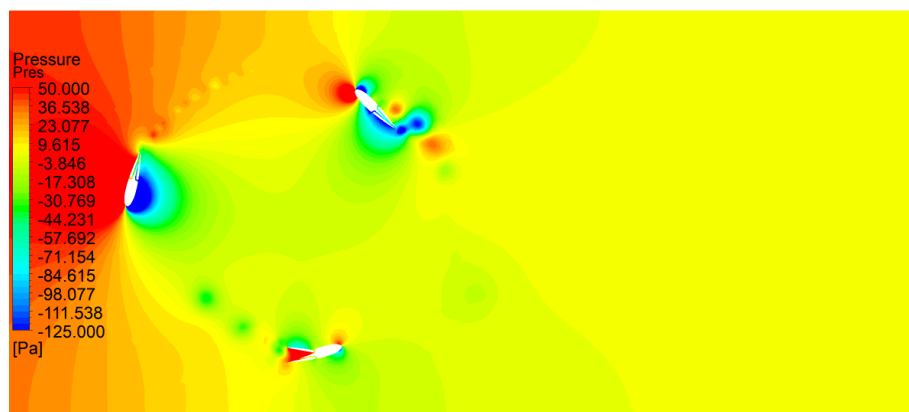


(c)

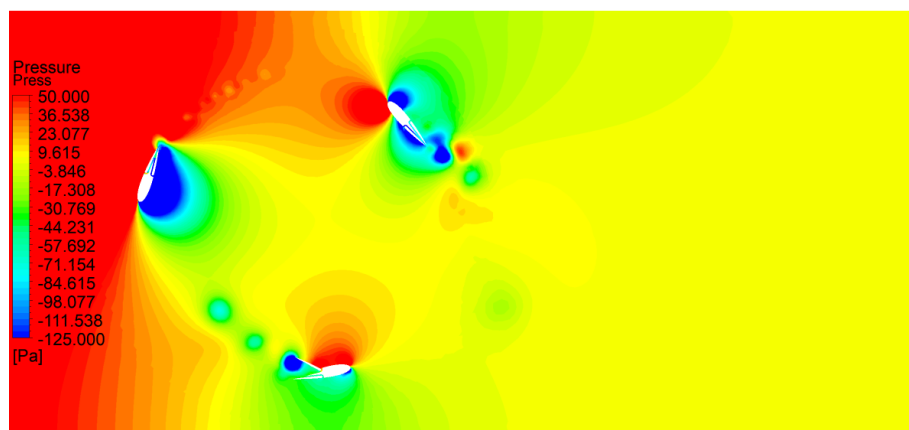
Konfigurasi *in*, sudut bukaan 45° , kecepatan (a) 0.17 m/s, (b) 0.21 m/s, dan (c) 0.29 m/s



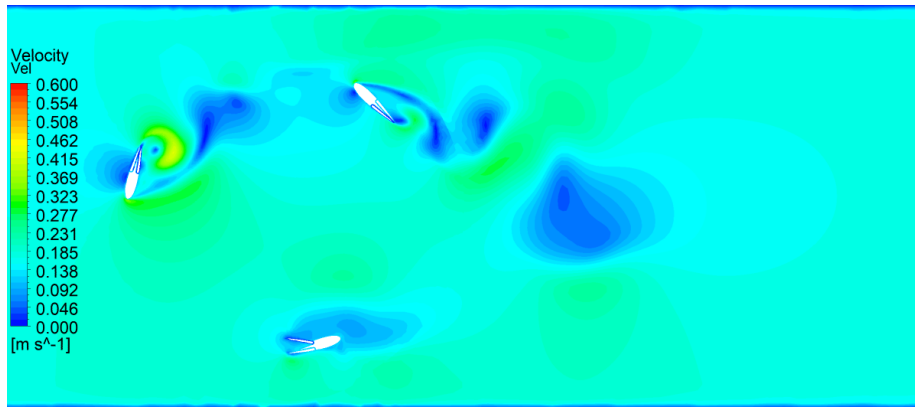
(a)



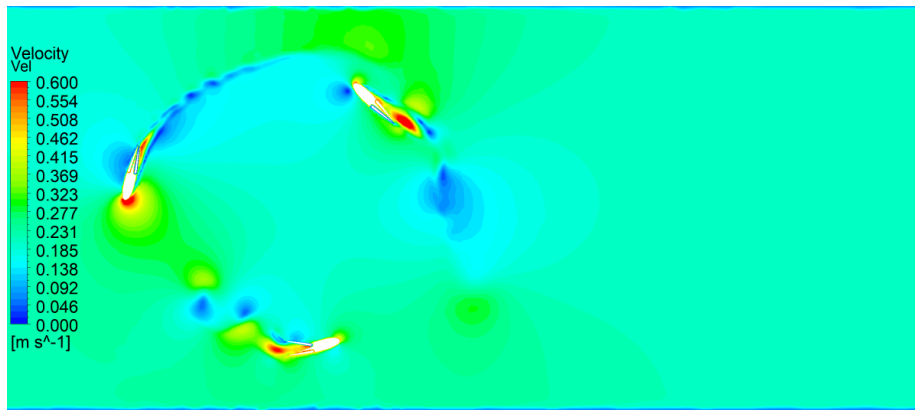
(b)



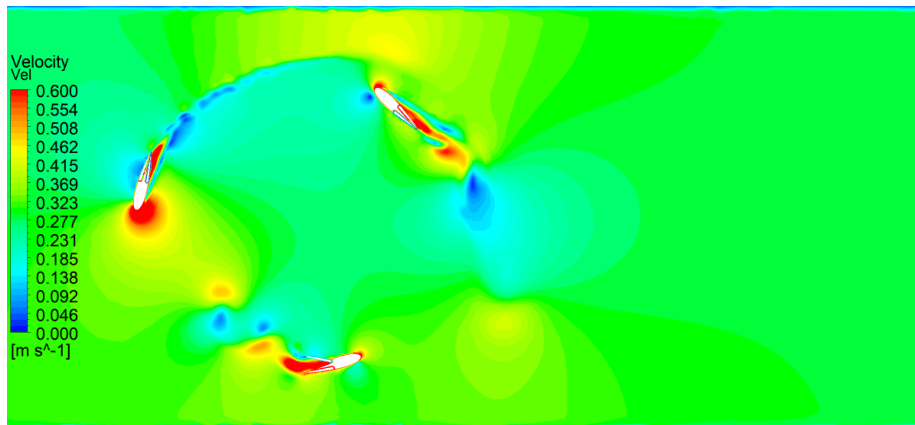
(c)



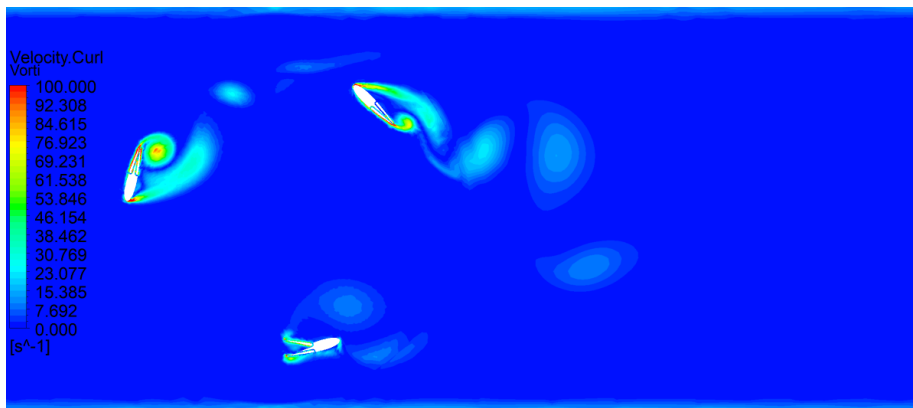
(a)



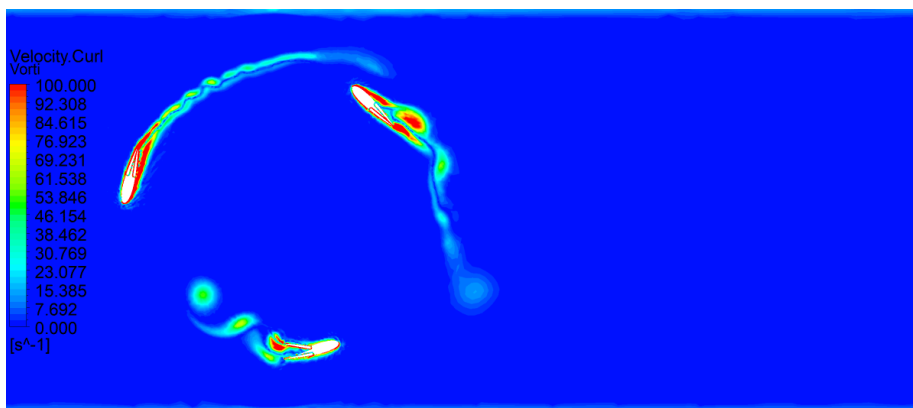
(b)



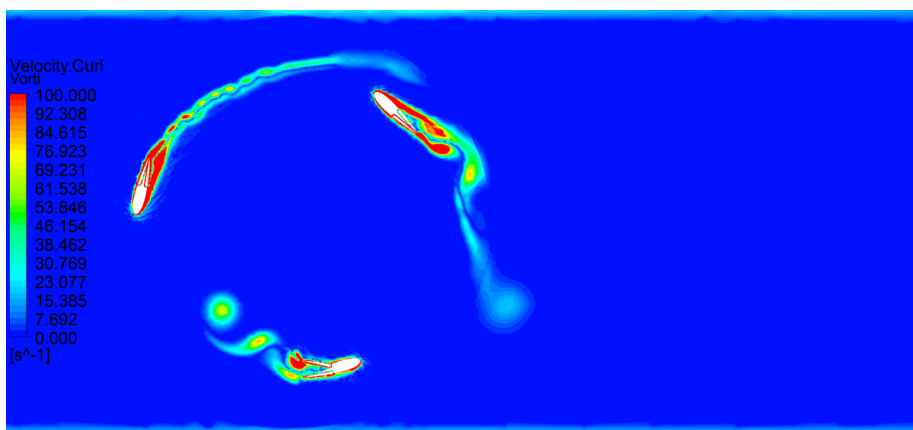
(c)



