



ANALISIS PERUBAHAN KARAKTERISTIK ALIRAN FLUIDA SEKITAR SPAR-3VP TERHADAP VARIASI KECEPATAN ALIRAN DI KONDISI EKSTRIM

Galy Rakaziwi dan Fuad Mahfud Assidiq
Departemen Teknik Kelautan, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin, Indonesia
e-mail: rakaziwigaly@gmail.com

Abstrak

Penelitian ini membahas mengenai SPAR *offshore wind turbine*, sebuah turbin pondasi terapung yang digunakan untuk pembangkitan listrik tenaga angin di laut dalam. SPAR di desain dengan silinder apung vertikal berdiameter besar yang diberi pemberat di ujung bawahnya, menciptakan struktur yang kurang responsif terhadap angin, gelombang, dan arus. Pondasi SPAR memiliki keunggulan di perairan dalam karena pusat massanya yang rendah, stabilisasi pemberat yang sederhana, dan stabilitas yang tinggi. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mendapatkan pemahaman yang lebih mendalam mengenai aliran fluida yang terjadi di sekitar SPAR, yang berdampak pada kinerja dan stabilitas turbin angin lepas pantai. Penelitian ini akan berfokus pada analisis pemodelan numerik berbasis CFD (*Computational Fluid Dynamics*) dengan bantuan software analisis 3D yaitu ANSYS dengan pertimbangan beberapa variasi kecepatan aliran fluida untuk mengidentifikasi tekanan, kecepatan, dan perubahan aliran fluida sekitar SPAR. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat membantu dalam mengurangi risiko kerusakan pondasi SPAR, meningkatkan stabilitas turbin, dan secara keseluruhan meningkatkan efisiensi pembangkitan energi listrik tenaga angin lepas pantai. Penelitian ini memiliki implikasi positif dalam pengurangan dampak lingkungan dari pembangkitan energi dibandingkan dengan sumber bahan bakar fosil tradisional.

Kata Kunci : CFD, Fluida, Offshore wind turbine, SPAR, Vertikal plate

Abstract

This research discusses the SPAR offshore wind turbine, a floating foundation turbine used for wind power generation in the deep sea. SPARs are designed with a large-diameter vertical floating cylinder weighted at its lower end, creating a structure that is less responsive to wind, waves, and currents. SPAR foundations have advantages in deep water due to their low center of mass, simple ballast stabilization, and high stability. The purpose of this research is to gain a deeper understanding of the fluid flow occurring around the SPAR, which impacts the performance and stability of the offshore wind turbine. This research will focus on CFD (computational fluid dynamics)-based numerical modeling analysis with the help of 3D analysis software ANSYS by considering several variations of fluid flow velocity to identify the pressure, velocity, and changes in fluid flow around the SPAR. The results of this study are expected to help in reducing the risk of SPAR foundation damage, improving turbine stability, and overall increasing the efficiency of offshore wind energy generation. This research has positive implications for reducing the environmental impact of energy generation compared to traditional fossil fuel sources.

Keyword : CFD, Fluid, Offshore wind turbine, SPAR, Vertikal plate

1. PENDAHULUAN

SPAR *Offshore Wind Turbine* adalah jenis turbin pondasi terapung yang digunakan untuk membangkitkan listrik tenaga angin. Desain SPAR ini terdiri dari silinder apung vertikal berdiameter besar yang diberi



copyright is published under [Lisensi Creative Commons Atribusi 4.0 Internasional](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

pemberat di ujung bawah dengan *draft* yang dalam, membuat struktur kurang responsif terhadap angin, gelombang, dan arus. *Catenary* atau tali tambat yang tersebar dengan jangkar tarik atau hisap memastikan SPAR tetap di tempatnya. Silinder SPAR mengapung secara vertikal di dalam air dan biasanya memiliki tangki pemberat di beberapa bagian volumenya. Mereka dapat dibuat dari baja, beton, atau kombinasi keduanya. Pondasi SPAR memiliki luas bidang yang kecil dan massa silinder yang besar di bawah permukaan air, yang membuatnya cocok untuk aplikasi di laut dalam. Pondasi SPAR memiliki keunggulan di perairan dalam karena pusat massanya diturunkan, stabilisasi pemberatnya sederhana, dan memiliki stabilitas yang tinggi dengan *draft* yang besar. Turbin angin lepas pantai adalah jenis turbin angin yang dirancang dengan stabilitas yang tinggi dikarenakan alat ini akan ditempatkan di laut dalam yang tidak memungkinkan untuk pondasi *fixed-bottom*. Hal inilah yang menjadi salah satu keunggulan dari desain SPAR karena turbin angin lepas pantai memiliki potensi untuk mengurangi dampak lingkungan dari pembangkitan energi dibandingkan dengan sumber bahan bakar fosil tradisional. Namun, desain SPAR untuk turbin angin lepas pantai juga memiliki beberapa kelemahan salah satunya biaya konstruksi dan pemeliharaan yang mahal dikarenakan desainnya yang cukup kompleks sehingga membutuhkan peralatan dan keahlian khusus dalam pengerjaannya.

