

**SIMULASI PENGARUH PENAMBAHAN *FLANGE-DIFFUSER*
TERHADAP KINERJA TURBIN *HYBRID SAVONIUS-DARRIEUS***



LAPORAN TUGAS AKHIR

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan
Pendidikan diploma ahli madya (D-3) Program Studi Teknik Konversi Energi
Jurusan Teknik Mesin
Politeknik Negeri Ujung Pandang

RANI TABITA PONGDATU

342 20 026

NAFIL RIF'AT IRFAN

342 20 027

**PROGRAM STUDI D-3 TEKNIK KONVERSI ENERGI
JURUSAN TEKNIK MESIN
POLITEKNIK NEGERI UJUNG PANDANG
MAKASSAR
2023**

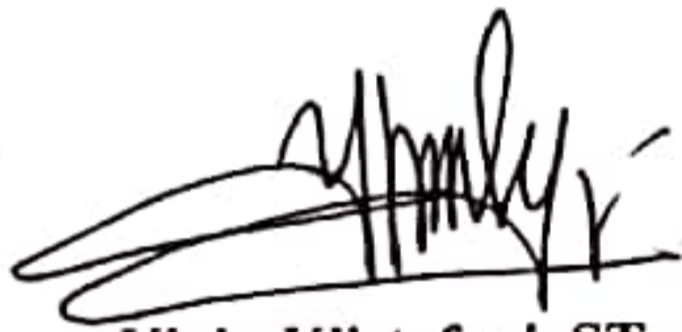
HALAMAN PENGESAHAN

Laporan tugas akhir ini dengan judul “Simulasi Pengaruh Penambahan *Flange-Diffuser* Terhadap Kinerja Turbin *Hybrid Savonius-Darrieus*” oleh Rani Tabita Pongdatu NIM 342 20 026 dan Nafil Rifat Irfan NIM 342 20 027 dinyatakan telah diterima dan disahkan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Alih Madya Pada Program Studi Teknik Konversi Energi Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang.

Makassar, 30 Agustus 2023

Mengetahui

Pembimbing I,



Yivin Klistafani, ST., M.T.

NIP.19900517 201504 2 001

Mengetahui

Pembimbing II,



Apollo, S.T., M.Eng

NIP.19690723 199303 1 002

Mengetahui

Jurusan Teknik Mesin



Dr. Ir. Syaharuddin Rasyid, M.T.

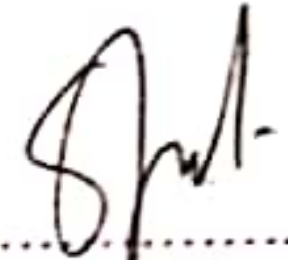
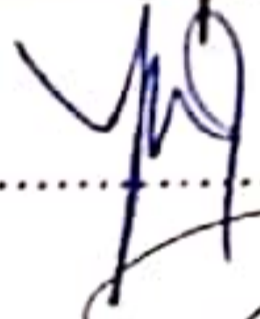

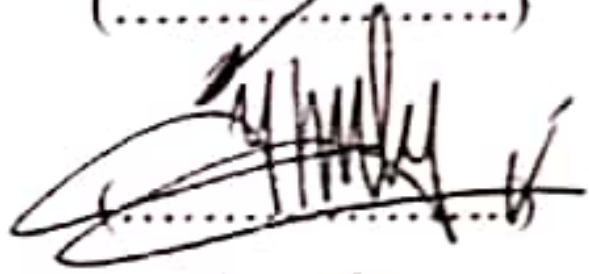
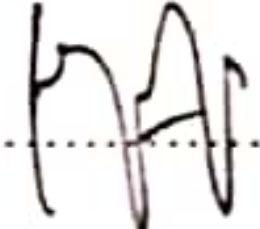
NIP:196801051994031001

HALAMAN PENERIMAN

Pada hari ini, 30 Agustus 2023, tim penguji seminar hasil tugas akhir telah menerima hasil seminar proposal akhir oleh mahasiswa: Rani Tabita Pongdatu NIM 342 20 026 dan Nafil Riifat Irfan NIM 342 20 027 dengan judul "Simulasi Pengaruh Penambahan *Flange-Diffuser* Terhadap Kinerja Turbin *Hybrid Savonius-Darrieus*"

Makassar, 30 Agustus 2023

Tim Penguji Seminar hasil Tugas Akhir:

- | | | |
|-----------------------------------|----------------|--|
| 1. Sri Suwasti, S.S.T., M. T. | Ketua | (..... ) |
| 2. Muh. Yusuf Yunus, S.S.T., M.T. | Sekretariis | (..... ) |
| 3. Sonnong, S.T., M.T. | Anggota I | (..... ) |
| 4. Yiyin Klistafani, S.T., M.T. | Pembimbing I | (..... ) |
| 5. Apollo, S.T., M.Eng. | Pembimbing III | (..... ) |

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas berkat dan rahmat-Nyalah sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini yang berjudul “Simulasi Pengaruh Penambahan *Flange-Diffuser* Terhadap Kinerja Turbin *Hybrid Savonius-Darrieus*” tepat pada waktunya, meski jauh dari kata sempurna.

Dalam penulisan tugas akhir ini tidak sedikit hambatan yang penulis alami. Sehubungan dengan itu, pada kesempatan ini penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada semua pihak atas dukungan, bimbingan, perhatian dan motivasi yang telah di berikan kepada penulis, antara lain:

1. Kedua orang tua tercinta, juga kepada saudara-saudara penulis yang telah memberikan banyak bantuan berupa dorongan moral, bantuan materi, serta tak henti-hentinya memberikan doa yang tulus kepada penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
2. Direktur Politeknik Negeri Ujung Pandang Bapak Ir.Ilyas Mansur, M.Si., Ph.D.
3. Bapak Ir. Syaharuddin Rasyid, M.T. selaku ketua Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang.
4. Ibu Sri Suwasti, S.ST., M.T. selaku Koordinator Program Studi Teknik Konversi Energi.
5. Ibu Yiyin Klistafani, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing I dan bapak Apollo, S.T., M.Eng. selaku dosen pembimbing II serta dosen-dosen yang terlibat membantu penulis hingga laporan tugas akhir ini selesai.
6. Teman-teman yang telah berkenan membantu hingga laporan tugasakhir ini

dapat selesai.

Penulis menyadari bahwa tugas akhir ini masih jauh dari kata sempurna, sehingga penulis mengharapkan kritik serta saran yang sifatnya membangun untuk perbaikan di masa mendatang dan tak hanya itu, penulis pun mengharapkan semoga tugas akhir ini bisa bermanfaat bagi pembaca khususnya bagi pembaca.

Makassar , Agustus 2023

Penulis

DAFTAR ISI

	hlm.
HALAMAN PENGESAHAN.....	i
HALAMAN PENERIMAN.....	ii
KATA PENGANTAR.....	iii
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR GAMBAR.....	vii
DAFTAR TABEL.....	ix
DAFTAR SIMBOL, SATUAN, DAN/ATAU SINGKATAN.....	x
DAFTAR LAMPIRAN.....	xi
SURAT PERNYATAAN.....	xii
RINGKASAN.....	xiv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Ruang Lingkup Kegiatan.....	3
1.4 Tujuan Dan Manfaat Kegiatan.....	4
1.4.1 Tujuan Kegiatan.....	4
1.4.2 Manfaat Kegiatan.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Energi Angin.....	5
2.2 Teori Betz Limit.....	7
2.3 Turbin Angin.....	7
2.3.1 <i>Horizontal Axis Wind Turbine</i> (HAWT).....	10
2.3.2 <i>Vertical Axis Wind Turbine</i> (VAWT).....	11
2.4 <i>Wind Diffuser</i>	16
2.5 Rumus Dasar Perhitungan Turbin.....	17
2.5.1 Tip Speed Ratio.....	17
2.5.2 Koefisien Daya (Cp).....	17
2.5.3 Daya Maksimal Rotor.....	18
2.5.4 Torsi.....	18

2.5.5 Efisiensi Turbin.....	18
2.5.6 Efisiensi Generator.....	19
2.5.7 Efisiensi Sistem.....	19
2.6 Dinamika Aliran Fluida Secara Komputasi (<i>Computational Fluid Dynamic</i>)	20
2.6.1 Analisis CFD (<i>Computational Fluid Dynamics</i>) menggunakan <i>ANSYS Fluent</i>	21
2.7 Penelitian Terdahulu	22
BAB III METODE KEGIATAN	25
3.1 Waktu Dan Tempat Kegiatan.....	25
3.2 Alat dan Bahan	25
3.3 Persiapan Hardware dan Software	25
3.4 Prosedur Penelitian.....	26
3.4.1 Studi Literatur	26
3.4.2 Tahap Perancangan	26
3.5 Diagram Alir	38
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	39
4.1 Hasil Validasi	39
4.2 Hasil Desain Konstruksi Optimal Turbin Angin <i>Hybrid Savonius-Darrieus</i> yang dilengkapi dengan <i>Flange-Diffuser</i>	40
4.3 Pengaruh Penambahan <i>Flange-Diffuser</i> terhadap Kinerja Turbin Angin <i>Hybrid Savonius-Darrieus</i>	47
BAB V PENUTUP.....	50
5.1 Kesimpulan.....	50
5.2 Saran.....	50
DAFTAR PUSTAKA	52
Lampiran	55

DAFTAR GAMBAR

	hlm.
Gambar 2.1 PLTB secara umum.....	8
Gambar 2.2 Jenis Turbin Angin.....	9
Gambar 2.3 <i>Horizontal Axis Wind Turbine</i>	10
Gambar 2.4 <i>Vertikal Axis Wind Turbine</i>	12
Gambar 2.5 Turbin <i>Darrieus</i>	14
Gambar 2.6 Turbin <i>Savonius</i>	15
Gambar 2.7 Turbin angin <i>Savonius-Darrieus</i>	16
Gambar 2.8 <i>Diffuser</i>	16
Gambar 2.9 Proses Simulasi CFD.....	21
Gambar 3.1 Geometri dan Desain 2D Turbin <i>Savonius</i>	27
Gambar 3.2 Model 3D Turbin <i>Savonius</i>	28
Gambar 3.3 Geometri dan Desain 2D Turbin <i>Darrieus</i>	28
Gambar 3.4 Model 3D Turbin <i>Darrieus</i>	29
Gambar 3.5 Geometri dan Model 2D <i>Flange Diffuser</i>	29
Gambar 3.6 Model 3D <i>Flange</i> dan <i>Diffuser</i>	30
Gambar 3.7 Model 3D Turbin <i>Hybrid Savonius-Darrieus</i>	30
Gambar 3.8 Domain Pemodelan Turbin	31
Gambar 3.9 Hasil <i>Meshing</i> dan Kondisi Batas pada <i>Area Boundary</i>	32
Gambar 3.10 Penentuan Kondisi <i>Models</i> Aliran pada <i>Fluent</i>	32
Gambar 3.11 Penentuan <i>Materials</i> pada <i>Fluent</i>	33
Gambar 3.12 Penentuan <i>Cell Zone-Condition</i> pada <i>Fluent</i>	33

Gambar 3.13 Penentuan <i>Boundary Condition</i> pada <i>Inlet</i>	34
Gambar 3.14 Penentuan <i>Boundary Condition</i> pada <i>Outlet</i>	34
Gambar 3.15 Penentuan <i>Boundary Condition</i> pada <i>Wall</i>	35
Gambar 3.16 Penentuan <i>Solution Methods</i> pada <i>Fluent</i>	36
Gambar 3.17 Monitor <i>Residual</i> pada <i>Fluent</i>	36
Gambar 3.18 Penentuan <i>Iterate</i> dan <i>Time Step</i> untuk memulai Kalkulasi <i>Kalkulasi Solution</i>	37
Gambar 3.19 Diagram Alir Kegiatan Tugas Akhir	38
Gambar 4.1 Grafik perbandingan nilai torsi (Nm) simulasi dengan eksperimen terhadap kecepatan angin (m/s).....	40
Gambar 4.2 Turbin angin hybrid savonius- darrieus yang dilengkapi dengan flange-diffuser.	41
Gambar 4.3 Grafik hubungan antara putaran rotor dan daya angin pada turbin hybrid savonius darrieus tanpa flange-diffuser dan menggunakan flange-diffuser dengan variasi sudut 0°, 10°, 15°, 30°, 45° dan 60°	45
Gambar 4.4 Grafik hubungan antara daya turbin dan daya angin pada turbin hybrid savonius-darrieus tanpa flange-diffuser dan menggunakan flange-diffuser dengan variasi sudut 0°, 10°, 15°, 30°, 45° dan 60°	46
Gambar 4.5 Grafik hubungan antara efisiensi turbin dan putaran rotor pada turbin hybrid savonius-darrieus tanpa flange-diffuser dan menggunakan flange-diffuser dengan variasi sudut 0°, 10°, 15°, 30°, 45° dan 60°	47
Gambar 4.6 Kontur kecepatan tanpa flange-diffuser dan dengan tambahan flange diffuser $\alpha = 60^\circ$	48

DAFTAR TABEL

	hlm.
Tabel 3.1 Bahan dan Alat.....	25
Tabel 3.2 Geometri Turbin dan <i>Diffuser</i>	27
Tabel 4.1 Hasil validasi.....	39
Tabel 4.2 Hasil analisis Turbin Angin <i>Hybrid Savonius-darrieus</i> dengan kecepatan angin 1,9 m/s.....	42
Tabel 4.3 Hasil analisis turbin angin <i>Hybrid savonius-darrieus</i> dengan kecepatan angin 2 m/s.....	42
Tabel 4. 4 Hasil analisis Turbin Angin <i>Hybrid Savonius-Darrieus</i> dengan kecepatan angin 2,2 m/s.....	43
Tabel 4.5 Hasil analisis Turbin Angin <i>Hybrid Savonius-Darrieus</i> dengan kecepatan angin 2,4 m/s.....	43

DAFTAR SIMBOL, SATUAN, DAN/ATAU SINGKATAN

SIMBOL	SATUAN	KETERANGAN
P_A	Watt	Daya Angin
P_T	Watt	Daya Turbin
P_E	Watt	Daya Elektrik
m	Kilogram (kg)	Massa udara
v	Meter Per sekon (m/s)	Kecepatan Angin
ρ	Kilogram per meter kubik (kg/m ³)	Densitas udara
A	Meter Persegi (m ²)	Luas Penampang
λ	-	Tip Speed Ratio (TSR)
ω	Radian Per sekon (rad/s)	Kecepatan Sudut Turbin
η_T	Persen (%)	Efisiensi Turbin
η_G	Persen (%)	Efisiensi Generator
η_s	Persen (%)	Efisiensi Sistem
τ	Newton Meter (Nm)	Torsi
n	Rotasi per Menit (Rpm)	Putaran poros
C_p	-	Koefisien Daya
C_T	-	Koefisien Torsi
R	Meter (m)	Jari-jari Turbin
π	-	Phi
A	Derajat (°)	Sudut <i>Flange</i>

DAFTAR LAMPIRAN

	hlm.
Lampiran 1: Data Hasil Simulasi	55
Lampiran 2: Hasil Kontur Simulasi Tanpa <i>Flange</i>	57
Lampiran 3: Hasil Kontur Simulasi Tubin Dengan Tambahan <i>Flange-Diffuser</i> $\alpha = 0^\circ$	60
Lampiran 4: Hasil Kontur Simulasi Tubin Dengan Tambahan <i>Flange-Diffuser</i> $\alpha = 10^\circ$	63
Lampiran 5: Hasil Kontur Simulasi Tubin Dengan Tambahan <i>Flange-Diffuser</i> $\alpha = 15^\circ$	66
Lampiran 6: Hasil Kontur Simulasi Tubin Dengan Tambahan <i>Flange-Diffuser</i> $\alpha = 30^\circ$	69
Lampiran 7: Hasil Kontur Simulasi Tubin Dengan Tambahan <i>Flange-Diffuser</i> $\alpha = 45^\circ$	72
Lampiran 8: Hasil Kontur Simulasi Tubin Dengan Tambahan <i>Flange-Diffuser</i> $\alpha = 60^\circ$	75

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Rani Tabita Pongdatu

NIM : 34220026

Menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa segala pernyataan dalam laporan tugas akhir ini, yang berjudul “Simulasi Pengaruh Penambahan *Flange-Diffuser* Terhadap Kinerja Turbin *Hybrid Savonius-Darrieus*” merupakan gagasan, hasil karya sendiri dengan arahan pembimbing, dan belum pernah diajukan dalam bentuk apa pun pada perguruan tinggi dan instansi mana pun.

Semua data dan informasi yang digunakan telah dinyatakan secara jelas dan dapat diperiksa kebenarannya. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan oleh penulis lain telah disebutkan dalam naskah dan dicantumkan dalam daftar pustaka laporan tugas akhir ini.

Jika pernyataan saya tersebut di atas tidak benar, saya siap menanggung resiko yang ditetapkan oleh Politeknik Negeri Ujung Pandang.

Makassar, Agustus 2023



Rani Tabita Pongdatu

Nim: 34220026

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Nafil Rif'at Irfan

NIM : 34220027

Menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa segala pernyataan dalam laporan tugas akhir ini, yang berjudul "Simulasi Pengaruh Penambahan *Flange-Diffuser* Terhadap Kinerja Turbin *Hybrid Savonius-Darrieus*" merupakan gagasan, hasil karya sendiri dengan arahan pembimbing, dan belum pernah diajukan dalam bentuk apa pun pada perguruan tinggi dan instansi mana pun.

Semua data dan informasi yang digunakan telah dinyatakan secara jelas dan dapat diperiksa kebenarannya. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan oleh penulis lain telah disebutkan dalam naskah dan dicantumkan dalam daftar pustaka laporan tugas akhir ini.

Jika pernyataan saya tersebut di atas tidak benar, saya siap menanggung resiko yang ditetapkan oleh Politeknik Negeri Ujung Pandang.

Makassar, Agustus 2023



Nafil Rif'at Irfan

Nim: 34220027

RINGKASAN

Energi fosil merupakan sumber energi yang ketersediannya sangat terbatas di bumi yang terdiri atas minyak bumi, batu bara, dan gas. Pengembangan energi alternatif menjadi salah satu solusi untuk mengurangi pemakaian energi fosil. Salah satu energi alternatif yang dapat dikembangkan yaitu energi angin. Energi angin merupakan energi yang bersih dan tidak mencemari lingkungan selama proses produksi. Selain itu energi angin dapat dimanfaatkan untuk banyak hal, salah satunya sebagai pembangkit listrik.

Alat untuk mengkonversi energi angin menjadi energi mekanik, yang kemudian diubah menjadi energi listrik yaitu turbin angin. Berdasarkan jenisnya, turbin angin dibagi menjadi dua jenis yaitu turbin angin yang berputar pada poros horizontal yang disebut dengan *Horizontal Axis Wind Turbine* (HAWT), dan turbin angin yang berputar pada poros vertikal yang disebut dengan *Vertical Axis Wind Turbine* (VAWT).

Pada penelitian ini dilakukan percobaan turbin angin sumbu vertikal tipe *hybrid savonius-darrieus* dengan penambahan *flange-diffuser*. variasi sudut pada *flange diffuser* yaitu 0, 10, 15, 30, 45, dan 60. Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode CFD (*Computational Fluid Dynamics*). Berdasarkan hasil simulasi yang telah dilakukan kinerja turbin yang paling optimal yaitu pada variasi sudut *flange diffuser* 60° pada kecepatan angin 2 m/s dengan efisiensi turbin 32,5%

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Energi fosil merupakan sumber energi yang ketersediannya sangat terbatas di bumi yang terdiri atas minyak bumi, batu bara, dan gas. Pemanfaatan energi fosil yang semakin tinggi menyebabkan dampak terhadap lingkungan. Dampak lingkungan yang terjadi yaitu meningkatnya emisi gas rumah kaca yang menyebabkan *global warning*, hujan asam, dan rusaknya lapisan *ozon* (Diantri dkk, 2017).

Pengembangan energi alternatif menjadi salah satu solusi untuk mengurangi pemakaian energi fosil. Salah satu energi alternatif yang dapat dikembangkan yaitu energi angin. Energi angin merupakan energi yang bersih dan tidak mencemari lingkungan selama proses produksi. Selain itu energi angin dapat dimanfaatkan untuk banyak hal, salah satunya sebagai pembangkit listrik (Novrita dkk, 2022). Saat ini, pemanfaatan energi hanya 1% dari total energi yang digunakan diseluruh dunia. Banyak penelitian menunjukkan bahwa sesungguhnya potensi angin sangat besar hingga mencapai 20% (Qasim dkk, 2012).

Indonesia merupakan negara beriklim tropis yang memiliki potensi angin yang cukup memadai sepanjang tahun. Kecepatan angin rata-rata di wilayah Indonesia tergolong kecepatan angin rendah berkisar antara 3-5 m/s. Berdasarkan hasil pemetaan Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional pada 120 lokasi memiliki kecepatan angin di atas 5 m/s (LIP, 2017). Kurang optimalnya pemanfaatan energi angin disebabkan oleh durasi adanya angin dalam sehari serta

peralatan konversi energi yang digunakan. Oleh karena itu perlu dilakukan pengembangan turbin angin guna mengatasi masalah tersebut (Saleh, 2015).

Turbin angin adalah suatu alat yang mengkonversi energi angin menjadi energi mekanik, yang kemudian diubah menjadi energi listrik. Salah satu pengembangan dalam inovasi turbin angin adalah *Vertical Axis Wind Turbine* (VAWT) yang sumbunya vertikal atau tegak lurus dengan tanah. *Vertical Axis Wind Turbine* (VAWT) memiliki beberapa kelebihan yaitu mampu berputar pada kecepatan angin rendah, mampu menerima angin dari segala arah, serta konstruksi yang lebih mudah (Huda dan Arief, 2014). Namun, *Vertical Axis Wind Turbine* (VAWT) memiliki *coefficient of performance* (C_p) turbin rendah (Hasan dkk, 2013).

Dalam mengoptimalkan kerja *Vertical Axis Wind Turbine* (VAWT) dilakukan pengembangan jenis *Savonius* dan *Darriues*. Menggabungkan 2 jenis VAWT yang ada saat ini merupakan salah satu usaha pengembangan pada VAWT untuk meningkatkan performa turbin angin tersebut. Hybrid VAWT *Savonius – Darrius* dapat meningkatkan *Coefficient of Performance* (C_p) dimana *Savonius* maksimum adalah 30% sedangkan *Darrius* 35% (Canra dkk, 2021).

Pengembangan desain DAWT diantaranya penambahan *flange* pada *Curved Diffuser* mampu meningkatkan performa turbin DAWT karena dapat menghasilkan peningkatan angin yang sangat signifikan dibandingkan *Curved Diffuser* tanpa *flange* namun tetap memperhitungkan besar sudut *flange* (Klistafani, 2019). (Watanabe et al, 2016) melakukan pengembangan penelitian dengan mengaplikasikan *diffuser* dengan *flange* pada struktur VAWT. Selubung dengan

flange ini berperan dalam 3 meningkatkan keluaran daya dengan mengumpulkan aliran dan mempercepat kecepatan angin yang melewati sudu (*blade*) turbin angin (Watanabe et al, 2016).

Pada penelitian tugas akhir ini, penulis melakukan analisis VAWT *Hybrid Savonius-Darrieus* dengan penambahan *Flange Diffuser* dengan pendekatan *Computational Fluid Dynamic* (CFD). Metode ini merujuk pada penelitian yang dilakukan oleh (Erwin dkk, 2014) dengan menggunakan metode CFD pada turbin angin *Savonius-Darrieus*.

1.2 Rumusan Masalah

Dari uraian latar belakang diatas, rumusan masalah yang akan digunakan pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana desain konstruksi optimal turbin angin *hybrid Savonius-Darrieus* yang dilengkapi dengan *flange-diffuser* dengan menggunakan *ANYSY Fluent*?
2. Bagaimana pengaruh penambahan *flange-diffuser* terhadap kinerja turbin angin *hybrid Savonius-Darrieus*?

1.3 Ruang Lingkup Kegiatan

^Dalam memperjelas dan memfokuskan permasalahan tugas akhir ini, maka perlu adanya batasan masalah, yaitu sebagai berikut:

1. Pengujian kombinasi desain *hybrid 2* tipe turbin angin yaitu *savonius* dan *darrieus*.

2. Pemodelan dan analisis turbin angin menggunakan Variasi sudut *flange* yaitu 0° , 10° , 15° , 30° , 45° , dan 60° .
3. Penelitian yang dilakukan hanya berskala pemodelan dan pengujian menggunakan *software ANSYS Fluent*.
4. Hanya membahas mengenai pengaruh penambahan *Flange Diffuser* terhadap kinerja turbin angin *Hybrid Savonius-Darrieus*.

1.4 Tujuan Dan Manfaat Kegiatan

1.4.1 Tujuan Kegiatan

Berdasarkan perumusan masalah diatas, tujuan yang akan dicapai dari tugas akhir adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui desain optimal turbin angin *hybrid Savonius-Darrieus* yang dilengkapi dengan *flange-diffuser* dengan menggunakan *ANSYS Fluent*.
2. Mengetahui pengaruh variasi *flange-diffuser* terhadap kinerja turbin angin *hybrid Savonius-Darrieus* dengan menggunakan *ANSYS Fluent*.

1.4.2 Manfaat Kegiatan

Manfaat dari tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Mendukung program pemerintah untuk meningkatkan pemanfaatan energi terbarukan.
2. Mempelajari mengenai keunggulan dan kelemahan turbin angin sumbu Vertikal (VAWT).
3. Memberikan dan memperlihatkan pengetahuan mengenai proses aliran fluida.

4. Dengan mendapatkan efektifitas desain blade turbin angin dengan metode simulasi komputer sehingga dapat menekan waktu dan biaya yang dibutuhkan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Energi Angin

Angin adalah udara yang bergerak karena adanya perbedaan dari tekanan bumi, angin sendiri akan bergerak dari tempat yang memiliki tekanan tinggi ke tempat yang memiliki tekanan terendah. Terjadinya angin adalah ketika matahari memanaskan dan kemudian menimbulkan terjadinya peristiwa udara naik dan membentuk *vacum*, setelah terbentuknya *vacum* turun ke udara yang dingin dan membentuk angin. Terjadinya peristiwa angin juga karena adanya pemanasan oleh matahari. Kemudian para ahli mengasumsikan bahwa 2% energi sinar matahari yang diterima oleh bumi kemudian akan dikonversi menjadi energi kinetik (Dodi dan Karnowo, 2020).

Energi angin merupakan salah satu dari sumber energi terbarukan, keberadaannya tidak akan bisa habis jika dibandingkan dengan bahan bakar fosil. Kebanyakan energi angin dalam era modern ini dihasilkan dalam bentuk listrik dengan mengubah rotasi *blade* turbin menjadi arus listrik dengan menggunakan generator listrik. Indonesia secara geografis terletak pada jalur khatulistiwa memiliki potensi angin yang baik, menurut Konversi Dirgantara (2006) Indonesia memiliki potensi angin dengan kecepatan 3-5 m/s, namun Indonesia termasuk salah satu negara yang tertinggal dalam memanfaatkan energi angin sebagai pembangkit listrik.

Pemanfaatan energi angin merupakan pemanfaatan energi terbarukan yang paling berkembang belakangan ini. Energi angin adalah energi yang relatif bersih

dan ramah lingkungan karena tidak menghasilkan karbon dioksida CO₂ atau gas-gas lain yang berperan dalam pemanasan global. Indonesia sebagai negara kepulauan yang 2/3 wilayahnya adalah lautan dan mempunyai garis pantai terpanjang di dunia yaitu 80.791,42 Km merupakan wilayah potensial untuk pengembangan pembangkit listrik tenaga angin. Bagi bangsa Indonesia, potensi ini hendaknya mendapat perhatian yang serius dari pemerintah, sebab pembangkit listrik tenaga angin adalah pembangkit listrik alternatif yang memanfaatkan energi angin, ramah lingkungan, hemat energi, anti polutan, dan sangat tepat diaplikasikan di pedesaan (Syahrul, 2011).

Energi yang terkandung didalam aliran angin adalah energi kinetik. Energi inilah yang dikonversi menjadi energi mekanik pada sistem turbin angin. Energi kinetik untuk suatu massa angin m (kg) yang bergerak dengan kecepatan v (m/s) dapat diperoleh dengan persamaan berikut:

$$E = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 \quad (2.1)$$

Bila angin menerjang turbin pada luasan *Cross section* sebesar A (m²), dimana laju dari udara adalah v (m/s), maka akan terjadi suatu peristiwa pemindahan volum fluida untuk setiap satuan waktu:

$$V = v \cdot A \quad (2.2)$$

Sedangkan aliran massa dengan kerapatan udara ρ (kg/m³), dijabarkan dalam persamaan berikut:

$$m = \rho \cdot v \cdot A \quad (2.3)$$

Energi yang tersimpan pada angin dapat ditunjukkan dengan mensubstitusi

persamaan (2.3) ke persamaan (2.1) menjadi persamaan energi berikut:

$$P = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot v^3 \quad (2.4)$$

Dimana P adalah suatu perwujudan dari energi kinetik angin untuk setiap satuan waktu. Energi per satuan waktu inilah yang sering disebut dengan daya, dimana v (m/s) adalah kecepatan angin dan ρ (kg/m³) densitas udara. Besar densitas udara diatas permukaan air adalah 1,225 kg/m³ (Fridayana, 2018).

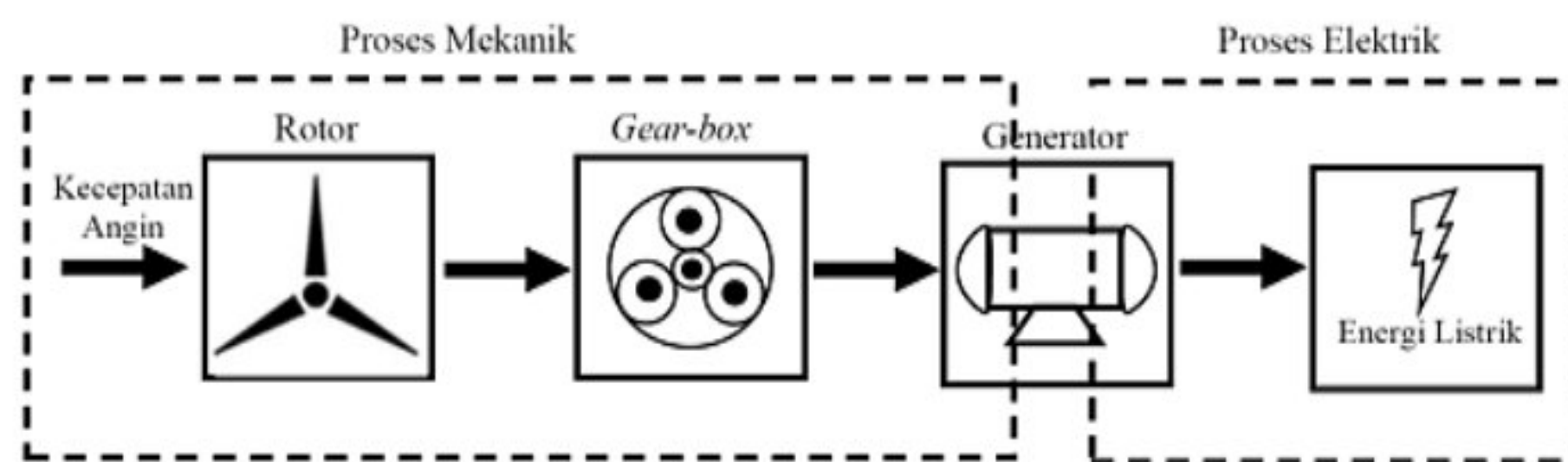
2.2 Teori Betz Limit

Performa dari suatu *Wind Energy Conversion System* (WECS) dapat diketahui dengan melihat seberapa daya yang dapat diekstrak secara mekanis dari energi yang tersimpan pada angin. Energi mekanik hanya dapat diperoleh dari energi yang tersimpan dalam aliran angin. Turbin angin tidak dapat menangkap semua aliran energi ini, melainkan hanya sebagian saja. Secara teoritis maksimum energi angin yang dapat diekstrak menjadi energi kinetik hanya sebesar 59,3%. Besaran tersebut sesuai dengan teori Betz Limit.

2.3 Turbin Angin

Turbin angin merupakan sebuah alat yang digunakan dalam Sistem Konversi Energi Angin (SKEA). Turbin angin berfungsi merubah energi kinetik angin menjadi energi mekanik berupa putaran poros. Putaran poros tersebut kemudian digunakan untuk beberapa hal sesuai dengan kebutuhan seperti memutar dinamo atau generator untuk menghasilkan listrik (Saleh, 2015).

Prinsip kerja turbin angin adalah dengan memanfaatkan gaya udara yang bergerak mengalir di sekitar rotor atau bagian putarannya. Rotor terdiri dari beberapa sayap atau baling-baling yang dipasang pada poros yang berputar. Ketika udara mengalir ke arah rotor, gaya dinamis yang diberikan oleh udara tersebut akan menyebabkan rotor berputar.



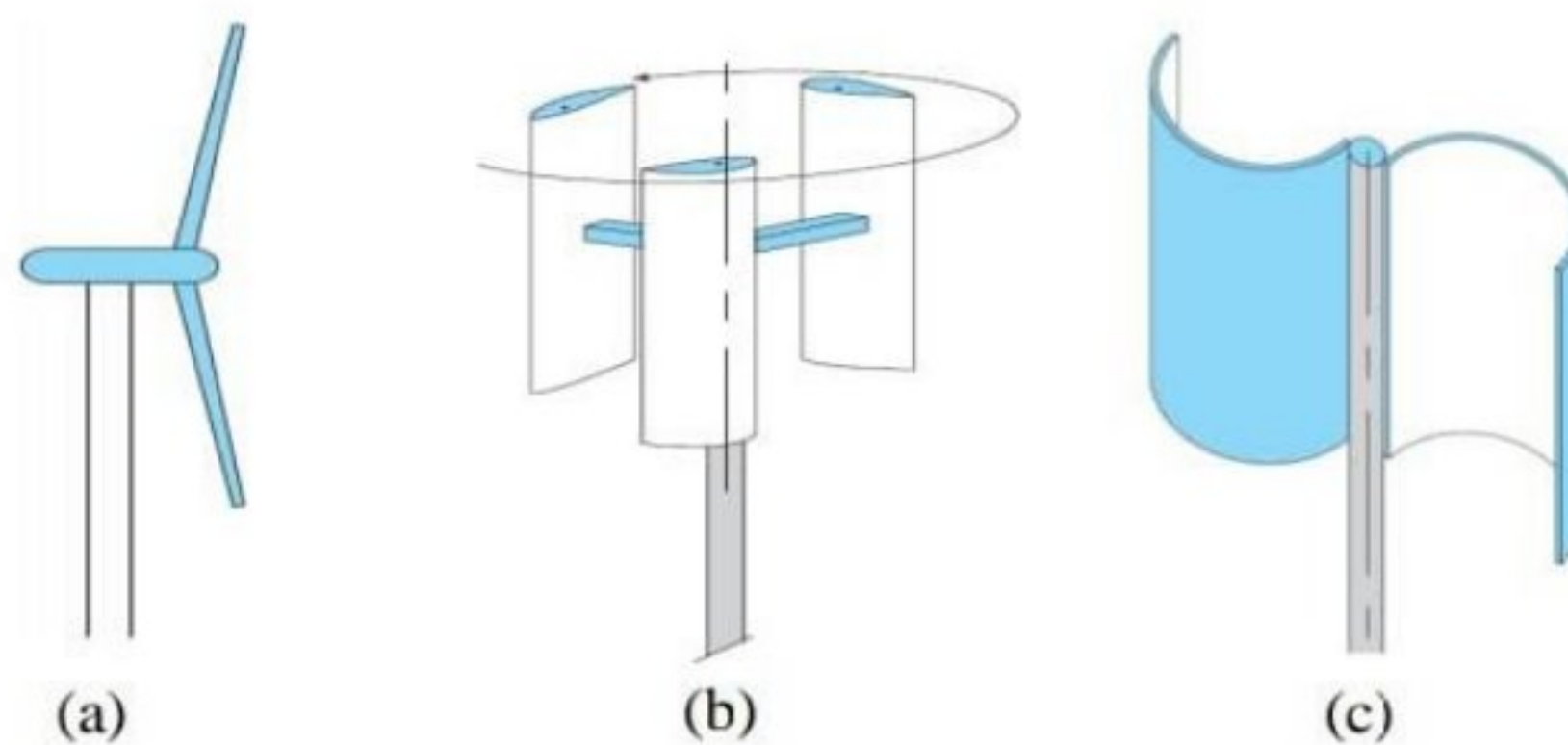
Gambar 2.1 PLTB secara umum

Sumber: Iqbal, 2018

Komponen yang menghasilkan listrik pada rangkaian turbin angin pembangkit listrik adalah generator. Prinsip kerja generator yaitu sesuai dengan kaidah Hukum *Faraday*, dimana apabila sebuah penghantar digerakkan di dalam sebuah medan magnet, maka kedua ujung penghantar tersebut akan timbul ggl induksi. Bila kedua ujungnya dihubungkan dengan beban, misalnya sebuah lampu, maka akan mengalir arus listrik dan timbul daya listrik (Sumiati dkk, 2013).

Turbin angin merupakan salah satu sumber energi terbarukan yang sangat potensial untuk dikembangkan. Menurut jurnal yang diterbitkan oleh *International Journal of Engineering Research and Technology* pada tahun 2014, turbin angin merupakan salah satu sumber energi terbarukan yang paling efisien dan ramah lingkungan. Turbin angin memiliki dua buah tipe yaitu turbin angin tipe *horizontal axis* (HAWT) dan *vertical axis* (VAWT). Prinsip kerja dari turbin angin HAWT

berdasarkan gaya angkat (*lift force*) energi angin dan turbin angin VAWT berdasarkan gaya tarik (*drag force*) yang terjadi akibat pergerakan angin (Santhakumar et al, 2017). Gaya tarik (*drag force*) berdasarkan pergerakan angin sangat cocok dengan aliran angin dari pergerakan kendaraan karena memiliki gaya torsi yang lebih besar (Goh dkk, 2016).



Gambar 2.2 Jenis turbin angin

HAWT, (b) VAWT Tipe Darrieus, (c) VAWT Tipe Savonius

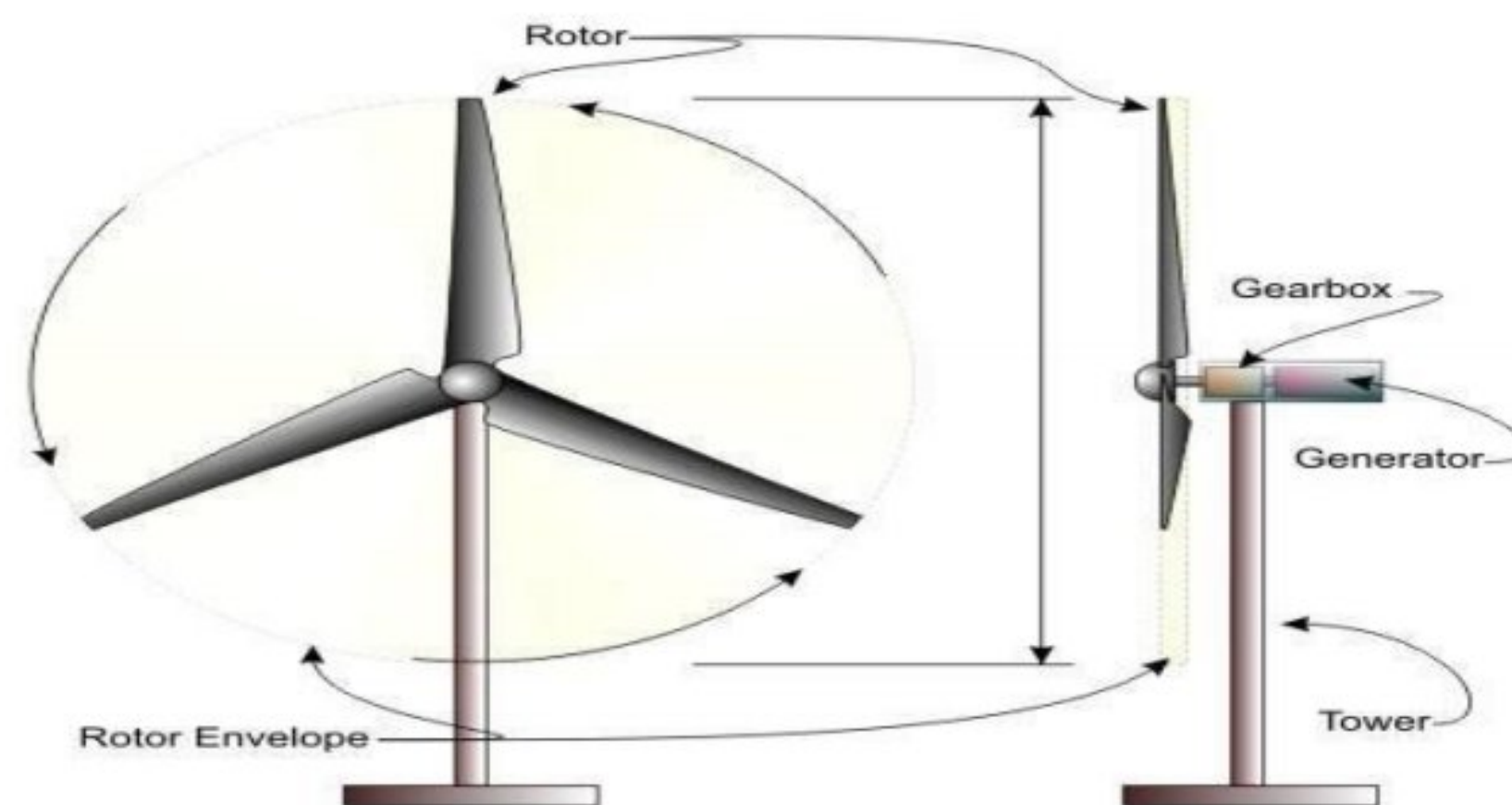
Sumber: fridayana, 2018

Cara kerja dari turbin angin cukup sederhana, energi angin yang berhembus akan menabrak permukaan *blade* dan akan memutar turbin angin, lalu diteruskan untuk memutar rotor pada generator yang terletak di bagian belakang turbin, sehingga rotor generator berputar dan akan menghasilkan energi listrik. Energi listrik ini biasanya akan disimpan ke dalam baterai sebelum nantinya dapat dimanfaatkan (Fridayana, 2018). Berdasarkan arah sumbunya turbin angin terbagi menjadi dua jenis yaitu:

2.3.1 Horizontal Axis Wind Turbine (HAWT)

Horizontal Axis Wind Turbine (HAWT) atau turbin angin sumbu horizontal merupakan turbin angin yang poros utamanya berputar menyesuaikan arah angin. Agar rotor dapat berputar dengan baik, arah angin harus sejajar dengan poros turbin dan tegak lurus terhadap arah putaran rotor. Biasanya turbin jenis ini memiliki *blade* berbentuk *airfoil* seperti bentuk sayap pada pesawat. Secara umum semakin banyak jumlah *blade*, semakin tinggi putaran turbin (Saleh, 2015).

Berdasarkan prinsip *aerodinamis*, ketika fluida melewati *blade* turbin pada sudut serang (*angle of attack*) sesuai dengan bentuk *airfoil blade* maka akan timbul gaya angkat (*lift*) dan gaya dorong (*drag*). Jika kecepatan fluida di bagian bawah *airfoil* lebih rendah dari bagian atas *airfoil*, maka tekanan pada bawah *airfoil* akan naik dan menimbulkan gaya angkat (*lift force*) sehingga rotor turbin angin dapat berputar.



Gambar 2.3 *Horizontal axis wind turbine*.

Sumber: Kumara, 2014

Kelebihan *Horizontal Axis Wind Turbine* (HAWT) (Fridayana, 2018)

1. Dasar menara yang tinggi memungkinkan akses ke angin yang memiliki kecepatan lebih tinggi.
2. Efisiensi lebih tinggi, karena *blade* selalu bergerak tegak lurus terhadap arah angin, menerima daya sepanjang putaran.

Kekurangan *Horizontal Axis Wind Turbine* (HAWT) (Syahyuniar dkk, 2018)

1. Menara yang tinggi serta bilah yang panjang sulit diangkat, diperkirakan besar biaya transportasi bisa mencapai 20% dari seluruh biaya peralatan turbin angin.
2. Konstruksi Menara harus kuat untuk menyangga beban *blade*, generator, dan *gear box*.

2.3.2 *Vertical Axis Wind Turbine* (VAWT)

Vertical Axis Wind Turbine (VAWT) atau turbin angin sumbu vertikal memiliki poros atau sumbu putar utama yang disusun tegak lurus. Kelebihan utama susunan ini adalah turbin angin sumbu vertikal tidak harus diarahkan ke arah angin berhembus agar bekerja secara efektif. Kelebihan ini sangat berguna untuk lokasi penempatan di daerah yang arah anginnya bervariasi. Turbin angin sumbu vertikal ini mampu memanfaatkan angin dari segala arah.

Pada turbin angin sumbu vertikal, generator dan *gear box* bisa ditempatkan di bawah atau tanah. Angin akan mengenai *blade* turbin dan mempengaruhi gerakan *blade* tersebut. *Blade* akan memutar sumbu vertikal turbin ketika angin mengenainya. Gerakan putar ini akan terus berlangsung selama angin terus bertiup. Gerakan putar sumbu vertikal yang dihasilkan akan diteruskan ke generator yang

terpasang pada turbin. Generator akan mengubah gerakan putar tersebut menjadi energi listrik yang dapat digunakan. Energi listrik yang dihasilkan oleh turbin VAWT dapat disimpan dalam baterai atau digunakan langsung sesuai kebutuhan (Indriani dkk, 2019).