(a)

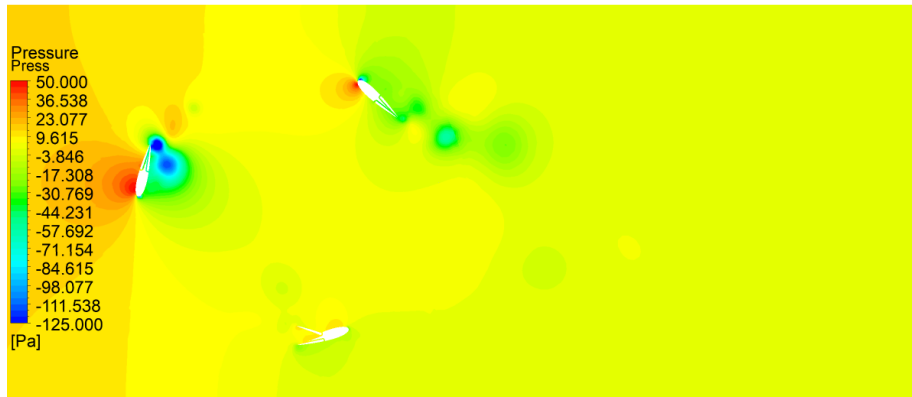


(b)

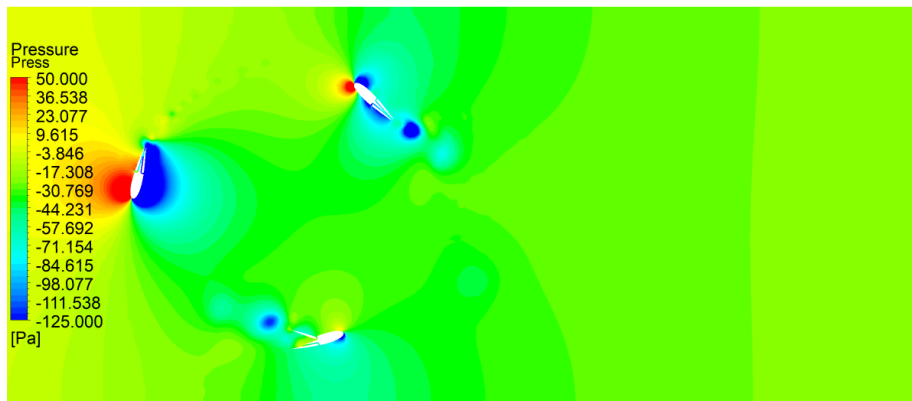


(c)

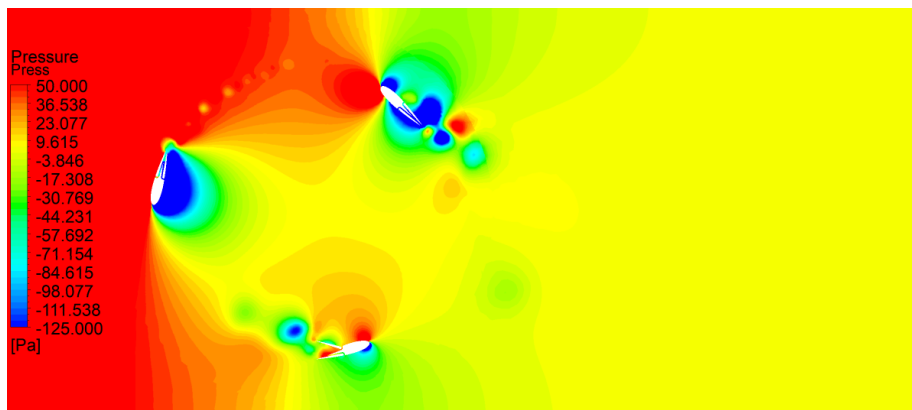
Konfigurasi *in*, sudut bukaan 60° , kecepatan (a) 0.17 m/s, (b) 0.21 m/s, dan (c) 0.29 m/s



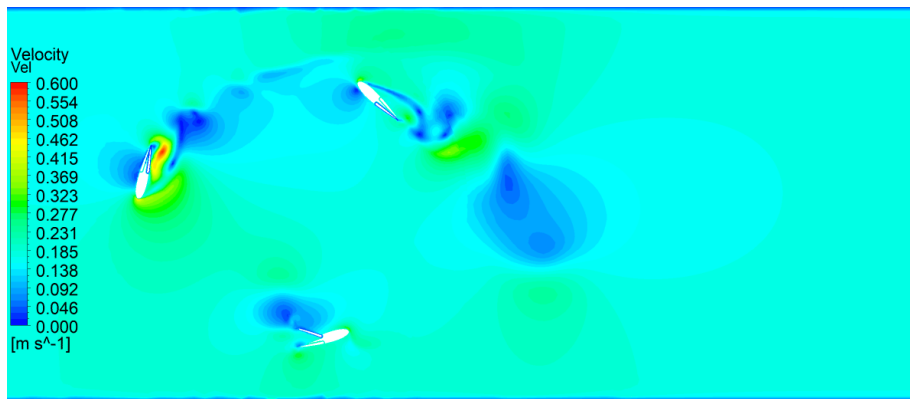
(a)



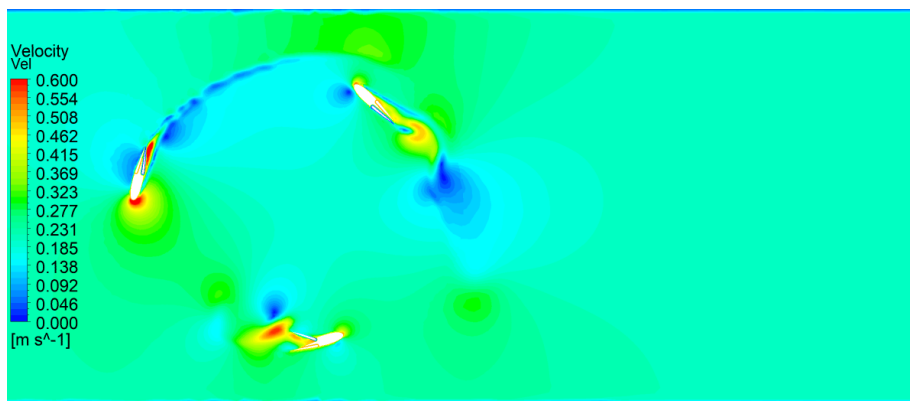
(b)



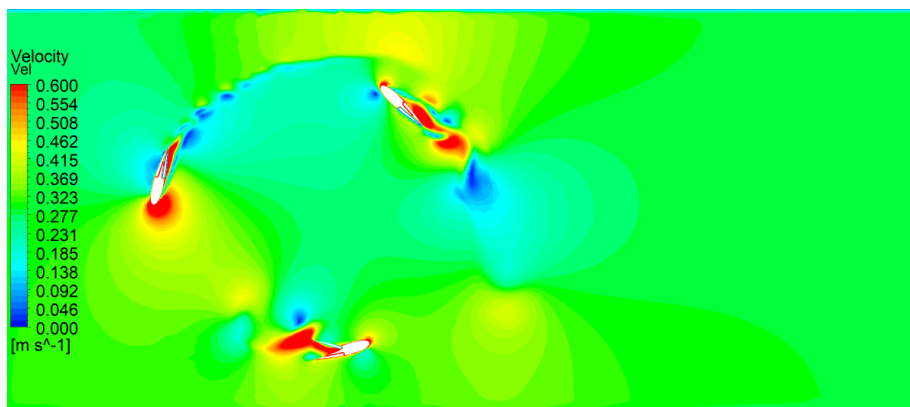
(c)



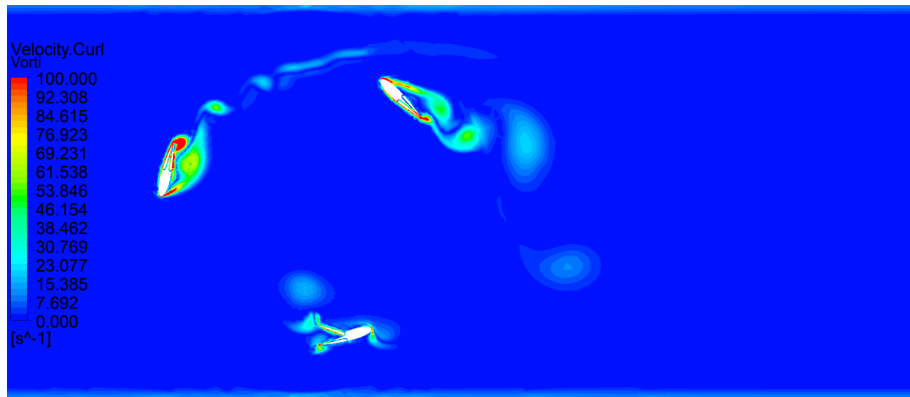
(a)



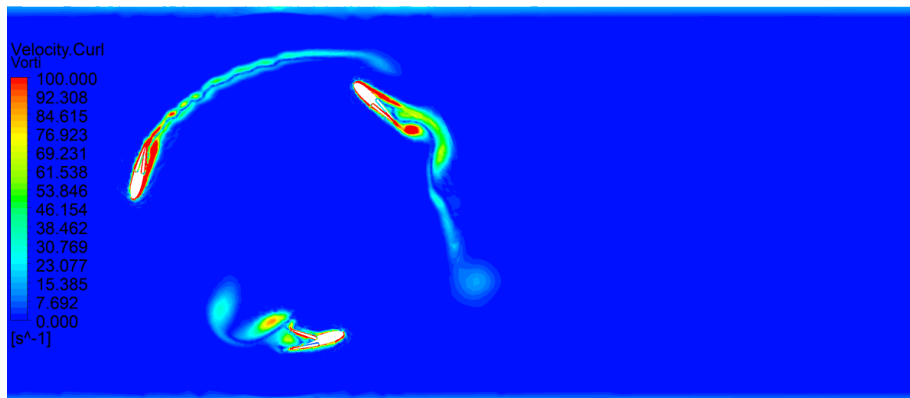
(b)



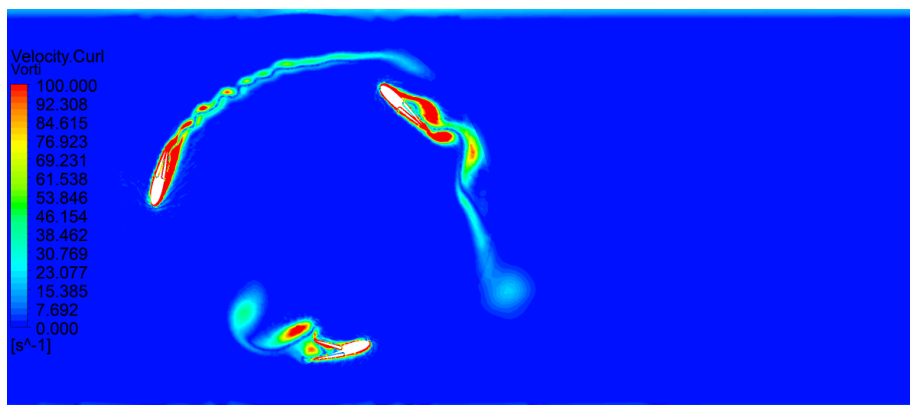
(c)



(a)

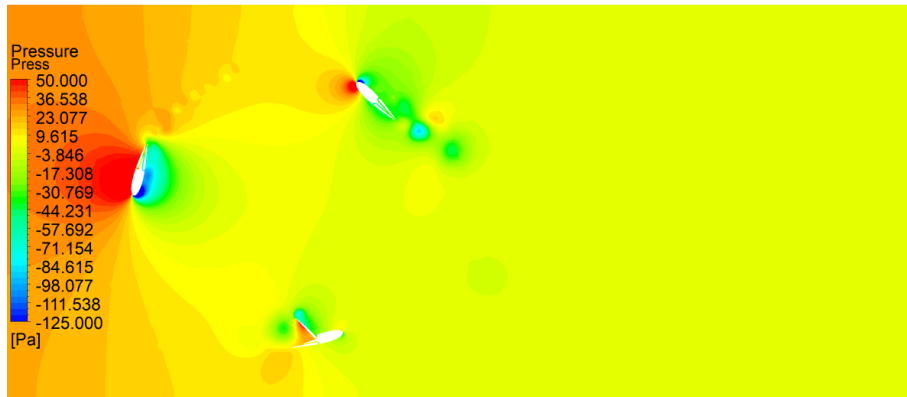


(b)

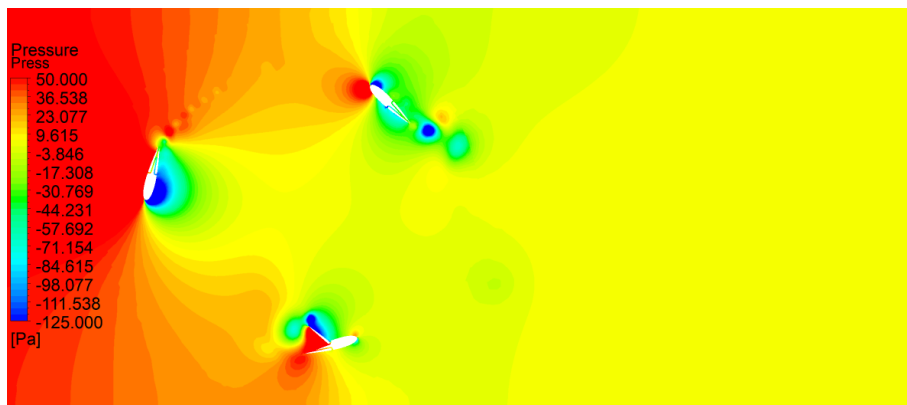


(c)

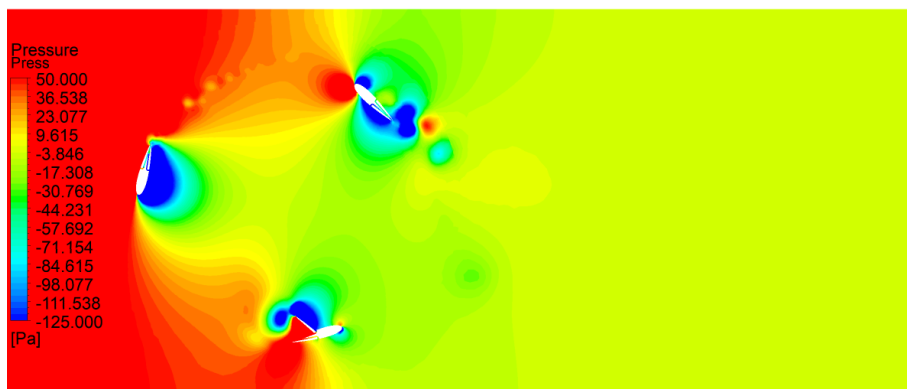
Konfigurasi *in*, sudut bukaan 90° , kecepatan (a) 0.17 m/s, (b) 0.21 m/s, dan (c) 0.29 m/s



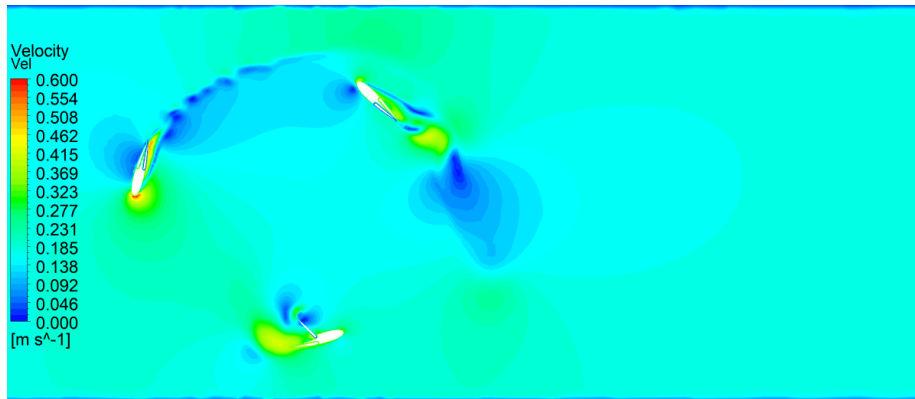
(a)



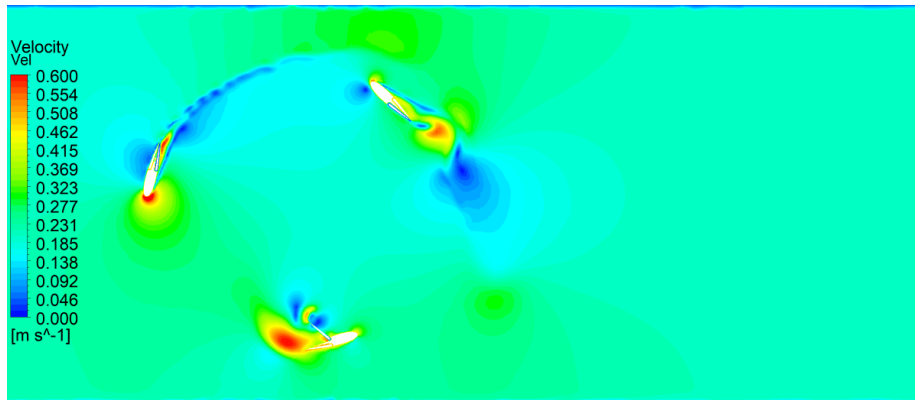
(b)



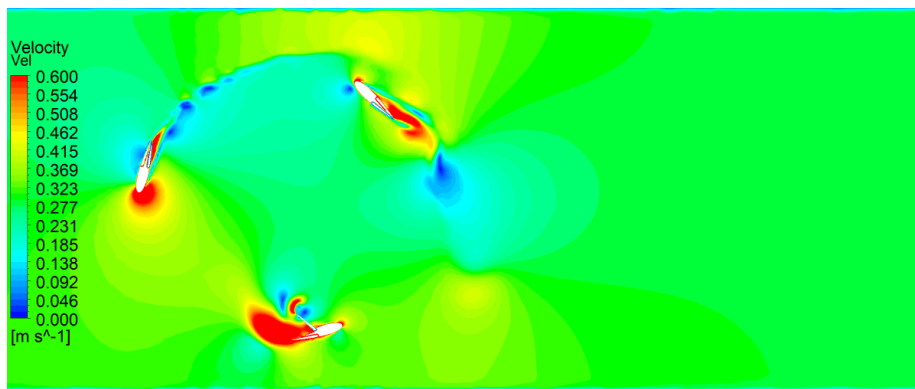
(c)



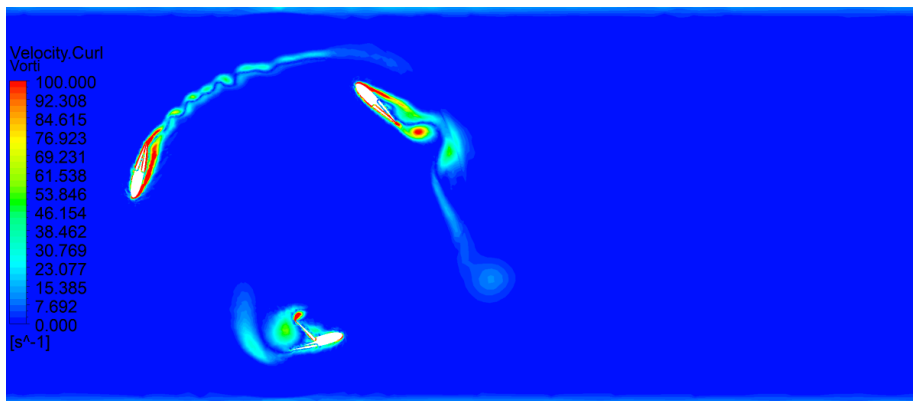
(a)