Gambar 2.4 *Vertikal axis wind turbine.*

Sumber: Wenehenuben dkk, 2014

Kelebihan *Vertical Axis Wind Turbine* (VAWT)

1. Tidak memerlukan mekanisme *yaw*, karena turbin angin sumbu vertikal dapat berputar tanpa harus diarahkan ke arah angin berhembus.
2. Turbin angin sumbu vertikal bisa diletakkan di dekat permukaan tanah, sehingga lebih mudah dalam proses perawatan dan perbaikannya.
3. Turbin angin sumbu vertikal memiliki *tip speed ratio* (perbandingan antara kecepatan putaran dari ujung *blade* dengan laju aliran angin) yang lebih rendah jika dibandingkan dengan turbin angin sumbu horizontal, sehingga kemungkinan rusak lebih kecil jika dibandingkan dengan turbin angin sumbu horizontal.

4. Turbin angin sumbu vertikal biasa ditempatkan di lokasi dimana struktur tinggi dilarang karena tidak memerlukan tower penyangga lebih tinggi.

Kekurangan *Vertical Axis Wind Turbine* (VAWT)

1. Turbin angin sumbu vertikal memiliki penurunan efisiensi jika dibanding dengan turbin angin sumbu horizontal, terutama karena hambatan tambahan yang mereka miliki seperti angin yang menabrak bagian belakang dari *blade* turbin.
2. Memiliki posisi dekat dengan permukaan tanah sehingga, tidak memanfaatkan kecepatan angin yang ada diatas (10 meter diatas permukaan tanah kenaikan kecepatan angin sekitar 20%).
3. Turbin angin sumbu vertikal memiliki torsi awal yang rendah, sehingga membutuhkan dorongan eksternal untuk memulai beroperasi.

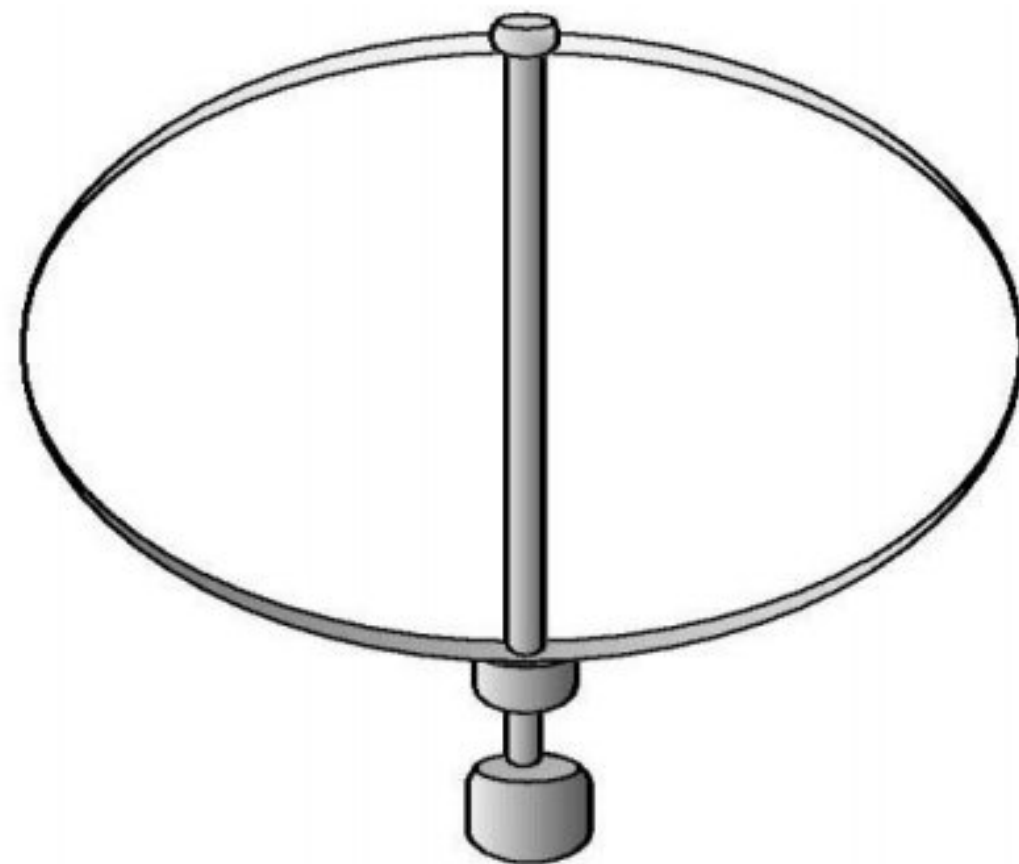
Vertical Axis Wind Turbine (VAWT) dibagi menjadi beberapa macam berdasarkan bentuk *blade* yang dimilikinya, yaitu tipe *Darrieus*, *Savonius*, dan *hybrid* antara *Savonius* dan *Darrieus*.

2.3.2.1 *Darrieus Vertical Axis Wind Turbine*

Turbin *darrieus* adalah salah satu jenis turbin angin vertikal yang dikembangkan oleh seorang ilmuwan Prancis bernama Georges Jean Marie (Wasiati dkk, 2019). Desain turbin angin *Darrieus* pertama kali dipatenkan pada tahun 1931. Turbin tersebut diciptakan kembali oleh insinyur di Dewan Pengembangan *National* Kanada pada awal tahun 1970 (Abdul kadir, 2005). Prinsip kerja turbin *darrieus* berdasarkan prinsip gaya angkat, yang dapat menghasilkan energi yang jauh lebih besar dibandingkan dengan kebanyakan kincir angin lainnya.

Rotor turbin angin *Darrieus* memiliki beberapa variasi sudu. Modifikasi rotor turbin angin *Darrieus* disebut dengan angin H (Bhutta dkk, 2011).

Pemanfaatan energi angin oleh turbin angin darrieus diperoleh dari *lift force* yang bekerja pada tiap sudu searah dengan arah putaran rotor. Tipe turbin angin ini memiliki efisiensi tertinggi dibandingkan dengan tipe VAWT yang lainnya namun kelemahannya yaitu mengalami masalah pada torsi awal yang rendah dan integrasi bangunan yang buruk. Sehingga untuk memulai pergerakannya sendiri sehingga perlu dorongan awal untuk memulai operasi. Cara untuk mengoptimasi *performa* dari turbin angin *darrieus* adalah dengan mengubah jumlah sudu dan bentuk sudu (Yanuarsyah, 2017).



Gambar 2.5 Turbin *darrieus*

Sumber: Wenehenuben dkk, 2014

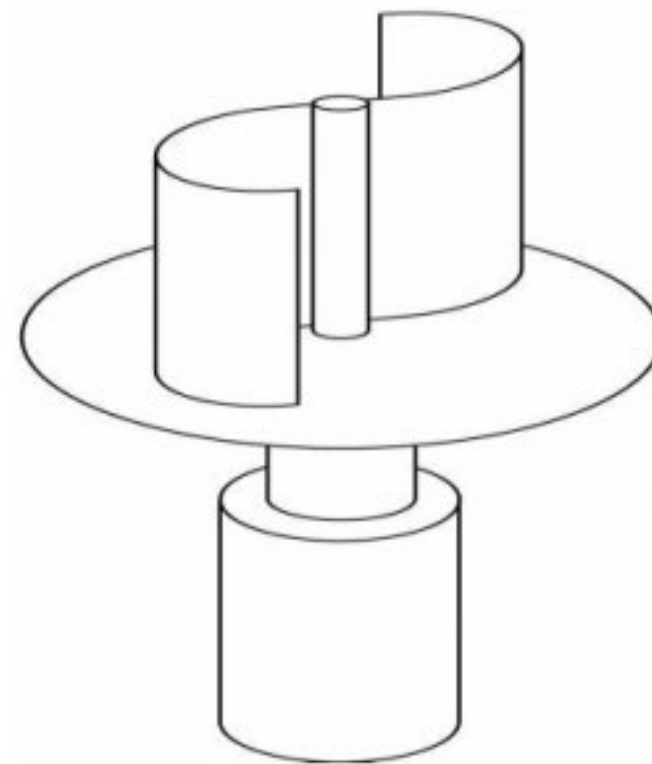
2.3.2.2. Savonius Vertical Axis Wind Turbin

Turbin *savonius* adalah jenis turbin angin yang dikembangkan oleh seorang ilmuwan Finlandia bernama Sigurd J. Savonius pada tahun 1922. Turbin ini merupakan salah satu dari beberapa jenis turbin angin yang paling awal dikembangkan, dan masih sering digunakan sampai sekarang untuk berbagai

aplikasi, terutama untuk menghasilkan energi listrik pada skala kecil (Vanessa, 2016).

Turbin angin *savonius* adalah jenis turbin dengan tipe *drag*, dimana turbin ini menghasilkan daya dengan memanfaatkan gaya *drag* yang dihasilkan dari tiap sudunya. Turbin angin *savonius* bisa berputar pada kecepatan angin rendah, proses manufaktur turbin *savonius* mudah dan memiliki koefisien rendah.

Savonius-Rotor



Gambar 2.6 Turbin *savonius*

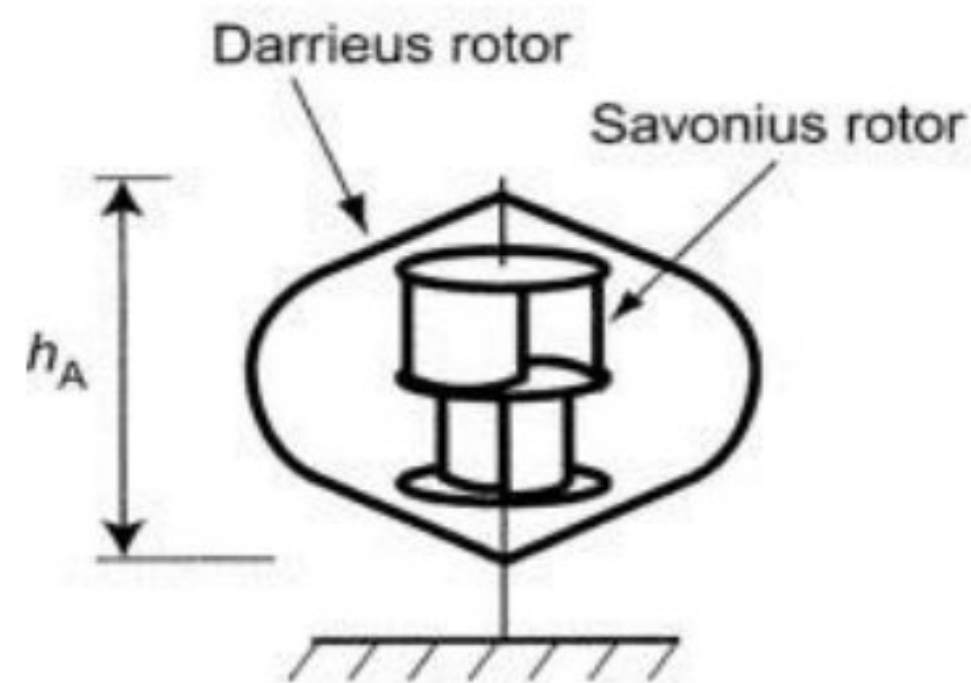
Sumber: Bahri dkk, 2014

2.3.2.3. Turbin Savonius-Darrieus

Sejarah *savonius-darrieus* adalah sejarah dari pengembangan dan perkembangan kombinasi turbin angin yang dikenal sebagai turbin *savonius-darrieus*. Turbin ini merupakan hasil kombinasi dari turbin *savonius* yang dikembangkan oleh Sigurd Johannes Savonius pada tahun 1922 dan turbin *darrieus* yang dikembangkan oleh Georges Jean Marie Darrieus pada tahun 1931 (Zubaidi, 2018).

Turbin ini menggabungkan kelebihan yang dimiliki oleh tipe turbin angin *savonius* dan *darrieus*, kedua tipe ini dikombinasikan sehingga kelebihan

kemampuan *self-starting* turbin angin *savonius* bisa digunakan dan efisiensi turbin angin *darrieus* yang bisa dimanfaatkan bersamaan (Canra dkk, 2021).

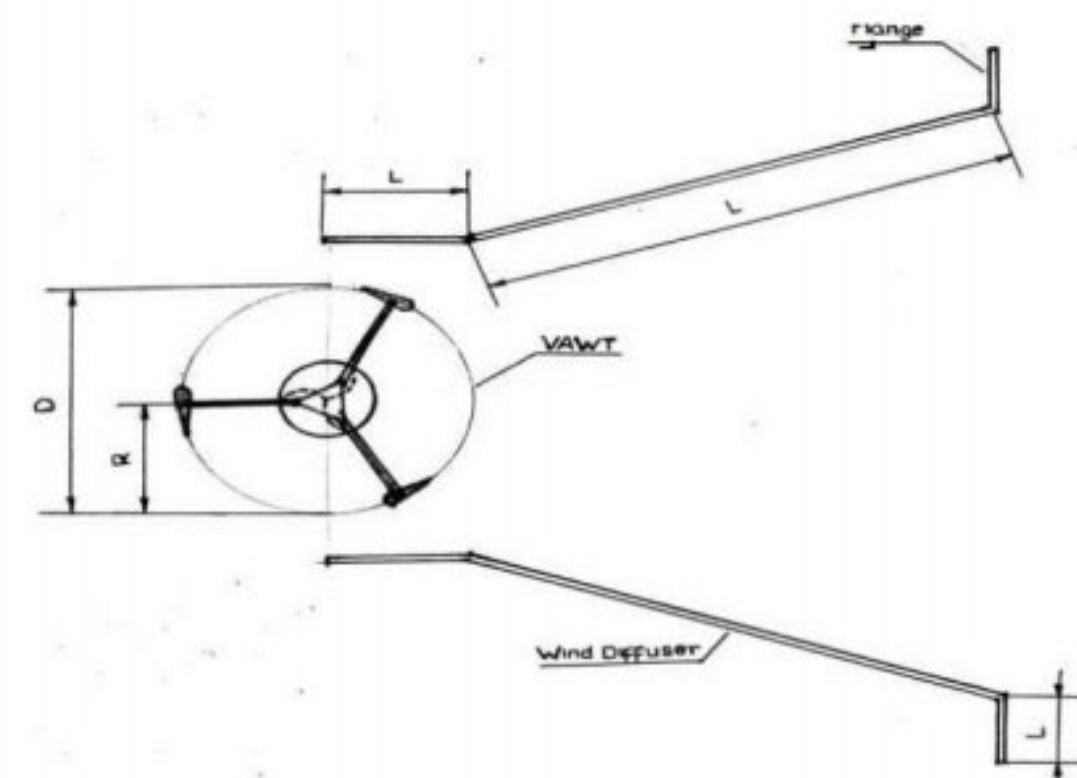


Gambar 2.7 Turbin angin *savonius-darrieus*

Sumber: Zhao dkk, 2021

2.4 Wind Diffuser

Wind diffuser adalah perangkat augmentasi daya sebagai media uji dari sebuah turbin angin yang bertujuan sebagai fitur tambahan daya untuk menarik aliran angin yang lebih tinggi menuju VAWT.



Gambar 2.8 *Diffuser*

Sumber: Asrar dan Nurilmi, 2022

2.5 Rumus Dasar Perhitungan Turbin

Rumus perhitungan yang digunakan untuk mengetahui kerja model turbin angin adalah sebagai berikut:

2.5.1 Tip Speed Ratio

Tip Speed Ratio (γ) adalah perbandingan antara kecepatan ujung sudu /blade dengan kecepatan angin yang melewatinya.

$$\gamma = \frac{\omega R}{v} \quad (2.5)$$

Dimana:

γ : Tip Speed Ratio, TSR

ω : Kecepatan Rotasi Turbin (Rad/s)

R : Panjang jari-jari turbin (m)

v : Kecepatan angin (m/s)

2.5.2 Koefisien Daya (C_p)

Kemampuan Turbin angin dalam mengkonversi energi angin menjadi energi listrik disebut dengan koefisien daya (C_p) yang dapat dituliskan dengan persamaan:

$$C_p = \frac{P_T}{P_{in}} \quad (2.6)$$

$$C_p = \frac{M_w}{\frac{1}{2} \rho A v^3} \quad (2.7)$$

Dimana:

C_p : *Coefficien Power*

P_T : Daya Turbin (Watt)

P_{in} : Daya Angin (Watt)

2.5.3 Daya Maksimal Rotor

Daya maksimal rotor (P_s) merupakan daya yang tersedia oleh angin dimana daya ini berbanding lurus pangkat tiga kecepatannya dan dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$P_s = \frac{1}{2} \rho \cdot A \cdot v^3 \cdot C_p \quad (2.8)$$

Dimana:

P_s : Daya maksimal yang dihasilkan dari rotor (Watt)

A : Luas Penampang *blade* (m^2)

ρ : Massa Jenis udara (kg/m^3)

v : Kecepatan angin (m/s)

C_p : 0,593 (Betz Coefficient)

2.5.4 Torsi

Torsi (τ) merupakan hasil perkalian dari besarnya gaya pembebanan (F) dengan Panjang lengan torsi (r), sehingga dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$\tau = r \cdot F \quad (2.9)$$

Dimana:

τ : Torsi (n/m)

r : Panjang lengan(m)

F : Gaya (Newton)

2.5.5 Efisiensi Turbin

Efisiensi turbin yang merupakan perbandingan antara daya turbin dan daya angin dengan persamaan berikut:

$$\eta_T = \frac{P_T}{P_{In}} \cdot 100\% \quad (2.10)$$

Dimana:

η_T = Efisiensi Turbin (%)

P_T = Daya Turbin (Watt)

P_{In} = Daya Angin (Watt)

2.5.6 Efisiensi Generator

Efisiensi generator adalah perbandingan antara daya keluaran dengan daya masukan dan dinyatakan dengan persamaan berikut:

$$\eta_{gen} = \frac{P_E}{P_{In}} \cdot 100\% \quad (2.11)$$

Dimana:

η_{gen} = Efisiensi generator (%)

P_E = Daya Elektrik (Watt)

P_{In} = Daya Input (Watt)

2.5.7 Efisiensi Sistem

Efisiensi sistem adalah besarnya efisiensi keseluruhan yang dihasilkan oleh turbin angin yang dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$K = \frac{\eta_{gen} \cdot \eta_{turbin}}{100\%} \quad (2.12)$$

Dimana:

K = Efisiensi Sistem (%)

η_{turbin} = Efisiensi Turbin (%)

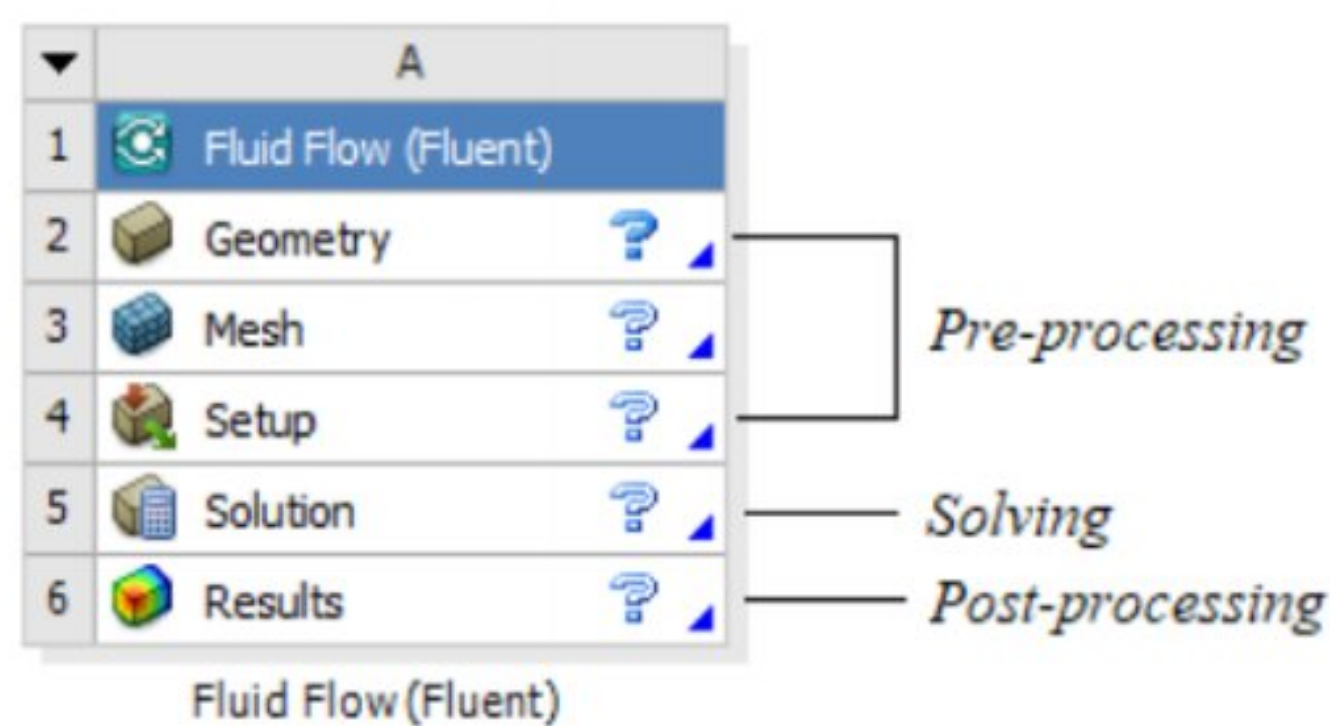
η_{gen} = Efisiensi Generator (%)

2.6 Dinamika Aliran Fluida Secara Komputasi (*Computational Fluid Dynamic*)

Computational Fluid Dynamics adalah sekumpulan metodologi yang menggunakan computer untuk melakukan simulasi aliran fluida, perpindahan panas, reaksi kimia, dan fenomena aliran lainnya dengan memecahkan persamaan Navier-Stokes secara numerik (Charles, 2007). Persamaan Navier-stokes adalah persamaan umum untuk fenomena aliran fluida yang notabene adalah persamaan mekanika klasik yang solusi analitiknya sampai saat ini belum terpecahkan. Masalah persamaan Navier Stokes ini selain di dunia fisika dan terapannya, menjadi masalah tersendiri pula bagi matematikawan. Dengan menggunakan salah satu *software* CFD, dapat dibuat sebuah *virtual prototype* dari sebuah sistem atau alat yang nantinya akan dianalisis dengan menerapkan kondisi nyata di lapangan. *Computational Fluid Dynamic* (CFD) dapat dikatakan merupakan sebuah *software* analisa sistem dengan melibatkan aliran fluida, perpindahan panas, momentum, perpindahan energi, dan fenomena aliran lainnya dengan didasarkan simulasi pada media komputer (digital). Simulasi dengan menggunakan CFD dapat menghasilkan parameter-parameter penting seperti tekanan, suhu, kecepatan, dan laju aliran massa (*mass flow rate*). Analisa menggunakan CFD diperlukan pemahaman dan pengetahuan dasar mengenai mekanika fluida untuk interpretasi hasil-hasil simulasi.

Penyederhanaan CFD terdiri dari tiga tahap sebagai berikut:

1. **Pre-processing**. merupakan bagian pemodelan matematis dari suatu fenomena fisik fluida ke sebuah program CFD melalui pembuatan geometri, domain, deskripsi volume agar hingga menentukan lapisan batasnya.
2. **Solving**. Ini adalah tahap inti dari CFD, pada tahap ini, solusi dihitung berdasarkan kondisi-kondisi yang diterapkan pada tahap *pre-processing*.
3. **Post-processing**. Tahapan terakhir dalam CFD. Pada tahapan ini, dilakukan interpretasi dari data hasil simulasi yang dapat berupa visualisasi kontur, vektor, kurva, histogram, dan lain sebagainya.



Gambar 2.9 Proses simulasi CFD

Sumber: Setyawan, 2018

2.6.1 Analisis CFD (*Computational Fluid Dynamics*) menggunakan ANSYS

Fluent

ANSYS adalah salah satu perangkat lunak berbasis metode elemen hingga yang dipakai untuk menganalisa masalah-masalah rekayasa (*engineering*). ANSYS *Workbench* menyediakan fasilitas untuk berinteraksi antar *solvers family* ANSYS. ANSYS *Workbench* juga dapat berintegrasi dengan perangkat lunak CAD sehingga memudahkan pengguna dalam membangun model geometri dengan berbagai perangkat lunak CAD. Beberapa perangkat lunak tersebut adalah *Catia* dan

Solidwork. ANSYS dapat dioperasikan di platform *Windows* dan *Linux*.

Sedangkan untuk *ANSYS Fluent* merupakan sebuah *software* yang digunakan untuk mensimulasikan aliran fluida dan perpindahan panas. Aliran dan perpindahan panas dari berbagai fluida dapat disimulasikan dalam bentuk atau geometri yang rumit. Dengan menggunakan program dari *fluent*, dapat diketahui mengenai parameter-parameter aliran dan perpindahan panas yang diinginkan mulai dari distribusi tekanan, kecepatan aliran, laju aliran massa, distribusi temperatur, dan pola aliran fluida yang terjadi pada tiap titik yang terdapat dalam sistem yang dianalisa (Setyawan, 2018).

2.7 Penelitian Terdahulu

Erwin dkk, (2014) Menganalisis turbin angin *Hybrid Savonius-Darrieus* menggunakan metode CFD untuk mendapatkan efektifitas desain *blade* turbin angin dengan metode simulasi komputer sehingga dapat menekan waktu dan biaya yang dibutuhkan. Dari hasil penelitian yang dilakukan bahwa gaya (*force*) yang dihasilkan oleh *blade Darrieus* mengalami peningkatan berbanding lurus dengan besar sudut serang hingga mencapai maksimum 15° , pada sudut serang 20° *blade* mengalami penurunan gaya akibat meningkatnya gaya hambat.

Rochman, (2014) melakukan studi pengaruh penambahan *flange* untuk peningkatan performansi *Diffuser-Augmented Wind Turbine* (DAWT) dengan *Curvature* lengkung. Dalam penelitian ini, Studi komputasi (CFD) untuk mengetahui pengaruh penambahan *flange* (pada posisi *trailing edge* dari model *diffuser* yang sebelumnya dengan desain kurvatur lengkung) terhadap kecepatan angin dalam *diffuser*. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa penambahan *flange*

pada posisi *trailing-edge diffuser* akan dapat lebih meningkatkan kecepatan udara di dalam *diffuser*.

Setyawan, (2018) juga melakukan analisis dan pemodelan *Savonius Vertical Axis Wind Turbine* dengan Variasi *Blade* terhadap aliran udara dengan metode CFD (Computational Fluid Dynamics) dan berdasarkan hasil simulasi yang telah dilakukan kinerja turbin *Savonius* dengan tipe *blade* L memiliki kinerja yang lebih optimal jika dibandingkan dengan tipe U.

Gurih, (2020) melakukan simulasi numerik pada *Hybrid Savonius-Darrieus Wind Turbine* dengan berbagai bentuk *airfoil* dan rasio soliditas. Tujuan dari penelitian ini adalah mengevaluasi secara numerik kinerja daya turbin *hybrid*, dimana membandingkan koefisien daya antara kedua jenis turbin yang merupakan bentuk *NACA-airfoil* yang berbeda sebagai standar simetris dan asimetris. Model (CFD) dua dimensi yang akan digunakan untuk mensimulasikan seluruh model. Jaring bergerak diterapkan untuk bagian yang berputar. Hasil yang didapatkan seperti koefisien daya, koefisien momen pada kisaran rasio kecepatan ujung (TSR) dan kinerja aerodinamis dari interaksi aliran fluida ke turbin angin.

Fridayana, (2018) juga melakukan Analisis kinerja Aerodinamik dari *Vertical Axis Wind Turbine* (VAWT) *Darrieus* tipe H-Rotor dengan pendekatan *Computational Fluid Dynamics* (CFD). Pada penelitian ini dilakukan analisis berbagai variabel guna mengetahui efek aerodinamik yang bekerja pada turbin *darrieus*. Lebih lanjut, fokus analisis ditujukan pada pengaruh posisi maksimum *camber airfoil* terhadap kinerja turbin. Hasil simulasi berupa koefisien daya menunjukkan bahwa kinerja turbin terbaik diberikan oleh *airfoil* dengan posisi

camber mendekati *trailing edge*. Sedangkan variasi lebar *Chord* memberikan *solidity ratio* 0,6 menjadi yang terbaik diantara nilai diatas maupun dibawahnya.

Muh. Asrar. M Dan Nurilmi, (2022) juga melakukan penelitian pengaruh penambahan *flange-diffuser* terhadap kinerja turbin tipe *hybrid savonius-darrieus*. Pada Penelitian ini dilakukan perancangan rangka turbin dan poros, perancangan turbin *savonius* dan *darrieus*, dan perancangan *flange-diffuser*. Pengumpulan data dilakukan dengan teknik pengujian, sedangkan analisis data dilakukan dengan regresi sederhana. Hasil pengujian dan analisis data dapat yaitu desain turbin tipe *hybrid savonius* dan *darrieus* dengan menggunakan *flange-diffuser* dinilai bagus dikarenakan adanya peningkatan kecepatan putaran poros. Turbin tipe *hybrid savonius* dan *darrieus* dengan menggunakan *flange-diffuser* memiliki nilai putaran turbin terbaik dengan rata-rata nilai putaran sebesar yaitu 142,08 rpm dibanding dengan percobaan tanpa *flange-diffuser*. Turbin tipe *hybrid savonius* dan *darrieus* dengan menggunakan *flange-diffuser* juga memiliki nilai efisiensi sistem terbaik dengan rata-rata 9,81% dengan variasi sudut flange $\alpha = 15^\circ$ Sehingga penambahan *flange-diffuser* dapat membantu turbin untuk menerima angin secara optimal.

BAB III

METODE KEGIATAN

3.1 Waktu Dan Tempat Kegiatan

Kegiatan tugas akhir “Analisis Pengaruh Penambahan *Flange-Diffuser* Terhadap Kinerja Turbin Angin *Hybrid Savonius-Darrieus* Dengan Metode CFD (*Computational Fluid Dynamic*)” dilakukan di laboratorium Konversi Energi Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang. Pelaksanaan kegiatan tugas akhir ini yaitu selama 5 bulan terhitung mulai bulan Maret 2023 hingga Agustus 2023.

3.2 Alat dan Bahan

Adapun alat dan bahan yang digunakan dalam proses analisis pengaruh penambahan *flange-diffuser* terhadap kinerja turbin angin *hybrid savonius-darrieus* dengan metode CFD (*Computational Fluid Dynamic*) dapat dilihat pada (tabel 3.1) berikut:

Tabel 3.1 Bahan dan Alat

Alat	Bahan
Laptop	<i>Solidworks 2020</i>
	<i>ANSYS Fluent</i>

3.3 Persiapan Hardware dan Software

Tahapan ini dilakukan perisapan serta instalasi perangkat keras dan lunak computer. Diantara perangkat lunak yang digunakan yaitu *ANSYS Fluent* sebagai

software komputasi berbasis *computational fluid dynamic* (CFD). Program *mesh* dan CFD *post* berada dalam satu paket bersama *fluent* pada *ANSYS Workbench*, *software* lain yaitu *Solidworks* 2020 digunakan dalam penelitian ini sebagai *software* untuk membuat geometri turbin dalam bentuk 2D maupun 3D.

3.4 Prosedur Penelitian

3.4.1 Studi Literatur

Untuk membantu dalam penulisan tugas akhir ini diperlukan banyak mengenai teori turbin angin khususnya VAWT *Savonius*, *Darrieus*, *Wind Diffuser* dengan penambahan *flange* serta analisis CFD khususnya *Software ANSYS Fluent*. Referensi tersebut berupa jurnal nasional maupun internasional, skripsi, tesis, dan referensi lain dari internet.

3.4.2 Tahap Perancangan

Pada Tugas akhir ini visualisasi dan analisis dari model turbin angin sumbu vertikal tipe *hybrid savonius-darrieus* dengan penambahan *flange-diffuser* menggunakan metode CFD (*Computational Fluid Dynamic*) pada *software ANSYS Fluent* dan *Solidworks*. Pada pemodelan dan analisis dari turbin angin tipe *hybrid savonius-darrieus* ini ada tiga tahapan utama yang dilakukan, yaitu: *pre-processing*, *solving(processing)*, dan *post-processing*.

3.4.2.1 Pre Processing

Pre-processing merupakan langkah pertama yang dilakukan dalam membangun dan menganalisis model komputasi (CFD), dalam tahapan ini terdapat beberapa langkah yang harus dilakukan yaitu membuat model atau geometri,

menentukan domain, membuat *meshing* dan membuat parameter lainnya. Pada pembuatan model atau geometri pada penelitian ini menggunakan *software Solidworks*.

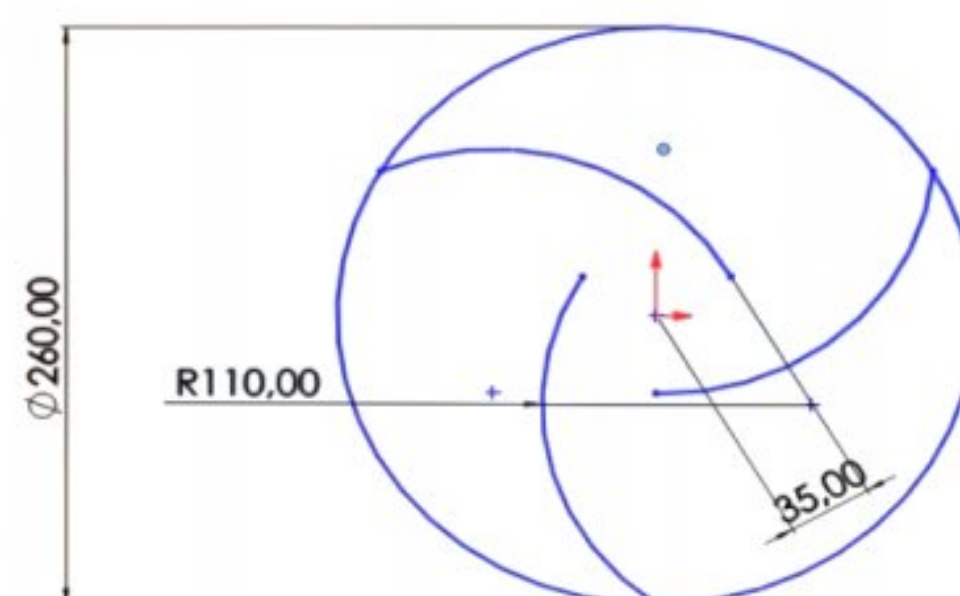
1. Geometri dan Model Turbin

Tabel 3. 2 Geometri Turbin dan *Diffuser*

Geometri	Parameter	Besar/Dimensi
Turbin Angin <i>Savonius</i>	Jumlah <i>Blade</i>	3buah
	Tinggi Rotor	250 mm
	Diameter Rotor	260 mm
	Diameter <i>Blade</i>	110 mm
	Diameter Poros	50 mm
Turbin Angin <i>Darrieus</i>	Jumlah <i>Blade</i>	3 buah
	Tinggi Rotor	500 mm
	Panjang <i>Chord</i>	140 mm
<i>Flange Diffuser</i>	Panjang <i>Wind Diffuser</i>	1000 mm
	Panjang <i>Flange</i>	350 mm
	Lebar <i>Flange Diffuser</i>	600 mm

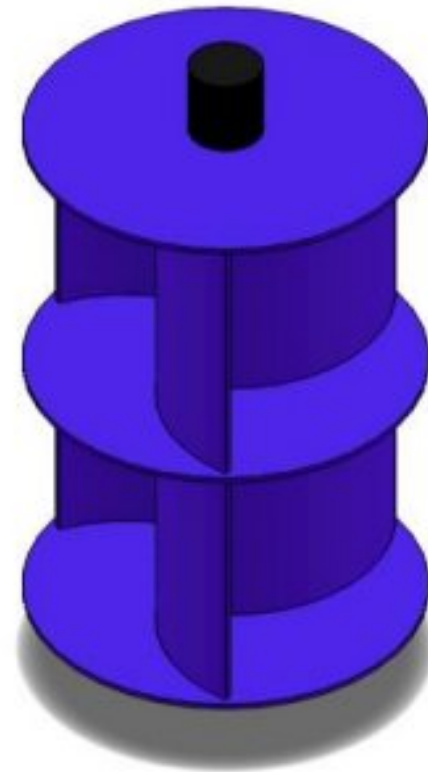
a. *Savonius*

- Langkah pertama dengan membuat geometri desain 2D sesuai dengan dimensi yang telah di tentukan.



Gambar 3.1 Geometri dan desain 2D turbin *savonius*

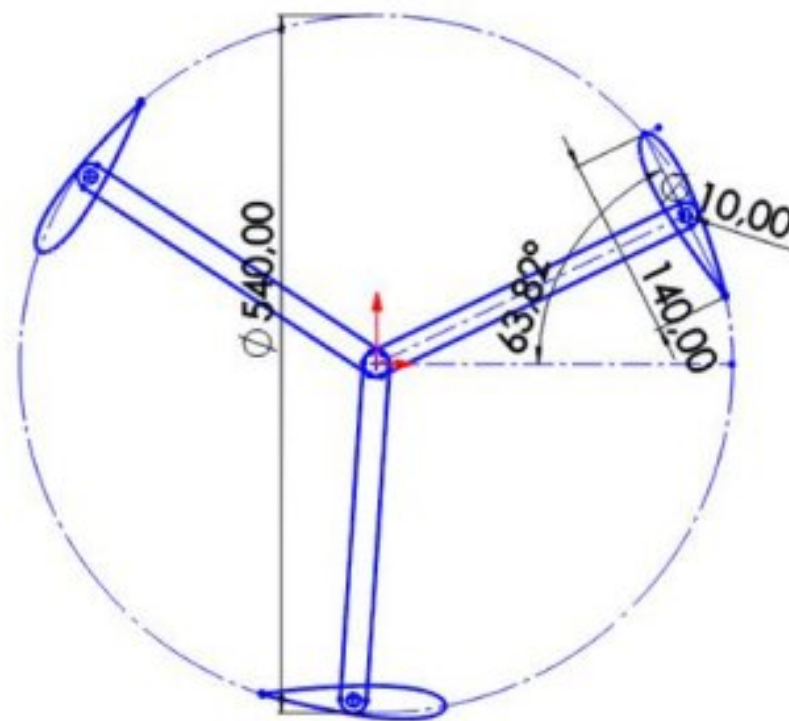
- Langkah Kedua mengubah desain geometri 2D ke desain geometri 3D dengan melakukan *Extrude Bold* untuk menghasilkan solid 3D sehingga dapat melakukan proses *Meshing* pada tahap selanjutnya.



Gambar 3.2 Model 3D turbin *savonius*

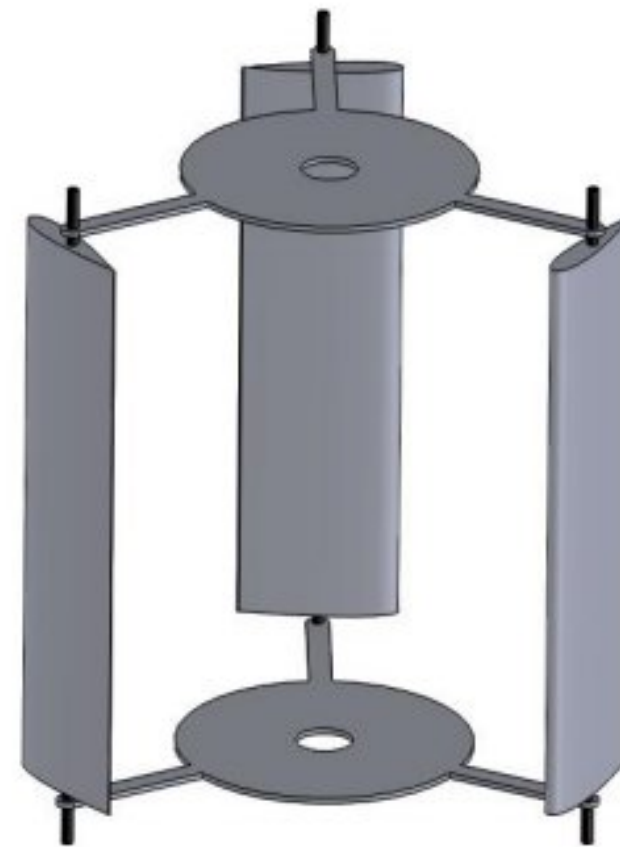
b. Darrieus

- Langkah pertama dengan membuat geometri desain 2D sesuai dengan dimensi yang telah di tentukan.



Gambar 3.3 Geometri dan desain 2D turbin *darrieus*

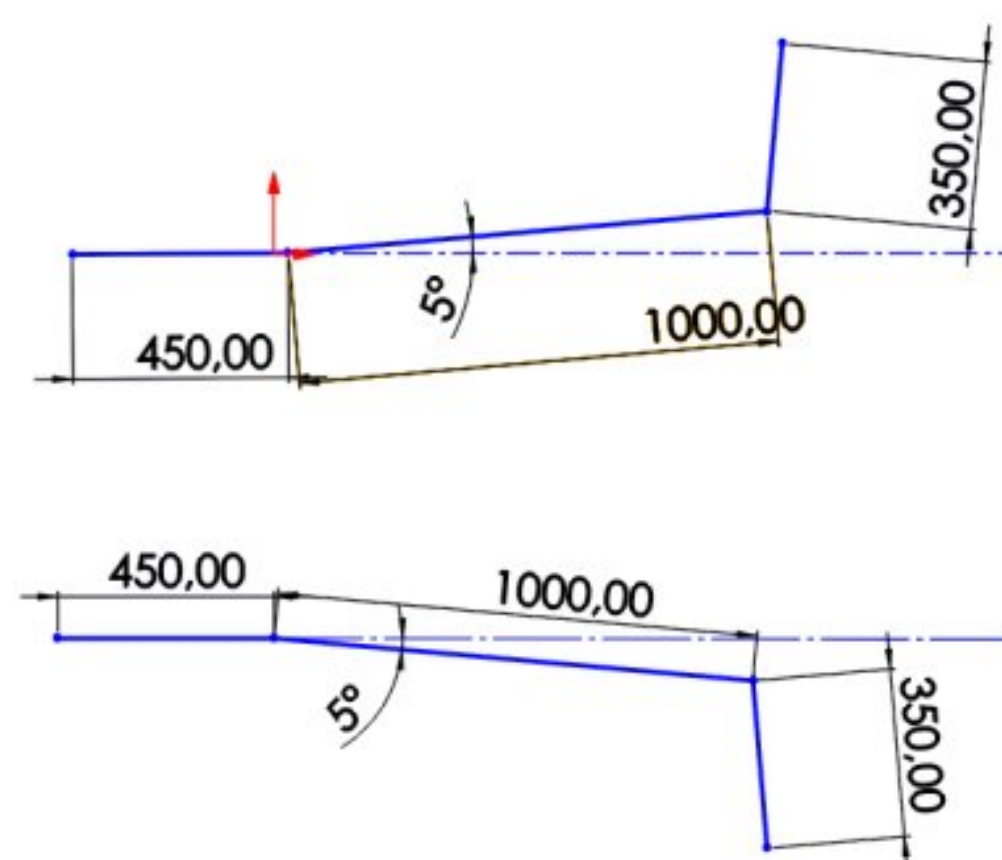
- Langkah Kedua mengubah desain geometri 2D ke desain geometri 3D dengan melakukan *Extrude Bold* untuk menghasilkan solid 3D sehingga dapat melakukan proses *Meshing* pada tahap selanjutnya.



Gambar 3.4 Model 3D turbin *darrieus*

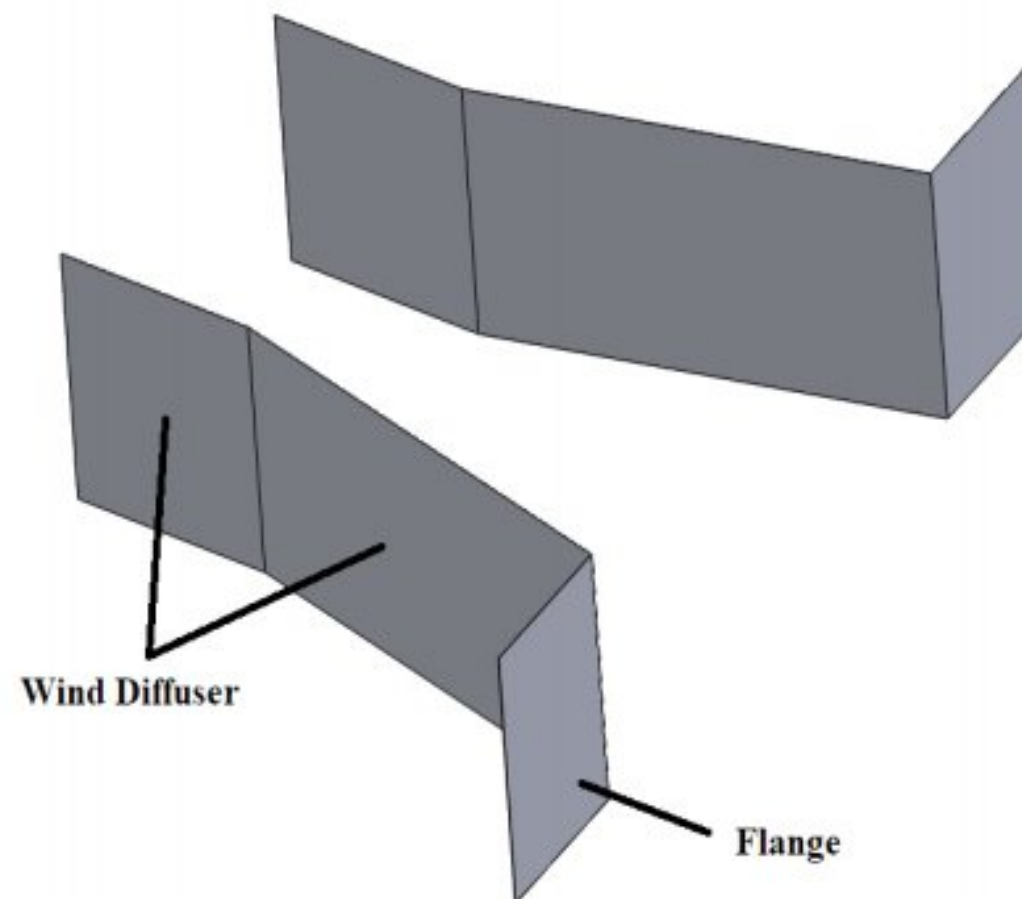
c. *Flange Diffuser*

- Langkah pertama dengan membuat geometri desain 2D sesuai dengan dimensi yang telah di tentukan.