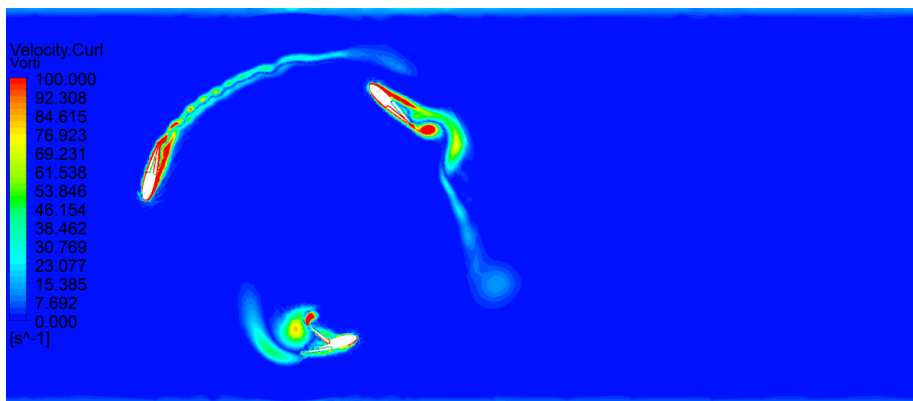
(b)



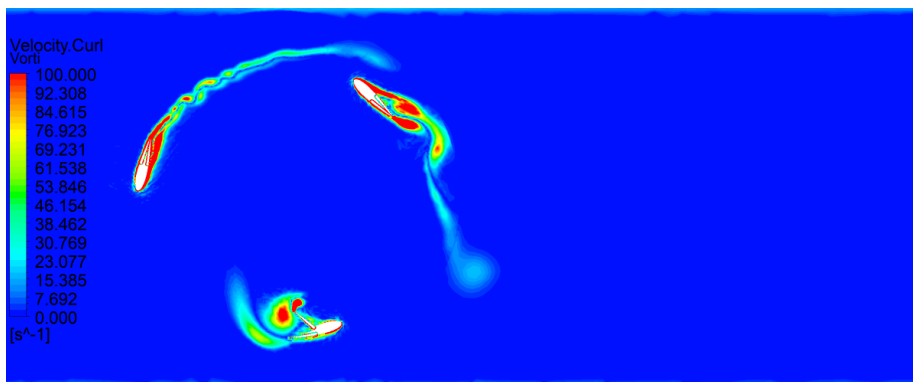
(c)



(a)

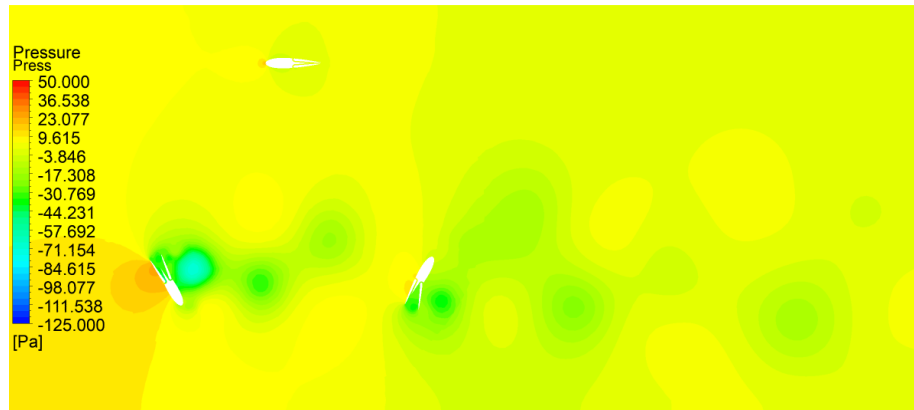


(b)

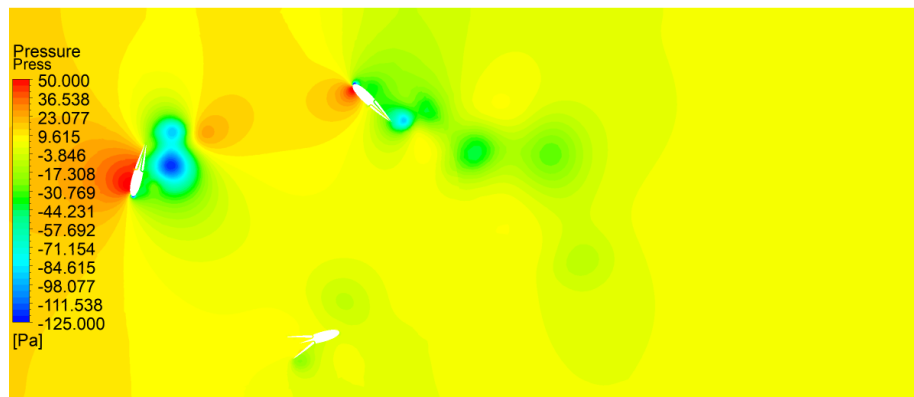


(c)

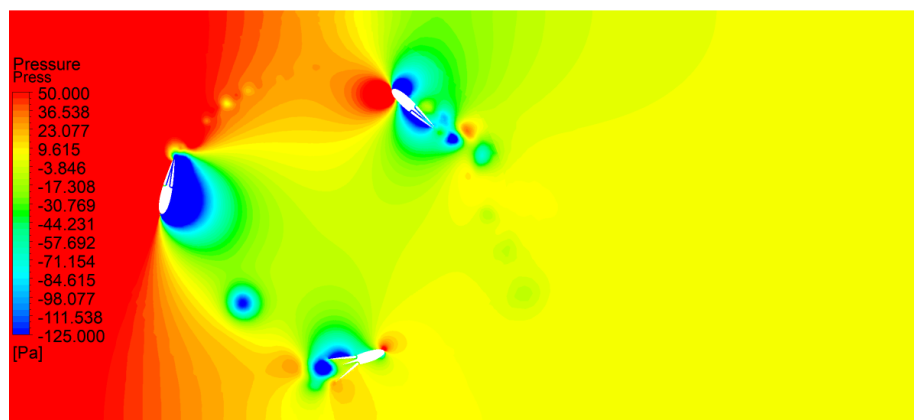
Konfigurasi *both*, sudut bukaan 30°, kecepatan (a) 0.17 m/s, (b) 0.21 m/s, dan (c) 0.29 m/s



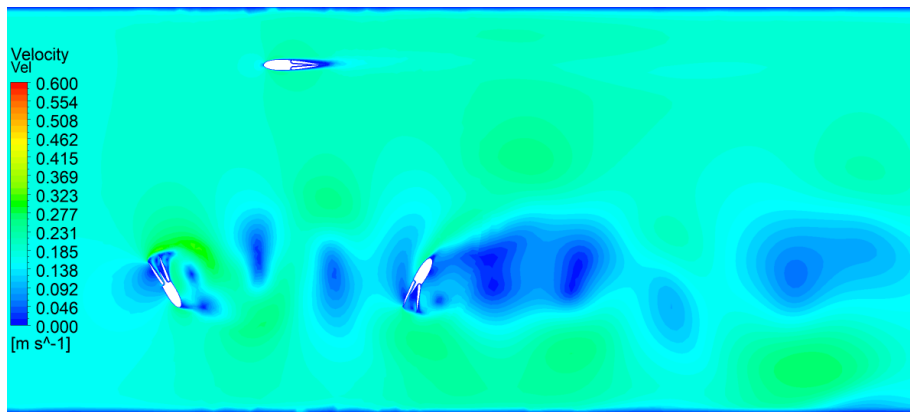
(a)



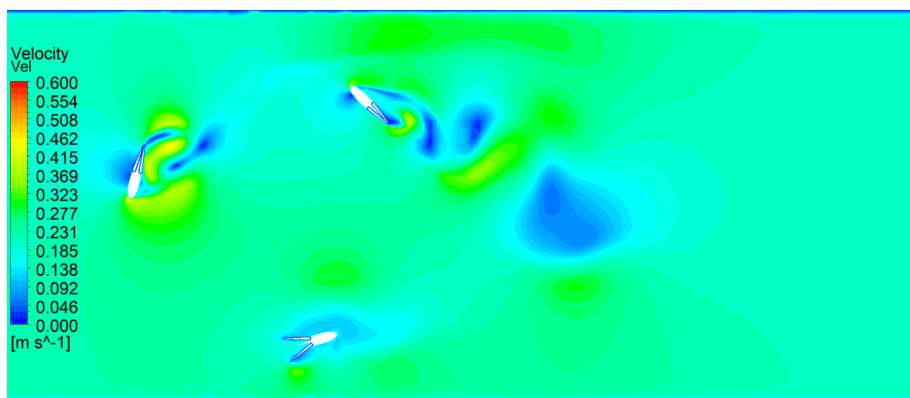
(b)



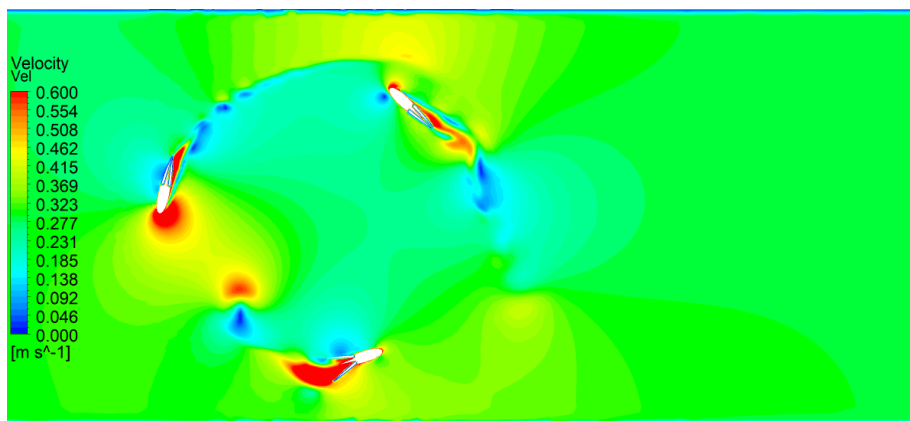
(c)