Gambar 3.5 Geometri dan model 2D *flange diffuser*

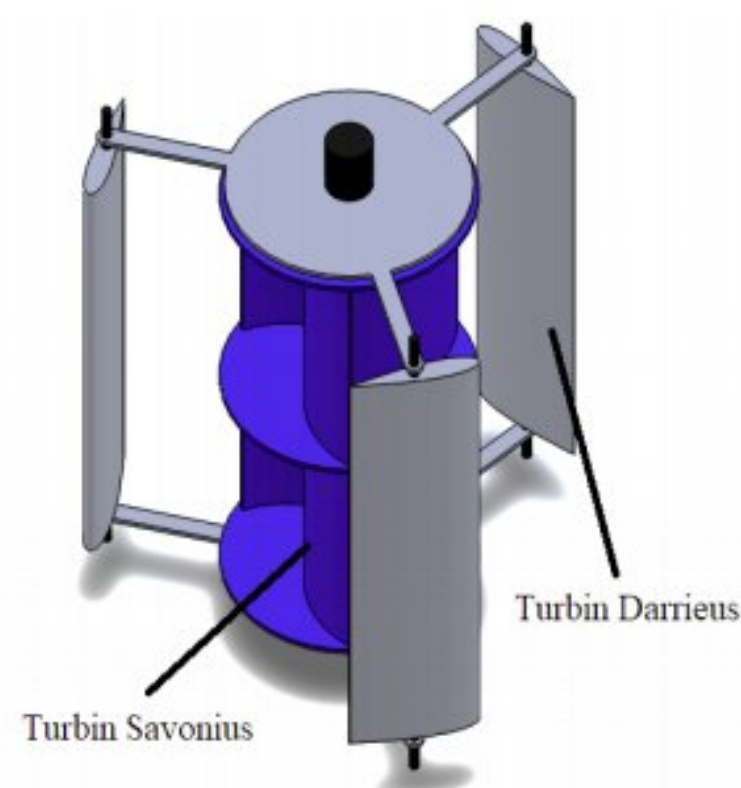
- Langkah Kedua mengubah desain geometri 2D ke desain geometri 3D dengan melakukan *Extrude Bold* untuk menghasilkan solid 3D sehingga dapat melakukan proses *Meshing* pada tahap selanjutnya.



Gambar 3.6 Model 3D *flange* dan *diffuser*

d. Turbin *Hybrid Savonius-Darrieus*

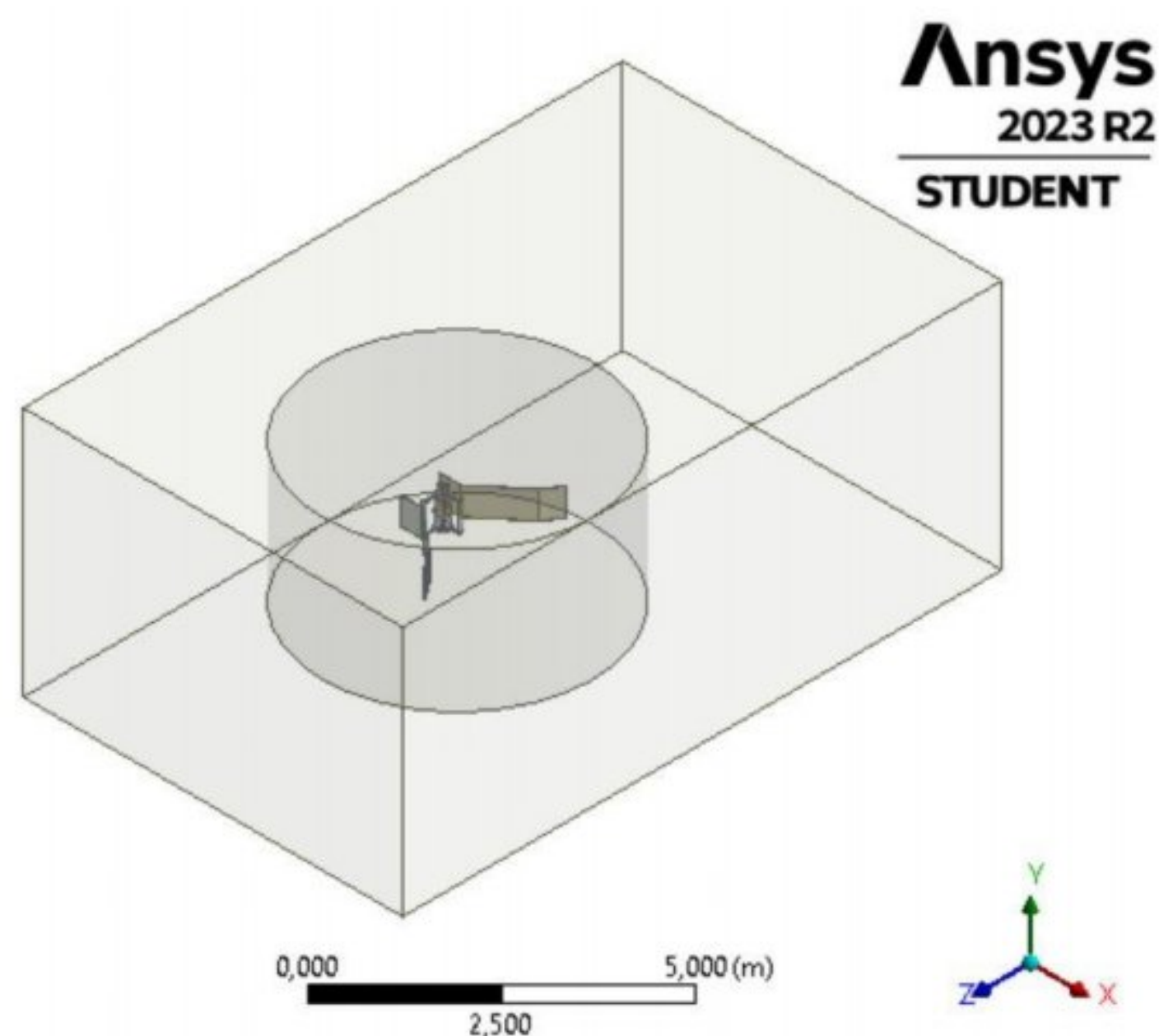
Penggabungan rotor *savonius* dan rotor *darrieus* yang disebut sebagai turbin *hybrid*. Dalam hal ini, model 3D akan dipelajari untuk mengetahui kinerja dari turbin *hybrid* tersebut. Gambar 3.7 menunjukkan model 3D dari turbin *hybrid savonius-darrieus*.



Gambar 3.7 Model 3D turbin *hybrid savonius-darrieus*

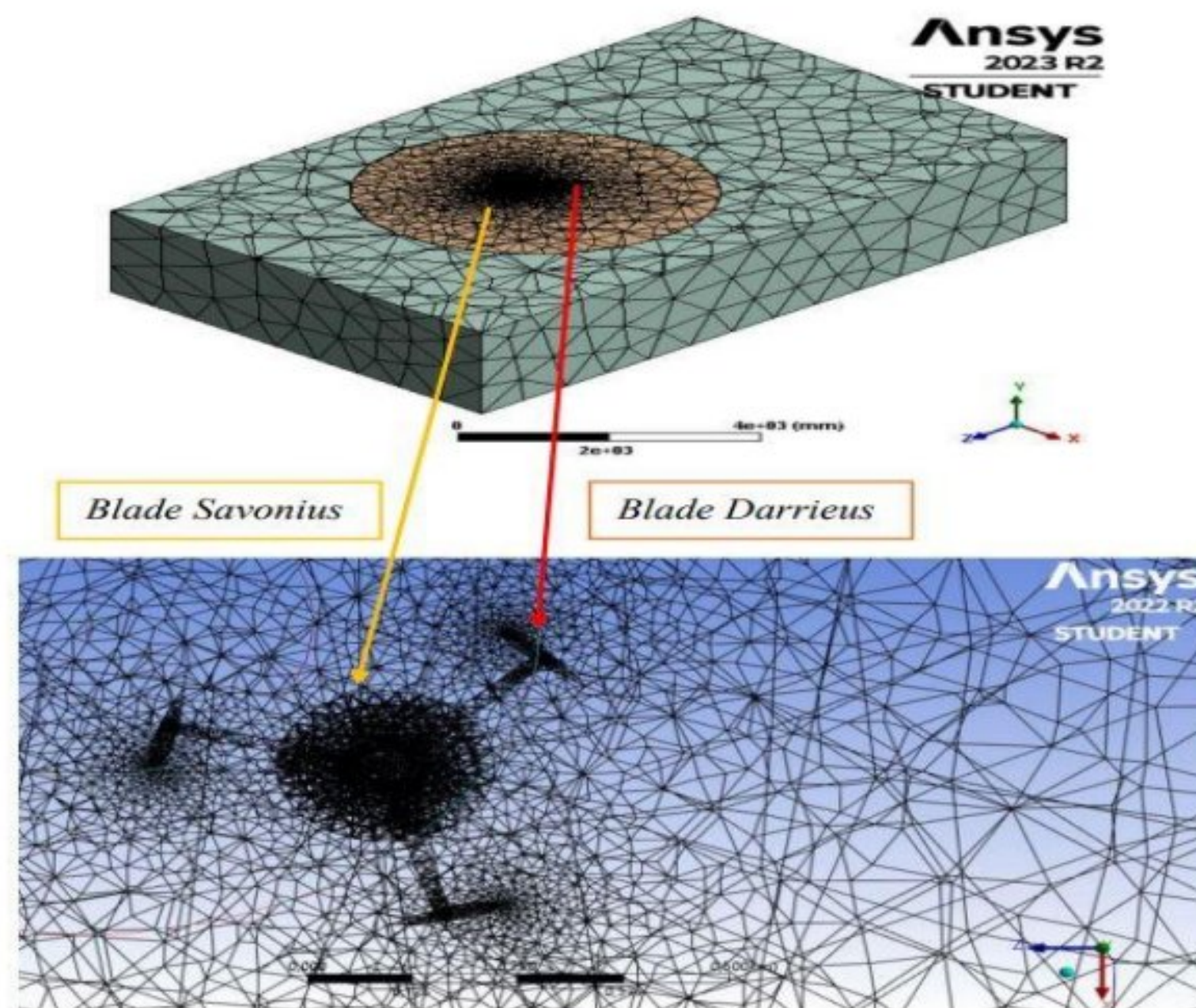
2. Meshing

Proses *meshing* sangat berperan dalam berjalanya simulasi. Secara umum semakin banyak jumlah *mesh* maka tingkat akurasi semakin tinggi namun mengakibatkan waktu komputasi yang lama. Dalam simulasi ini struktur yang digunakan adalah *unstructured mesh* dengan metode *meshing quadrilateral*. *Mesh* diatur agar area rotasi lebih padat dan halus dari area fluida, begitu juga area *blade* dibuat agar lebih padat dari area yang lain.



Gambar 3.8 Domain pemodelan turbin

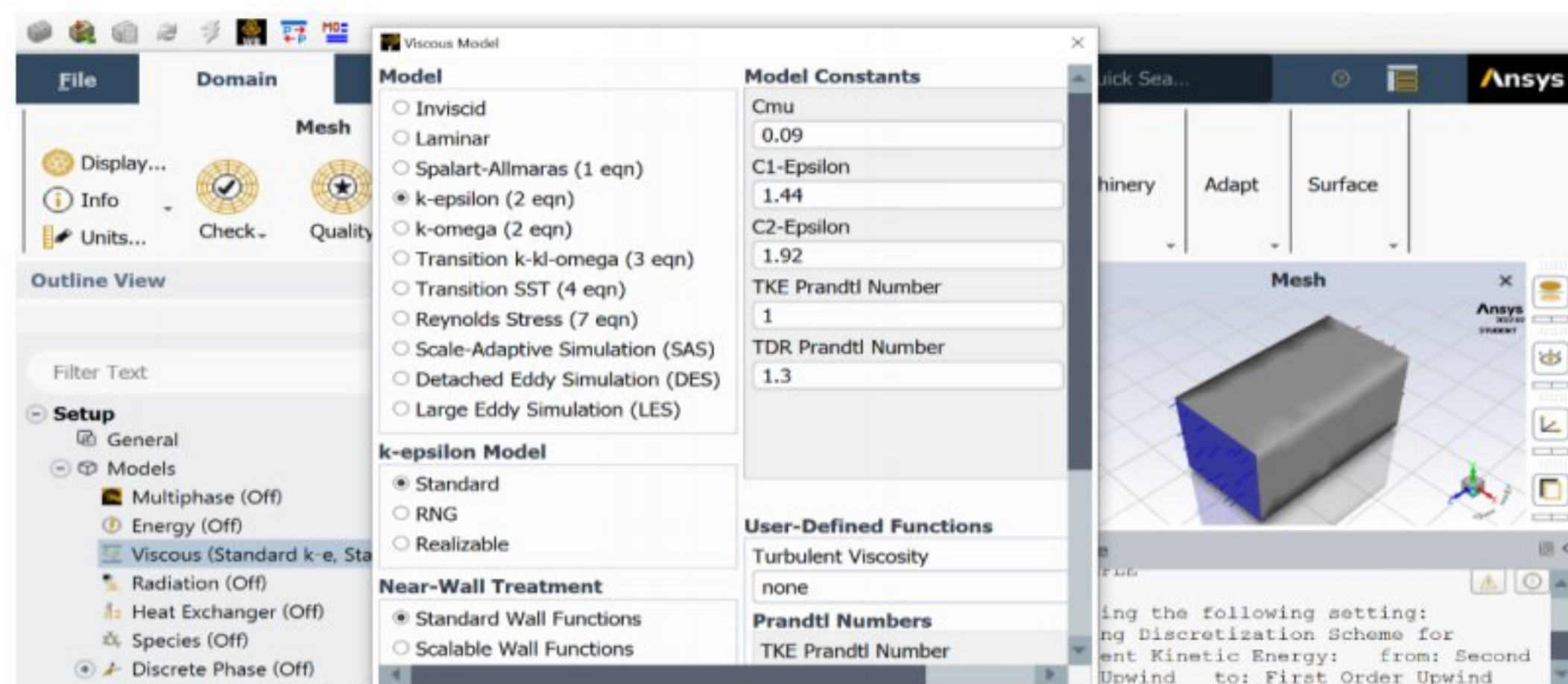
Proses pemberian batasan sebagai domain pada pemodelan *savonius* ini dibagi menjadi dua, *fixed domain* sebagai daerah aliran fluida bergerak, dan *rotating domain* sebagai daerah turbin berotasi. Untuk kedua domain tersebut perlu dilakukan pemisahan domain sebelum di lakukan *meshing* dengan cara *create – Boolean – subtract*.



Gambar 3.9 Hasil meshing dan kondisi batas pada area *boundary*.

3. Pengaturan Model

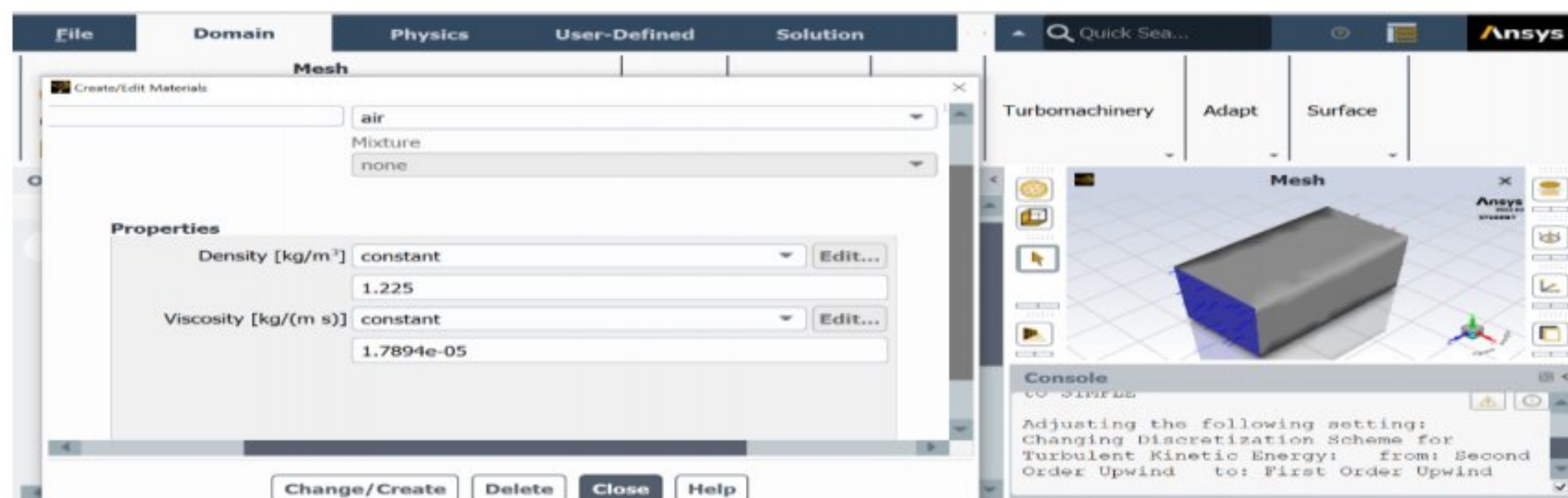
Viscous model yang digunakan yaitu model k-epsilon ($k-\epsilon$), Komputasi dengan model turbulensi ini tergolong lama karena terdiri dari dua persamaan k untuk *transport* energi dan ϵ merupakan variabel dari laju *dissipation* energi turbulen. Persamaan ini memberikan hasil yang lebih akurat untuk kasus aliran yang berotasi dan melibatkan separasi aliran.



Gambar 3.10 Penentuan kondisi *models* aliran pada *fluent*.

4. Materials

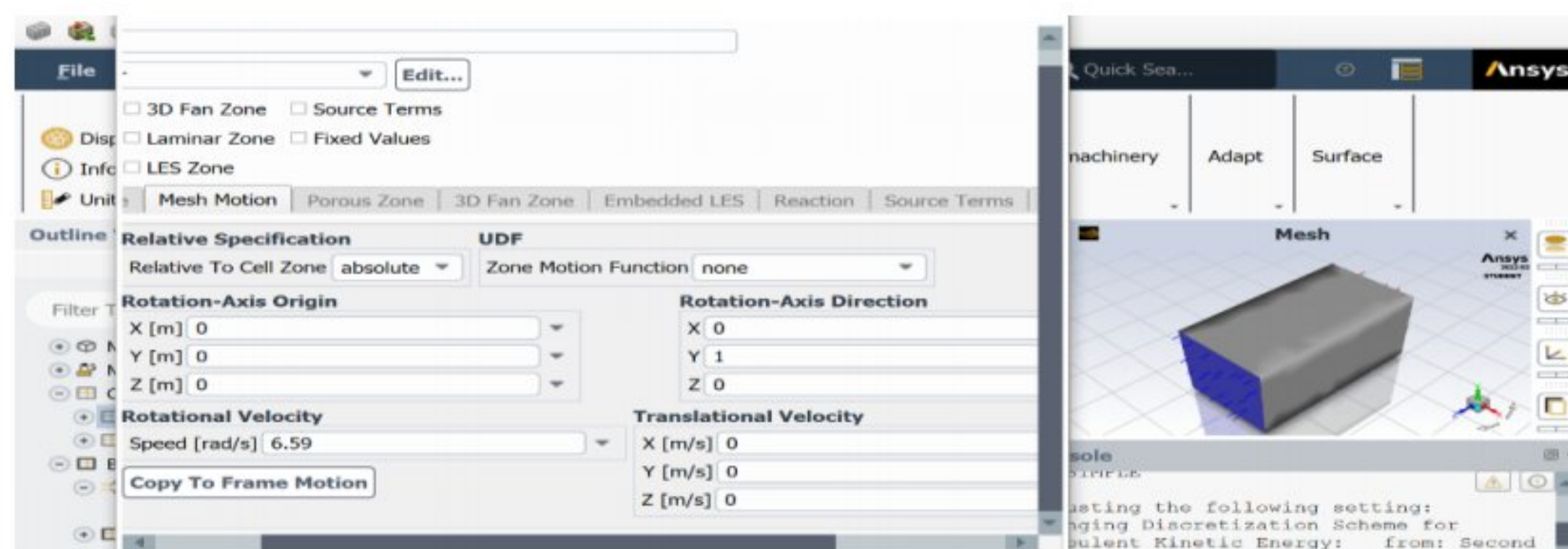
Langkah selanjutnya dalam pemodelan pada *ANSYS fluent* adalah mendefinisikan sifat fisik material. Pada *form materials* terdapat data *properties* dan material yang harus dimasukkan. Dalam hal ini material yang digunakan adalah udara dengan *density* $1,225 \text{ kg/m}^3$ dan *viscosity* $1,7894 \times 10^{-5} \text{ kg/m.s}$.



Gambar 3.11 Penentuan *materials* pada *fluent*

5. Menentukan *Cell Zone-Condition*

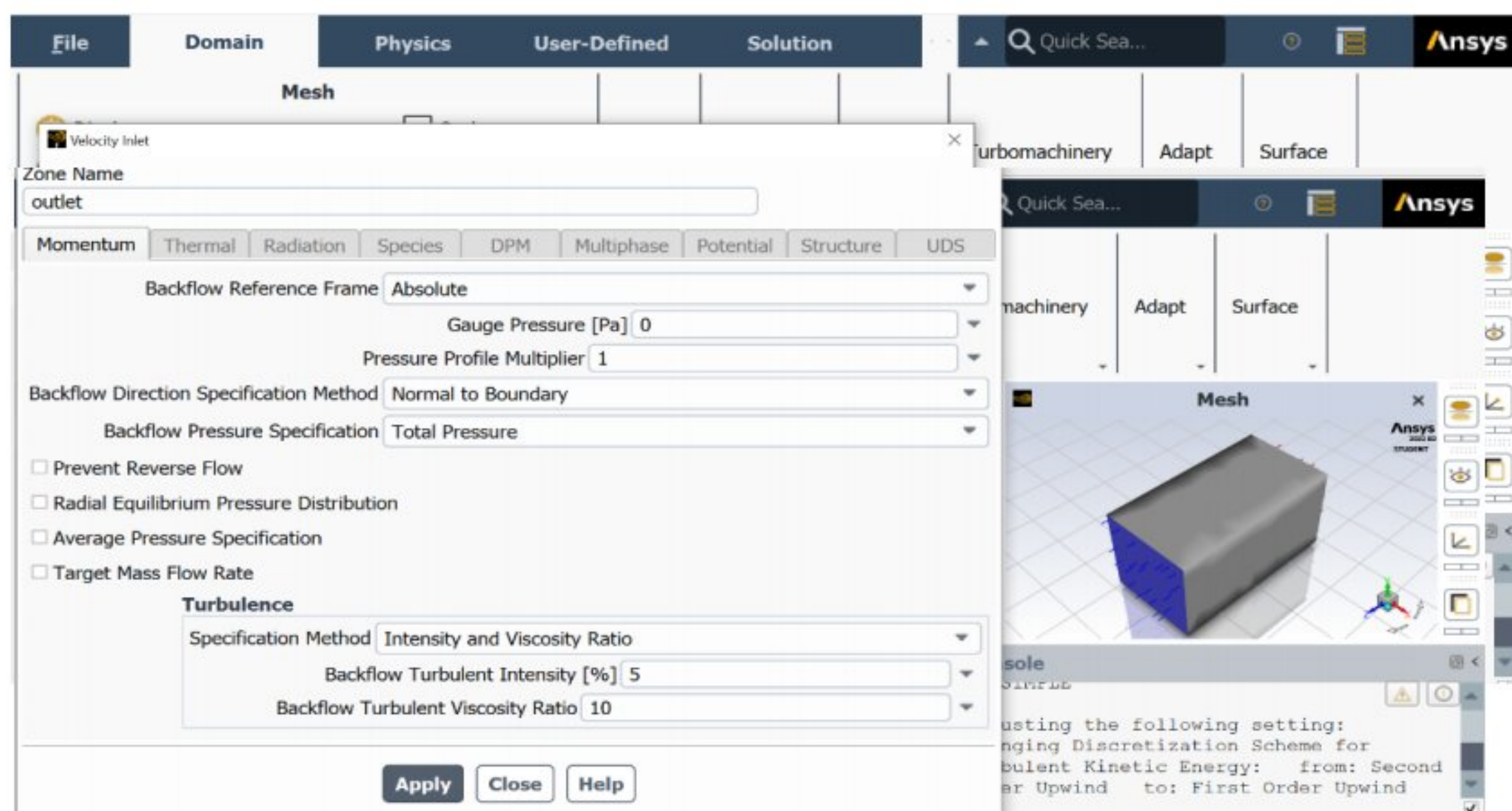
Pada langkah ini perlu ditentukan dan melakukan setting untuk domain yang berotasi dan tidak. Untuk bagian domain yang berotasi perlu dilakukan setting pada bagian *mesh motion*, pada bagian tersebut perlu menginput arah sumbu x, y, z untuk menentukan arah rotasi dari turbin.



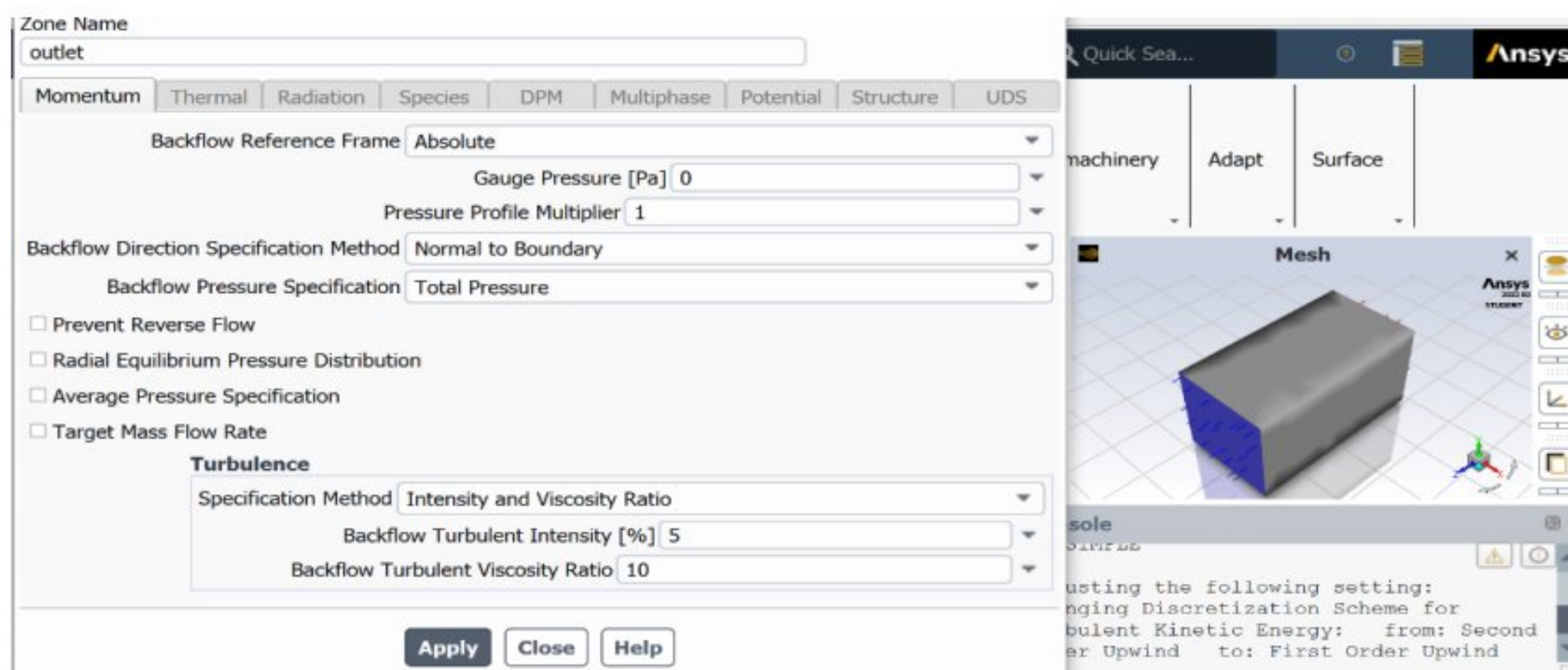
Gambar 3.12 Penentuan *cell zone-condition* pada *fluent*

6. Boundary Condition

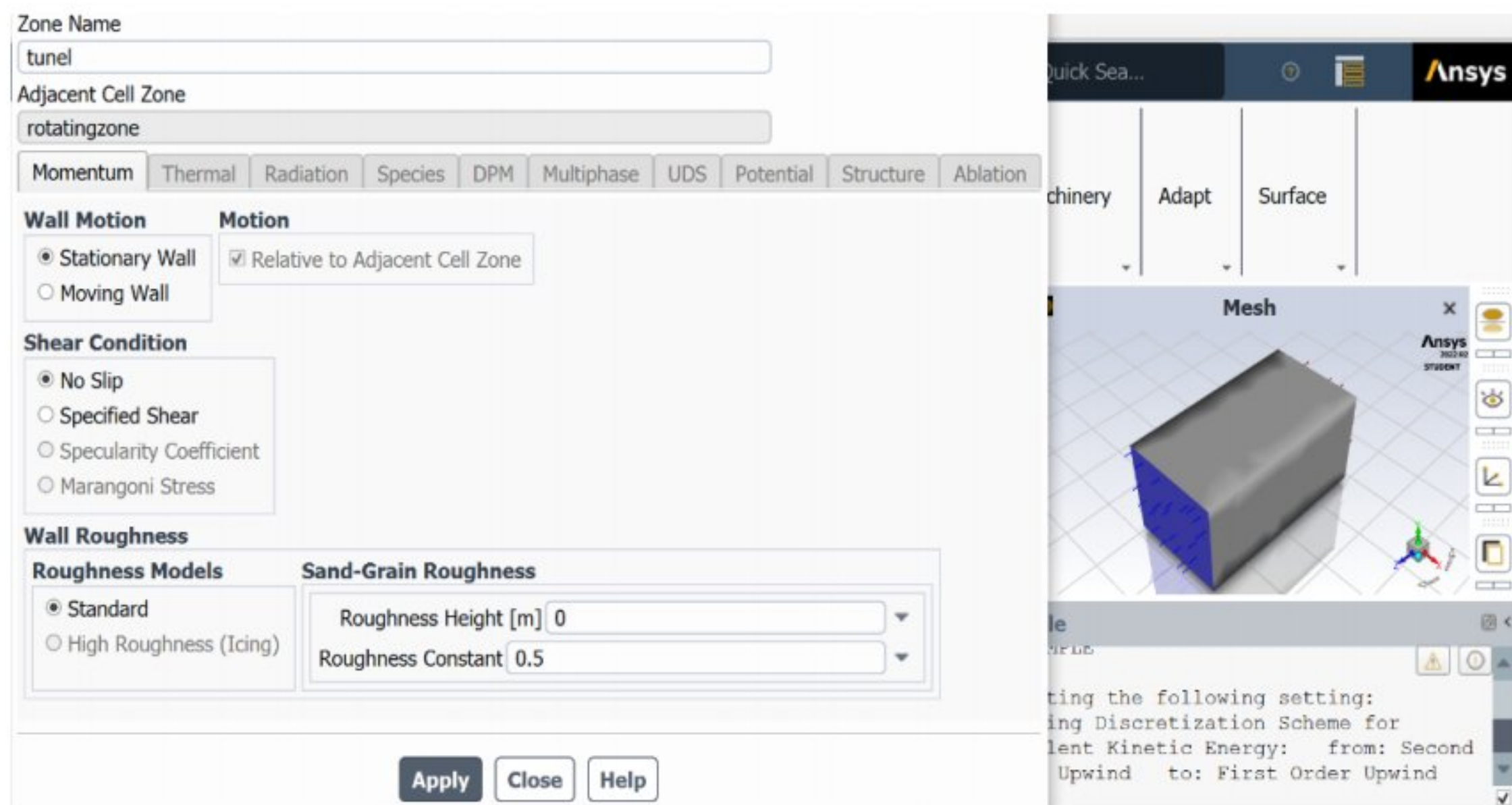
Merupakan penentuan kondisi batas yang melibatkan beberapa hal, yaitu dengan pemberian beban kecepatan, tekanan maupun pemberian kondisi batas turbulensi pada *inlet*, *outlet*, dan juga kondisi pada *wall*. Dalam hal ini nilai variasi kecepatan angin pada *inlet* sesuai dengan eksperimen yaitu 1,9 m/s, 2 m/s, 2,2 m/s, dan 2,4 m/s serta pada kondisi batas *outlet* adalah *outflow*.



Gambar 3.13 Penentuan *boundary condition* pada inlet



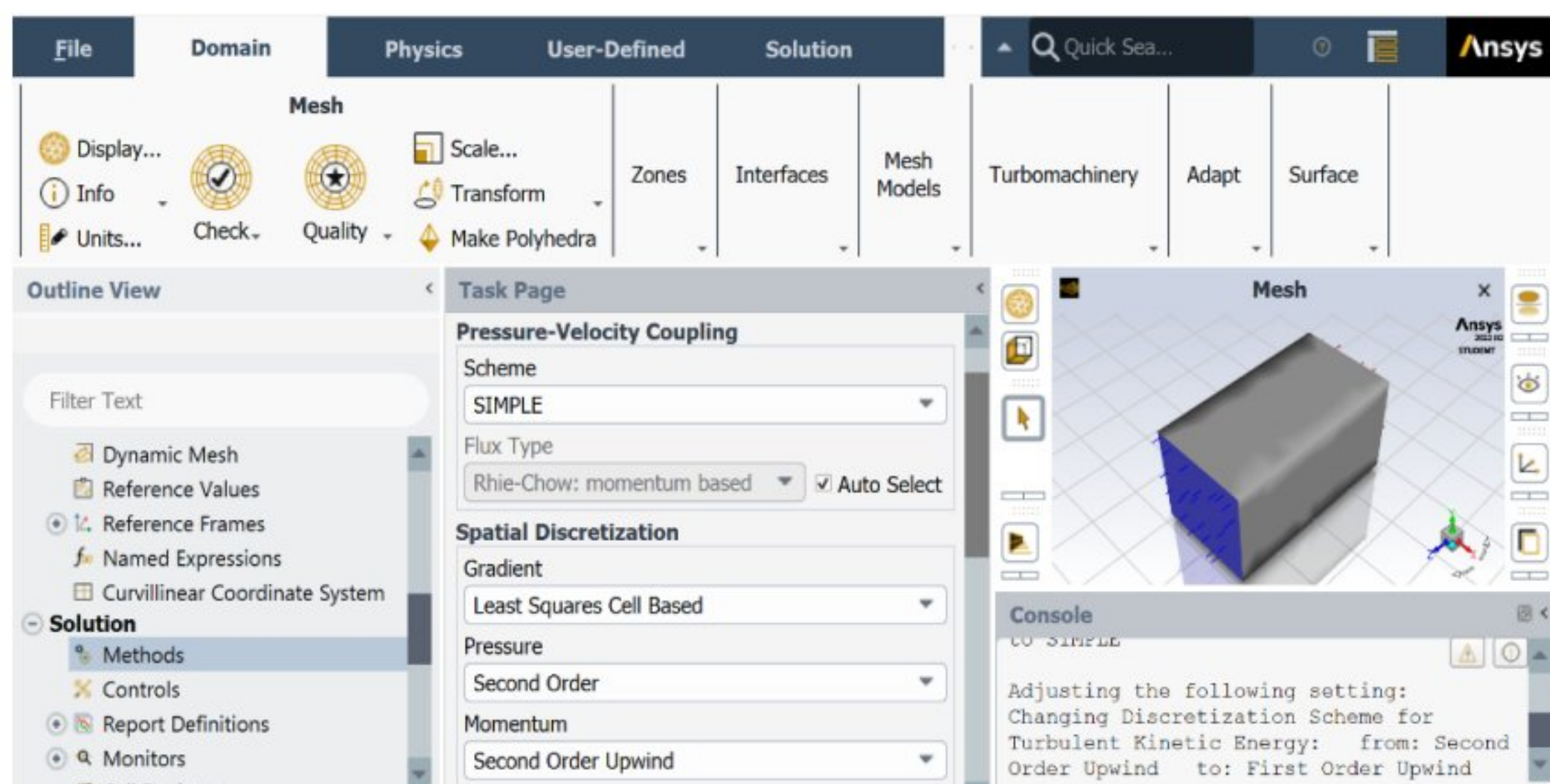
Gambar 3.14 Penentuan *boundary condition* pada outlet



Gambar 3.15 Penentuan *boundary Condition* pada wall

7. Solution

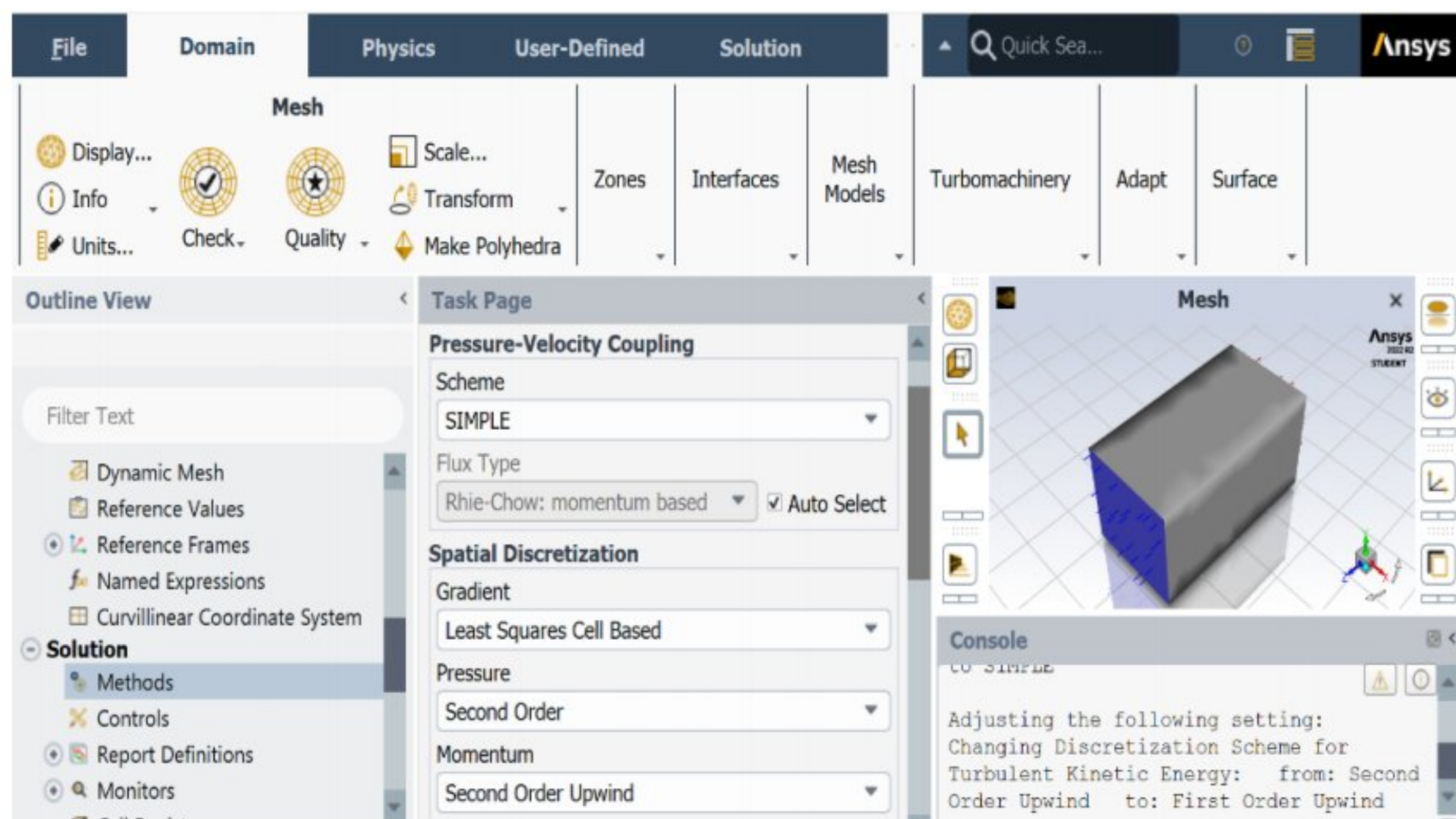
Solution methods pada pemodelan ini menggunakan *SIMPLE*, dikarenakan dapat mempercepat Konvergensi untuk kasus yang sederhana dan pada bagian diskritisasi di pilih *second order*, *second order upwind*.



Gambar 3.16 Penentuan *solution methods* pada *fluent*

8. Pengaturan Residual Monitor

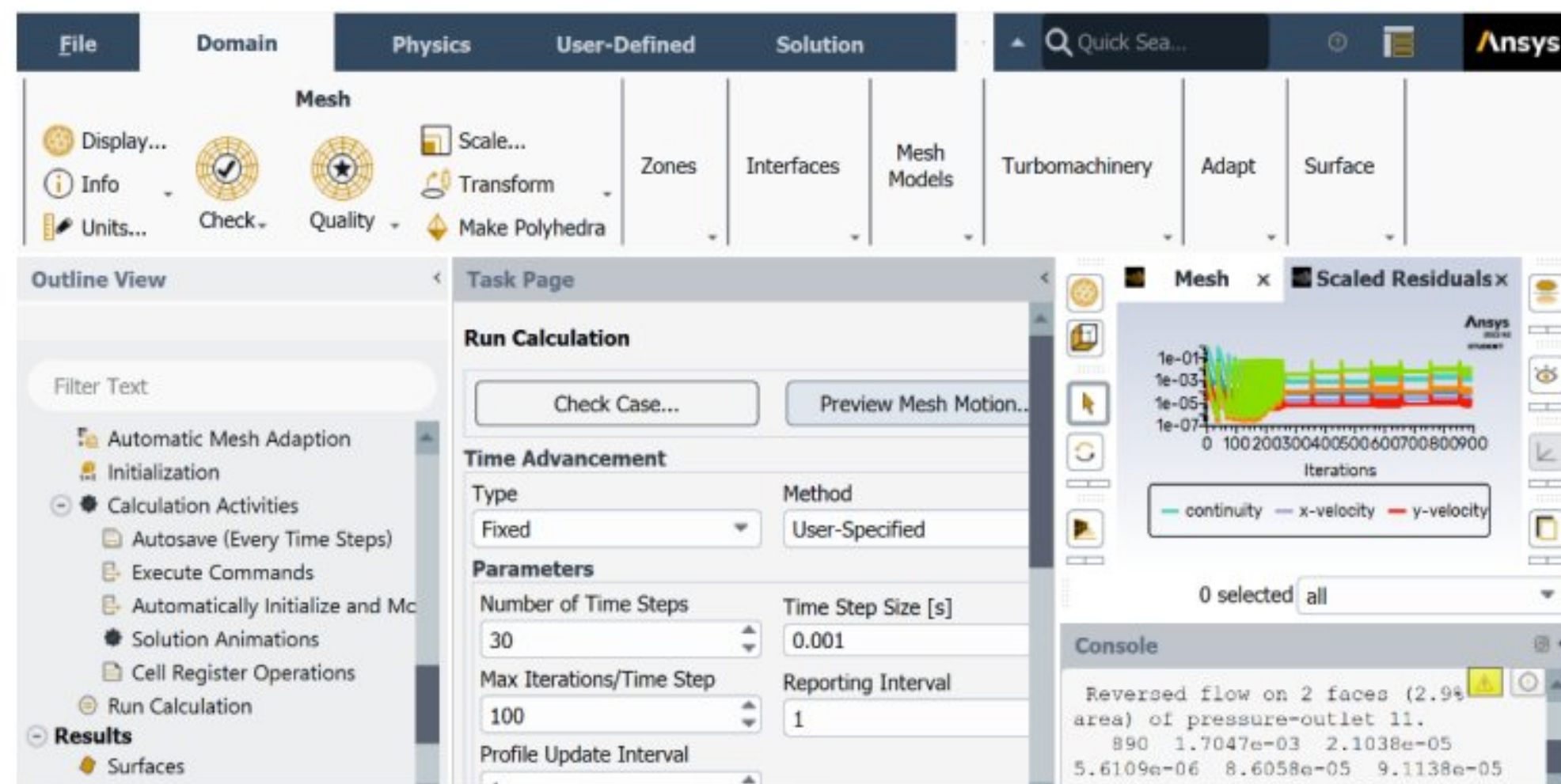
Iterasi dikatakan konvergen bila nilai residual berada dibawah maksimum eror yang diizinkan. Bila konvergen sudah terjadi maka iterasi dihentikan lalu melanjutkan komputasi pada *time step* selanjutnya. Pemberian nilai toleransi eror yang semakin kecil menjadikan waktu komputasi tiap *time step* menjadi lama dengan ekspektasi hasil yang didapatkan semakin baik.



Gambar 3.17 Monitor residual pada *fluent*

9. Iterasi

Menentukan jumlah iterasi untuk mendapatkan hasil kalkulasi dan solusi dari permasalahan ini. Semakin banyak iterasi dan *time step* yang dilakukan saat running hasil yang didapatkan akan semakin jelas dan akurat, namun tetap perlu memperhatikan batasan konvergensi yang sebelumnya telah ditentukan.



Gambar 3.18 Penentuan *iterate* dan *time step* untuk memulai kalkulasi *solution*

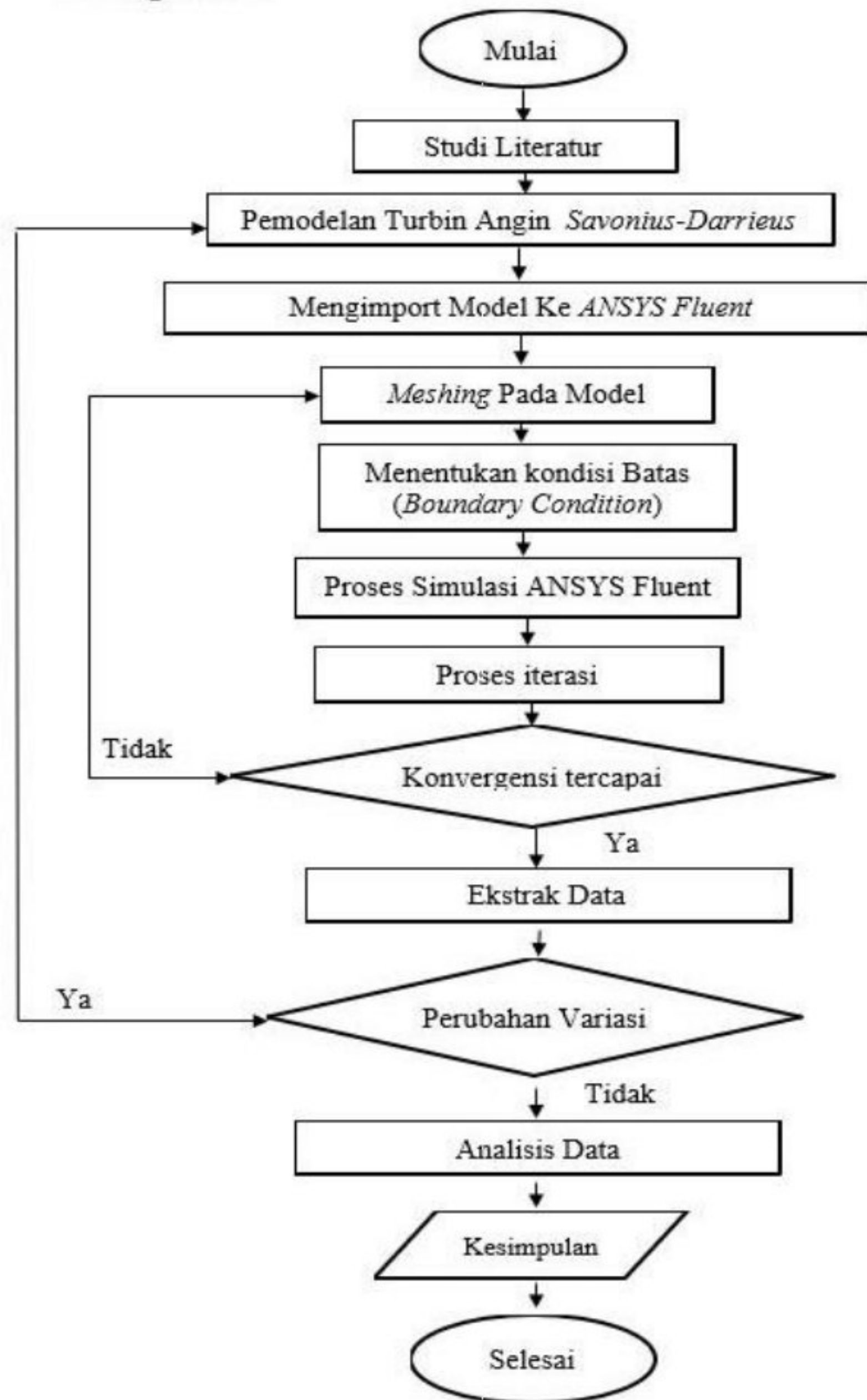
3.4.2.2 Solving (Proccesing)

Dengan bantuan *software ANSYS fluent*, kondisi yang telah ditetapkan pada saat *pre-processing* akan dikalkulasi (iterasi). Jika kriteria konvergensi telah tercapai sesuai dengan kriteria konvergensi yang telah ditentukan sebelumnya, jika telah tercapai maka akan dilanjutkan pada *post-processing*, namun jika gagal maka akan kembali untuk pembuatan *meshing*.

3.4.2.3 Post Proccesing

Post-processing merupakan tampilan dari hasil analisis serta kalkulasi terhadap hasil yang diperoleh dari pemecahan masalah yang telah diperoleh berupa data kualitatif dan data kuantitatif. Data kuantitatif berupa distribusi koefisien tekanan, koefisien *drag*, dan koefisien *lift*. Sedangkan data kualitatif berupa visualisasi aliran dengan menampilkan *contour* warna dan *pathlines* berupa *pressure static* dan *velocity magnitude*.

3.5 Diagram Alir



Gambar 3.19 Diagram alir kegiatan tugas akhir

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

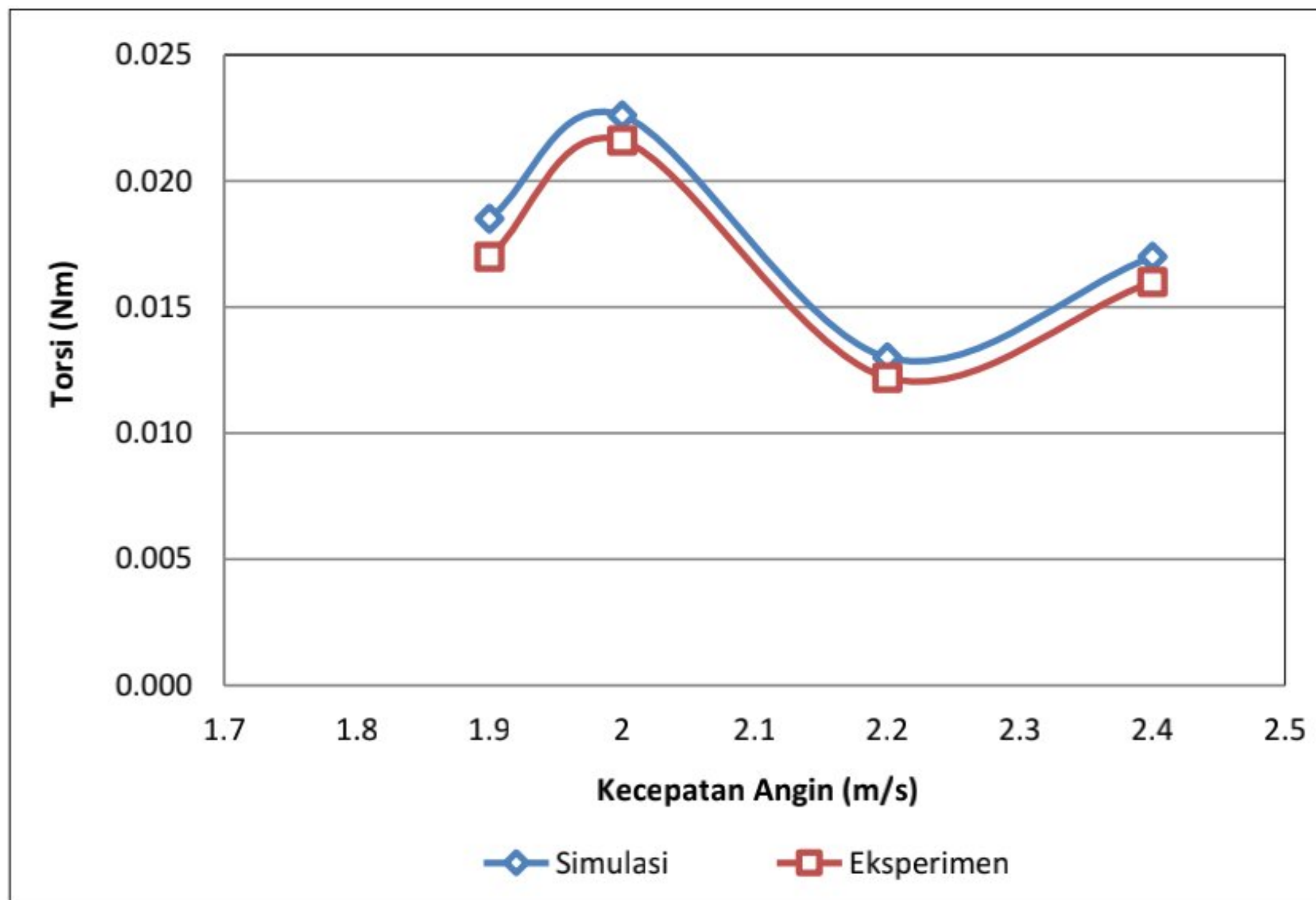
4.1 Hasil Validasi

Proses validasi ini merupakan perbandingan dari penelitian sebelumnya antara hasil eksperimen yang telah dilakukan oleh Asrar dan Nur Ilmi (2022), dengan hasil simulasi pada bagian Torsi (Nm) dengan Objek penelitian saat ini yaitu turbin *hybrid savonius-darrieus* dengan penambahan *flange diffuser*. Pada penelitian ini dilakukan pengembangan yaitu penambahan variasi sudut pada *flange-diffuser* dan dilakukan dengan metode simulasi.

Tabel 4. 1 Hasil validasi

No	Torsi (Nm)		Selisih (%)
	Simulasi	Eksperimen	
1	0,0185	0,0170	8,82
2	0,0226	0,0216	4,63
3	0,0130	0,0122	6,56
4	0,0170	0,0160	6,25
Rata-Rata Selisih (%)			6,56

Berdasarkan tabel 4.1 hasil validasi antara nilai eksperimen dan simulasi didapatkan nilai torsi (Nm) rata-rata dengan selisih yang rendah yaitu 6,56% sehingga hasil validasi data selanjutnya dapat dinyatakan valid. Dari data tersebut kemudian diplotkan dalam bentuk grafik.



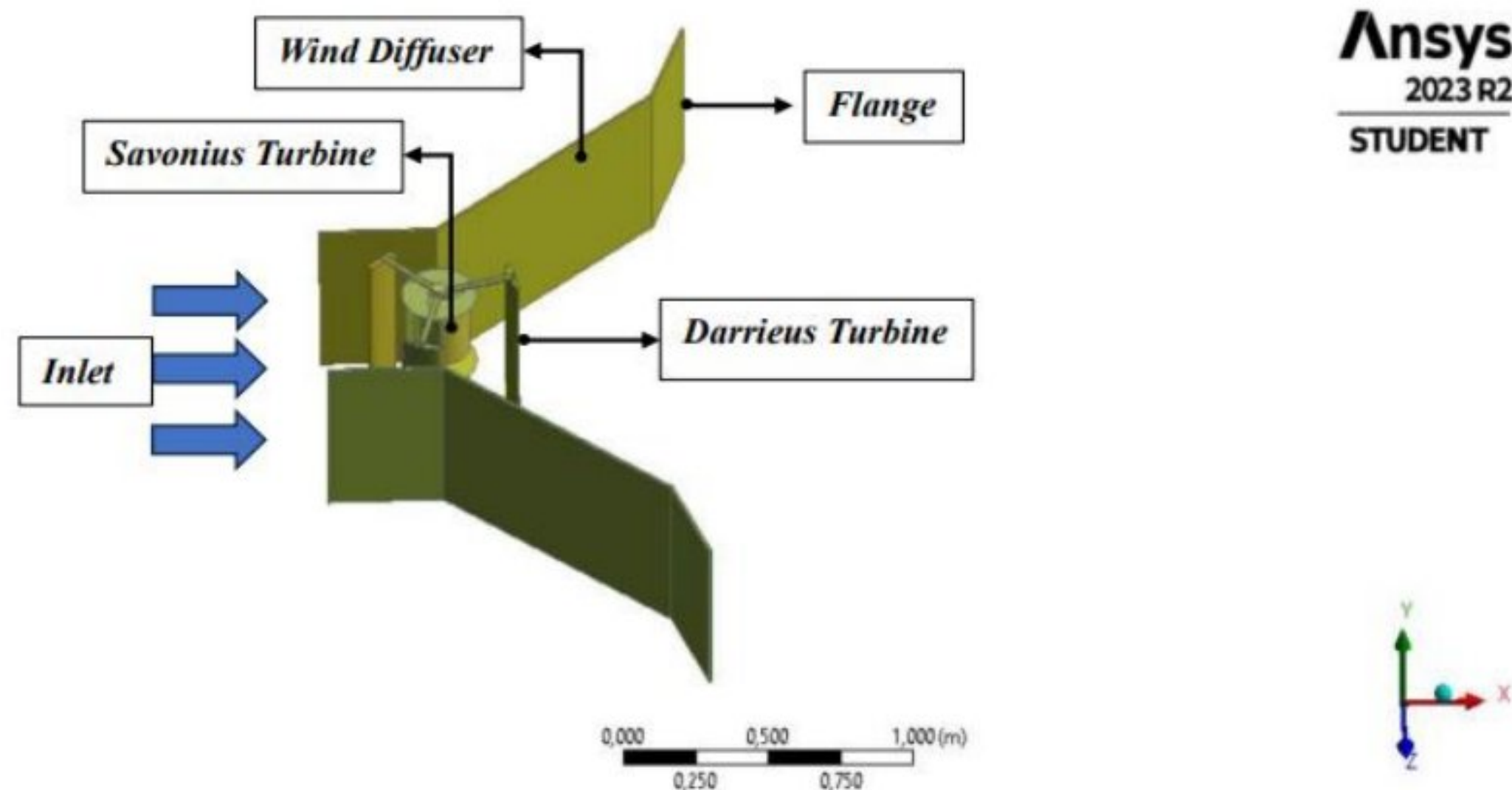
Gambar 4.1 Grafik perbandingan nilai torsi (Nm) simulasi dengan eksperimen terhadap kecepatan angin (m/s).

Dari grafik 4.1 menunjukkan perbandingan nilai torsi (Nm) simulasi dengan eksperimen terhadap kecepatan angin (m/s). Dapat dilihat bahwa nilai torsi simulasi cenderung lebih tinggi dibandingkan dengan eksperimen. Nilai torsi simulasi tertinggi yaitu sebesar 0,0185 Nm pada kecepatan angin 2 m/s. Sedangkan nilai torsi eksperimen tertinggi yaitu sebesar 0,0170 Nm pada kecepatan angin 2 m/s.

4.2 Hasil Desain Konstruksi Optimal Turbin Angin *Hybrid Savonius-Darrieus* yang dilengkapi dengan *Flange-Diffuser*.

Proses perancangan komponen turbin angin *Hybrid Savonius-Darrieus* yang dilengkapi dengan *flange-diffuser* dimulai dengan mempersiapkan *softwer* dan membuat desain 3D komponen turbin angin *Hybrid Savonius-Darrieus*

menggunakan *softwer solid word*, kemudian dilanjutkan dengan proses simulasi menggunakan *softwer ansys fluent* seperti gambar 4.1.



Gambar 4.2 Turbin angin *hybrid savonius- darrieus* yang dilengkapi dengan *flange-diffuser*.

Gambar 4.2 menampilkan kombinasi turbin angin *hybrid savonius-darrieus* yang dilengkapi dengan *flange-diffuser*. Desain ini terdiri atas komponen turbin *savonius-darrieus*, *wind diffuser* dan *flange*. Alat ini didesain untuk mengetahui kinerja turbin angin *hybrid savonius-darrieus* setelah dilakukan penambahan *flange-diffuser* dengan variasi sudut *flange*.

Untuk mendapatkan desain optimal maka dilakukan perbandingan hasil data simulasi turbin angin *hybrid savonius-darrieus* tanpa menggunakan *flange-diffuser* dan dengan menggunakan *flange-diffuser* dengan variasi sudut diantaranya yaitu 0° , 10° , 15° , 30° , 45° dan 60° dapat dilihat pada tabel 4.2, 4.3, 4.4, 4.5, dan 4.6.

Tabel 4.2 Hasil analisis Turbin Angin *Hybrid Savonius-Darrieus* dengan kecepatan angin 1,9 m/s.

NO	Parameter	Variasi Sudut <i>Flange-Diffuser</i> (α)						
		Tanpa Flange	0°	10°	15°	30°	45°	60°
1	Torsi, τ (Nm)	0,0185	0,0185	0,0185	0,0185	0,0185	0,0185	0,0185
2	<i>Coefficien Power</i> , C_P	0,2	0,210	0,230	0,250	0,26	0,27	0,29
3	Daya Turbin, P_T (Watt)	0,29	0,31	0,33	0,36	0,38	0,39	0,42
4	Kecepatan Sudut Turbin, ω (rad/s)	16	16,52	18,09	19,66	20,63	21,33	22,81
5	Putaran Poros, n (rpm)	82	86	94	102	107	111	119
6	Efiensi turbin, η_T (%)	20	21	23	25	27	26,24	29

Tabel 4. 3 Hasil analisis Turbin Angin *Hybrid Savonius-Darrieus* dengan kecepatan angin 2 m/s.

NO	Parameter	Variasi Sudut <i>Flange-Diffuser</i> (α)						
		Tanpa Flange	0°	10°	15°	30°	45°	60°
1	Torsi, τ (Nm)	0,0226	0,0226	0,0226	0,0226	0,0226	0,0226	0,0226
2	<i>Coefficien Power</i> , C_P	0,21	0,296	0,316	0,296	0,28	0,32	0,33
3	Daya Turbin, P_T (Watt)	0,36	0,50	0,54	0,50	0,47	0,54	0,55
4	Kecepatan Sudut Turbin, ω (rad/s)	15,77	22,22	19,66	22,22	20,66	23,72	24,47
5	Putaran Poros, n (rpm)	86	122	130	122	113	130	134
6	Efiensi turbin, η_T (%)	20	29,59	31,59	29,59	27,52	31,59	32,59

Tabel 4. 4 Hasil analisis Turbin Angin *Hybrid Savonius-Darrieus* dengan kecepatan angin 2,2 m/s.

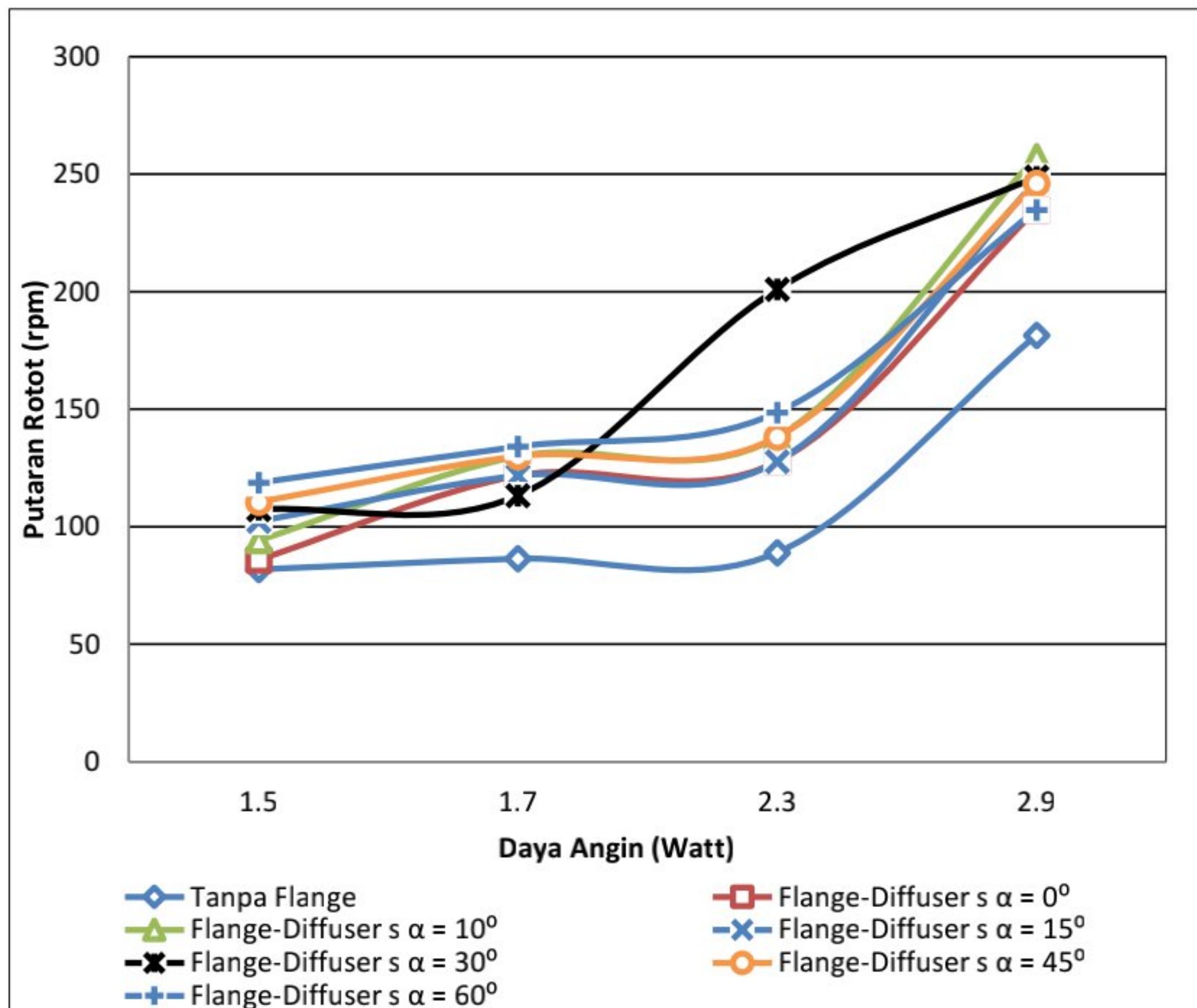
NO	Parameter	Variasi Sudut <i>Flange-Diffuser</i> (α)						
		Tanpa Flange	0°	10°	15°	30°	45°	60°
1	Torsi, τ (Nm)	0,0130	0,0130	0,0130	0,0130	0,0130	0,0130	0,0130
2	<i>Coefficien Power</i> , C_P	0,082	0,122	0,132	0,122	0,19	0,17	0,14
3	Daya Turbin, P_T (Watt)	0,18	0,28	0,30	0,28	0,43	0,3	0,32
4	Kecepatan Sudut Turbin, ω (rad/s)	14,21	21,19	22,92	21,19	33,35	22,92	24,66
5	Putaran Poros, n (rpm)	86	128	138	128	201	138	149
6	Efisiensi turbin, η_T (%)	8,18	12,19	13,19	12,19	19,2	13,19	14,19

Tabel 4. 5 Hasil analisis Turbin Angin *Hybrid Savonius-Darrieus* dengan kecepatan angin 2,4 m/s.

NO	Parameter	Variasi Sudut <i>Flange-Diffuser</i> (α)						
		Tanpa Flange	0°	10°	15°	30°	45°	60°
1	Torsi, τ (Nm)	0,0170	0,0170	0,0170	0,0170	0,0170	0,0170	0,0170
2	<i>Coefficien Power</i> , C_P	0,16	0,207	0,227	0,217	0,22	0,22	0,21
3	Daya Turbin, P_T (Watt)	0,47	0,61	0,67	0,61	0,64	0,64	0,61
4	Kecepatan Sudut Turbin, ω (rad/s)	27,60	35,71	39,16	35,71	37,84	37,42	35,71
5	Putaran Poros, n (rpm)	181	235	257	235	249	246	235
6	Efisiensi turbin, η_T (%)	16	20,7	22,7	20,7	21,94	21,7	20,7

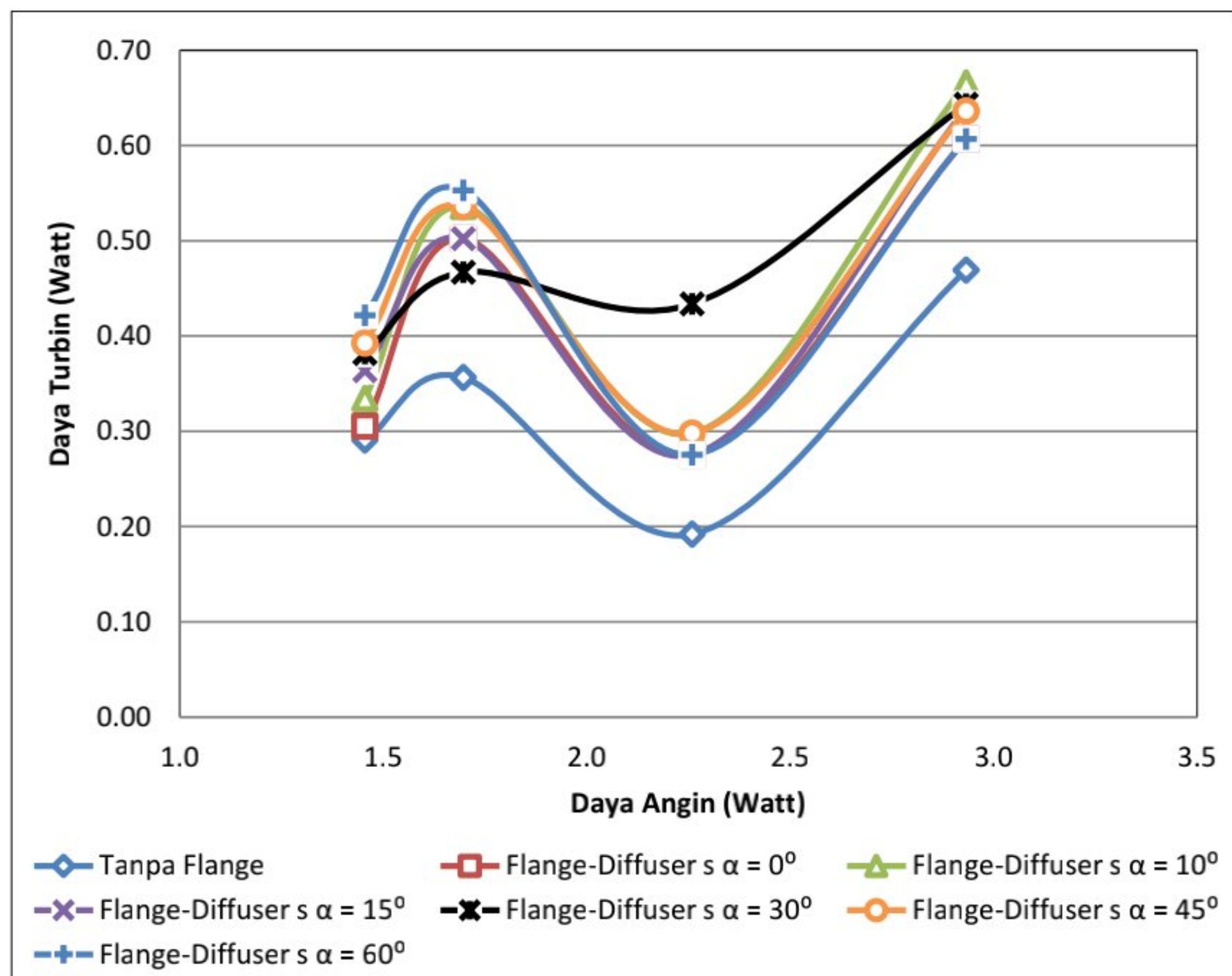
Dari data tabel tersebut didapatkan nilai torsi yang paling besar terjadi pada kecepatan angin 2 m/s yaitu sebesar 0,0226 Nm. Nilai C_p yang paling besar terdapat pada kecepatan angin 2 m/s pada variasi *flange-diffuser* $\alpha = 60^\circ$ yaitu sebesar 0,33. Nilai omega terbesar terdapat pada kecepatan angin 2,4 m/s pada variasi *flange-diffuser* $\alpha = 30^\circ$ yaitu sebesar 37,84 rad/s. Nilai Putaran terbesar terdapat pada kecepatan angin 2,4 m/s pada variasi *flange-diffuser* $\alpha = 10^\circ$ yaitu sebesar 257 rpm. Nilai efisiensi turbin terbesar terdapat pada kecepatan angin 2 m/s pada variasi *flange-diffuser* $\alpha = 60^\circ$ yaitu sebesar 32,59%.

Dari nilai tersebut dapat disimpulkan desain optimal berada pada model turbin angin *hybrid savonius-darrieus* pada variasi sudut *flange-diffuser* $\alpha = 60^\circ$ dengan nilai efisiensi turbin sebesar 32,59% pada kecepatan angin 2 m/s. Dari hasil simulasi didapatkan parameter yaitu nilai torsi, *coefisien power* (c_p), daya turbin (P_T), putaran (n), serta efisiensi turbin. Kemudian parameter tersebut akan diplotkan dalam bentuk grafik.



Gambar 4.3 Grafik hubungan antara putaran rotor dan daya angin pada turbin *hybrid savonius darrieus* tanpa *flange-diffuser* dan menggunakan *flange-diffuser* dengan variasi sudut 0° , 10° , 15° , 30° , 45° dan 60° .

Berdasarkan gambar 4.3 grafik hubungan antara putaran rotor dan daya angin pada turbin *hybrid savonius-darrieus* tanpa *flange-diffuser* dan menggunakan *flange-diffuser* dengan variasi sudut 0° , 10° , 15° , 30° , 45° dan 60° pada gambar 4.3 terjadi peningkatan daya angin seiring meningkatnya putaran rotor. Semakin tinggi putaran rotor maka daya angin juga meningkat. Nilai minimum dan maksimum daya angin adalah 1,45 Watt dan 2,93 Watt. Sedangkan nilai minimum dan maksimum putaran rotor adalah 82 rpm pada variasi tanpa *flange-diffuser* dan 257 rpm pada variasi *flange-diffuser* $\alpha = 30^\circ$.



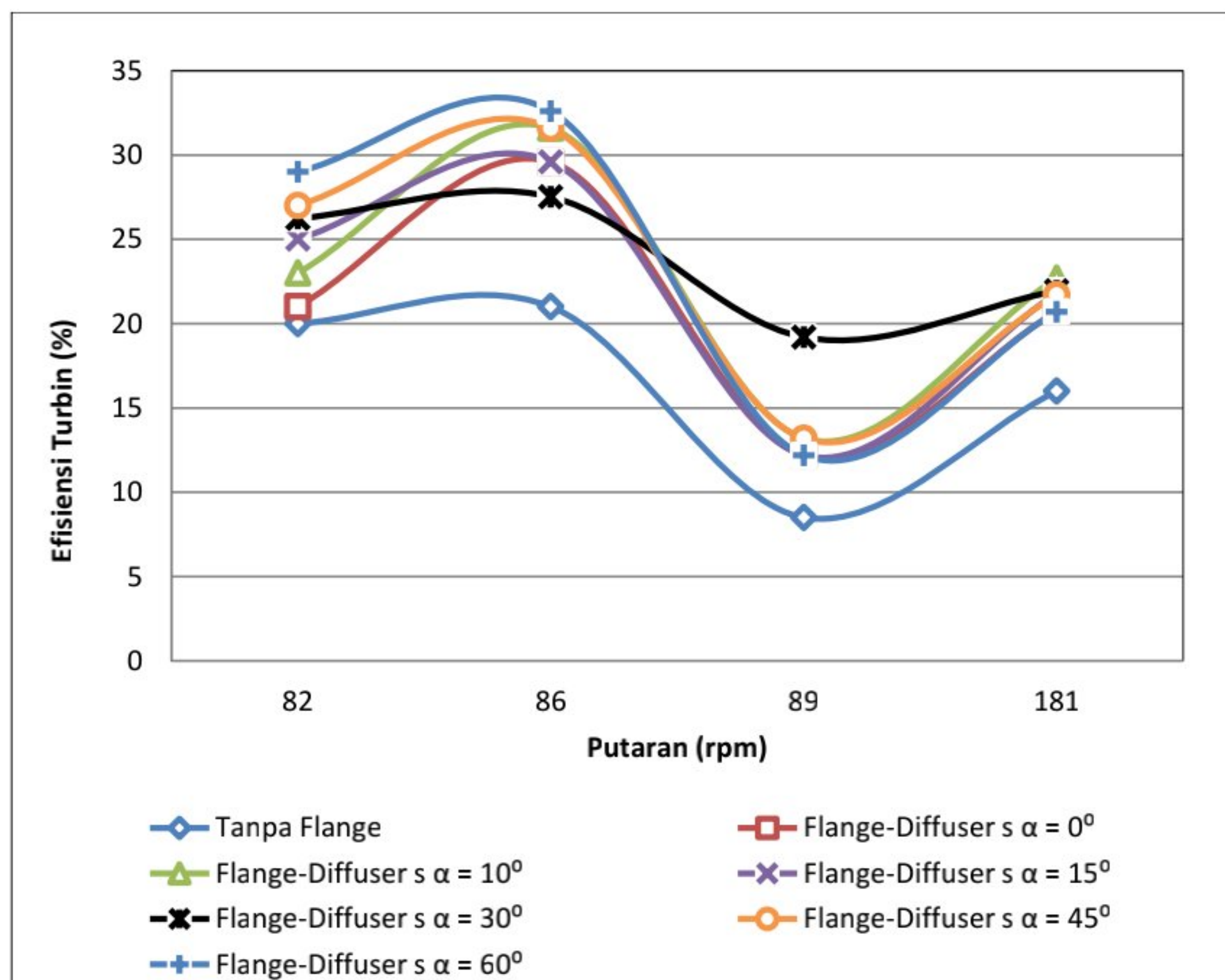
Gambar 4.4 Grafik hubungan antara daya turbin dan daya angin pada turbin *hybrid savonius-darrieus* tanpa *flange-diffuser* dan menggunakan *flange-diffuser* dengan variasi sudut 0° , 10° , 15° , 30° , 45° dan 60° .

Berdasarkan Gambar 4.4 grafik hubungan antara daya turbin dan daya angin pada turbin *hybrid savonius-darrieus* tanpa *flange-diffuser* dan menggunakan *flange-diffuser* dengan variasi sudut 0° , 10° , 15° , 30° , 45° dan 60° terjadi peningkatan dan penurunan daya turbin dan daya angin. Nilai minimum dan maksimum daya turbin adalah 0,18 Watt pada variasi *flange-diffuser* $\alpha = 0^\circ$ dan 0,67 Watt pada variasi *flange-diffuser* $\alpha = 10^\circ$. Nilai minimum dan maksimum daya angin sebesar 1,45 Watt pada variasi *flange-diffuser* $\alpha = 0^\circ$ dan 2,91 Watt pada variasi *flange-diffuser* $\alpha = 0^\circ$.

4.3 Pengaruh Penambahan *Flange-Diffuser* terhadap Kinerja Turbin Angin

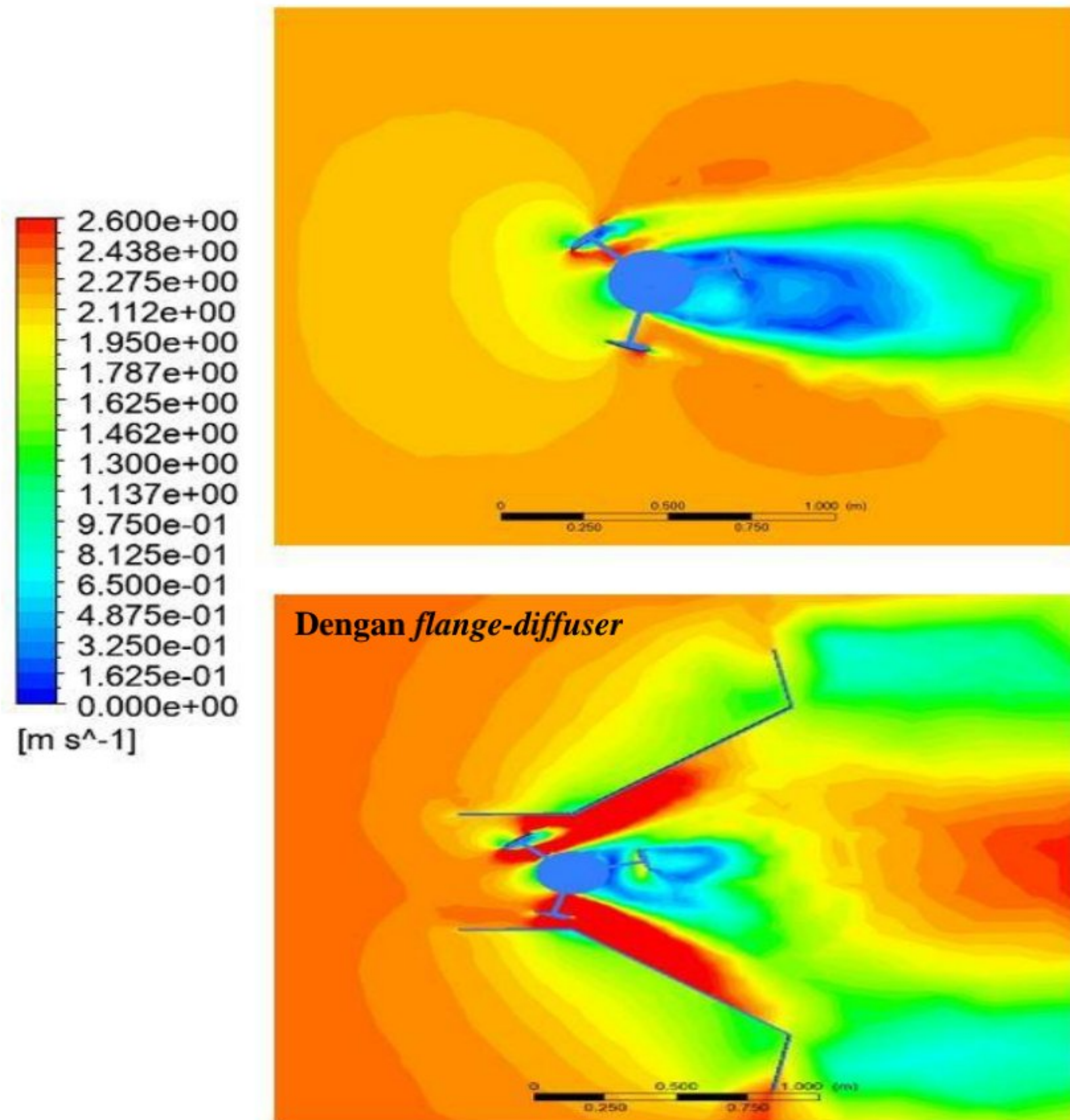
Hybrid Savonius-Darrieus

Berdasarkan gambar 4.5 grafik hubungan antara efisiensi turbin dan putaran rotor pada turbin *hybrid savonius-darrieus* tanpa *flange-diffuser* dan menggunakan *flange-diffuser* dengan variasi sudut 0° , 10° , 15° , 30° , 45° dan 60° trend grafik cenderung mengalami peningkatan dan penurunan. Nilai efisiensi tertinggi terdapat pada variasi *flange-diffuser* $\alpha = 60^\circ$ yaitu sebesar 32,59% dan terendah terdapat pada turbin tanpa *flange-diffuser* yaitu sebesar 8,5%.



Gambar 4. 5 Grafik hubungan antara efisiensi turbin dan putaran rotor pada turbin *hybrid savonius-darrieus* tanpa *flange-diffuser* dan menggunakan *flange-diffuser* dengan variasi sudut 0° , 10° , 15° , 30° , 45° dan 60° .

Kontur kecepatan turbin tanpa *flange-diffuser* dan dengan tambahan *flange-diffuser* dapat dilihat pada gambar 4.6.



Gambar 4.6 Kontur kecepatan tanpa *flange-diffuser* dan dengan tambahan *flange-diffuser* $\alpha = 60^\circ$.

Berdasarkan pembahasan pada gambar grafik 4.5 yang menunjukkan bahwa turbin angin tanpa *flange-diffuser* memiliki performa yang paling buruk, ini terlihat dari daerah *fortex* yang lebih besar dan tidak terdapat peningkatan kecepatan angin disekitar turbin. Sedangkan pada gambar kontur kecepatan dengan menggunakan

flange-diffuser $\alpha = 60^\circ$ terlihat bahwa terdapat peningkatan kecepatan angin di sepanjang *diffuser* mulai dari sisi *inlet* sampai sisi *outlet* turbin, yang ditunjukkan oleh warna merah disekitar sisi turbin dan dinding *diffuser*.

Perbedaan jelas terlihat antara kontur tersebut bahwa daerah *fortex* (yang berwarna biru tua) itu mengalami penurunan luas area. Kemudian Kontur dengan *flange-diffuser* memiliki daerah *fortex* lebih kecil jika dibandingkan dengan kontur tanpa *flange-diffuser*. Hal ini tentu mempengaruhi performa turbin.

Aliran udara yang mulanya berupa *free stream* mengalir menuju *blade* turbin dan terjadi tumbukan di bagian turbin. Dapat dilihat kecepatan angin meningkat di area *blade* turbin. Namun untuk turbin dengan *flange-diffuser* memiliki peningkatan kecepatan angin yang lebih tinggi. Ini dikarenakan *diffuser* mampu meningkat daya hisap yang disebabkan oleh geometri dari *diffuser* tersebut, terbukti dari kontur dengan *flange-diffuser*.

Dengan penambahan *flange diffuser* terhadap turbin angin *savonius-darrieus* mampu meningkatkan kecepatan angin yang lebih tinggi. Hal ini dikarenakan penambahan *flange-diffuser* $\alpha = 60^\circ$ memberikan efek hisap yang dapat meningkatkan kecepatan angin disekitar turbin.

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari penelitian yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan:

1. Desain optimal berada pada model turbin angin *hybrid savonius-darrieus* pada variasi sudut *flange-diffuser* $\alpha = 60^\circ$ dengan nilai efisiensi turbin sebesar 32,59% pada kecepatan angin 2 m/s. Dari hasil simulasi didapatkan parameter yaitu nilai torsi, *coefisien power* (c_p), daya turbin (P_T), putaran (n), serta efisiensi turbin. Kemudian parameter tersebut akan diplotkan dalam bentuk grafik.
2. Penambahan *flange-diffuser* terhadap turbin angin *savonius-darrieus* mampu mempengaruhi peningkatkan kecepatan angin yang lebih tinggi. Hal ini dikarenakan penambahan *flange-diffuser* $\alpha = 60^\circ$ memberikan efek hisap yang dapat meningkatkan kecepatan angin disekitar turbin.

5.2 Saran

Saran untuk penelitian selanjutnya:

1. Untuk menghasilkan data yang lebih baik dan akurat jumlah *iterasi* harus ditambah agar *solver* dapat menghasilkan data yang lebih baik dan akurat sesuai pada keadaan nyata.
2. Sebaiknya perlu melakukan analisis pemodelan dengan menggunakan *software CFD (Computational Fluid Dynamics)* yang lain agar mendapatkan perbandingan data simulasi.

3. Perlu menggunakan computer dengan spesifikasi lebih tinggi, sehingga dapat meminimalisir waktu yang digunakan untuk running simulasi CFD tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

- Canra, D., Suliono, & Sumiati, R. (2021). Kaji Eksperimental Turbin Angin Hybrid Savonius-Darrieus Eggbeater Bertingkat Banyak. *Industrial Research Workshop and National Seminar*, 429-433.
- Diantri, R. A., Erlina, & Widyastuti, C. (2017). “Studi Penyimpanan Energi Pada Baterai PLTS,” *Energi Dan Kelistrikan*, 1.
- Erwin, S. T., MT, I. R. S., MT, E. H. T., Nugroho, B. A., Perwira, L. N. A., Akbar, M. A., & Rahadian, R. Analisis Cfd Pada Turbin Angin Hybrid Savonius-Darrieus.
- Fridayana, E. N. (2018). *Analisis Kinerja Aerodinamik dari Vertical Axis Wind Turbine (VAWT) Darrieus Tipe H-Rotor dengan Pendekatan Computational Fluid Dynamic (CFD)* (Doctoral dissertation, Institut Teknologi Sepuluh Nopember).
- Goh, S.C., Raman, B.S., Chidambaresan, K. & Uwe, S.J. 2016. *Tow Testing Of Savonius Wind Turbine Above A Bluff Body Complemented By CFD Simulation. Journal of Renewable Energy*. (87): 332-345.
- Gurih, C. (2020). Simulasi Numerik Pada Savonius Hibrida Turbin Angin Darrieus Dengan Airfoil Yang Bervariasi Rasio Bentuk Dan Soliditas. 1-108.
- Hasan, O. D. S., Hantoro, R., & Nugroho, G. (2013). Studi eksperimental vertical axis wind turbine tipe savonius dengan variasi jumlah fin pada sudu. *Jurnal Teknik ITS*, 2(2), B350-B355.

- Huda, S. S., & Arief, I. S. (2014). Analisa Bentuk Profile dan Jumlah *Blade Vertical Axis Wind Turbine* terhadap Putaran Rotor untuk Menghasilkan Energi Listrik. *Jurnal Teknik ITS*, 3(1), G25-G29.
- Klistafani, Y. (2019, December). Pengaruh Penambahan *Flange* Terhadap Kinerja *Diffuser Augmented Wind Turbine (Dawt)*. In *Seminar Nasional Hasil Penelitian & Pengabdian Kepada Masyarakat (SNP2M)* (Vol. 4, No. 1, pp. 78-83).
- LIPI, "Pengembangan Energi Angin Memungkinkan," dalam kompas 23 April, 2007.
- Nakhoda, Y. I., & Saleh, C. (2015). Rancang Bangun Kincir Angin Sumbu Vertikal Pembangkit Tenaga Listrik Portabel. In *Seminar Nasional Sains dan Teknologi Terapan (ITATS)* (pp. 978-602).
- Nobertus, D. (2020). Pengaruh Jumlah Sudu Terhadap Kinerja Turbin Angin Sumbu Vertikal Tipe Darrieus-H. *Saintekno: Jurnal Sains dan Teknologi*, 18(1), 55-69.
- Qasim, A. Y., Usubamatov, R., Zain, Z. M., & Quad, G. A. (2012). The parameters affect on power coefficient vertical axis wind turbine. *IIUM Engineering Journal*, 13(1)..
- Rochman, M. N. (2014). *Studi Pengaruh Penambahan Flange Untuk Peningkatan Performansi Diffuser-Augmented Wind Turbine (DAWT) Dengan Curvature Lengkung* (Doctoral dissertation, Institut Teknologi Sepuluh Nopember).
- Santhakumar, S., Palanivel, I. & Venkatasubramanian, K. 2017. *A Study on The*

Rotational Behaviour of a Savonius Wind Turbine in Low Rise Highways During Different Monsoons. Journal of Energy for Sustainable Development. (40) : 1-10.