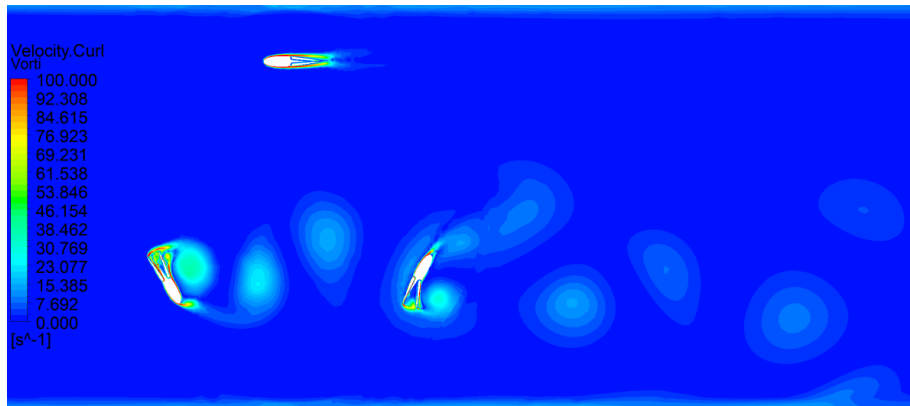
(a)



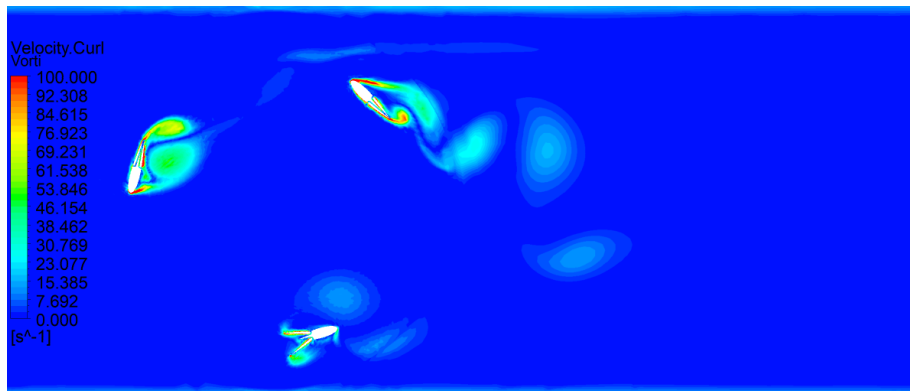
(b)



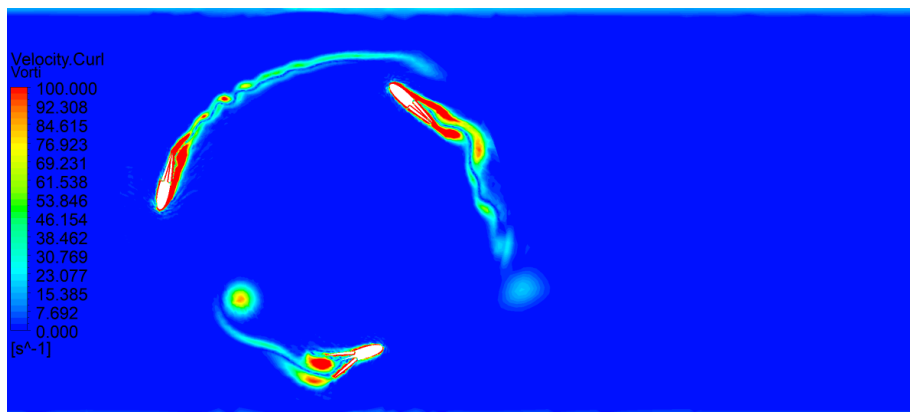
(c)



(a)

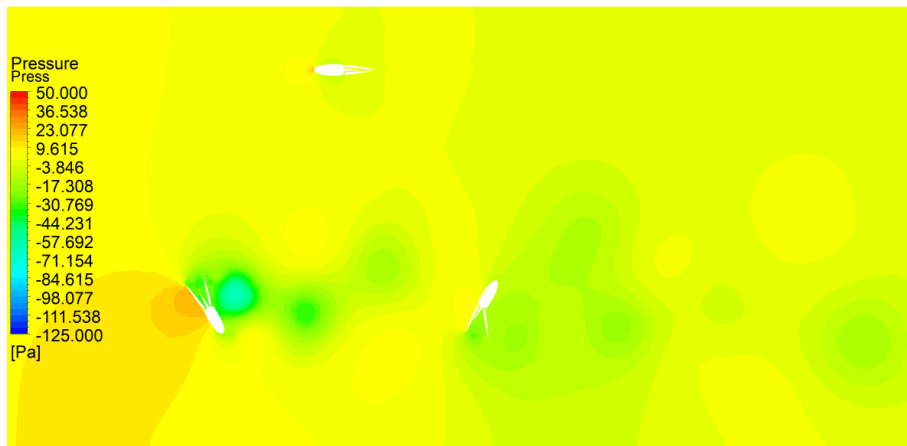


(b)

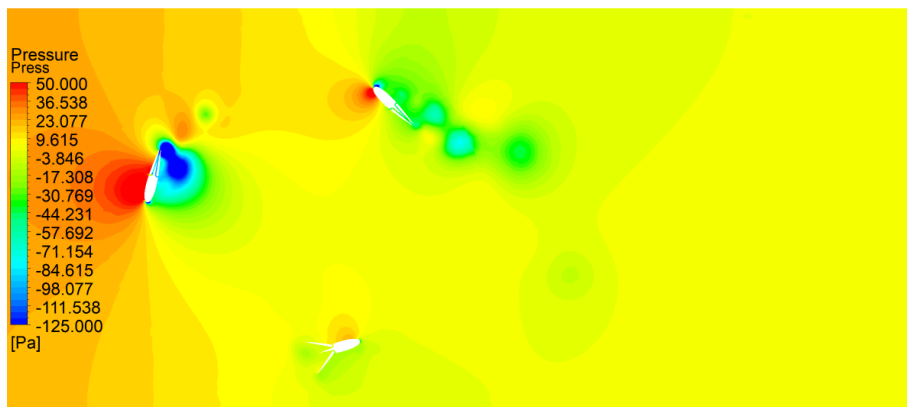


(c)

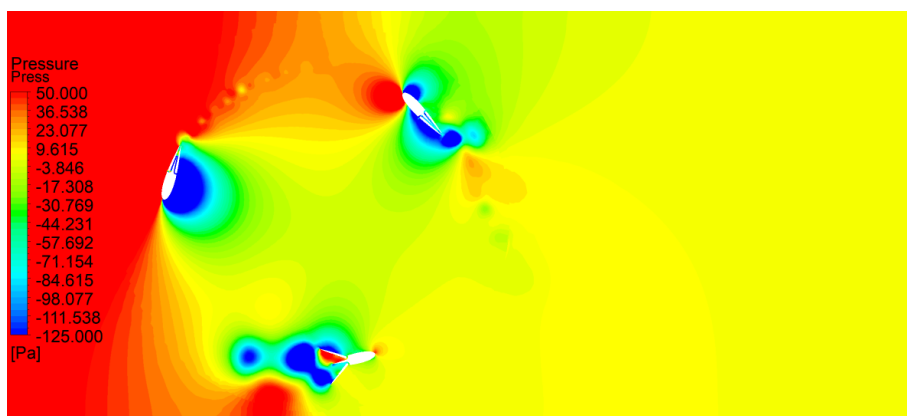
Konfigurasi *both*, sudut bukaan 45° , kecepatan (a) 0.17 m/s, (b) 0.21 m/s, dan (c) 0.29 m/s



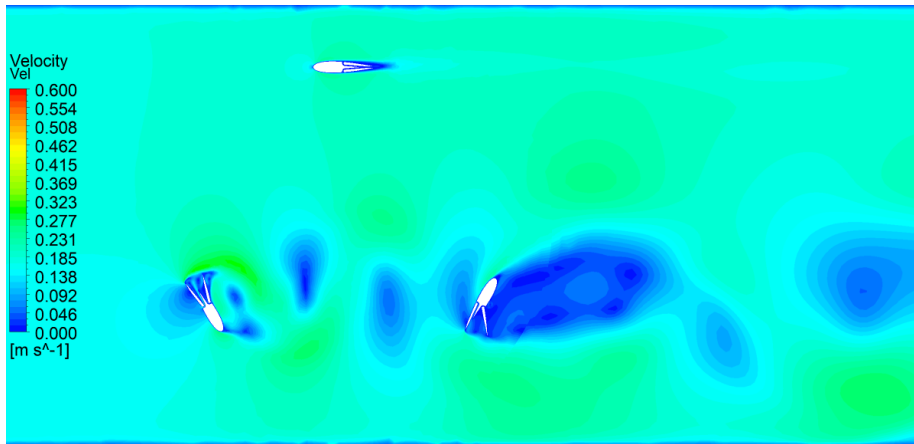
(a)