Setyawan, R. E. (2018). *Analisis Dan Pemodelan Savonius Vertical Axis Wind Turbine Dengan Variasi Blade Terhadap Aliran Udara Dengan Metode Cfd (Computational Fluid Dynamics)* (Doctoral dissertation, Institut Teknologi Sepuluh Nopember).

Syahrul, 2011. *Tinjauan Teoritis Aplikasi Energi Angin Dalam Upaya Penyediaan Energi Berdaya Saing dan Ramah Lingkungan.*

Vanessa, M. C. *Laporan Penelitian Turbin Angin Hybrid (Savonius-Darrieus).*

Wasiati, S. W., Augusta, F. A., Purwanto, V. R., Wulandari, P., & Syahrirar, A. (2019). *Darrieus type Vertical Axis Wind Turbine (VAWT) Design. Department of Electrical Engineering, Faculty of Science and Technology, Al-Azhar University of Indonesia.*

Watanabe, K., Takahashi S., Ohya Y. 2016. *Applications of a Diffuser to VerticalAxis Wund Turbines. Energies.*

Yanuarsyah, dan Ilmawan. (2017). *Studi Numerik Turbin Angin Darrieus-Savonius Dengan Variasi Penempatan Rotor Savonius. Undergraduate thesis. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.*

Lampiran

Lampiran 1

Data Hasil Simulasi

Tanpa Flange

N0	V (m/s)	Torsi (Nm)	Cp	Pin (Watt)	PT (Watt)	ω (rad/s)	n (rpm)	Efisiensi (%)
1	1,9	0,0185	0,2	1,5	0,29	15,73	82	20
2	2	0,0226	0,21	1,7	0,36	15,77	86	21
3	2,2	0,0130	0,085	2,3	0,19	14,77	89	8,5
4	2,4	0,0170	0,16	2,9	0,47	27,60	181	16

Flange-Diffuser $\alpha = 0^\circ$

N0	V (m/s)	Torsi (Nm)	Cp	Pin (Watt)	PT (Watt)	ω (rad/s)	n (rpm)	Efisiensi (%)
1	1,9	0,0185	0,210	1,45	0,31	16,52	86	21
2	2	0,0226	0,296	1,70	0,50	22,22	122	29,59
3	2,2	0,0130	0,122	2,26	0,28	21,19	128	12,19
4	2,4	0,0170	0,207	2,93	0,61	35,71	235	20,70

Flange-Diffuser $\alpha = 10^\circ$

N0	V (m/s)	Torsi (Nm)	Cp	Pin (Watt)	PT (Watt)	ω (rad/s)	n (rpm)	Efisiensi (%)
1	1,9	0,0185	0,230	1,45	0,33	18,09	94	23
2	2	0,0226	0,316	1,70	0,54	23,72	130	31,59
3	2,2	0,0130	0,132	2,26	0,30	22,92	138	13,19
4	2,4	0,0170	0,227	2,93	0,67	39,16	257	22,70

Flange-Diffuser $\alpha = 15^\circ$

N0	V (m/s)	Torsi (Nm)	Cp	Pin (Watt)	PT (Watt)	ω (rad/s)	n (rpm)	Efisiensi (%)
1	1,9	0,0185	0,250	1,45	0,36	19,66	102	25
2	2	0,0226	0,296	1,70	0,50	22,22	122	29,59

3	2,2	0,0130	0,122	2,26	0,28	21,19	128	12,19
4	2,4	0,0170	0,218	2,93	0,64	37,61	247	21,80

Flange-Diffuser $\alpha = 30^\circ$

N	v (m/s)	Torsi (Nm)	Cp	Pin (Watt)	PT (Watt)	ω (rad/s)	n (rpm)	Efisiensi (%)
1	1,9	0,0185	0,26	1,45	0,38	20,63	107	26,24
2	2	0,0226	0,28	1,70	0,47	20,66	113	27,52
3	2,2	0,0130	0,19	2,26	0,43	33,35	201	19,20
4	2,4	0,0170	0,22	2,93	0,64	37,84	249	21,94

Flange-Diffuser $\alpha = 45^\circ$

N0	v (m/s)	Torsi (Nm)	Cp	Pin (Watt)	PT (Watt)	ω (rad/s)	n (rpm)	Efisiensi (%)
1	1,9	0,0185	0,27	1,45	0,39	21,23	111	27,00
2	2	0,0226	0,32	1,70	0,54	23,72	130	31,59
3	2,2	0,0130	0,13	2,26	0,30	22,92	138	13,19
4	2,4	0,0170	0,22	2,93	0,64	37,43	246	21,70

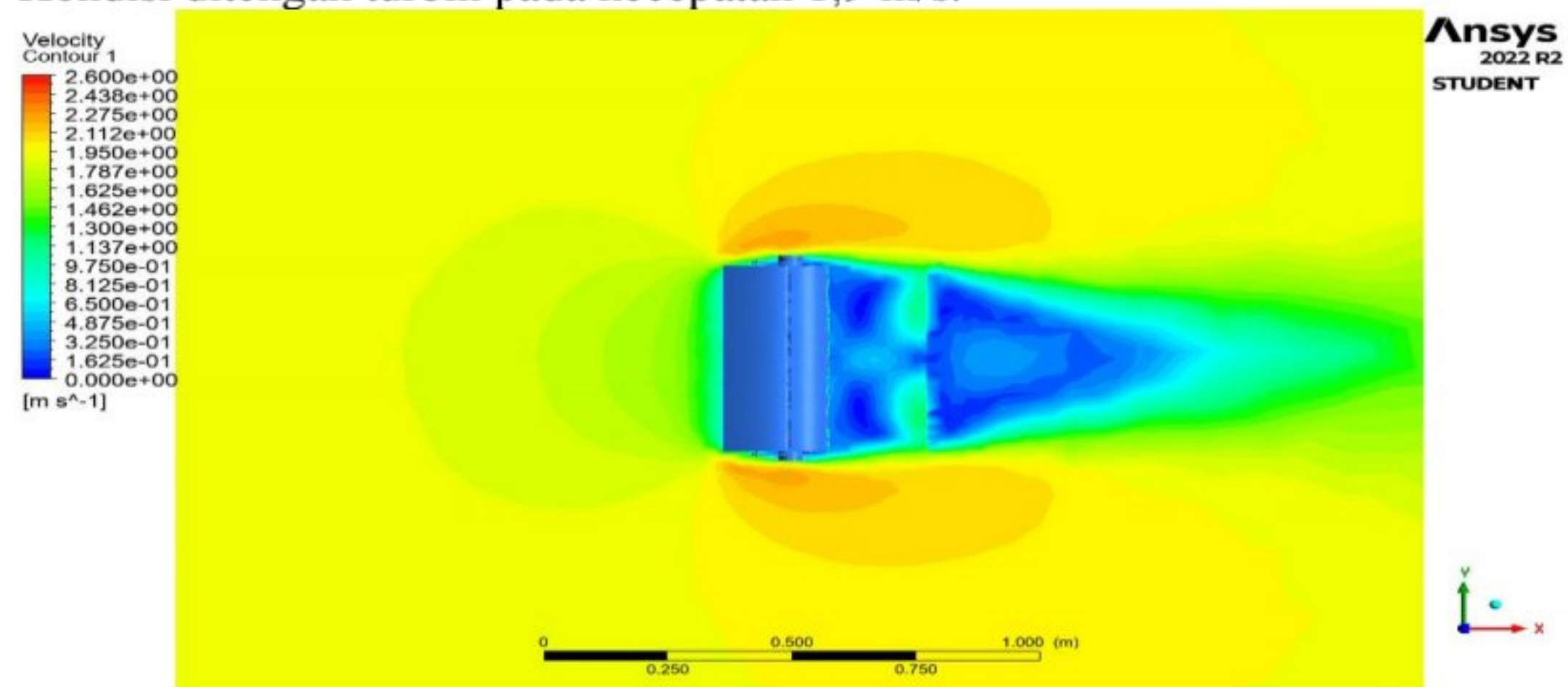
Flange-Diffuser $\alpha = 50^\circ$

N0	v (m/s)	Torsi (Nm)	Cp	Pin (Watt)	PT (Watt)	ω (rad/s)	n (rpm)	Efisiensi (%)
1	1,9	0,0185	0,29	1,45	0,42	22,81	119	29,00
2	2	0,0226	0,33	1,70	0,55	24,47	134	32,59
3	2,2	0,0130	0,14	2,26	0,32	24,66	149	14,19
4	2,4	0,0170	0,21	2,93	0,61	35,71	235	20,70

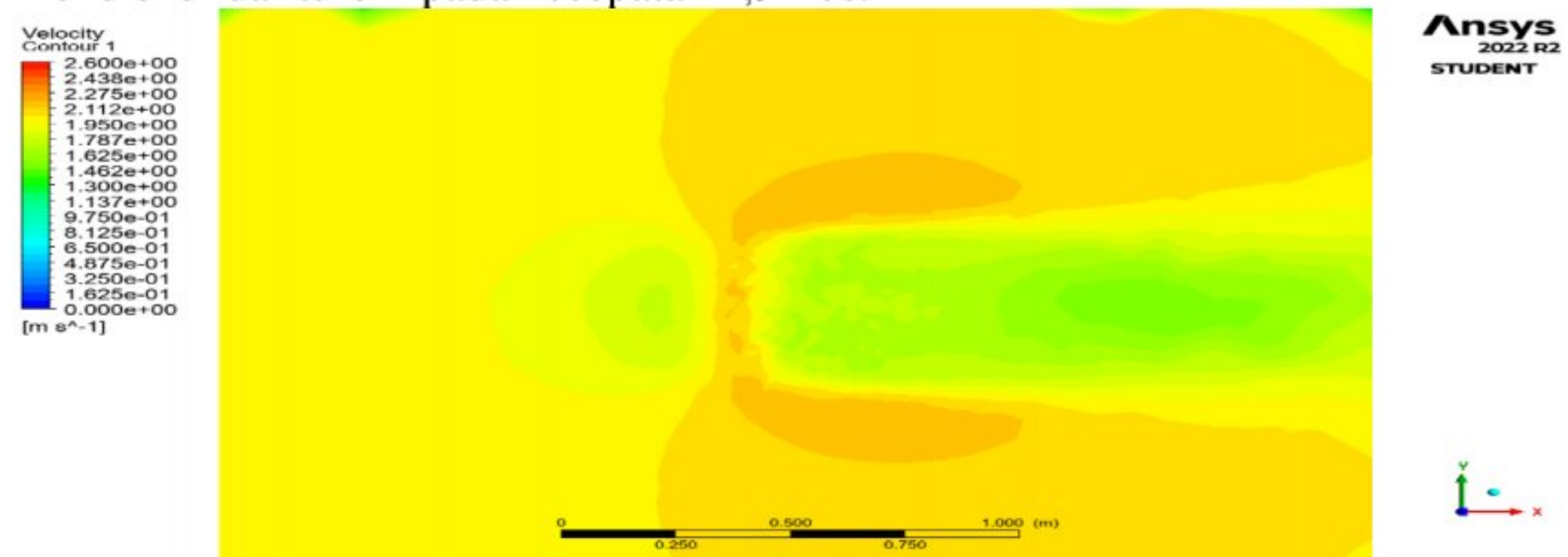
Lampiran 2

Hasil kontur Simulasi Tanpa *flange*

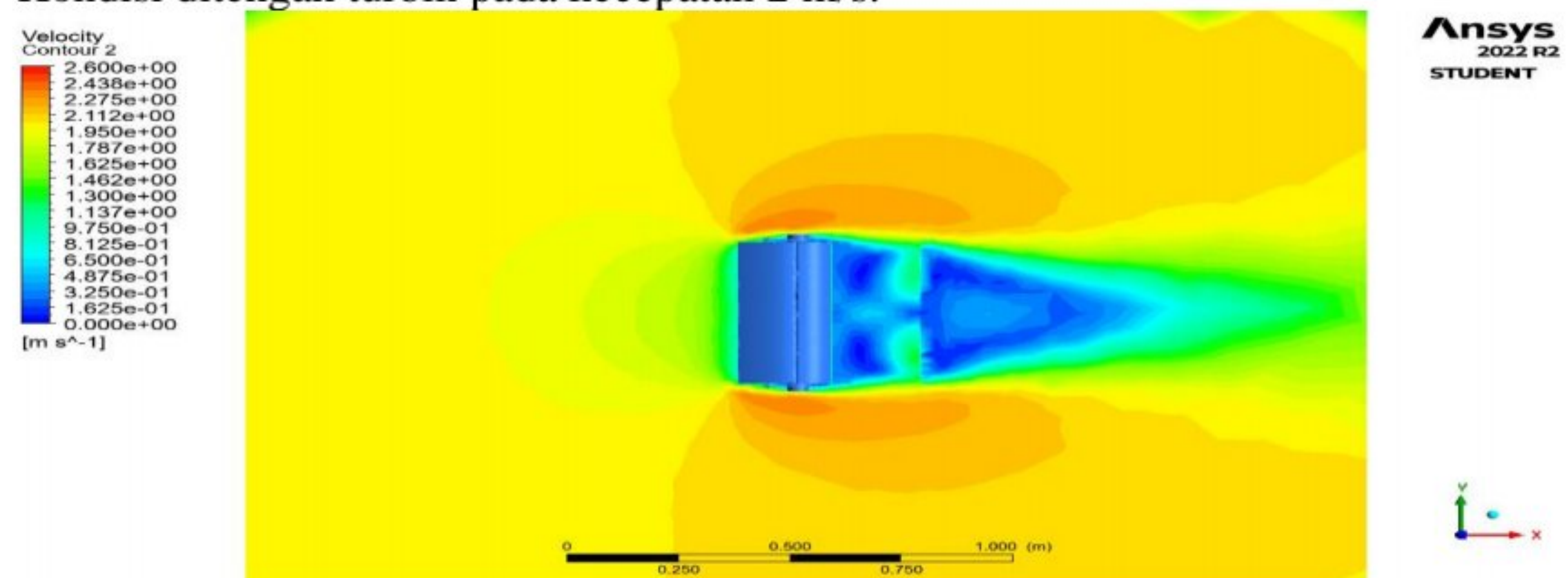
Kondisi ditengah turbin pada kecepatan 1,9 m/s.



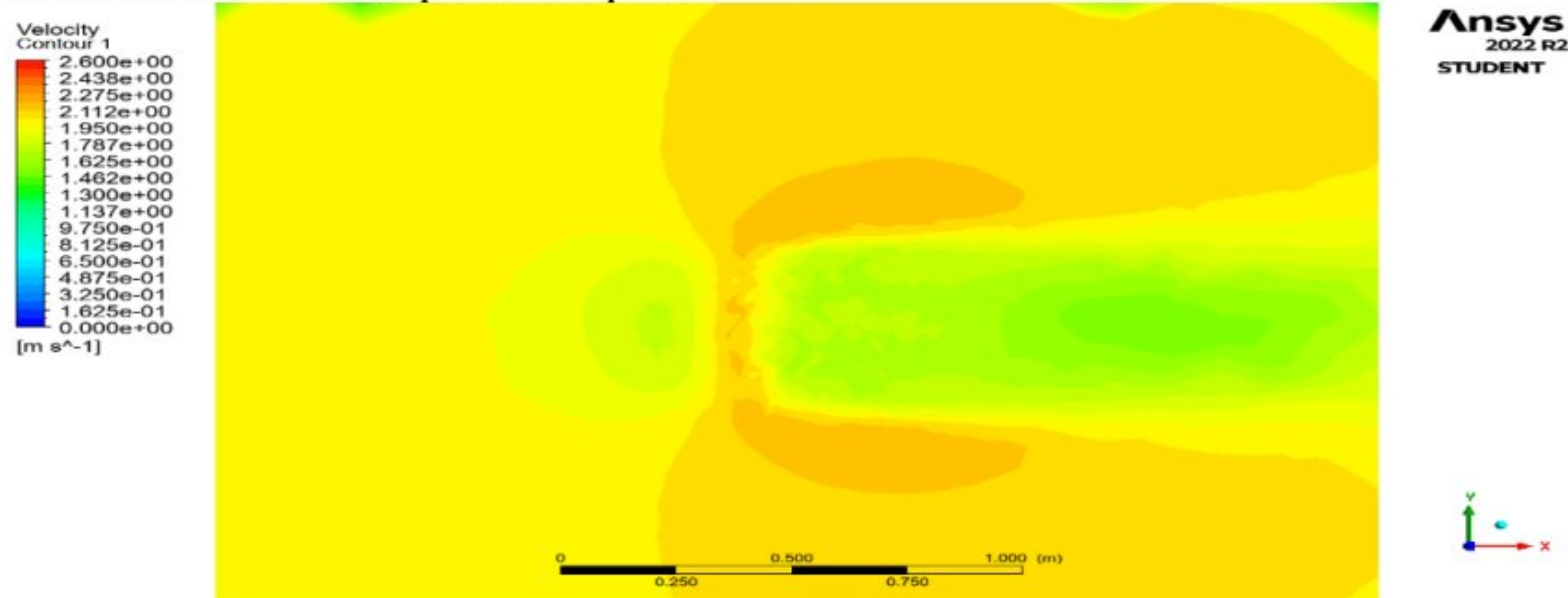
Kondisi diluar turbin pada kecepatan 1,9 m/s.



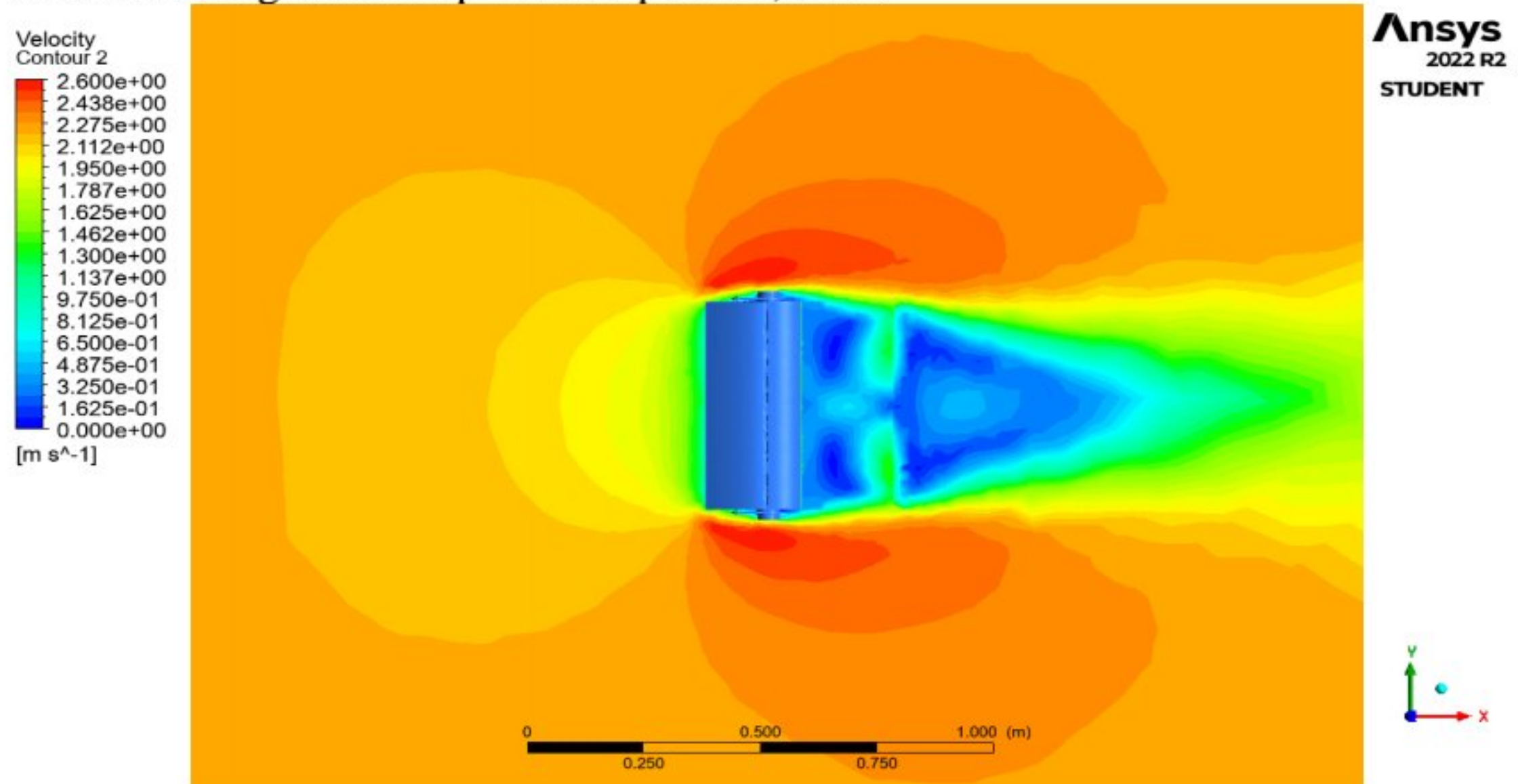
Kondisi ditengah turbin pada kecepatan 2 m/s.



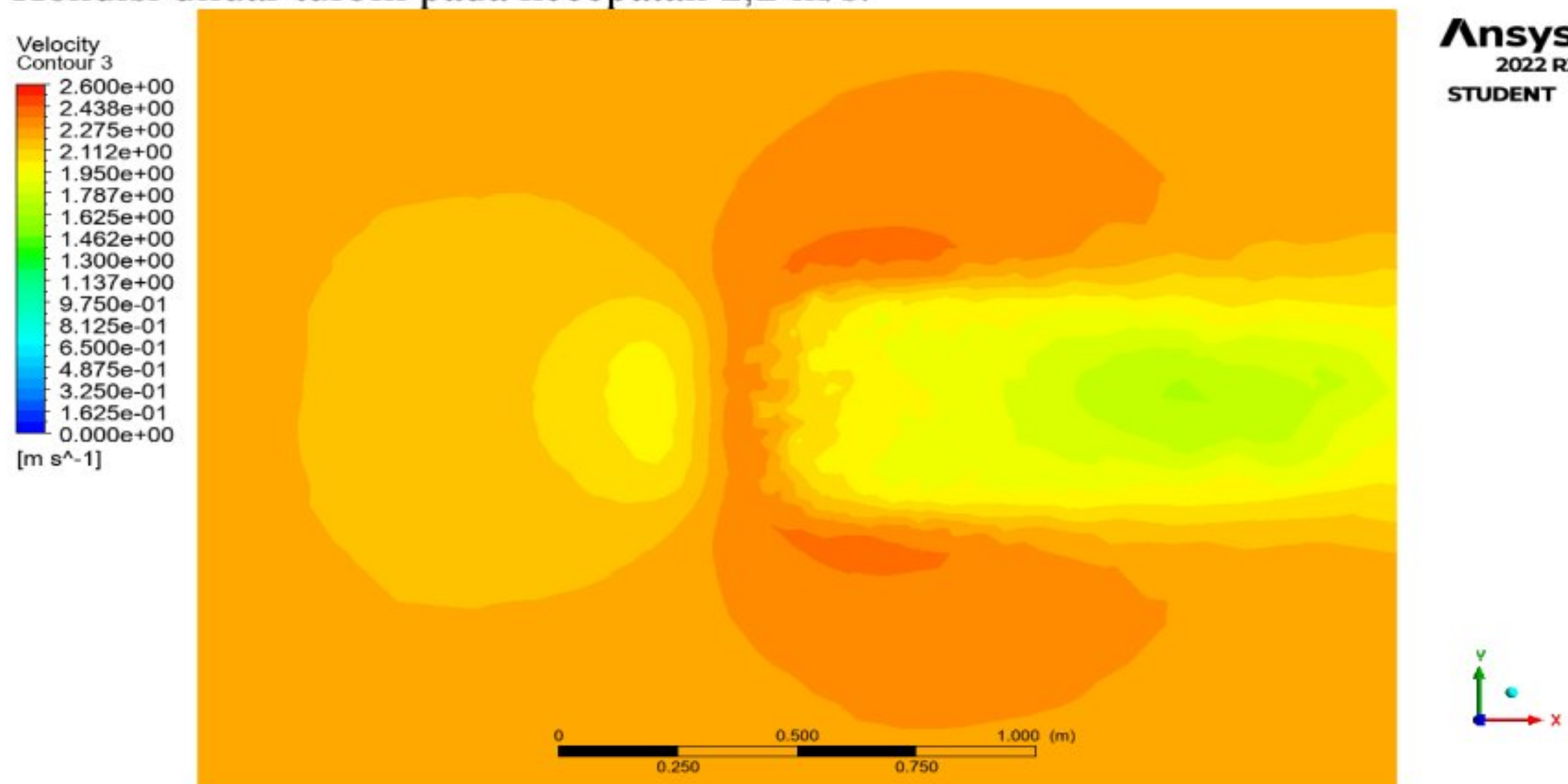
Kondisi diluar turbin pada kecepatan 2 m/s.



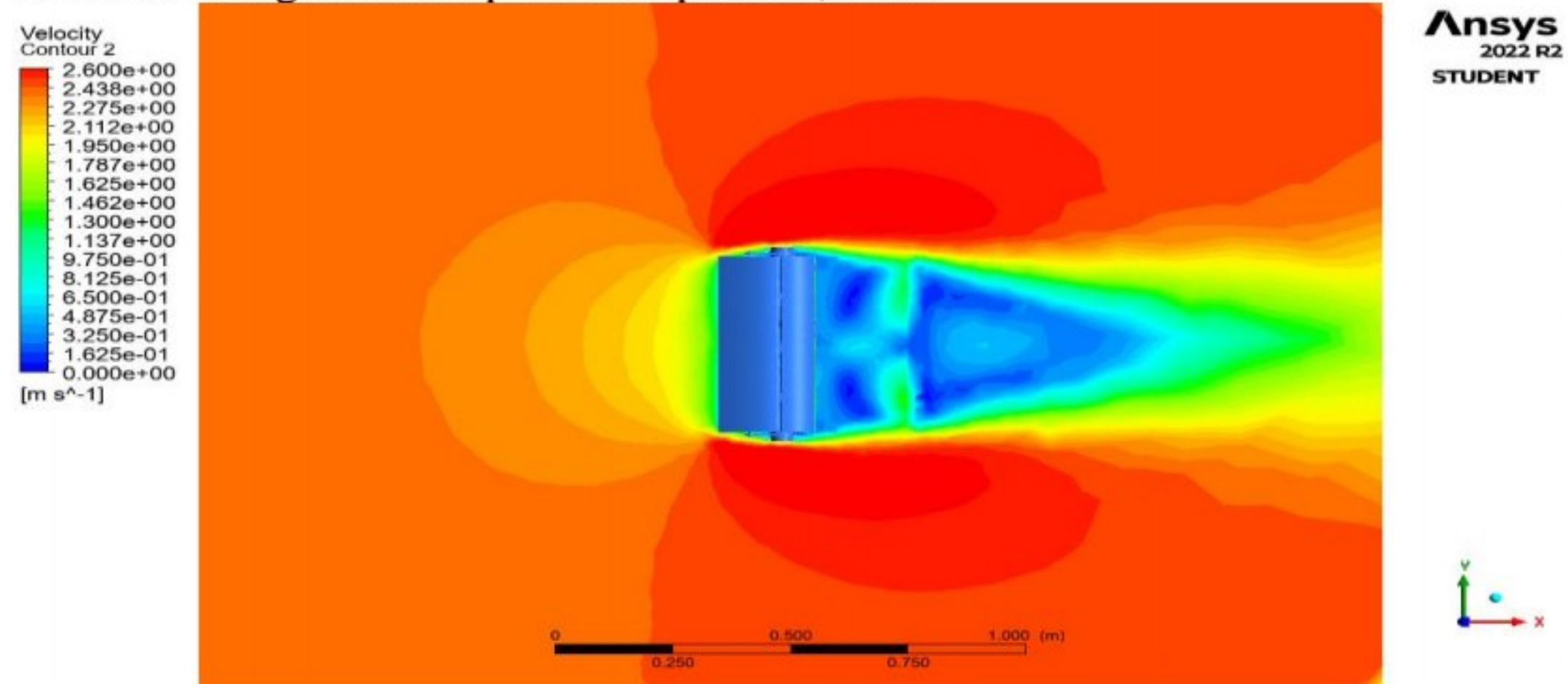
Kondisi ditengah turbin pada kecepatan 2,2 m/s.



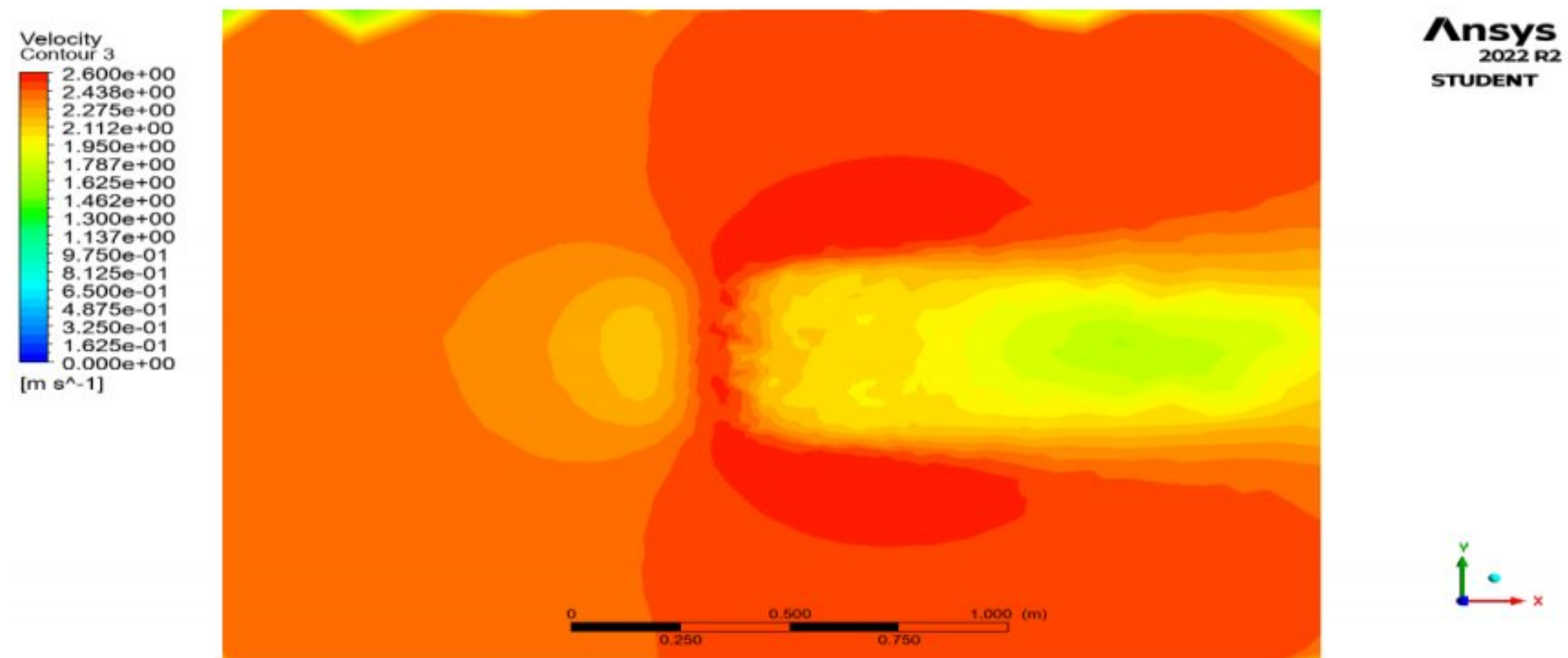
Kondisi diluar turbin pada kecepatan 2,2 m/s.



Kondisi ditengah turbin pada kecepatan 2,4 m/s.



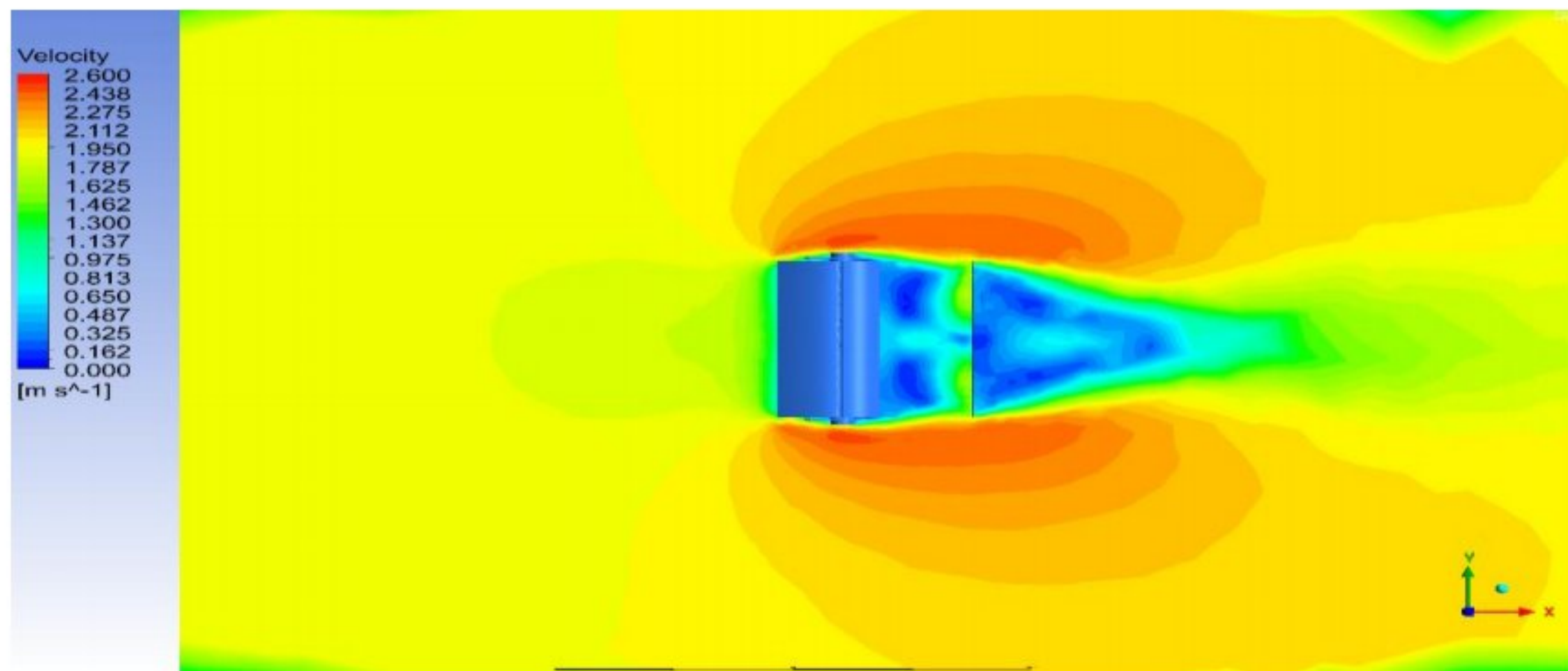
Kondisi diluar turbin pada kecepatan 2,4 m/s.



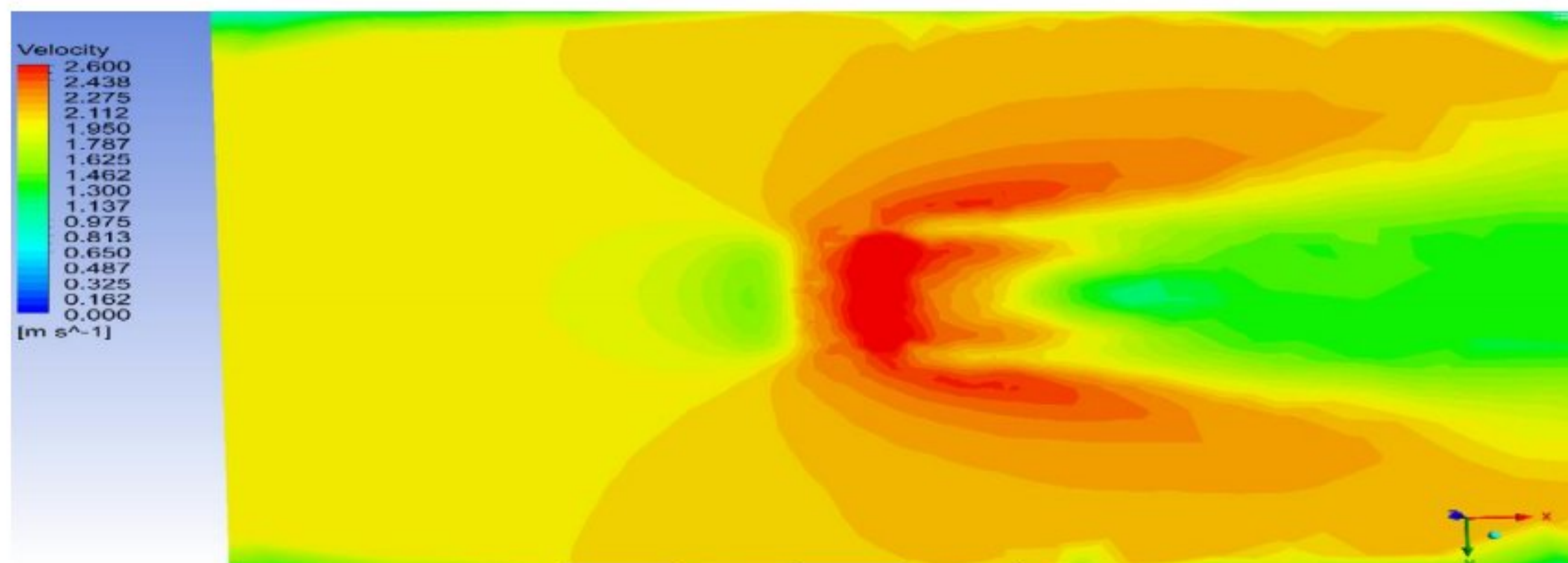
Lampiran 3

Hasil Kontur Simulasi Tubin Dengan Tambahannya *Flange-Diffuser* $\alpha = 0^\circ$

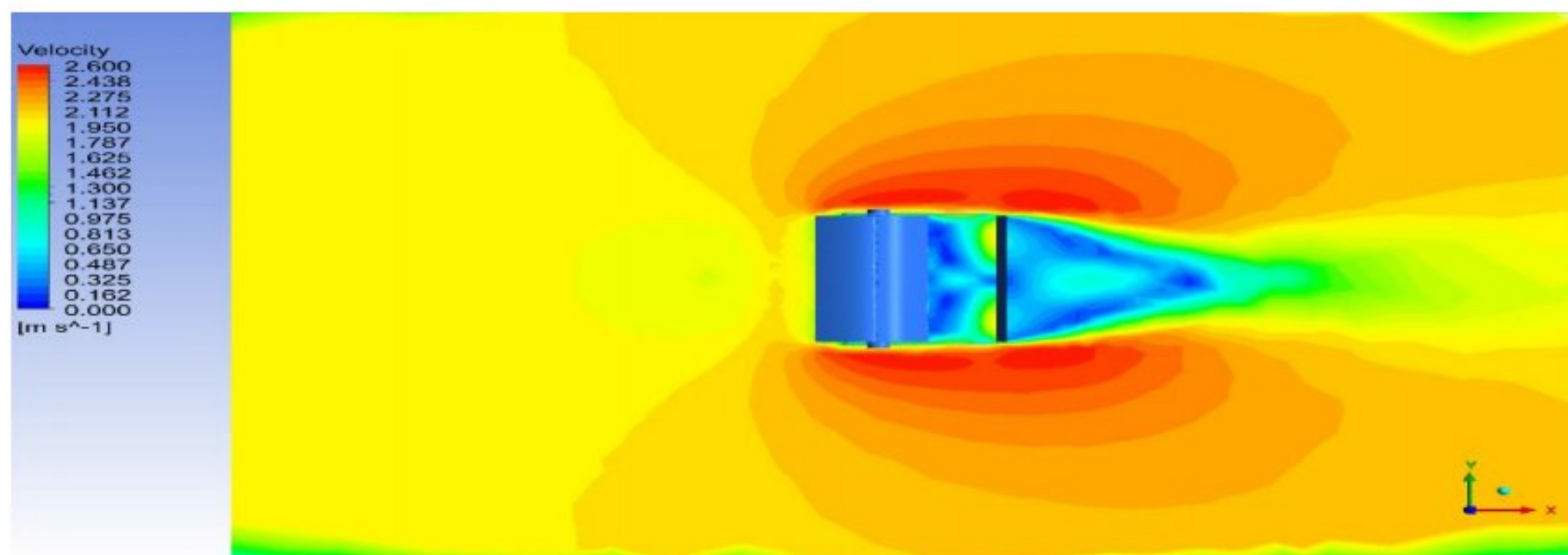
Kondisi ditengah turbin dengan tambahan *flange-diffuser* $\alpha = 0^\circ$ pada kecepatan 1,9 m/s.



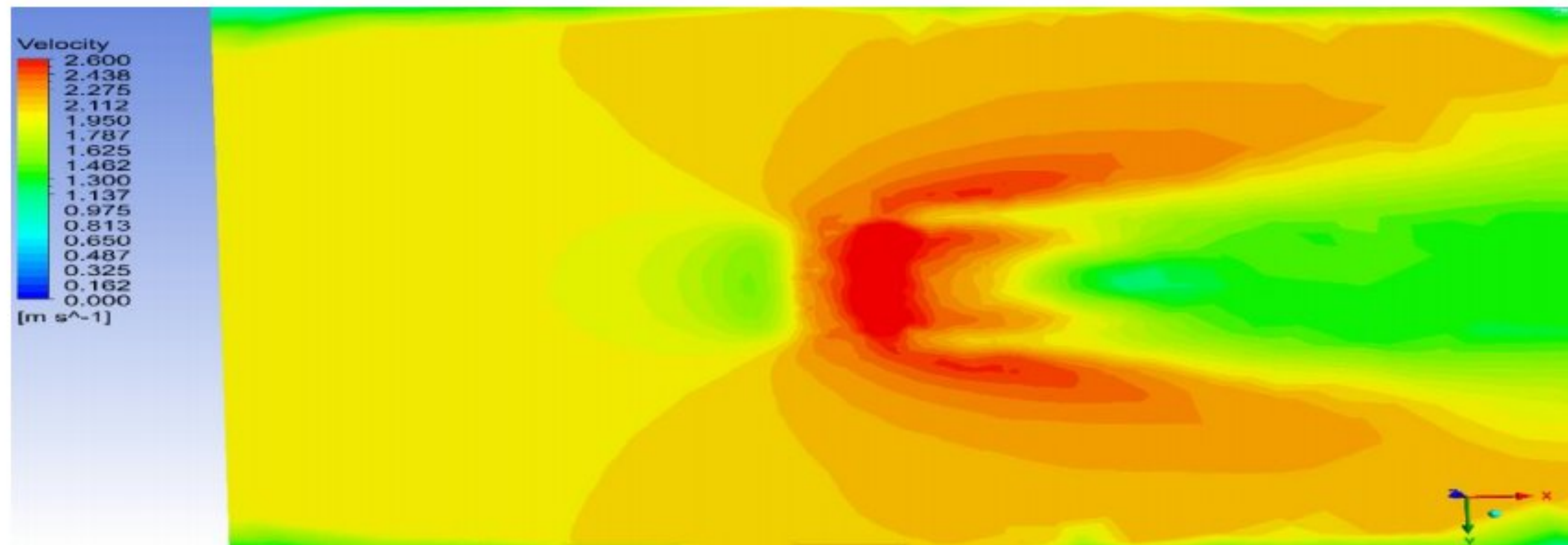
Kondisi diluar turbin dengan tambahan *flange-diffuser* $\alpha = 0^\circ$ pada kecepatan 1,9 m/s.



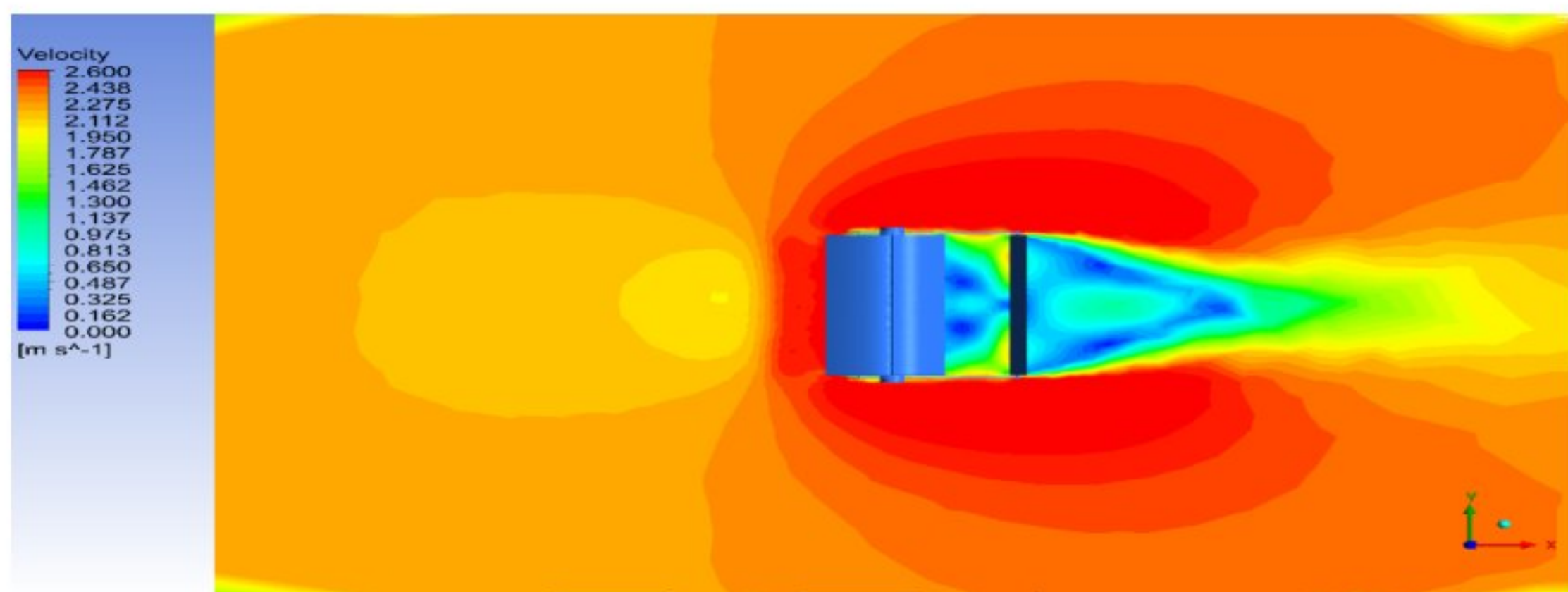
Kondisi ditengah turbin dengan tambahan *flange-diffuser* $\alpha = 0^\circ$ pada kecepatan 2 m/s.