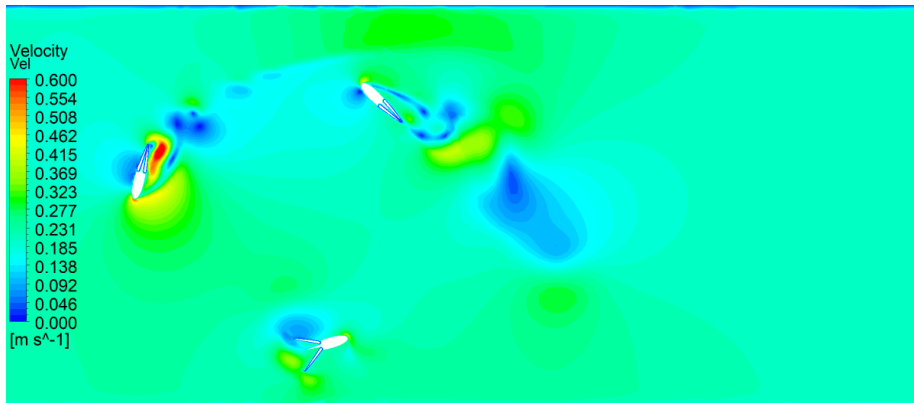
(b)



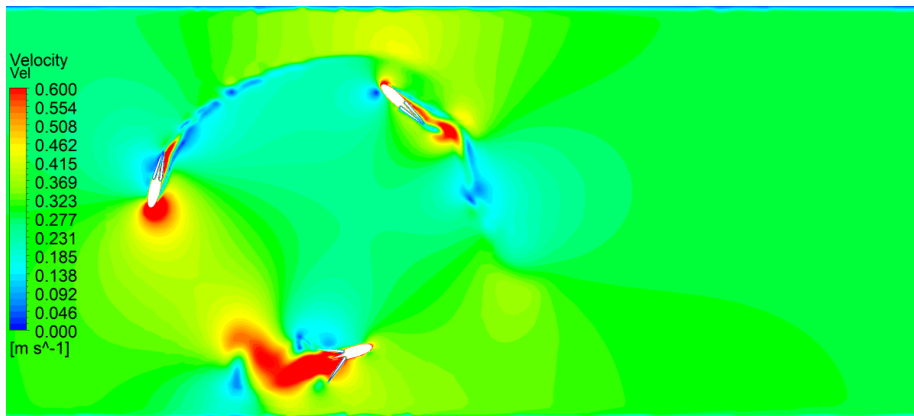
(c)



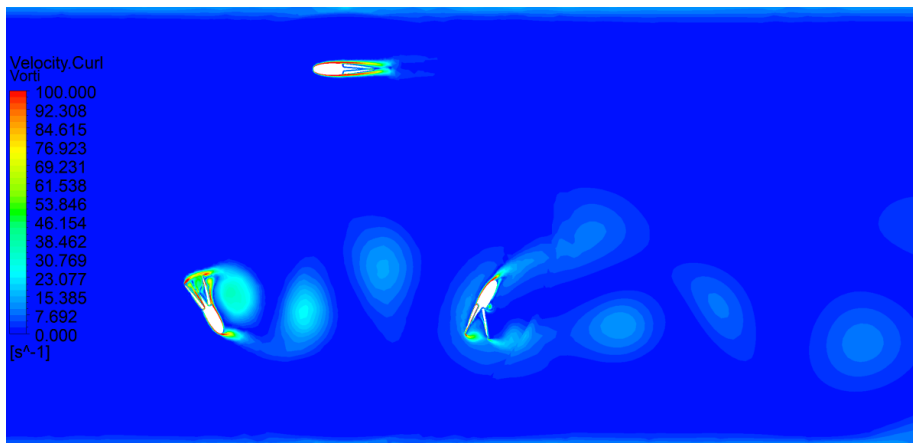
(a)



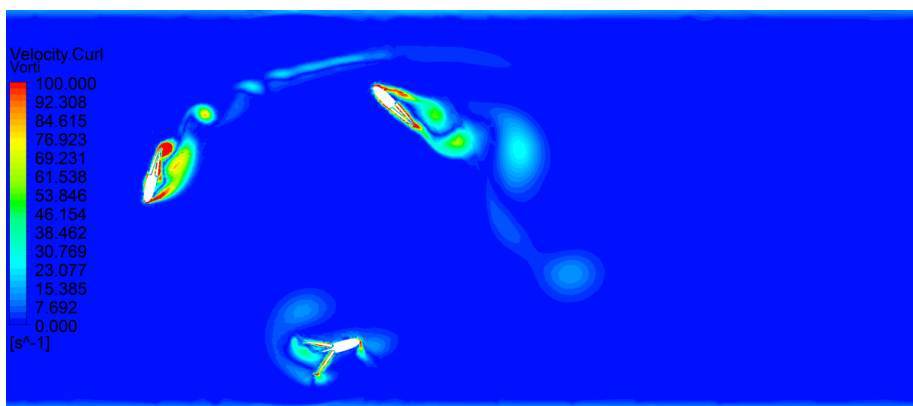
(b)



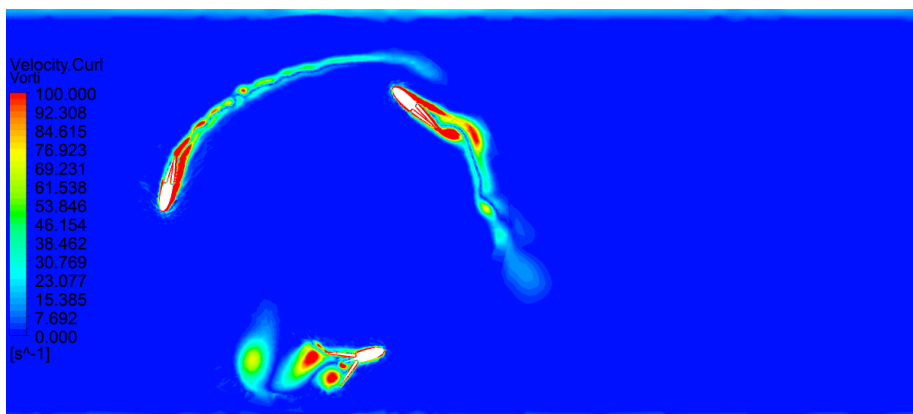
(c)



(a)

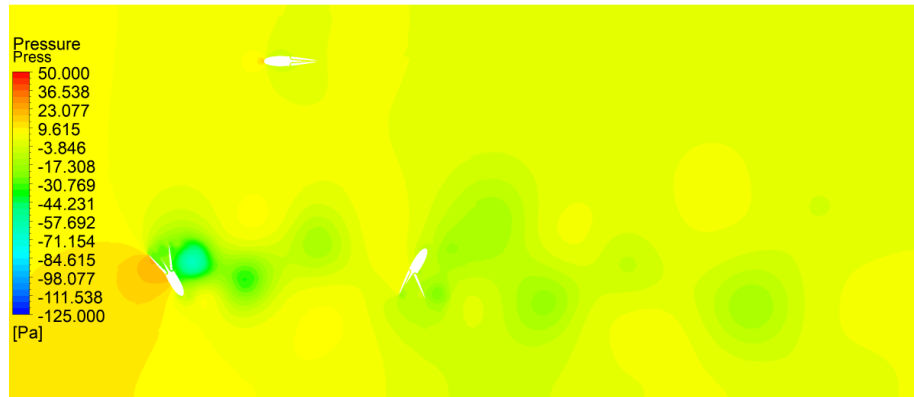


(b)

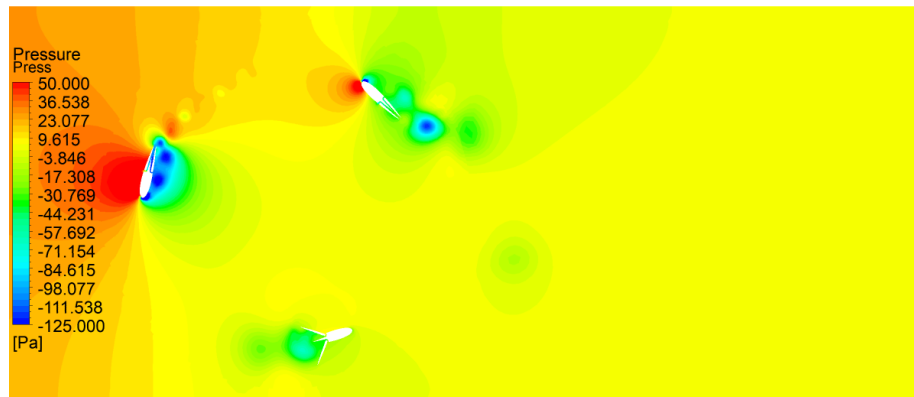


(c)

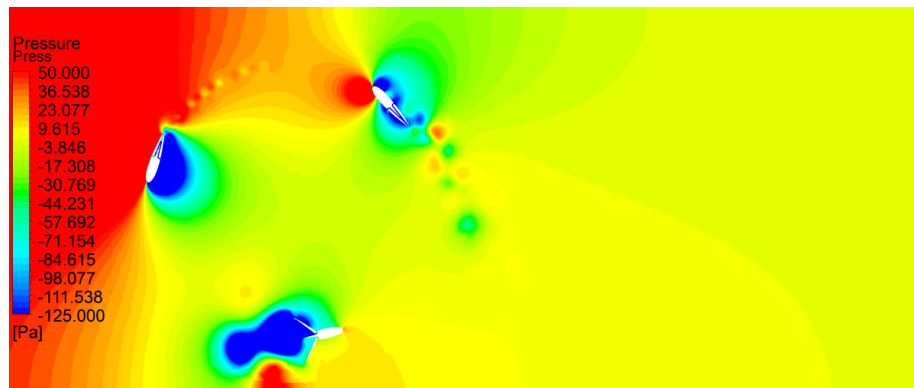
Konfigurasi *both*, sudut bukaan 60° , kecepatan (a) 0.17 m/s, (b) 0.21 m/s, dan (c) 0.29 m/s