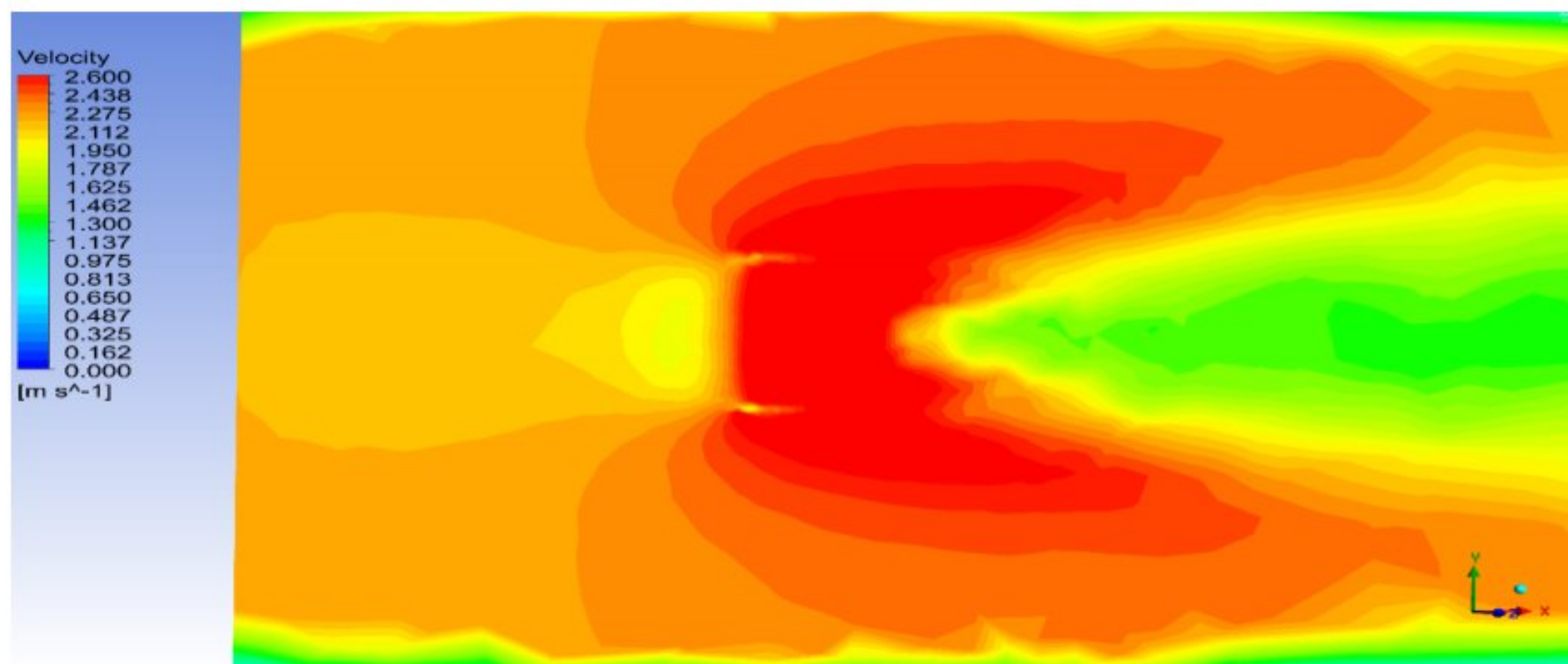
Kondisi diluar turbin dengan tambahan *flange-diffuser* $\alpha = 0^\circ$ pada kecepatan 2 m/s.



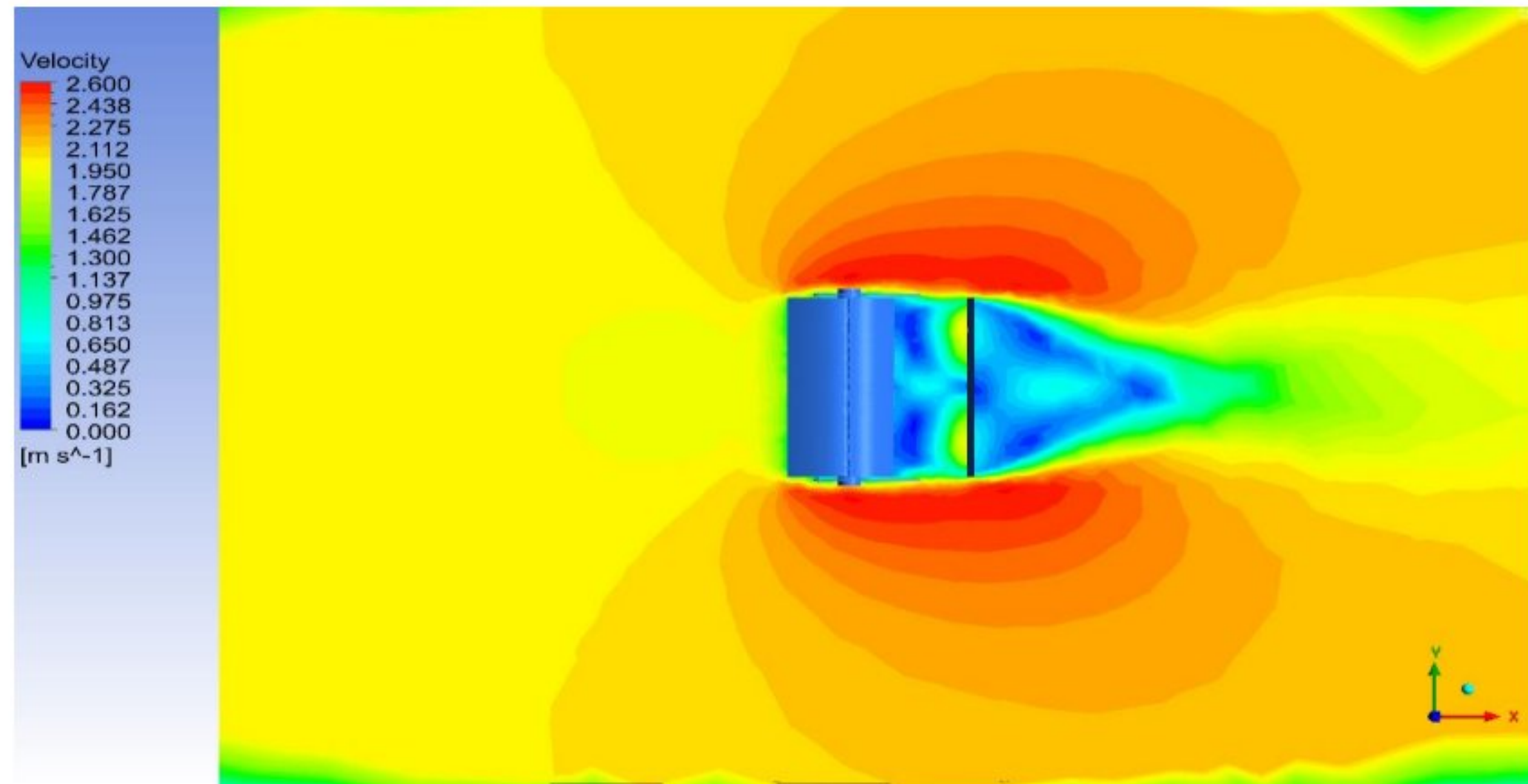
Kondisi ditengah turbin dengan tambahan *flange-diffuser* $\alpha = 0^\circ$ pada kecepatan 2,2 m/s.



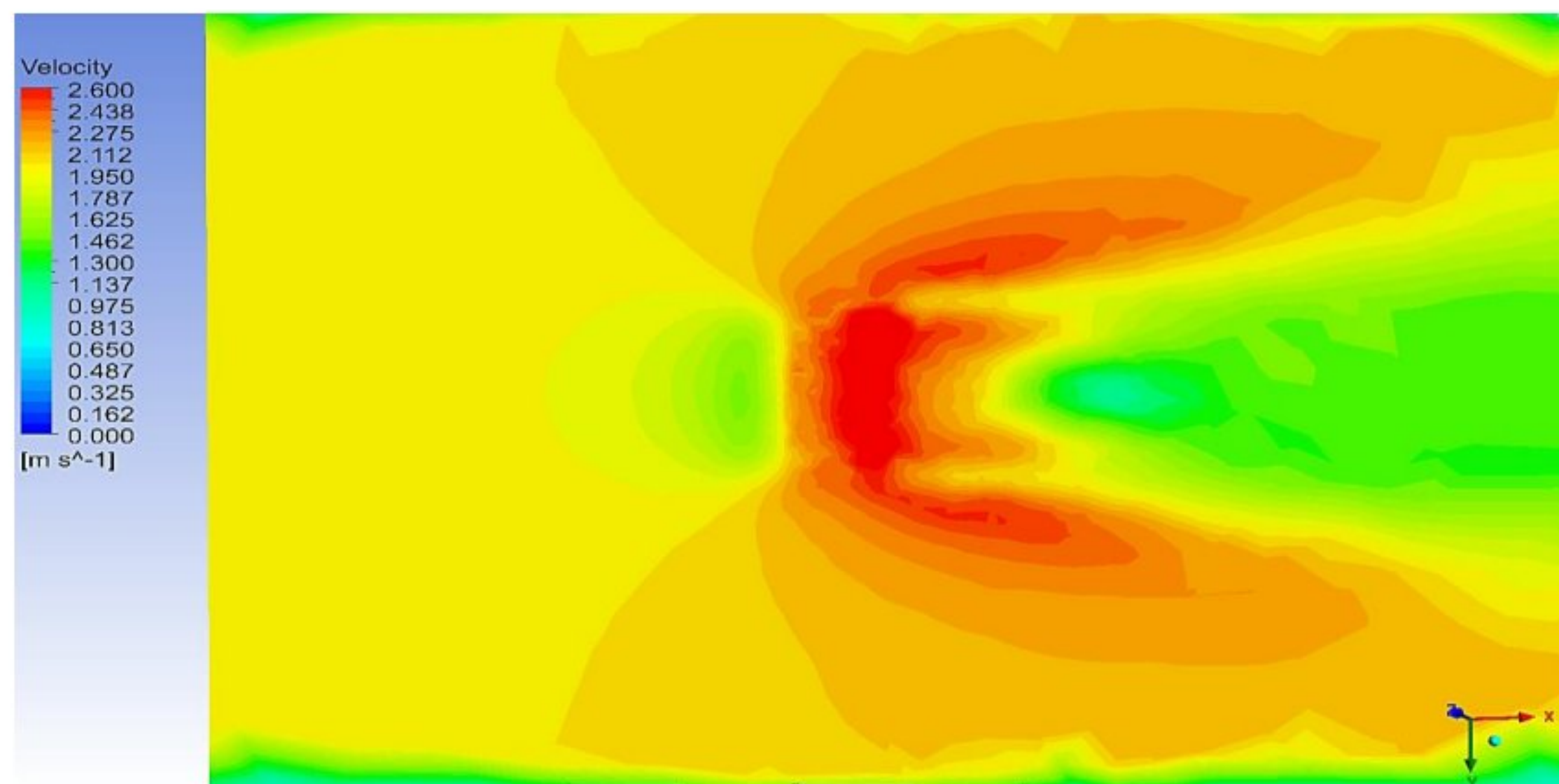
Kondisi diluar turbin dengan tambahan *flange-diffuser* $\alpha = 0^\circ$ pada kecepatan 2,2 m/s.



Kondisi ditengah turbin dengan tambahan *flange-diffuser* $\alpha = 0^\circ$ pada kecepatan 2,4 m/s.



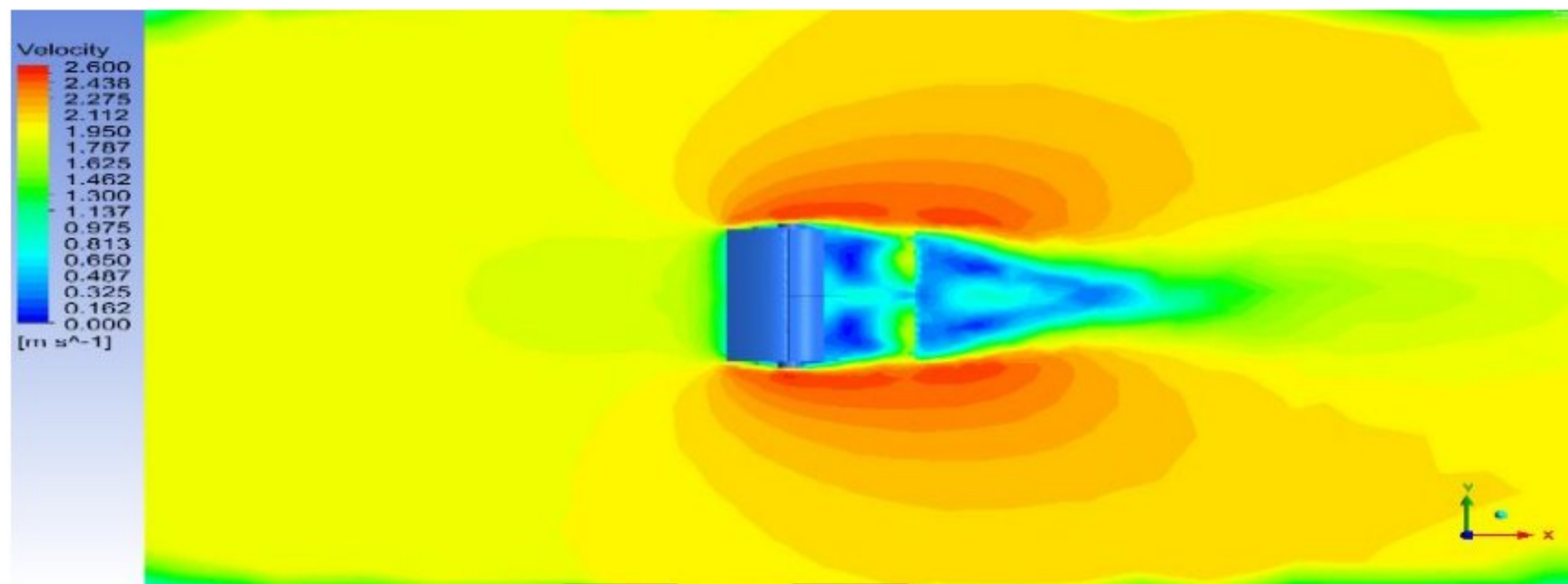
Kondisi diluar turbin dengan tambahan *flange-diffuser* $\alpha = 0^\circ$ pada kecepatan 2,4 m/s.



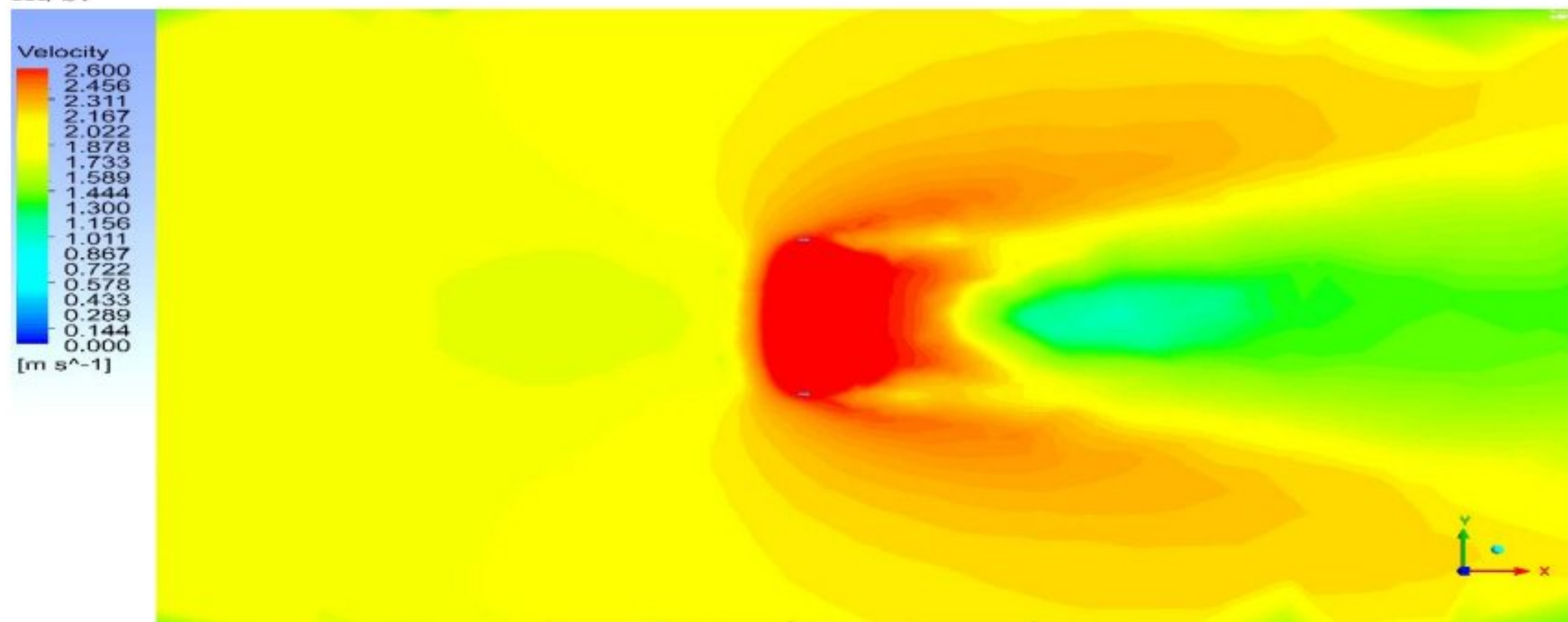
Lampiran 4

Hasil Kontur Simulasi Tubin Dengan Tambahan *Flange-Diffuser* $\alpha = 10^\circ$

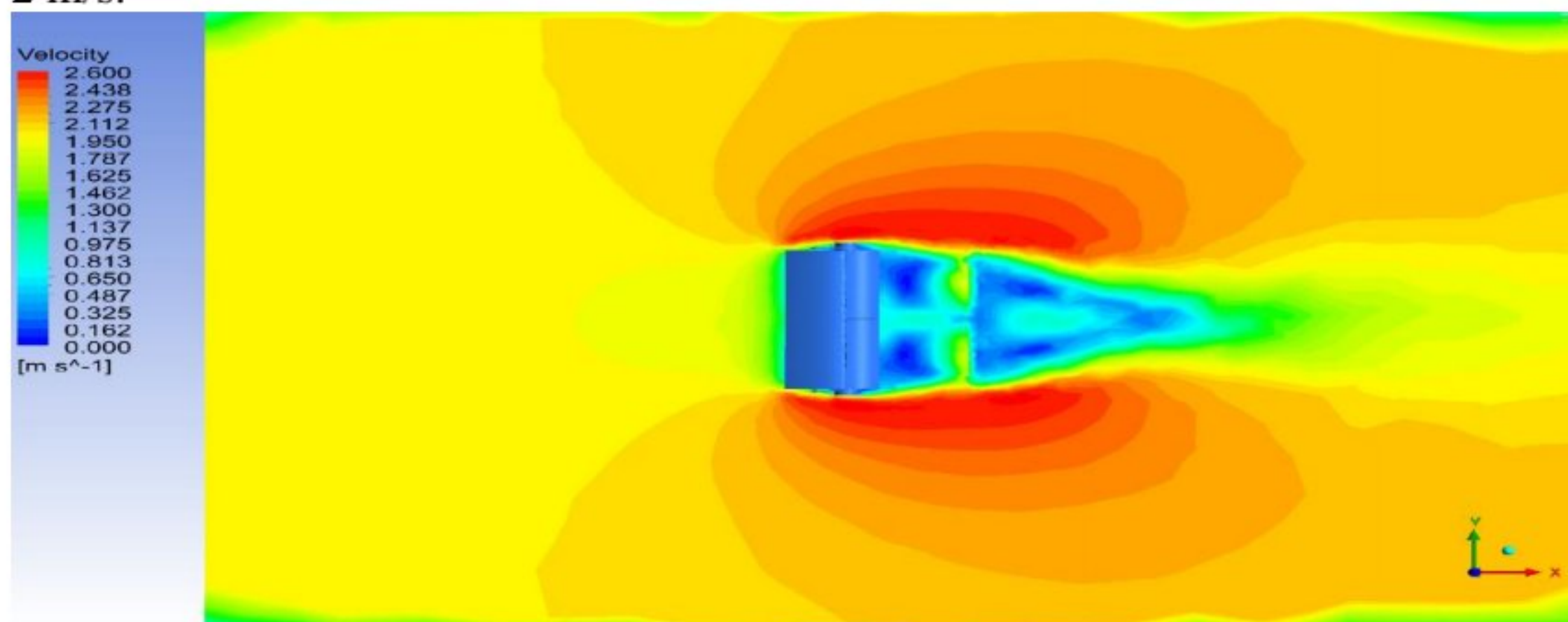
Kondisi ditengah turbin dengan tambahan *flange-diffuser* $\alpha = 10^\circ$ pada kecepatan 1,9 m/s.



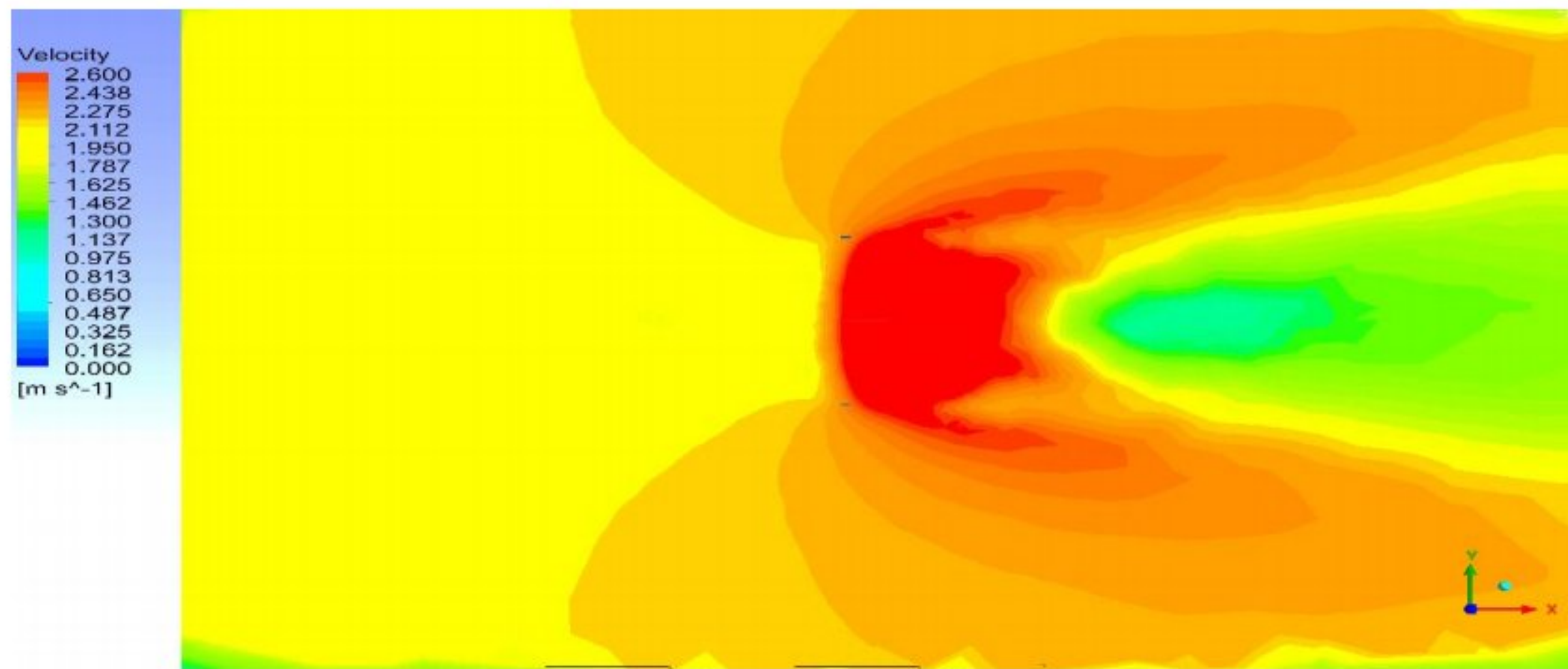
Kondisi diluar turbin dengan tambahan *flange-diffuser* $\alpha = 10^\circ$ pada kecepatan 1,9 m/s.



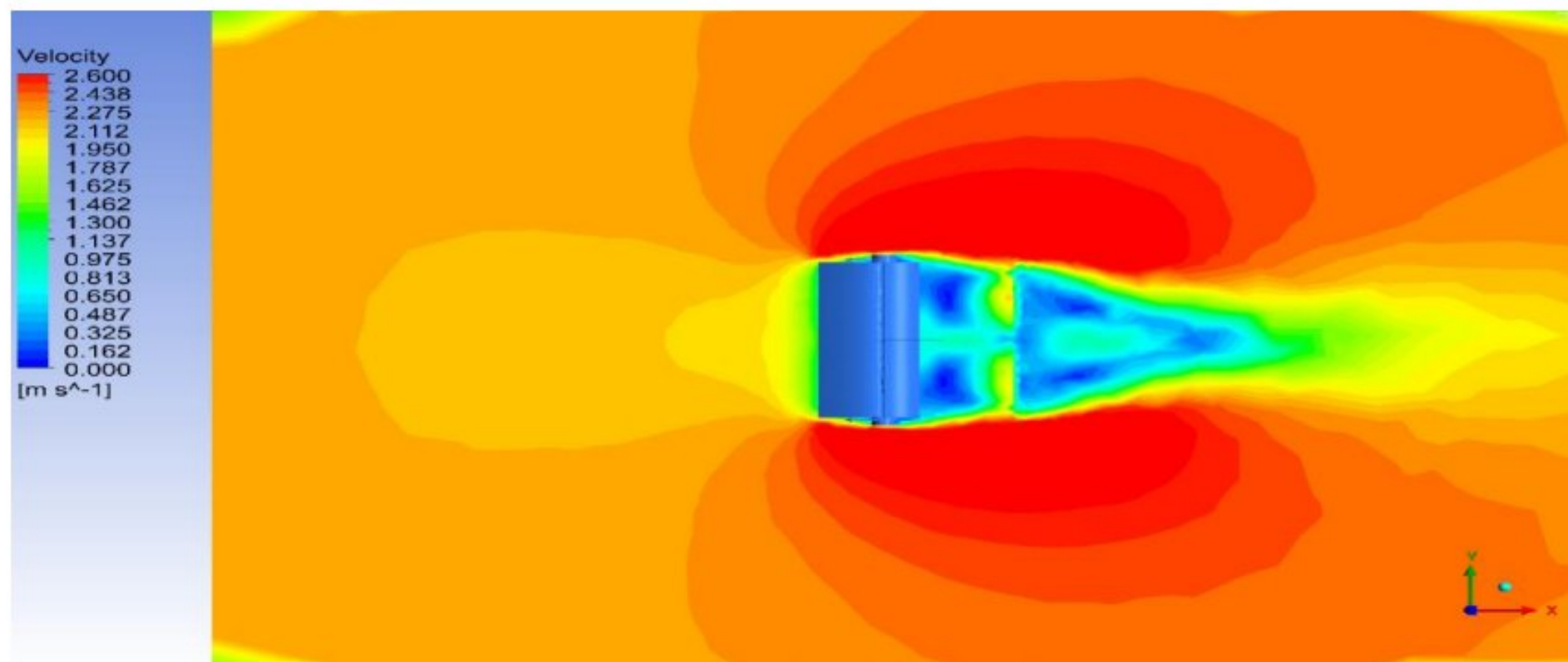
Kondisi ditengah turbin dengan tambahan *flange-diffuser* $\alpha = 10^\circ$ pada kecepatan 2 m/s.



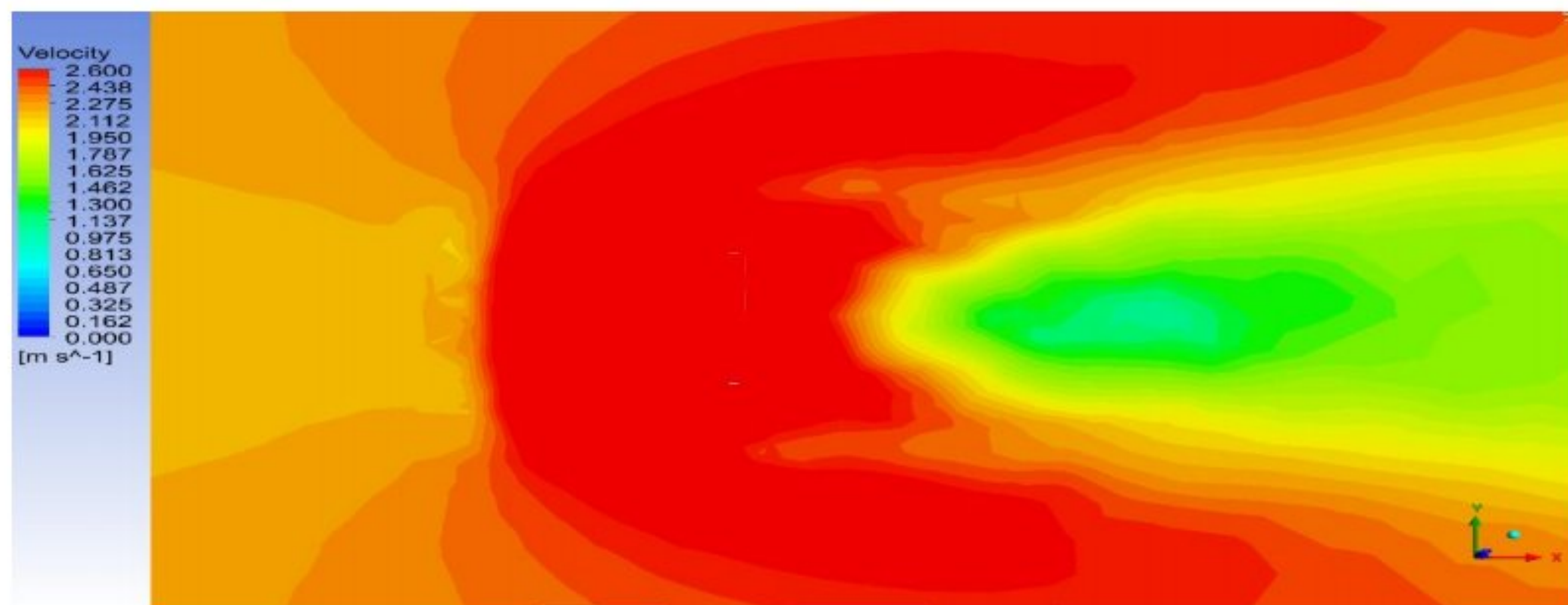
Kondisi diluar turbin dengan tambahan *flange-diffuser* $\alpha = 10^\circ$ pada kecepatan 2 m/s.



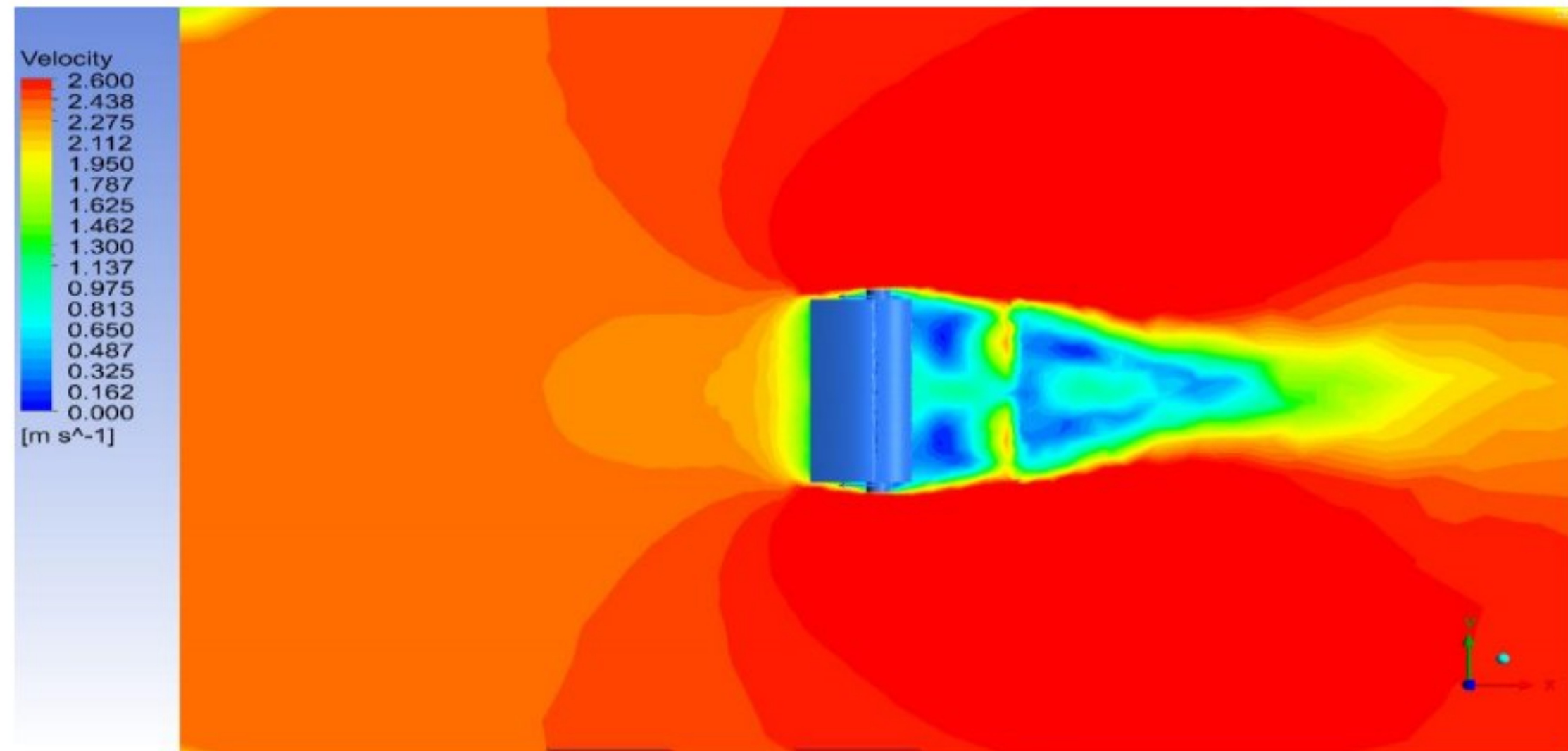
Kondisi ditengah turbin dengan tambahan *flange-diffuser* $\alpha = 10^\circ$ pada kecepatan 2,2 m/s.



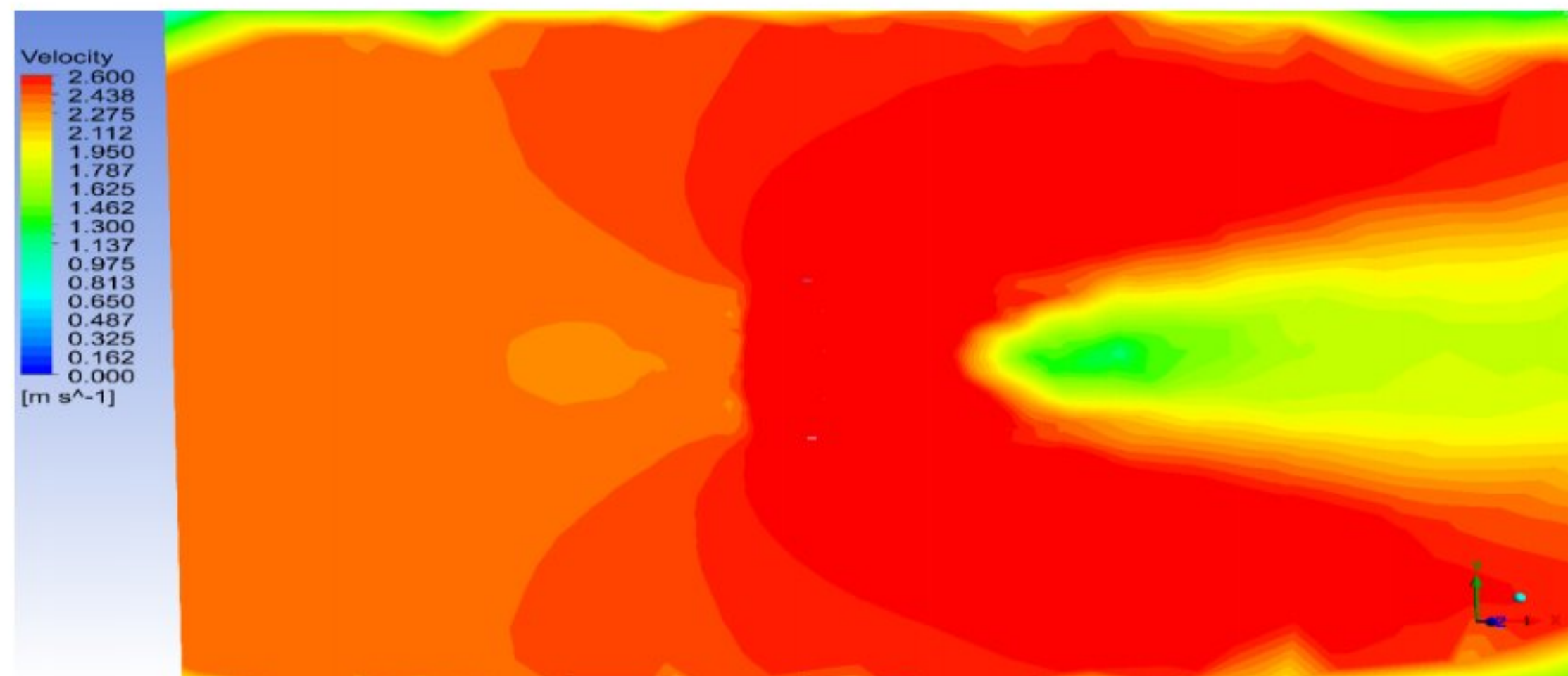
Kondisi diluar turbin dengan tambahan *flange-diffuser* $\alpha = 10^\circ$ pada kecepatan 2,2 m/s.



Kondisi ditengah turbin dengan tambahan *flange-diffuser* $\alpha = 10^\circ$ pada kecepatan 2,4 m/s.



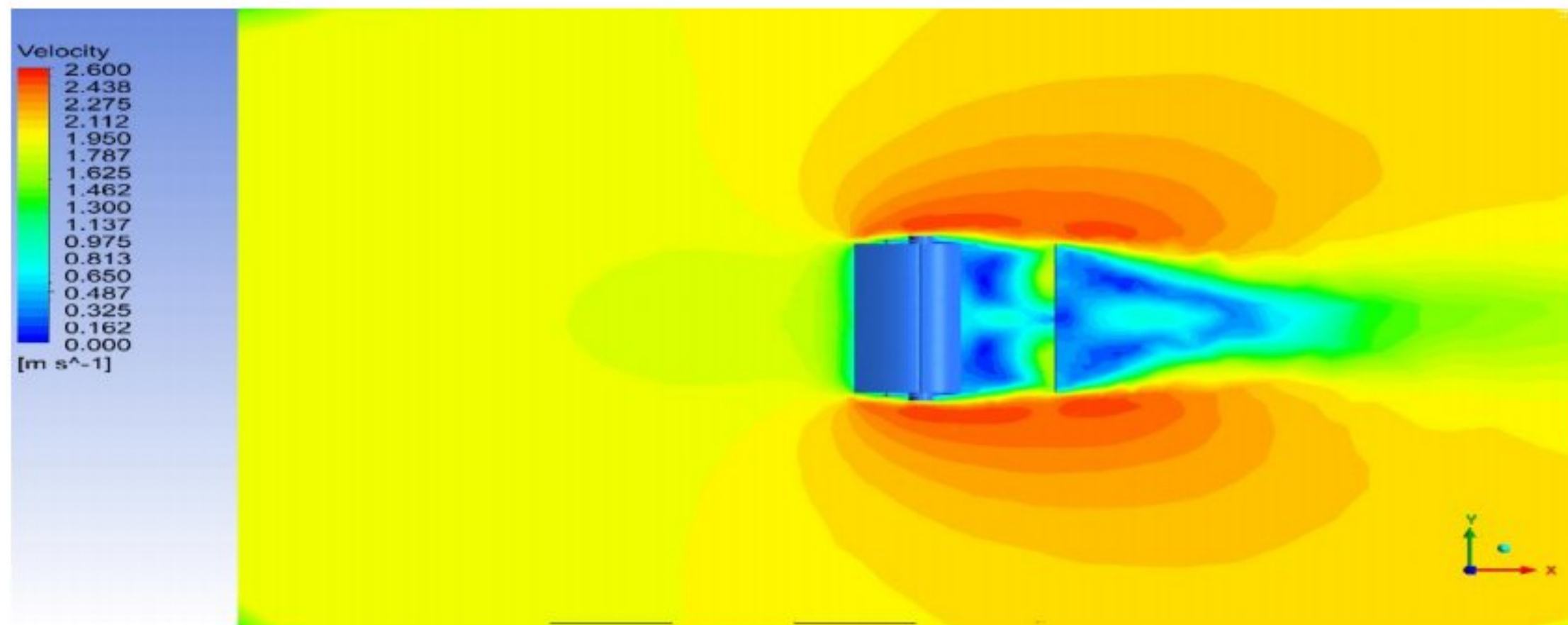
Kondisi diluar turbin dengan tambahan *flange-diffuser* $\alpha = 10^\circ$ pada kecepatan 2,4 m/s.



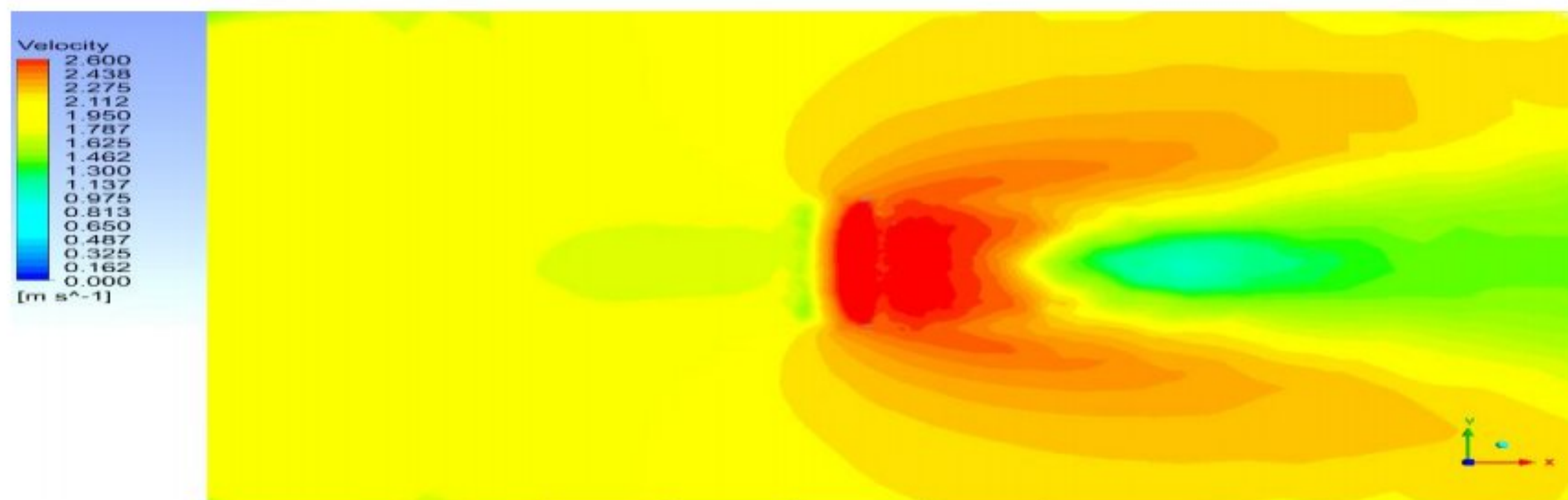
Lampiran 5

Hasil Kontur Simulasi Tubin Dengan Tambahannya *Flange-Diffuser* $\alpha = 15^\circ$

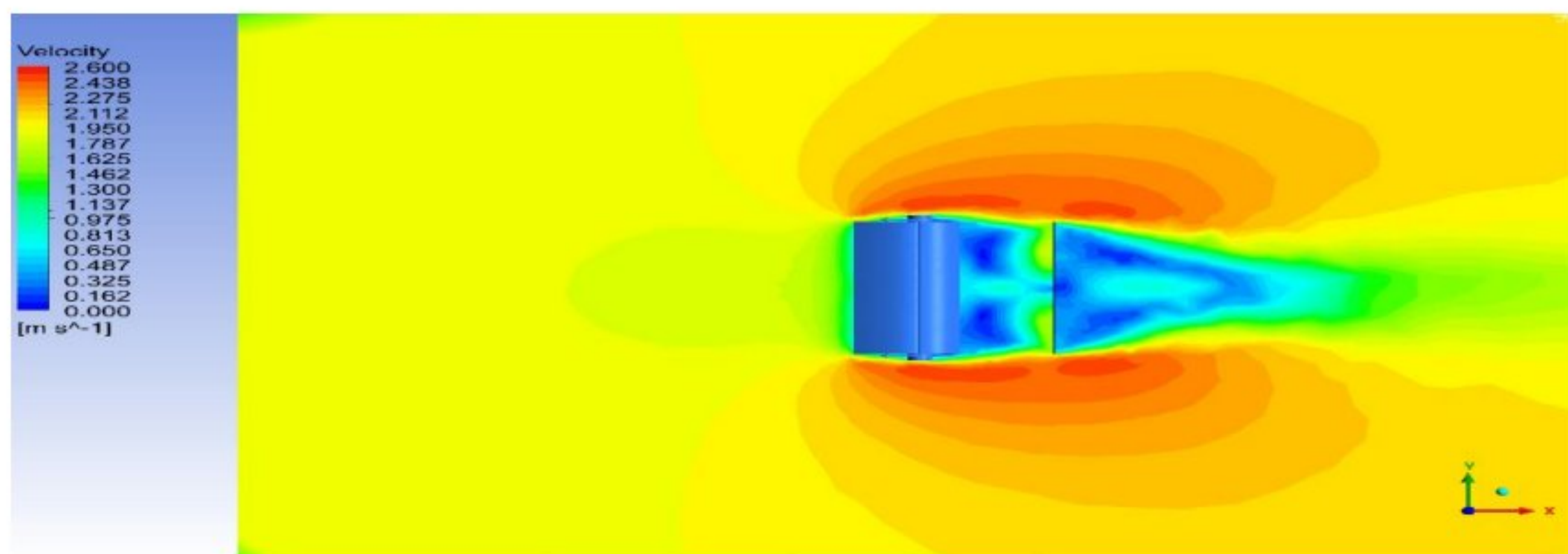
Kondisi ditengah turbin dengan tambahan *flange-diffuser* $\alpha = 15^\circ$ pada kecepatan 1,9 m/s.



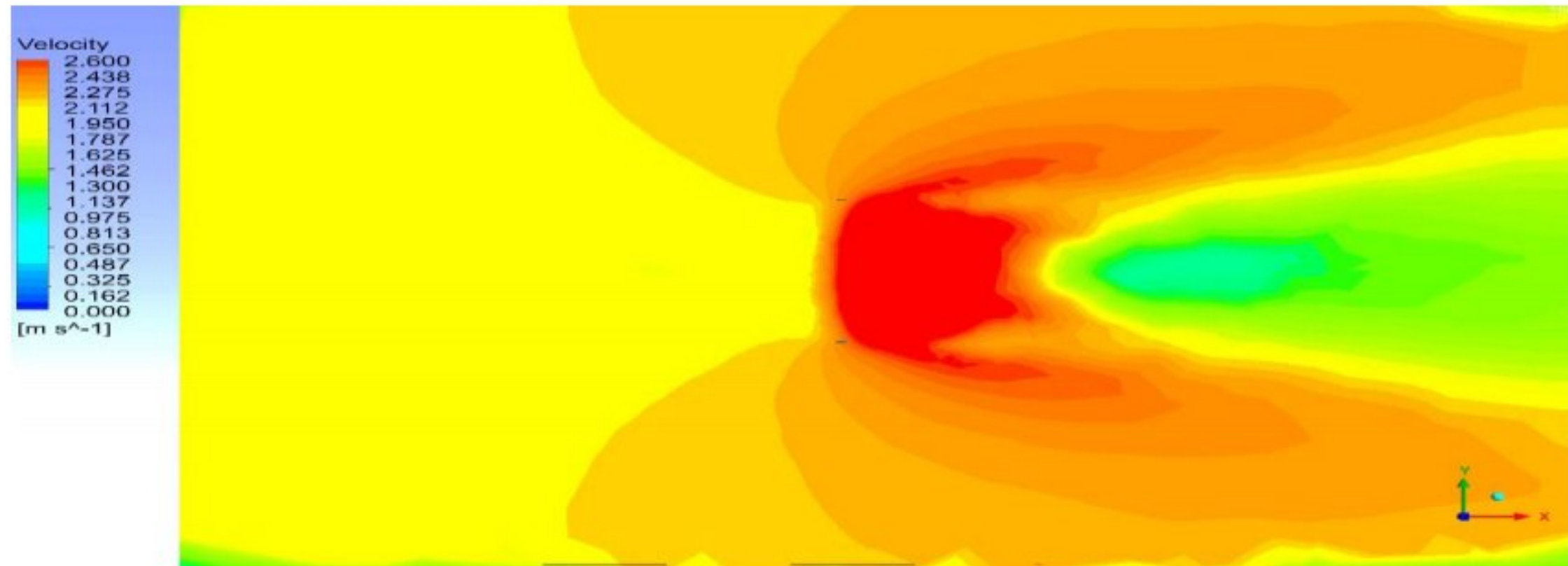
Kondisi diluar turbin dengan tambahan *flange-diffuser* $\alpha = 15^\circ$ pada kecepatan 1,9 m/s.



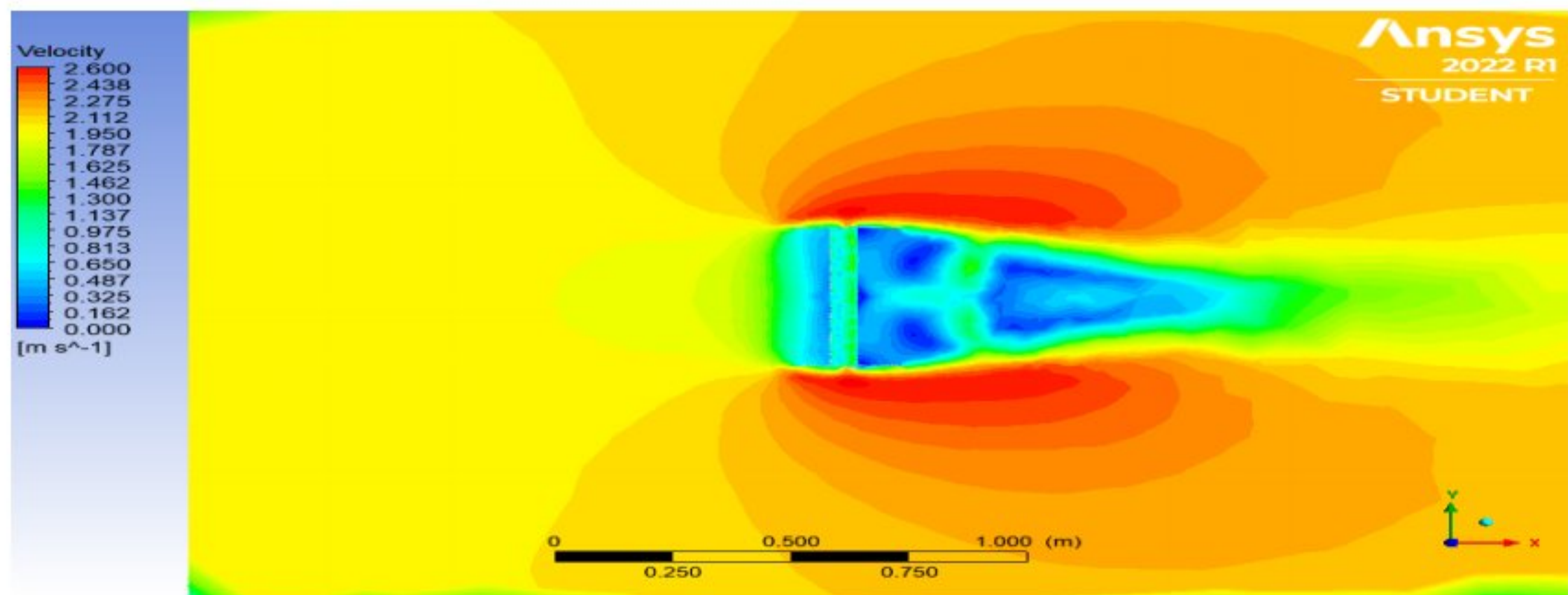
Kondisi ditengah turbin dengan tambahan *flange-diffuser* $\alpha = 15^\circ$ pada kecepatan 2 m/s.



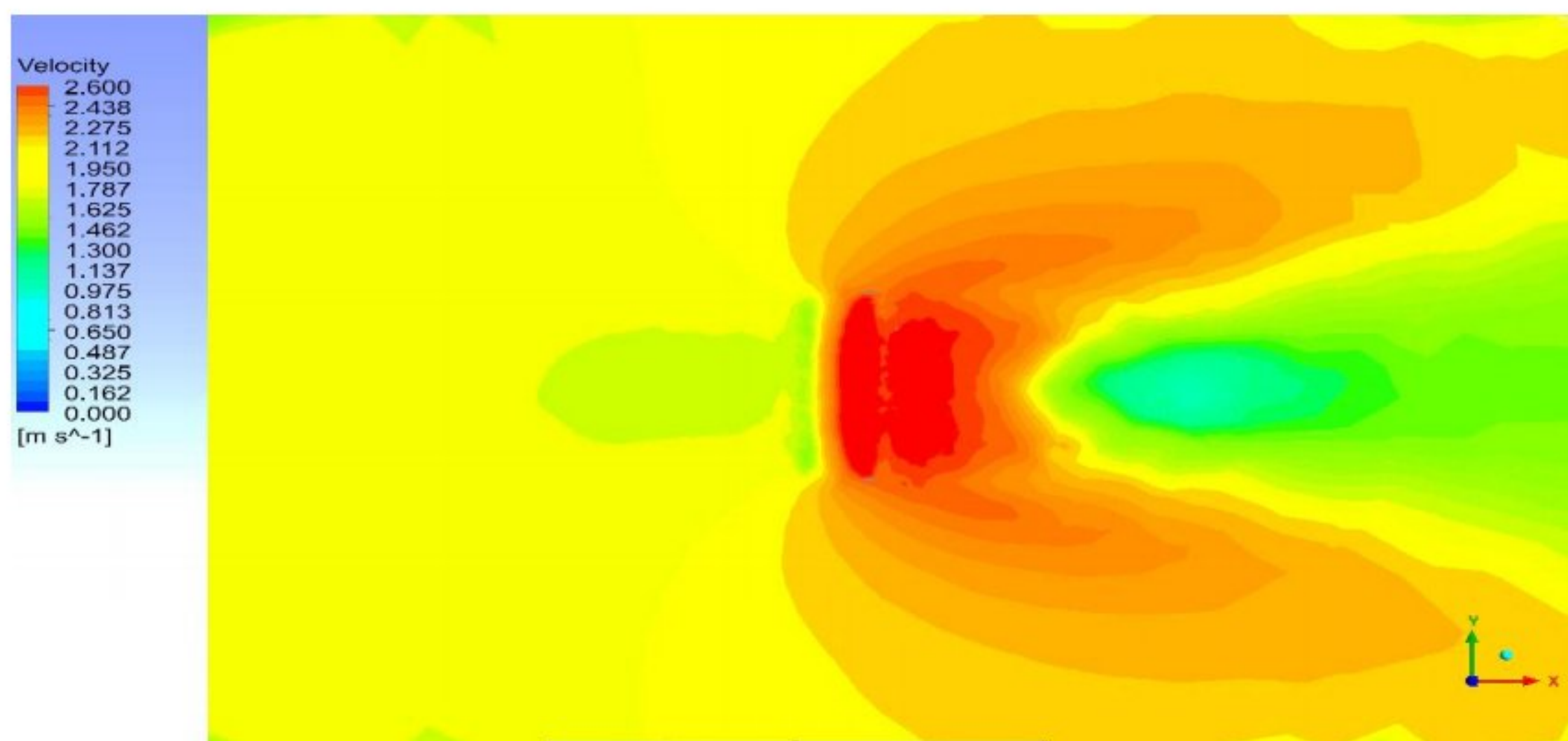
Kondisi diluar turbin dengan tambahan *flange-diffuser* $\alpha = 15^\circ$ pada kecepatan 2 m/s.



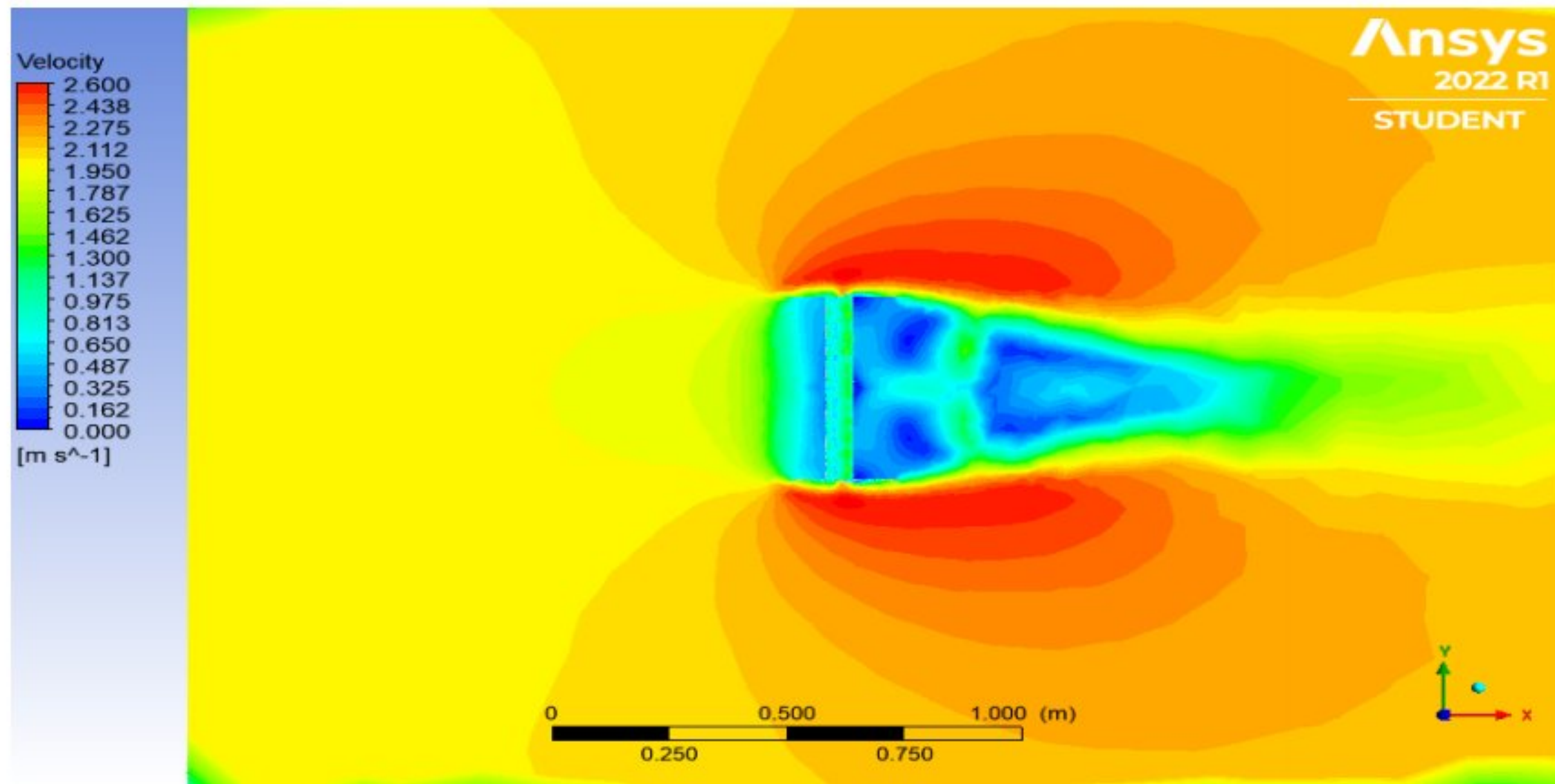
Kondisi ditengah turbin dengan tambahan *flange-diffuser* $\alpha = 15^\circ$ pada kecepatan 2,2 m/s.



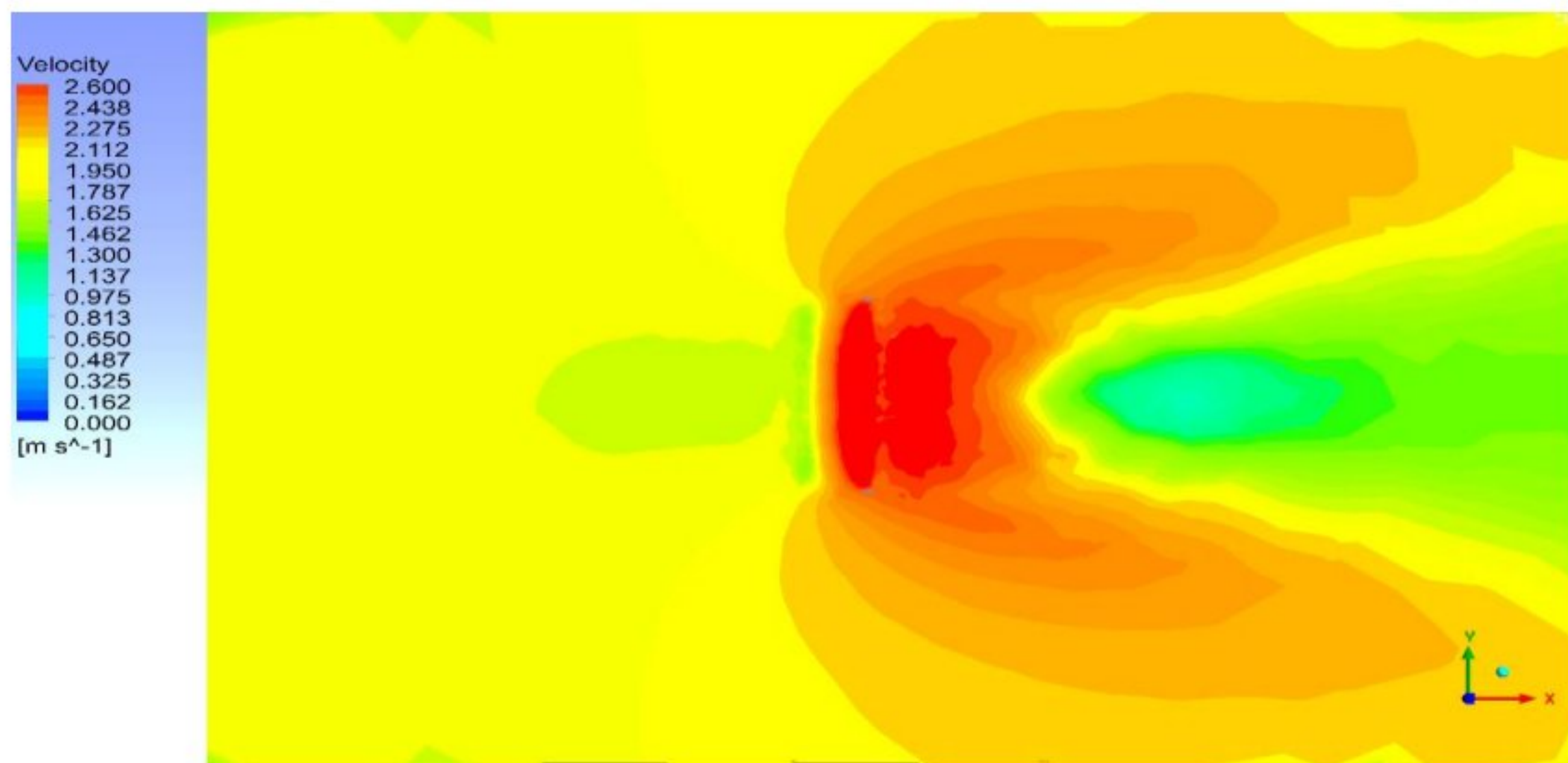
Kondisi diluar turbin dengan tambahan *flange-diffuser* $\alpha = 15^\circ$ pada kecepatan 2,2 m/s.



Kondisi ditengah turbin dengan tambahan *flange-diffuser* $\alpha = 15^\circ$ pada kecepatan 2,4 m/s.



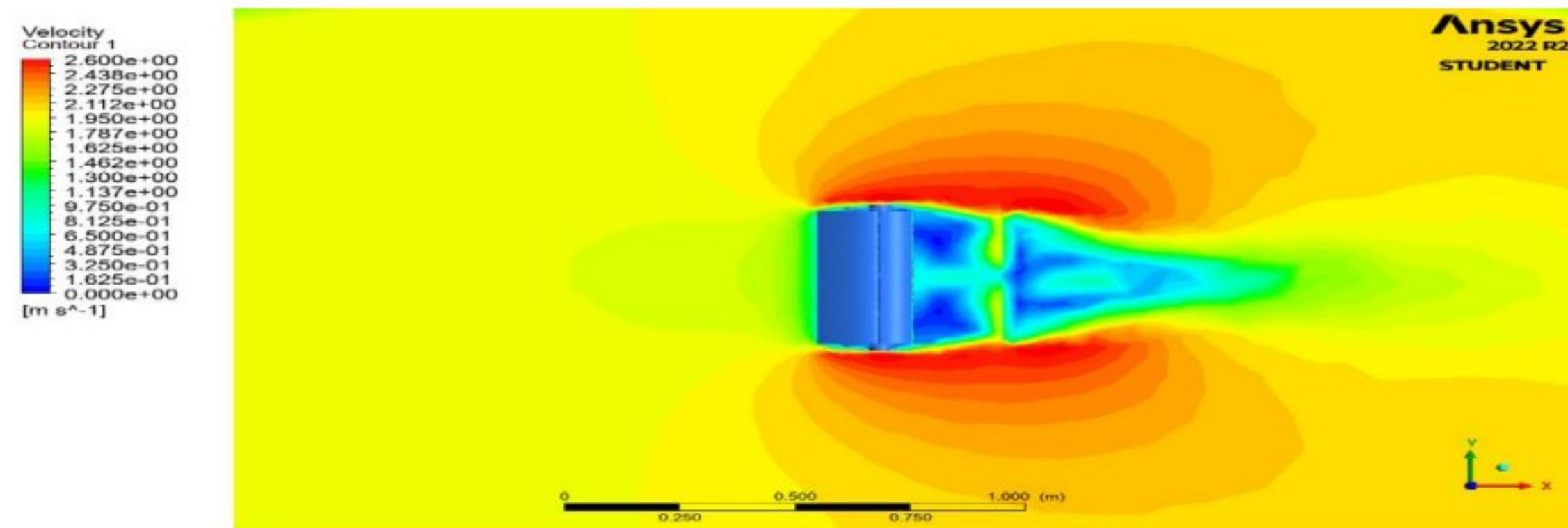
Kondisi diluar turbin dengan tambahan *flange-diffuser* $\alpha = 15^\circ$ pada kecepatan 2 m/s.



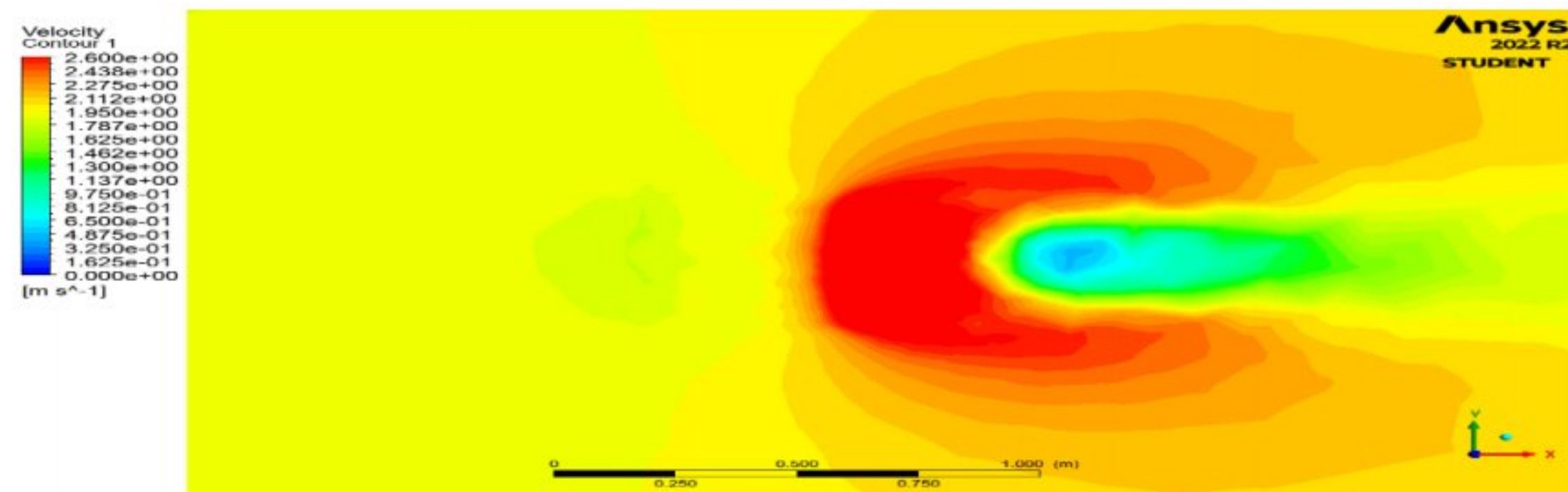
Lampiran 6

Hasil Kontur Simulasi Turbin Dengan Tambahkan *Flange-Diffuser* $\alpha = 30^\circ$

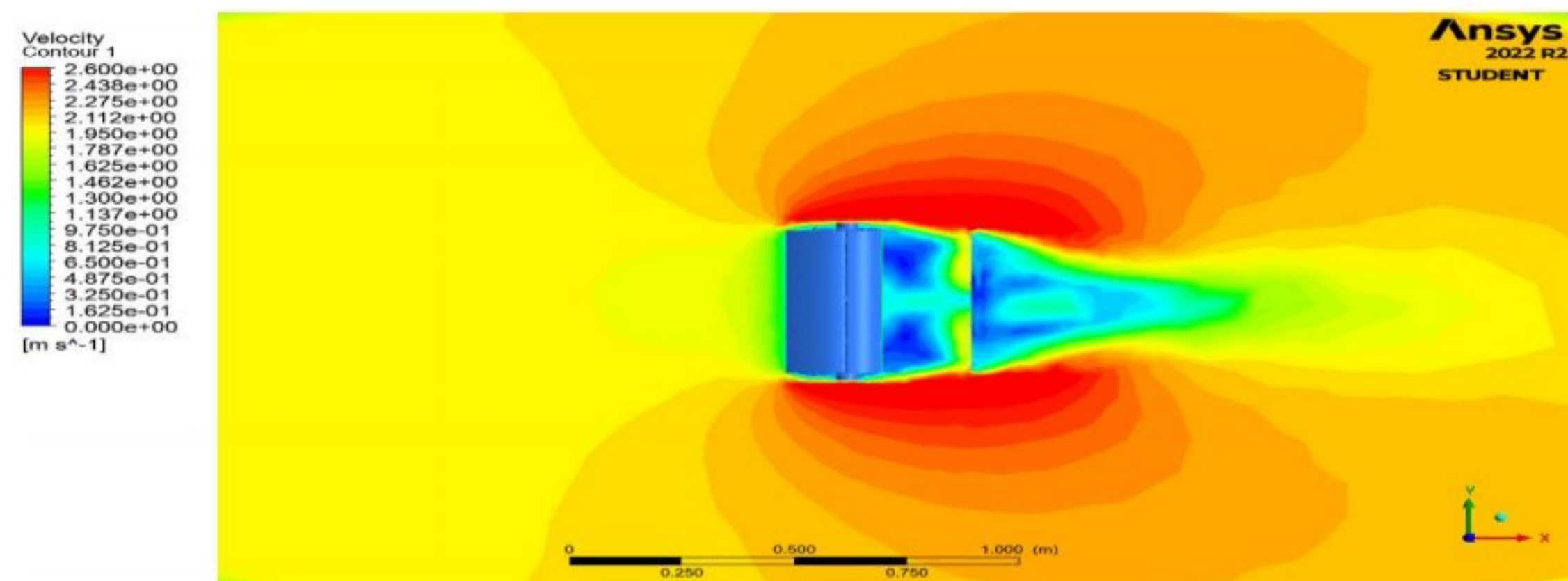
Kondisi ditengah turbin dengan tambahan *flange-diffuser* $\alpha = 30^\circ$ pada kecepatan 1,9 m/s.



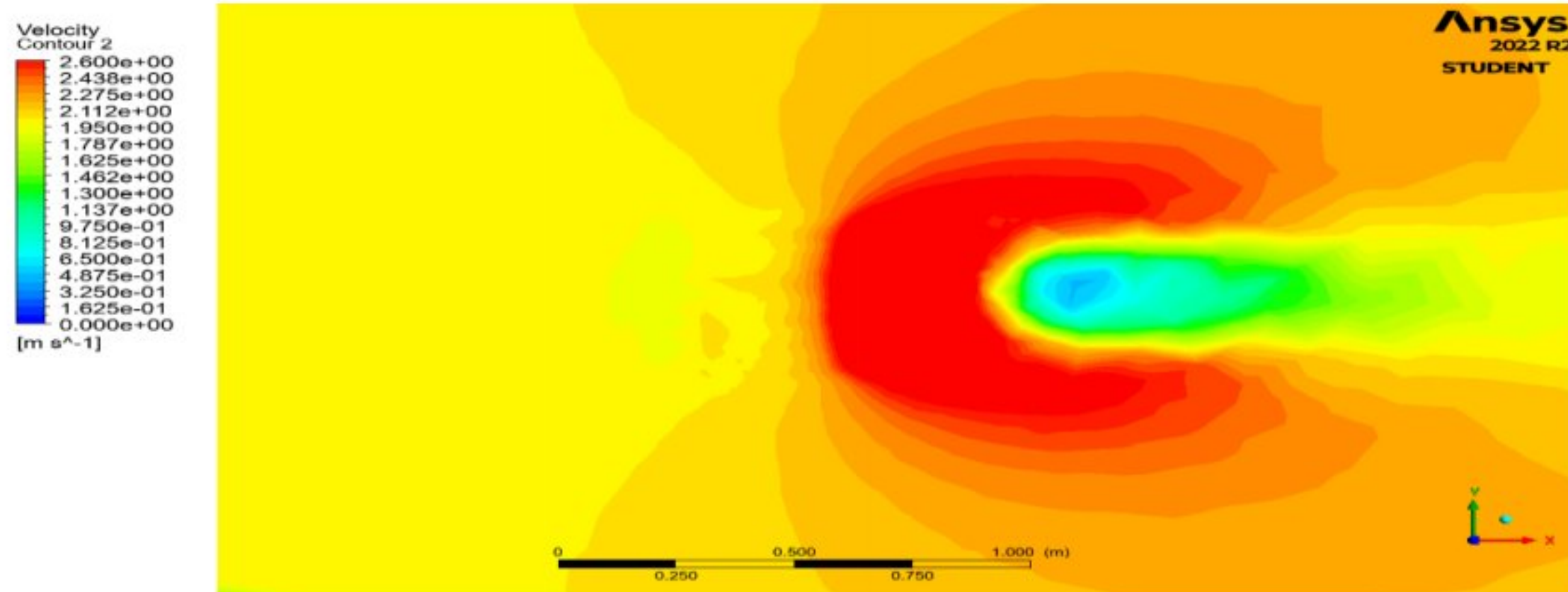
Kondisi diluar turbin dengan tambahan *flange-diffuser* $\alpha = 30^\circ$ pada kecepatan 1,9 m/s.



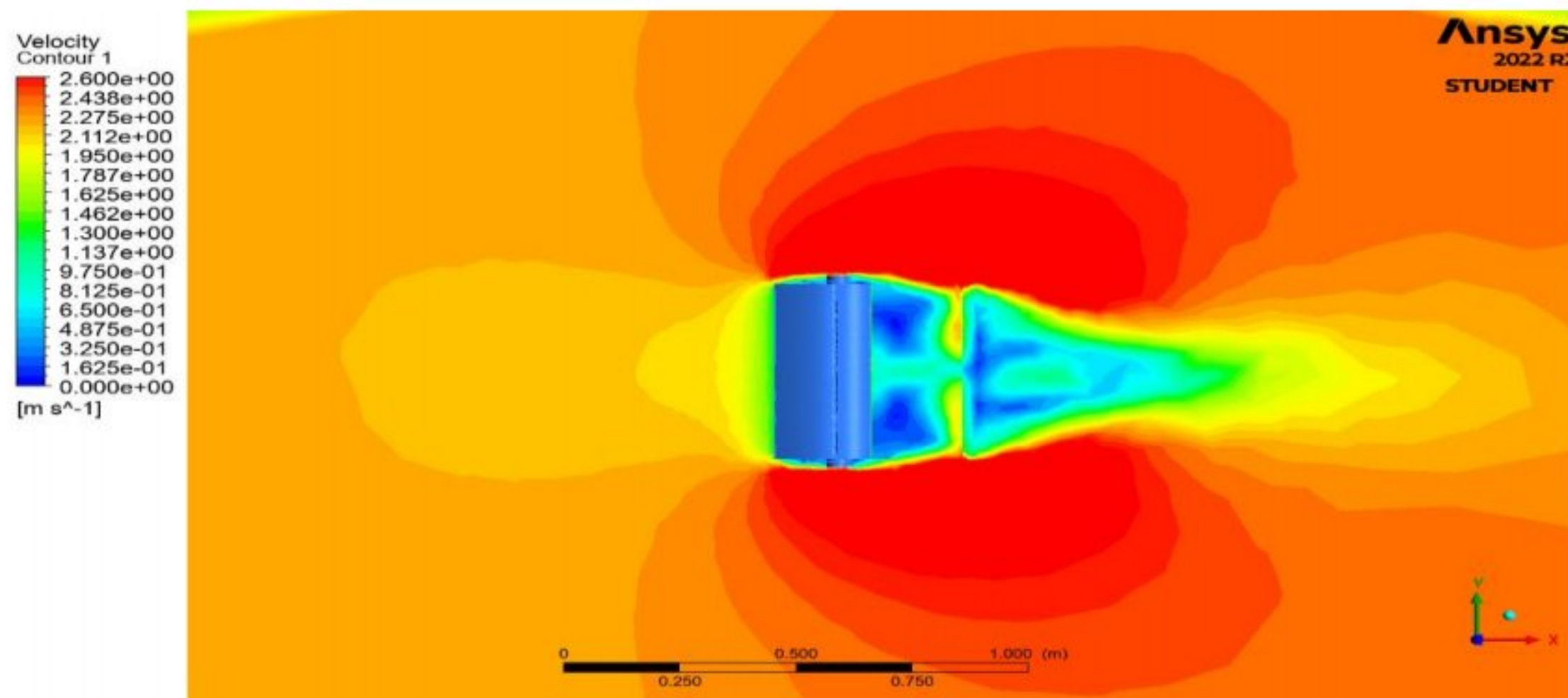
Kondisi ditengah turbin dengan tambahan *flange-diffuser* $\alpha = 30^\circ$ pada kecepatan 2 m/s.



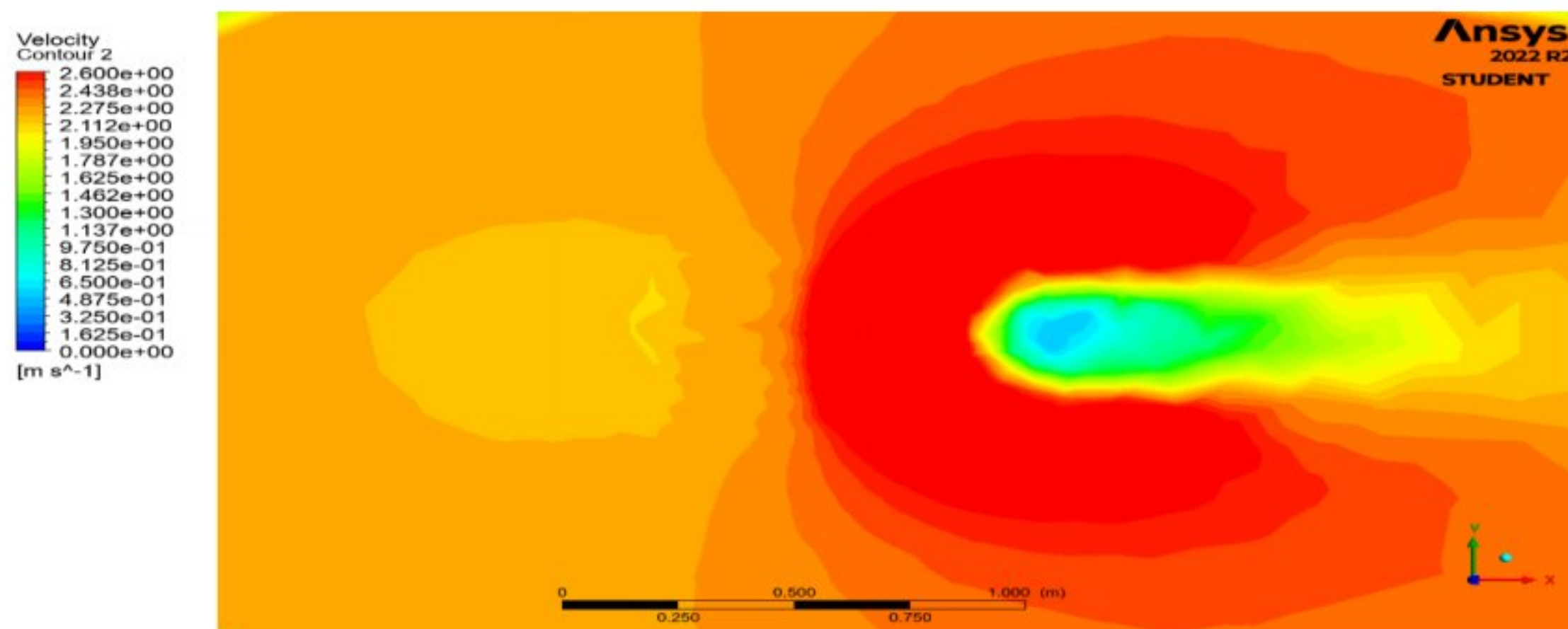
Kondisi diluar turbin dengan tambahan *flange-diffuser* $\alpha = 30^\circ$ pada kecepatan 2 m/s.



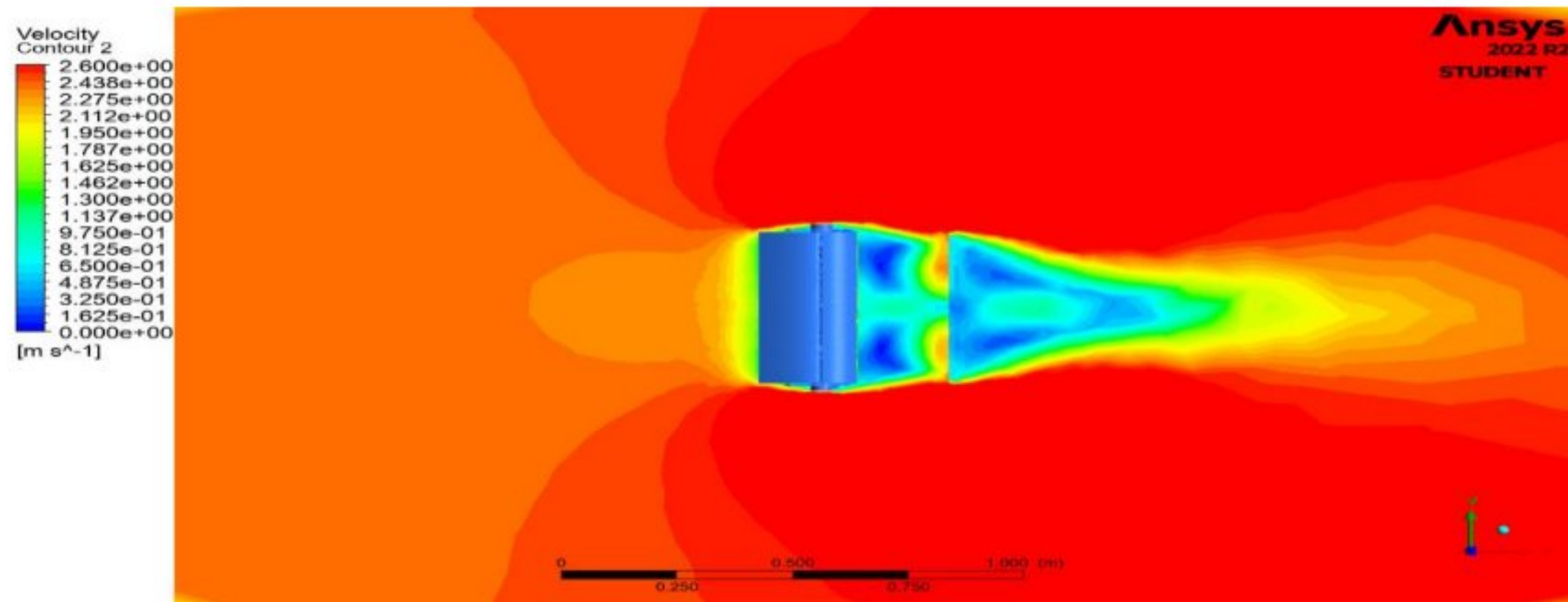
Kondisi ditengah turbin dengan tambahan *flange-diffuser* $\alpha = 30^\circ$ pada kecepatan 2,2 m/s.



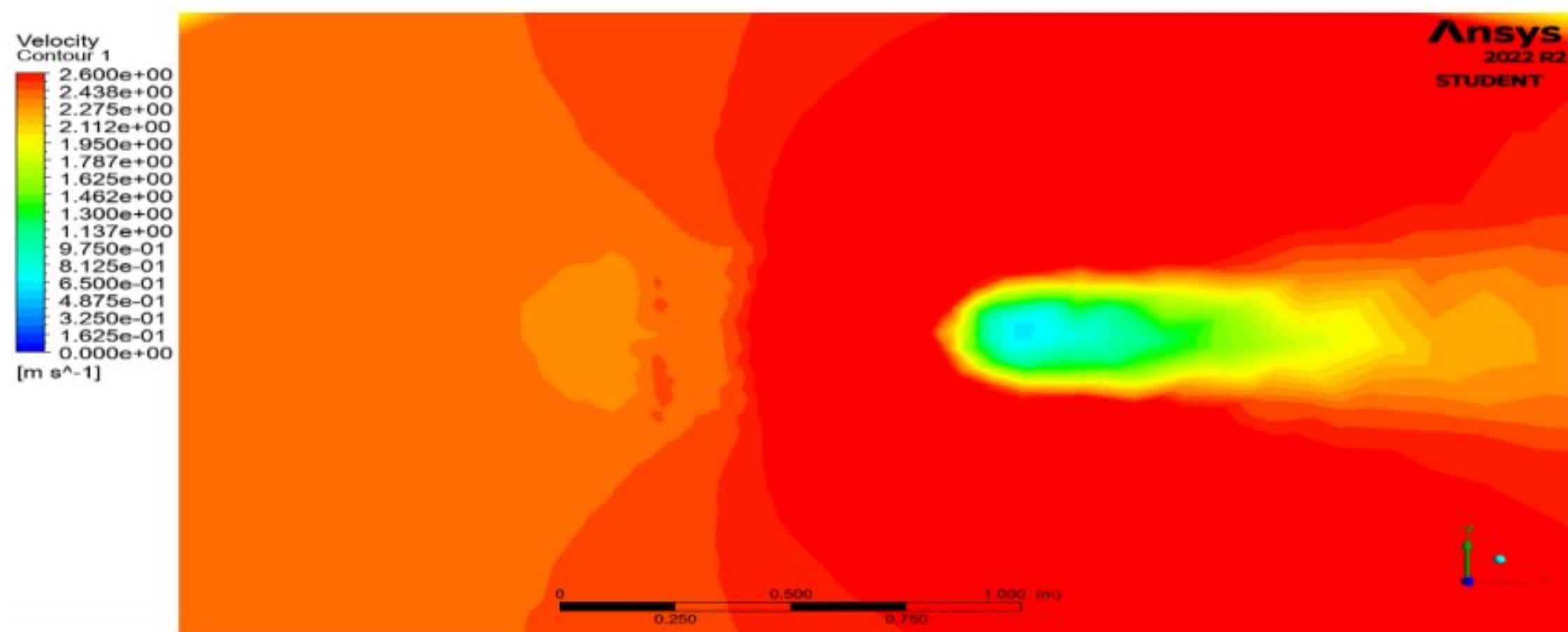
Kondisi diluar turbin dengan tambahan *flange-diffuser* $\alpha = 30^\circ$ pada kecepatan 2,2 m/s.



Kondisi ditengah turbin dengan tambahan *flange-diffuser* $\alpha = 30^\circ$ pada kecepatan 2,4 m/s.



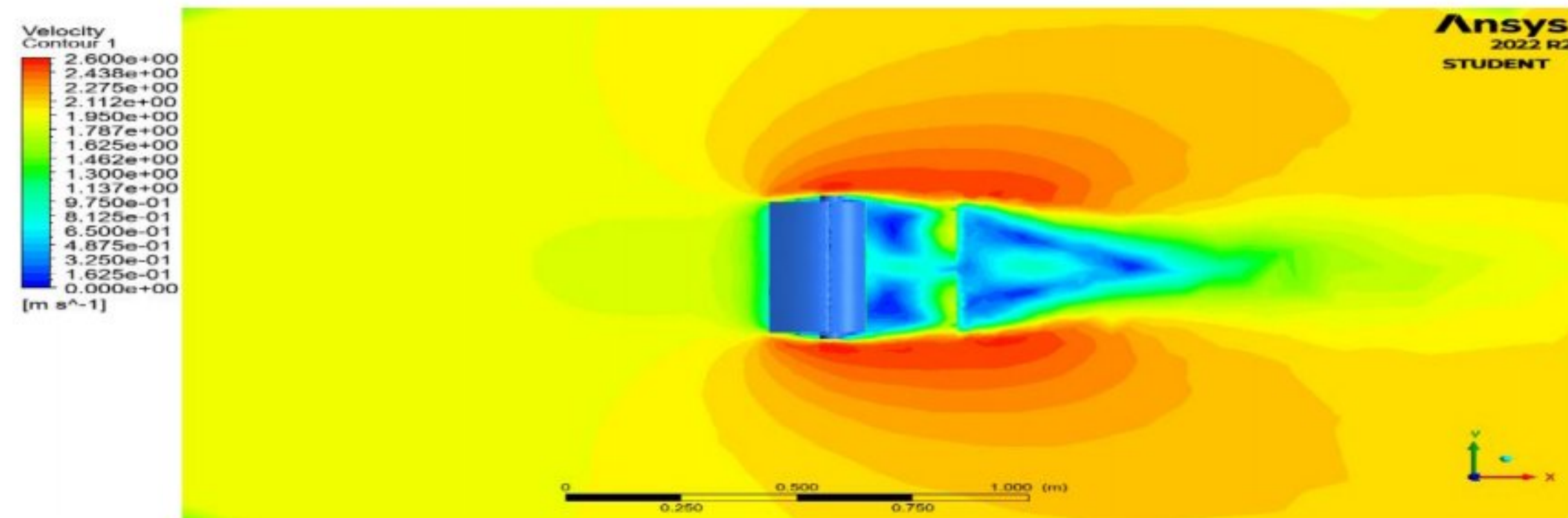
Kondisi diluar turbin dengan tambahan *flange-diffuser* $\alpha = 30^\circ$ pada kecepatan 2,4 m/s.