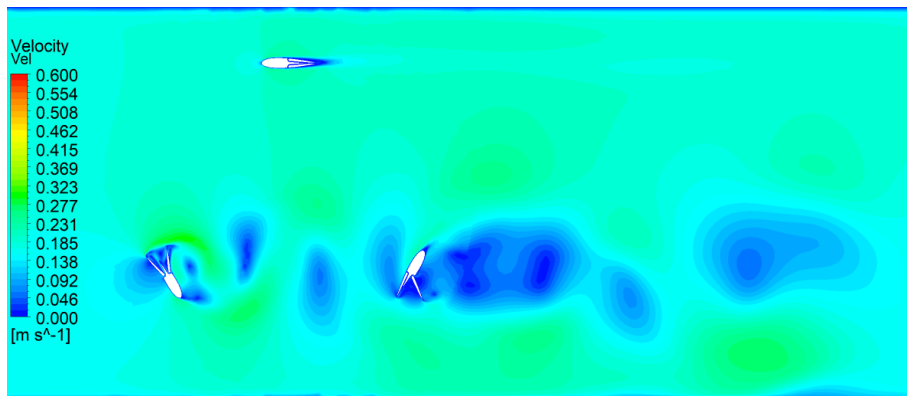
(a)



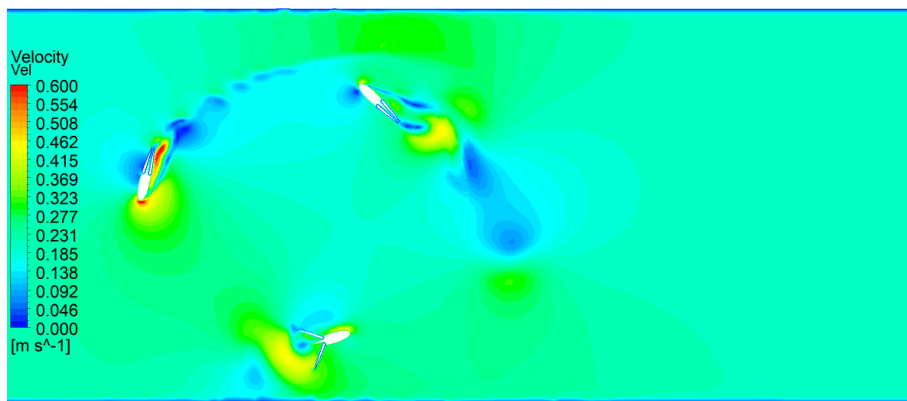
(b)



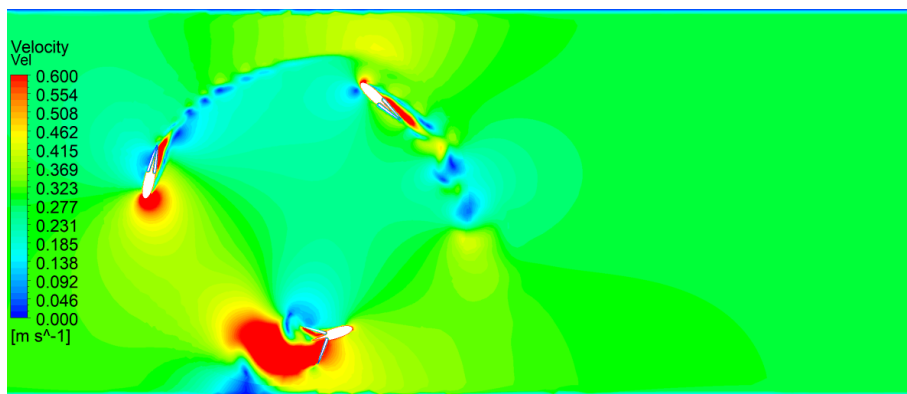
(c)



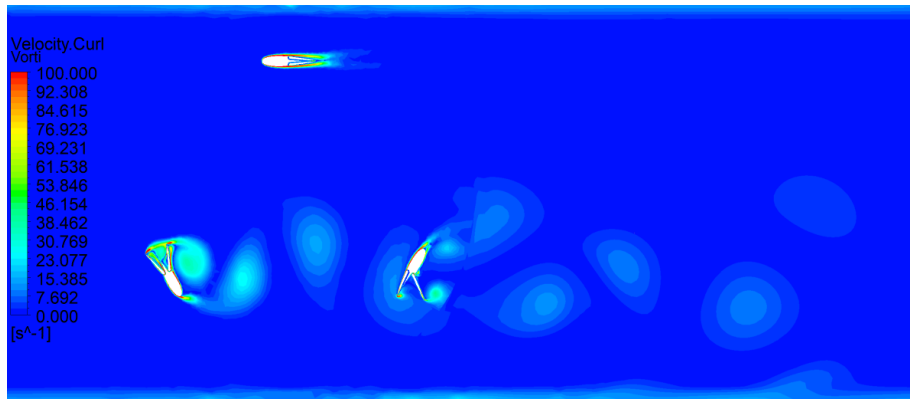
(a)



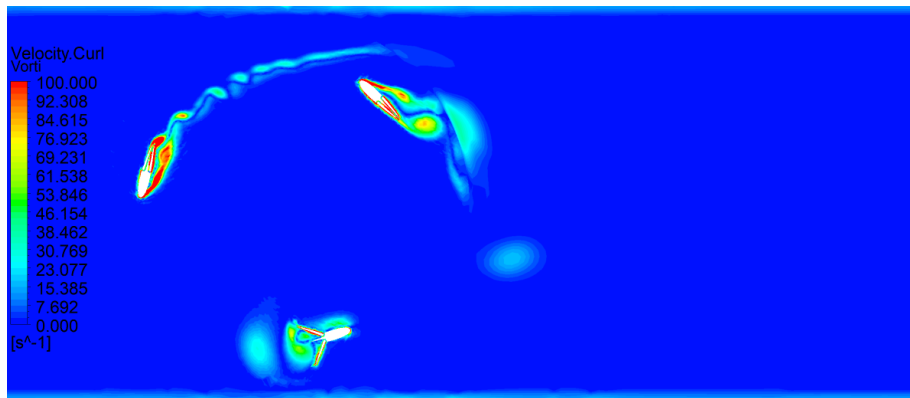
(b)



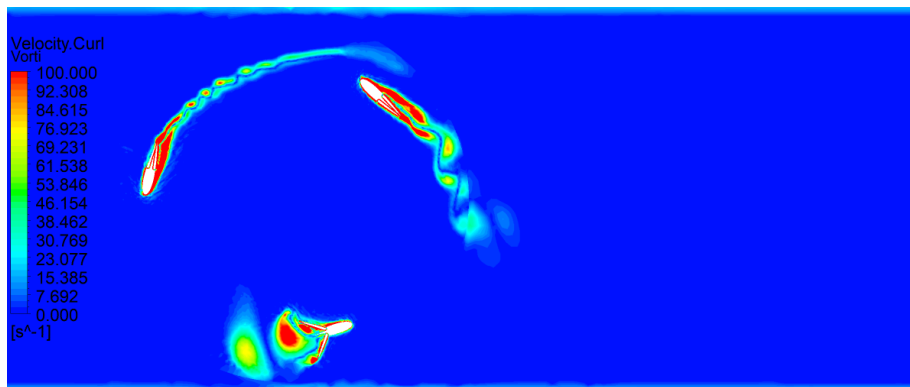
(c)



(a)

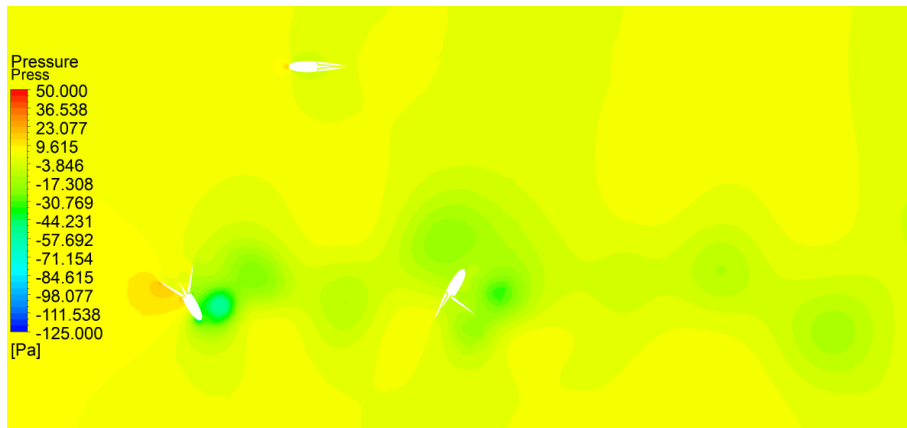


(b)

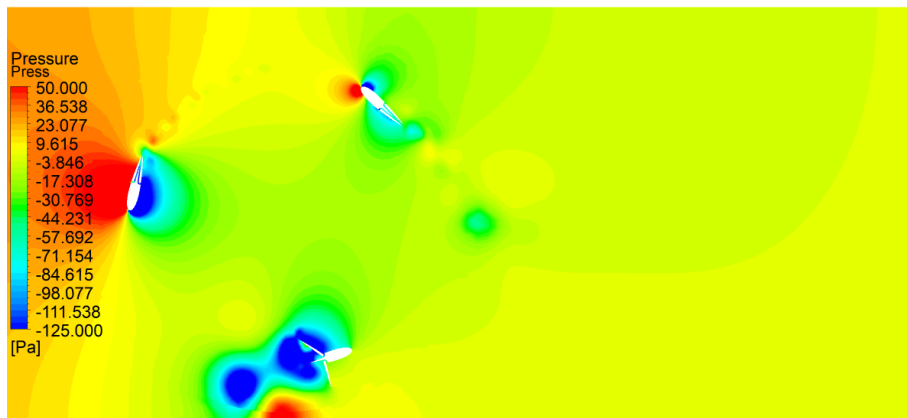


(c)

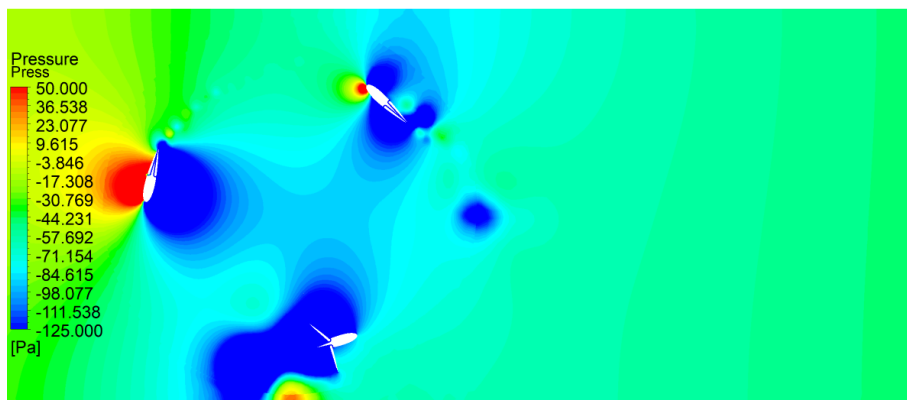
Konfigurasi *both*, sudut bukaan 60° , kecepatan (a) 0.17 m/s, (b) 0.21 m/s, dan (c) 0.29 m/s



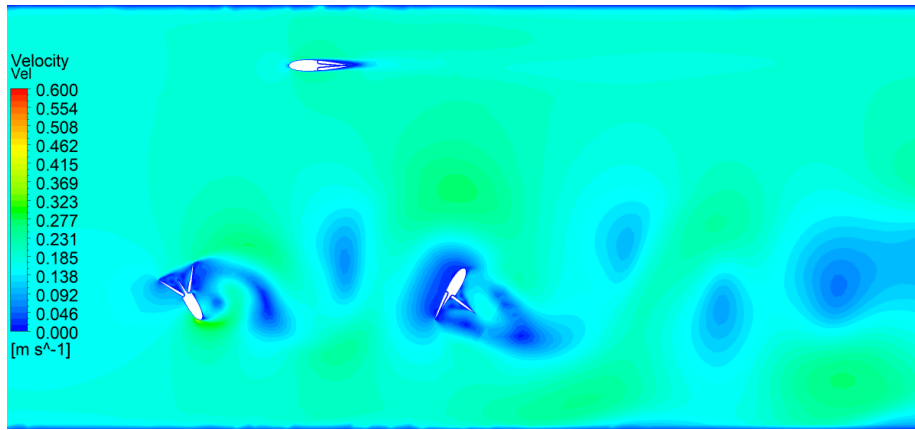
(a)



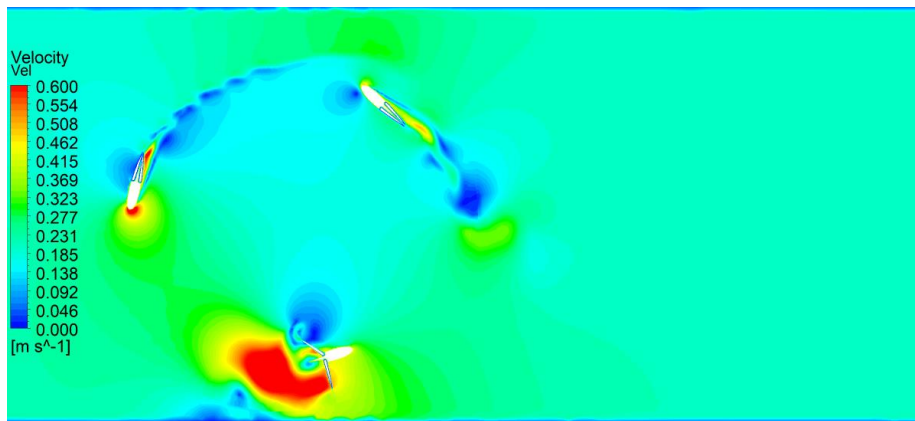
(b)



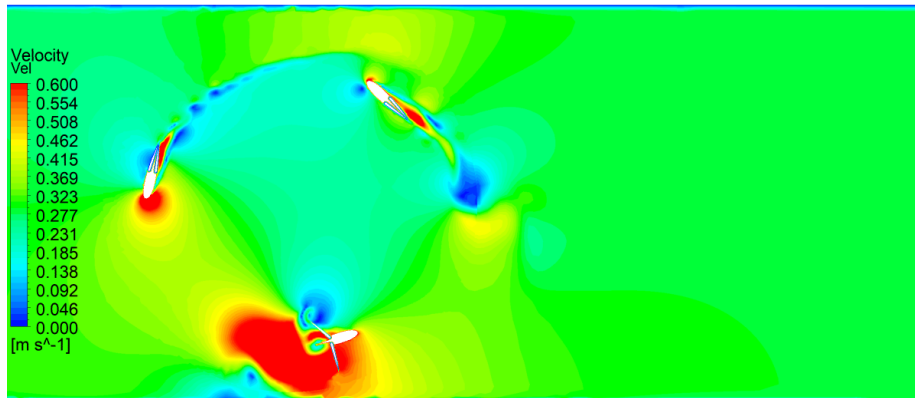
(c)



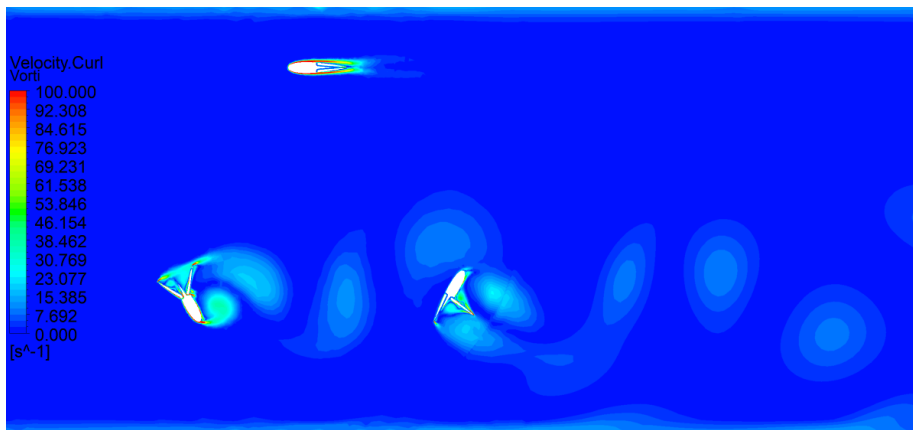
(a)



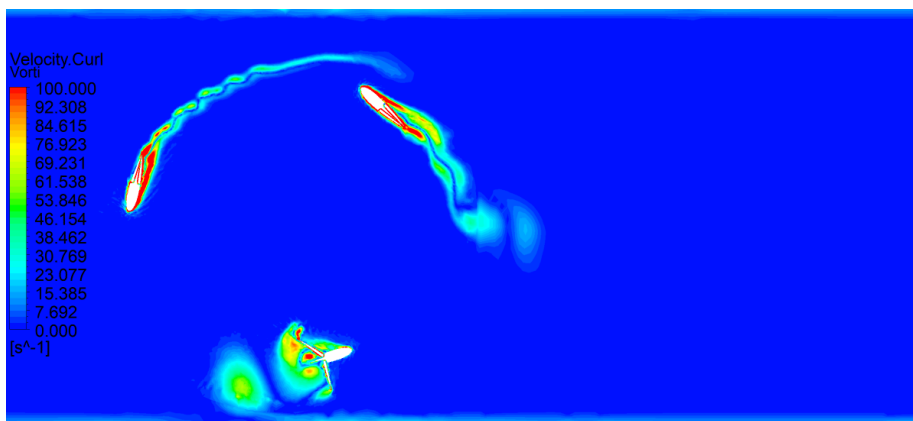
(b)



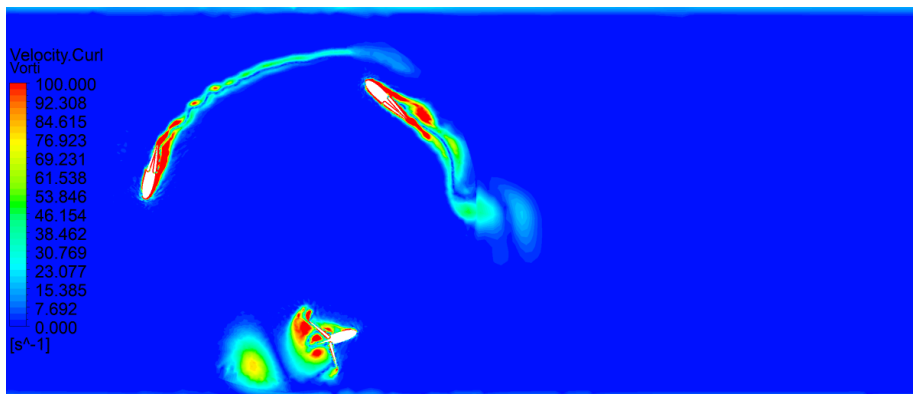
(c)



(a)



(b)



(c)

Halaman ini sengaja dikosongkan

BIODATA PENULIS



Penulis lahir di Surakarta, 10 September 2000. Penulis menempuh jenjang pendidikan di SD Kanisius Keprabon 2 Surakarta, SMP Pangudi Luhur Bintang Laut Surakarta, dan SMA Regina Pacis Surakarta. Setelah lulus jenjang SMA, penulis melanjutkan pendidikan jenjang sarjana di Departemen Teknik Fisika, Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem (FTIRS), Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS). Bidang minat yang dipilih oleh penulis adalah Rekayasa Energi dan Pengondisian Lingkungan. Selama menempuh jenjang sarjana, penulis bergabung dalam organisasi Badan Eksekutif Mahasiswa Fakultas Teknologi Industri sebagai Staf Departemen Dalam Negeri (2019-2020), Himpunan Mahasiswa Teknik Fisika ITS (HMTF ITS) sebagai Wakil Kepala Departemen Pengembangan Sumber Daya Mahasiswa (2020-2021), serta Tim *Adhoc* Amandemen PPSDM HMTF ITS (2019-2020). Penulis dapat dihubungi melalui deandradean00@gmail.com.