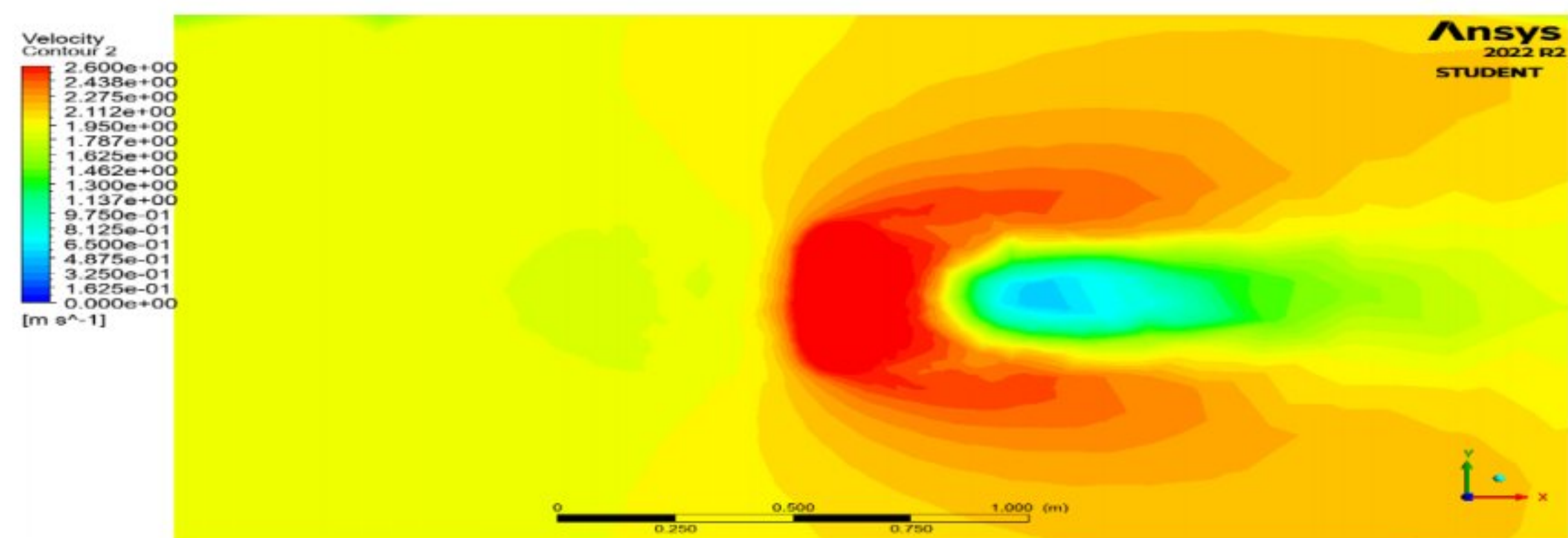
Lampiran 7

Hasil Kontur Simulasi Tubin Dengan Tambahan Flange-Diffuser $\alpha = 45^\circ$

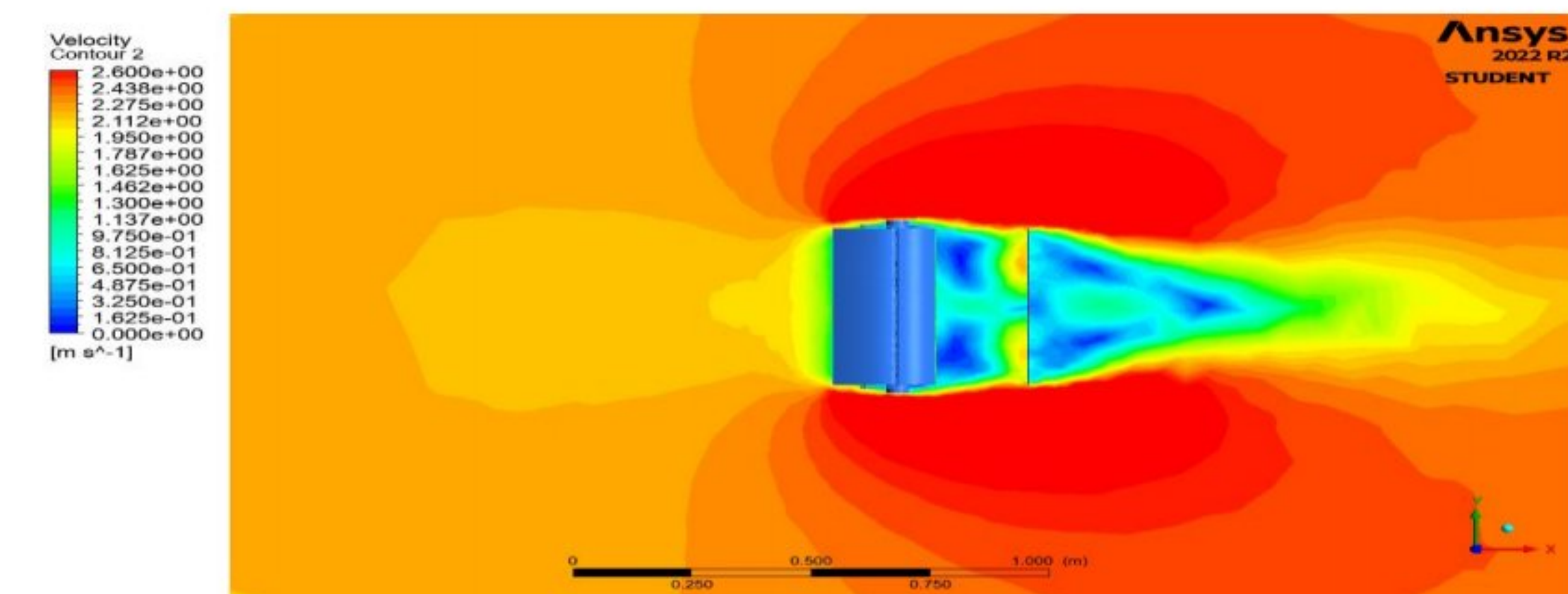
Kondisi ditengah turbin dengan tambahan *flange-diffuser* $\alpha = 45^\circ$ pada kecepatan 1,9 m/s.



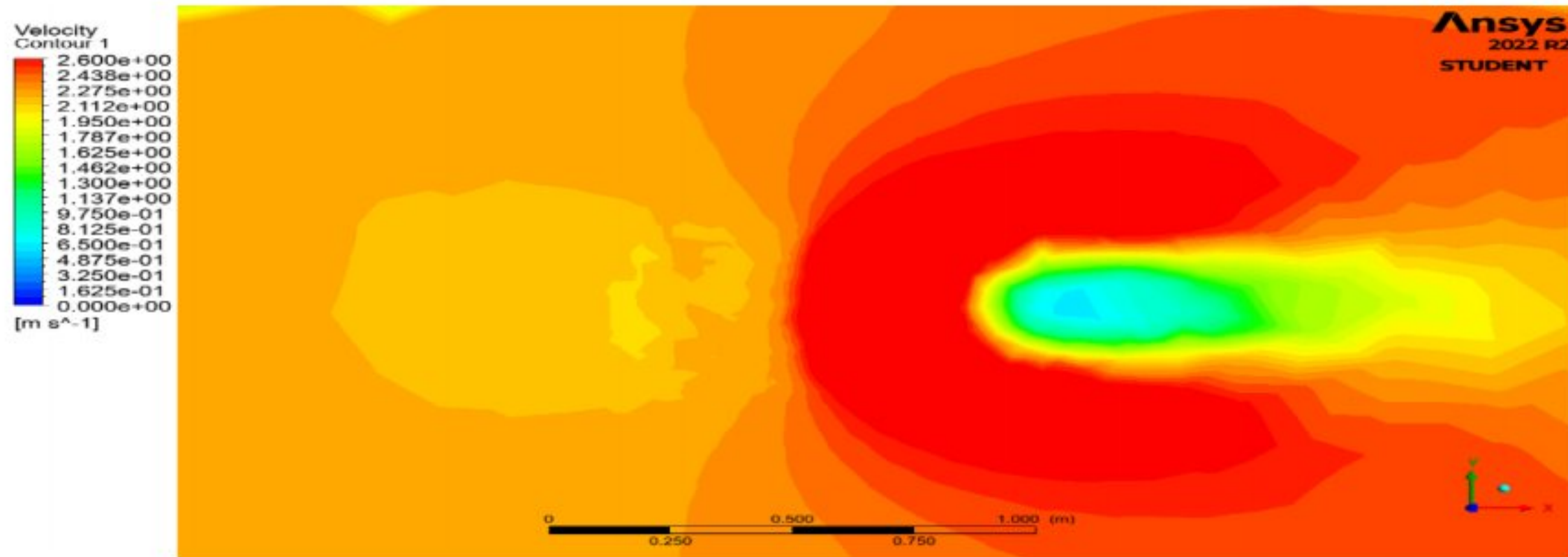
Kondisi diluar turbin dengan tambahan *flange-diffuser* $\alpha = 45^\circ$ pada kecepatan 1,9 m/s.



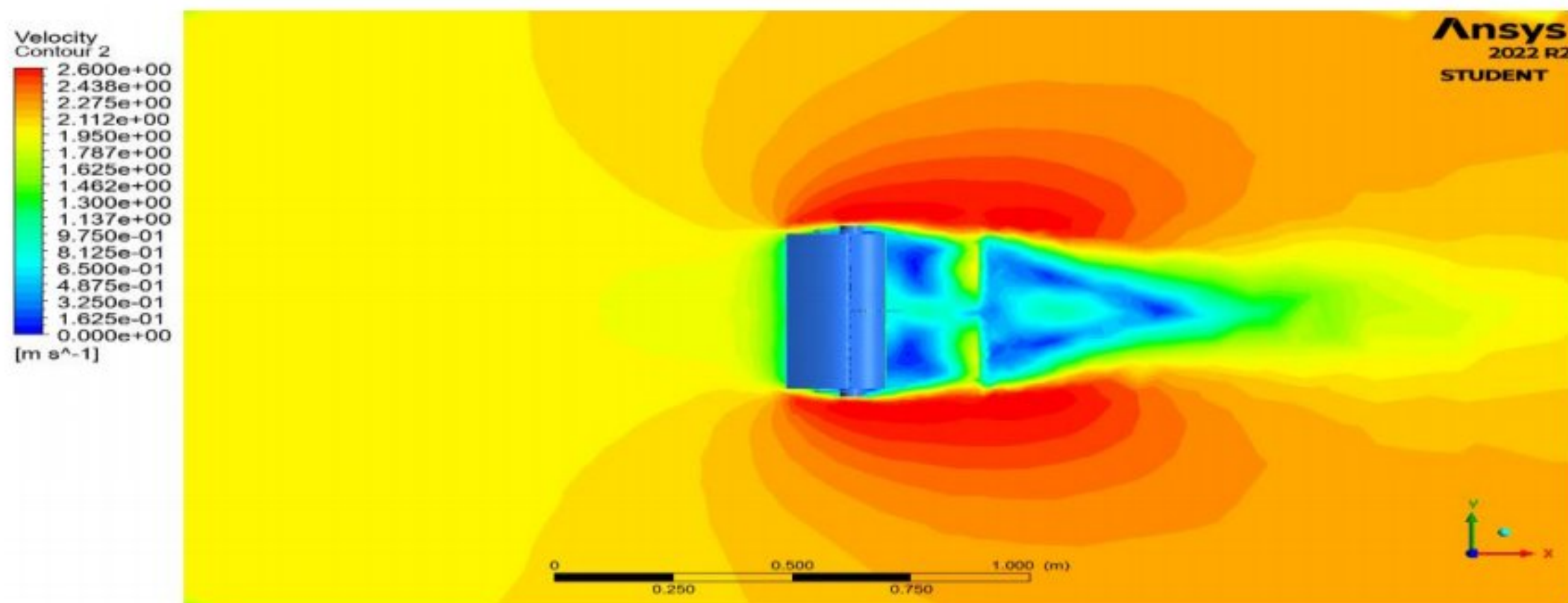
Kondisi ditengah turbin dengan tambahan *flange-diffuser* $\alpha = 45^\circ$ pada kecepatan 2 m/s.



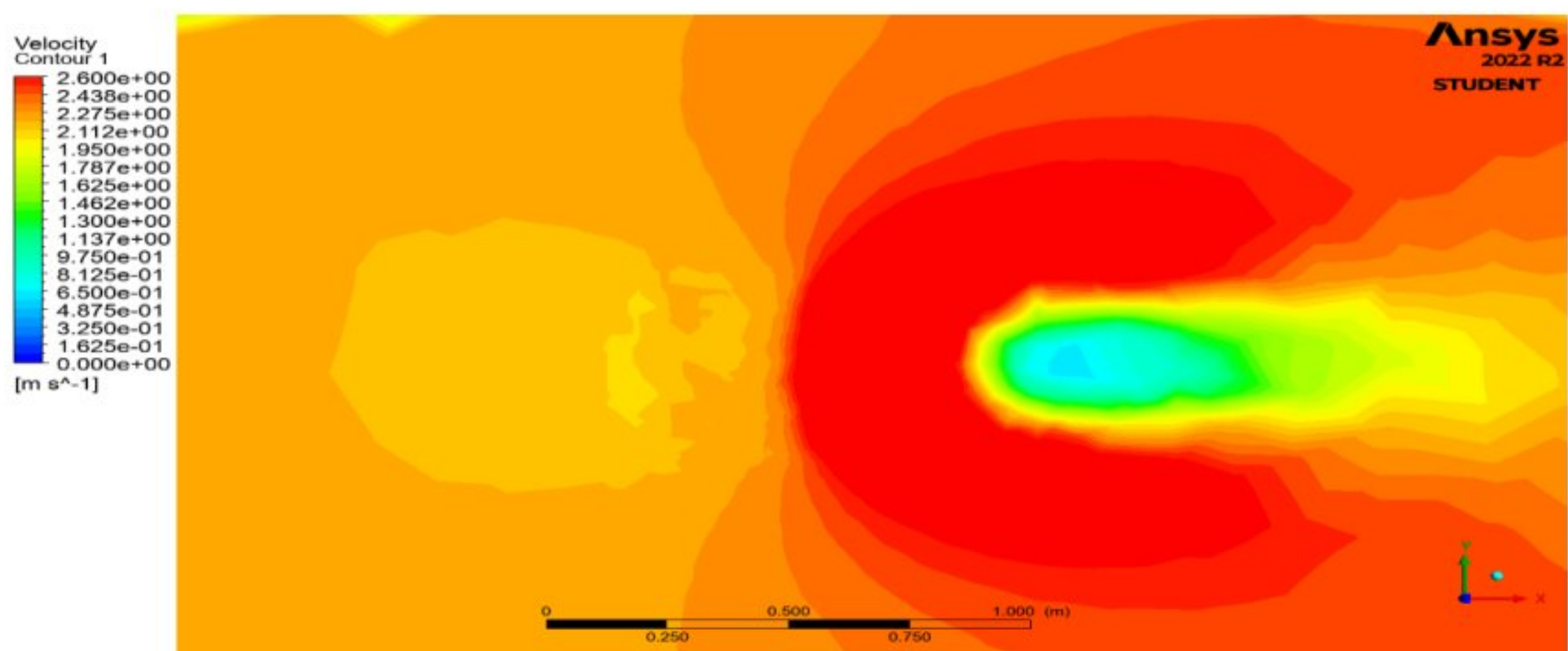
Kondisi diluar turbin dengan tambahan *flange-diffuser* $\alpha = 45^\circ$ pada kecepatan 2 m/s.



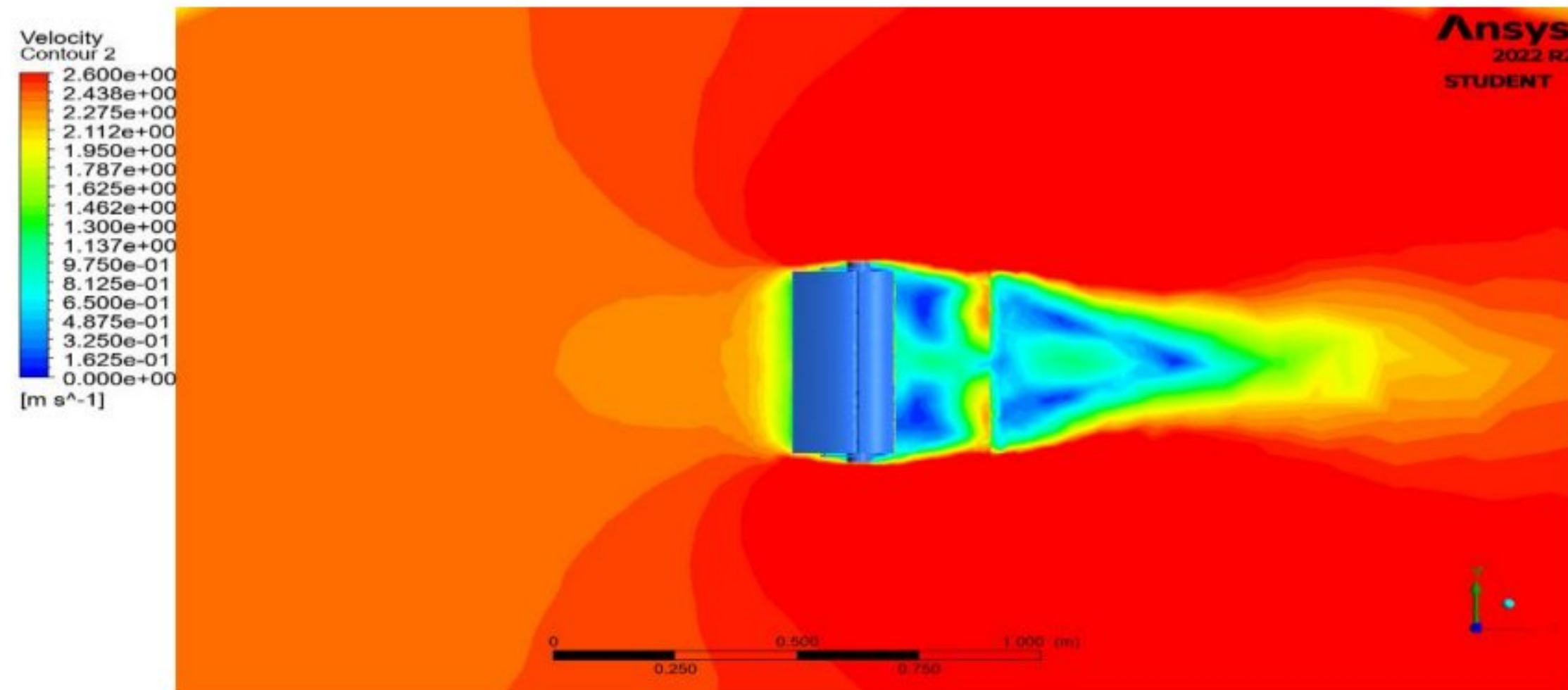
Kondisi ditengah turbin dengan tambahan *flange-diffuser* $\alpha = 45^\circ$ pada kecepatan 2,2 m/s.



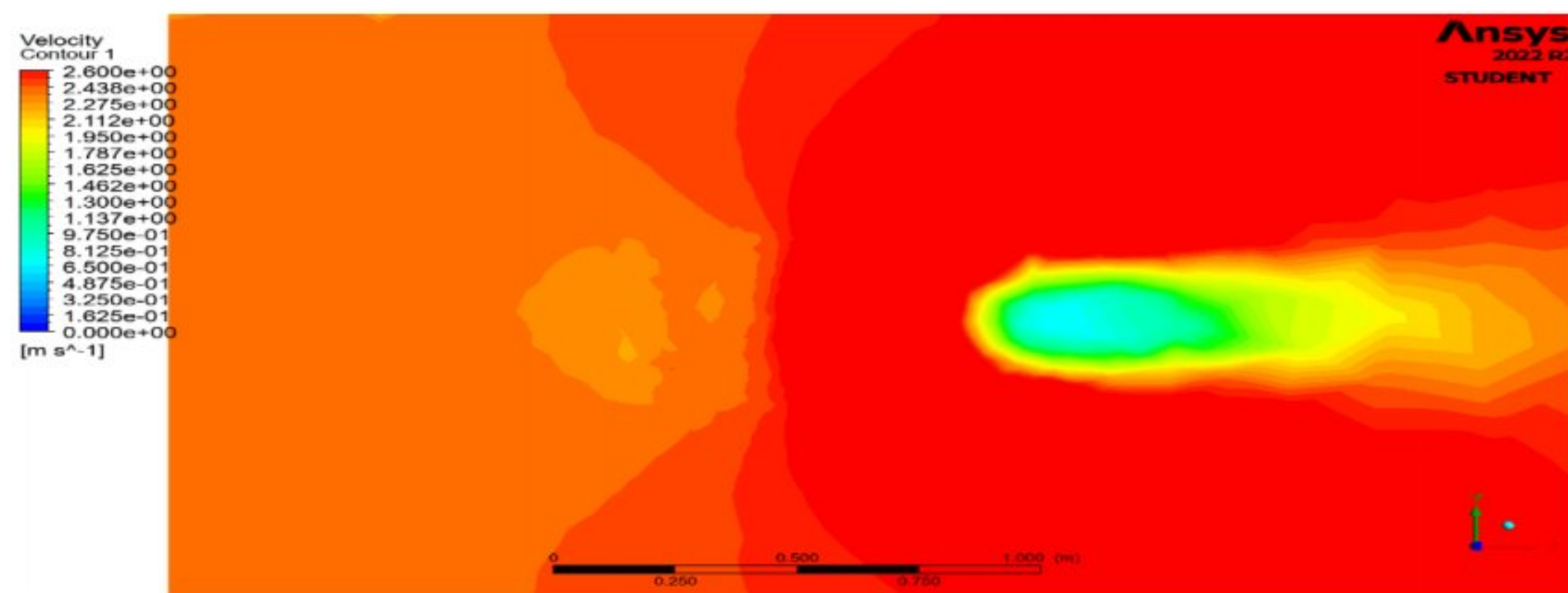
Kondisi diluar turbin dengan tambahan *flange-diffuser* $\alpha = 45^\circ$ pada kecepatan 2,2 m/s.



Kondisi ditengah turbin dengan tambahan *flange-diffuser* $\alpha = 45^\circ$ pada kecepatan 2,4 m/s.



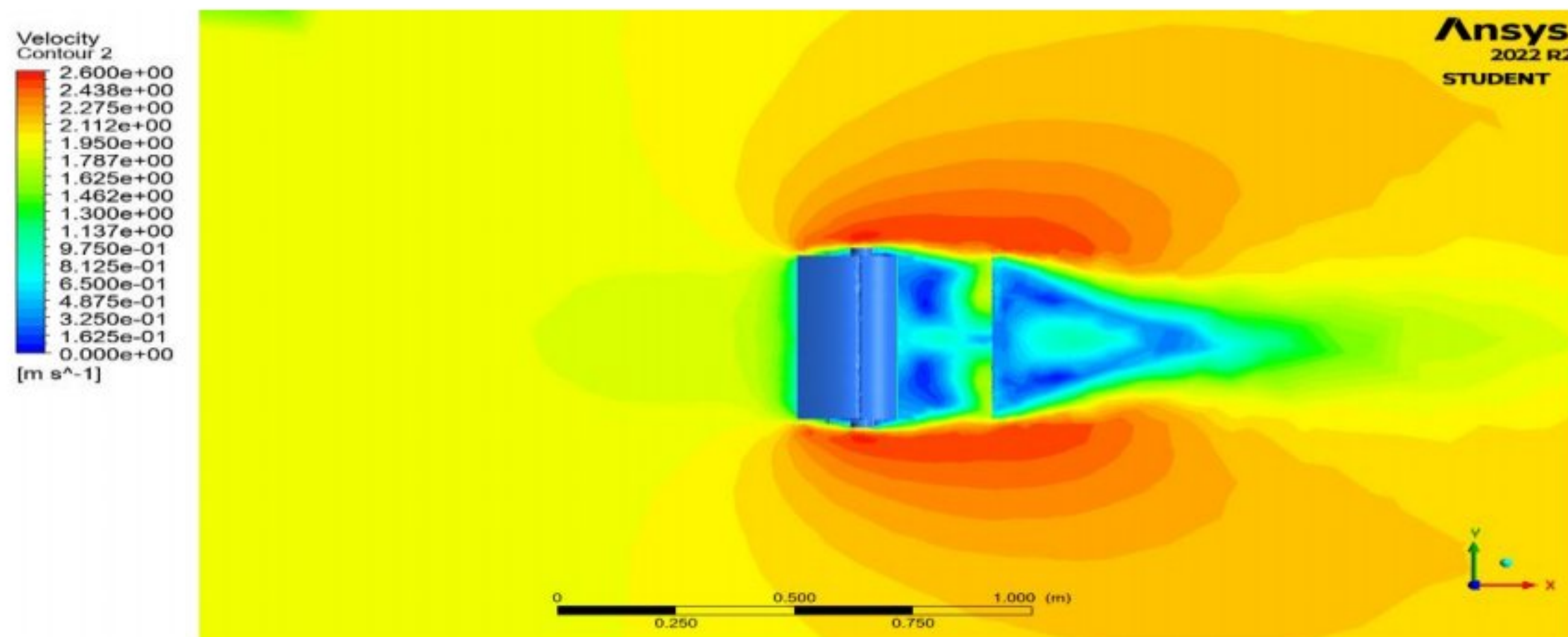
Kondisi diluar turbin dengan tambahan *flange-diffuser* $\alpha = 45^\circ$ pada kecepatan 2,4 m/s.



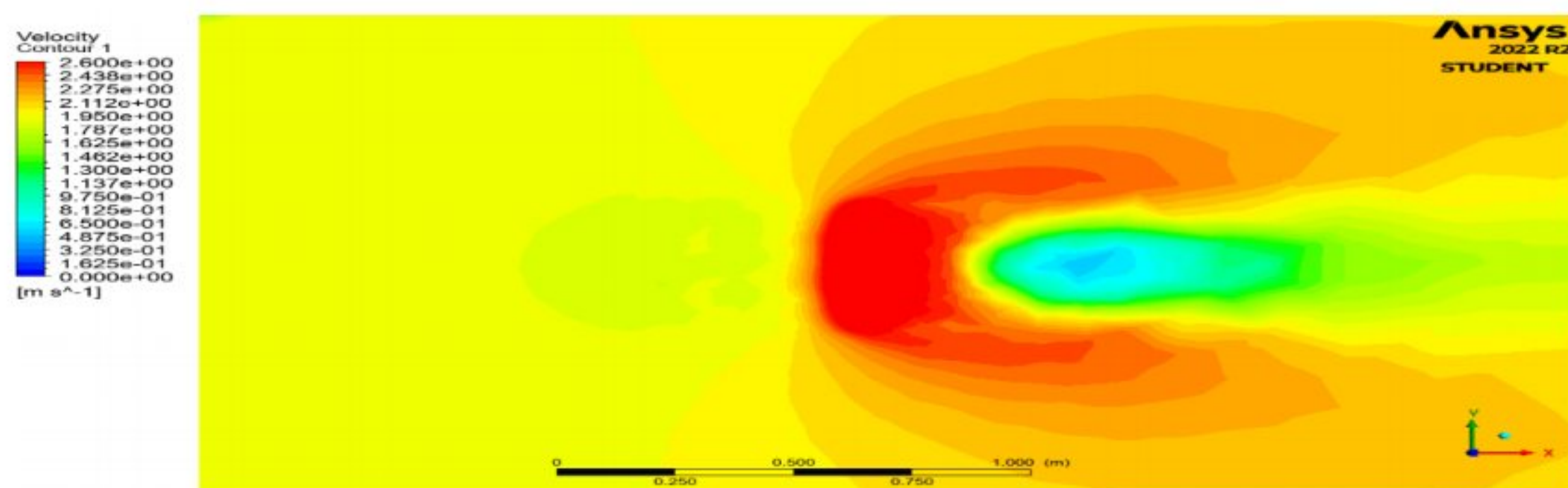
Lampiran 8

Hasil Kontur Simulasi Tubin Dengan Tambahannya *Flange-Diffuser* $\alpha = 60^\circ$

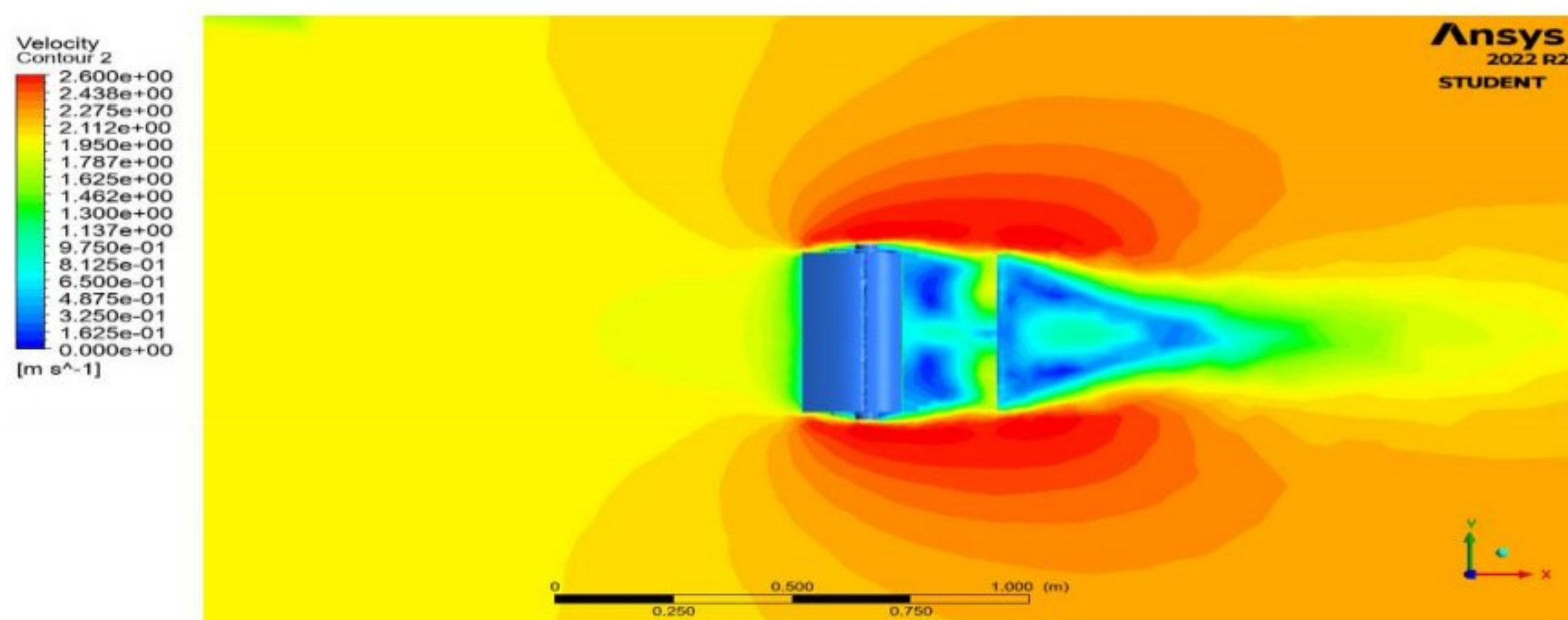
Kondisi ditengah turbin dengan tambahan *flange-diffuser* $\alpha = 60^\circ$ pada kecepatan 1,9 m/s.



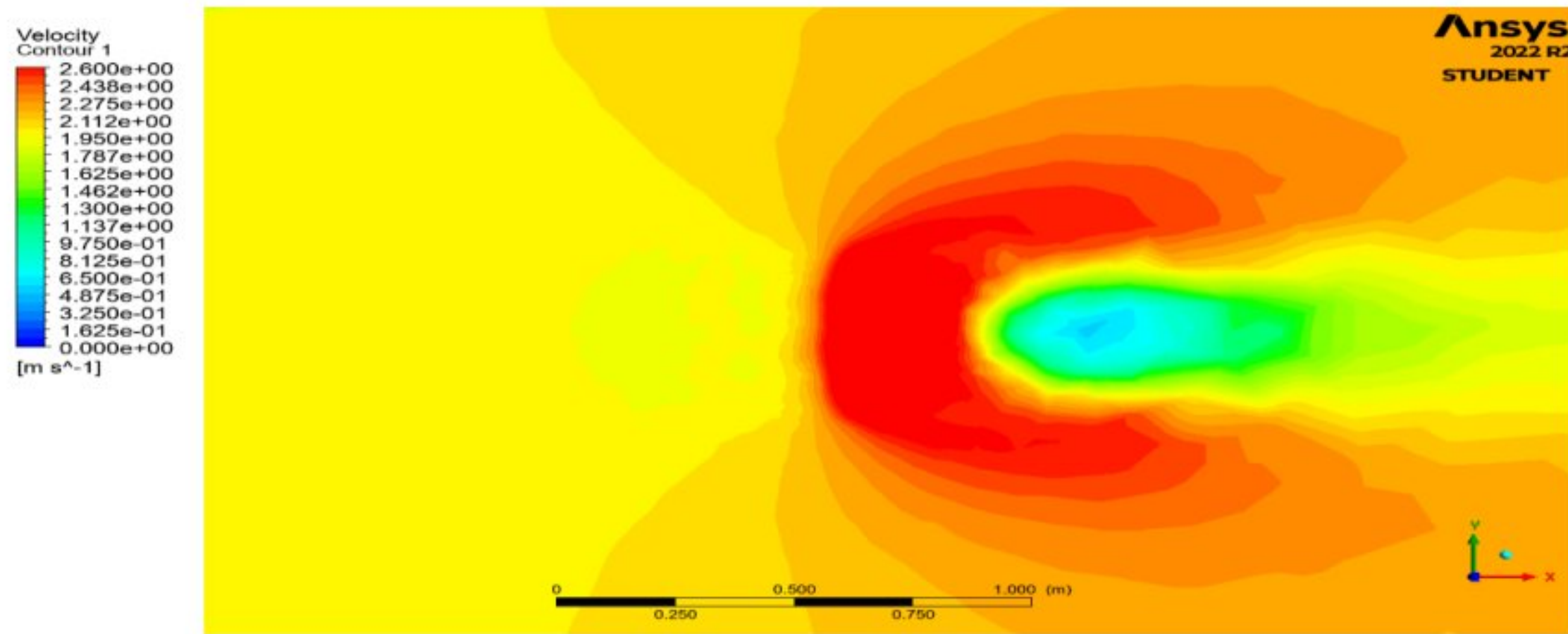
Kondisi diluar turbin dengan tambahan *flange-diffuser* $\alpha = 60^\circ$ pada kecepatan 1,9 m/s.



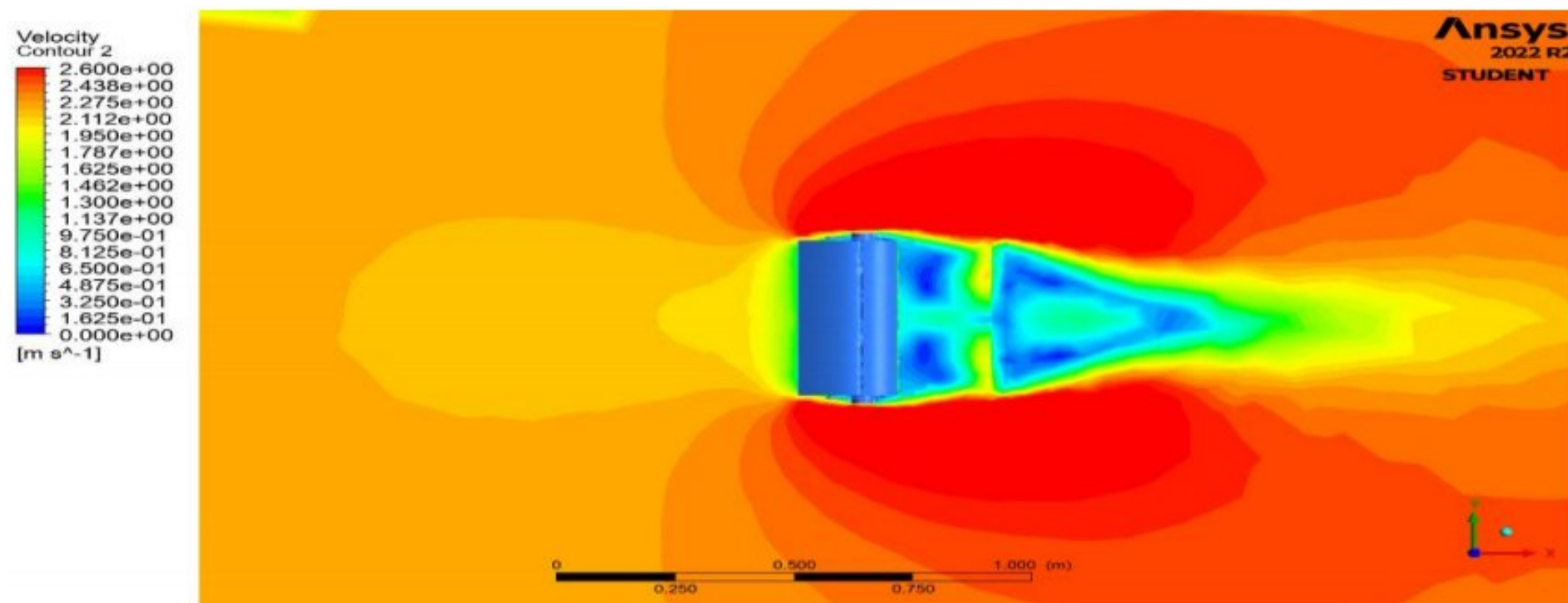
Kondisi ditengah turbin dengan tambahan *flange-diffuser* $\alpha = 60^\circ$ pada kecepatan 2 m/s.



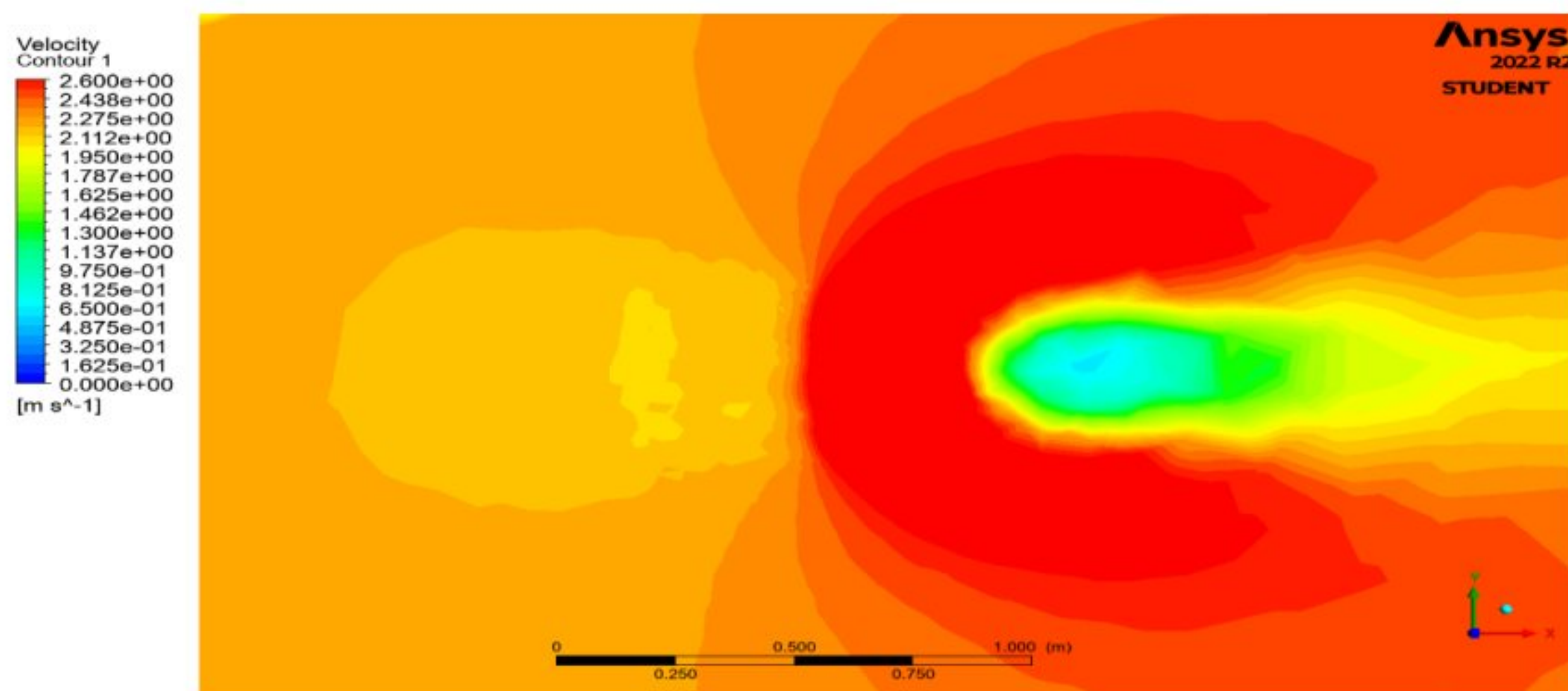
Kondisi diluar turbin dengan tambahan *flange-diffuser* $\alpha = 60^\circ$ pada kecepatan 2 m/s.



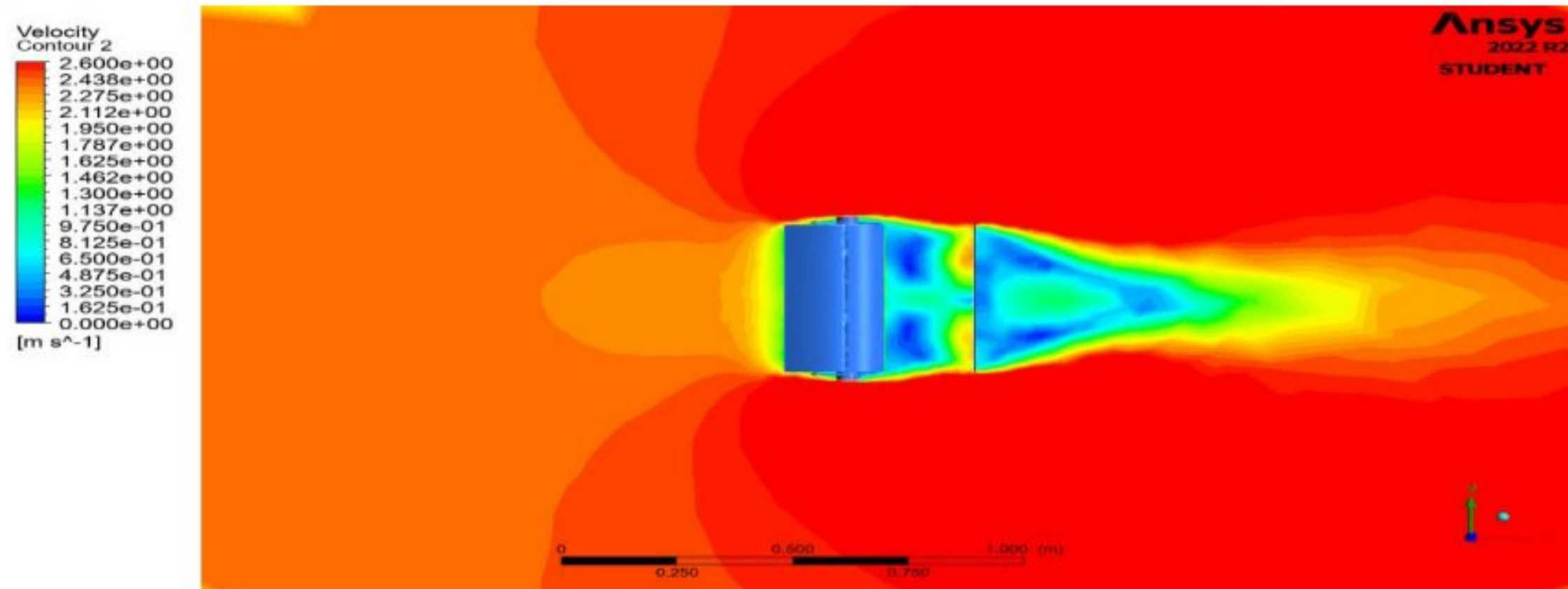
Kondisi ditengah turbin dengan tambahan *flange-diffuser* $\alpha = 60^\circ$ pada kecepatan 2,2 m/s.



Kondisi diluar turbin dengan tambahan *flange-diffuser* $\alpha = 60^\circ$ pada kecepatan 2,2 m/s.



Kondisi ditengah turbin dengan tambahan *flange-diffuser* $\alpha = 60^\circ$ pada kecepatan 2,4 m/s.



Kondisi diluar turbin dengan tambahan *flange-diffuser* $\alpha = 60^\circ$ pada kecepatan 2,4 m/s.