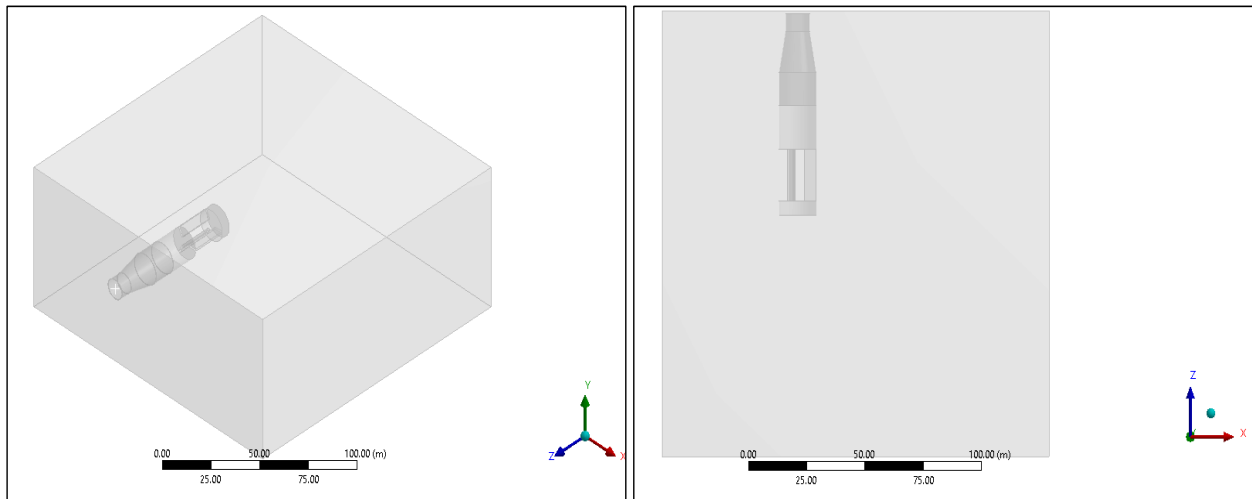
Pelampung SPAR pada dasarnya merupakan salah satu alternatif mendasar untuk substruktur pelampung turbin angin. Ketika lokasinya relatif berada di antara pusat gravitasi dan pusat daya apung, stabilitas pelampung SPAR menunjukkan sifat yang unik. Gaya apung yang dihasilkan oleh anjungan SPAR menopang seluruh turbin angin lepas pantai, dan tegangan tali tambat mempertahankan posisi stasiun substruktur terbang tipe SPAR [1]. Beberapa modifikasi pada substruktur yang ada seperti *stepped-SPAR*, *counterweight disc*, dan *heave plate* ditawarkan sebagai alternatif. Pada awalnya, model *stepped-SPAR* menunjukkan banyak kelebihan dibandingkan dengan SPAR dasar, termasuk kinerja hidrodinamika yang dapat diterima berdasarkan angin turbulen, penggunaan pola tambat 4 x 1 sebagai peredam *pitch* aktif, dan kemungkinan untuk diimplementasikan di perairan moderat untuk potensi penghematan [2]. Struktur SPAR pada turbin angin lepas pantai dapat menciptakan medan angin dan aliran turbulen yang kompleks di sekitarnya. Ini dapat mempengaruhi efisiensi turbin dan menghasilkan tegangan dinamis tambahan pada struktur. SPAR biasanya dirancang untuk mengatasi beban gelombang yang tinggi. Gelombang besar dapat menyebabkan getaran dan beban dinamis yang mempengaruhi kinerja dan daya tahan struktur. Oleh karena itu, penelitian ini akan mengidentifikasi aliran fluida sekitar SPAR untuk mengurangi resiko kerusakan pondasi SPAR dan untuk meningkatkan stabilitas turbin. Dalam penelitian ini akan dilakukan analisis pemodelan 3D menggunakan software ANSYS dengan beberapa variasi kecepatan (v) untuk mengetahui tekanan, kecepatan, dan perubahan aliran fluida sekitar SPAR.

2. METODE

Analisis pemodelan akan menggunakan software analisis 3D (ANSYS) dengan 4 variasi kecepatan aliran fluida yaitu 0.661 m/s, 6.114 m/s, 61.144, dan 611.438 m/s. Metode penelitian berupa pemodelan numerik berbasis CFD (*Computational Fluid Dynamics*). Penelitian ini akan berfokus pada investigasi aliran fluida sekitar SPAR untuk mengetahui kecepatan dan tekanan fluida disekitarnya. Jenis SPAR yang akan dimodelkan adalah SPAR-3VP yaitu SPAR yang memiliki 3 pelat peredam. Untuk mensimulasikan kondisi aliran sekitar SPAR-3VP, penentuan domain dan kondisi batas yang tepat harus ditentukan terlebih dahulu. Hal ini mencakup penentuan kecepatan masuk, tekanan, dan parameter lain yang relevan di sekitar SPAR. Berikut domain yang digunakan dalam pemodelan:

Tabel 1. Nilai domain model dalam satuan meter

	X	Y	Z
+	100	30	1
-	50	30	90



Gambar 1. Domain model

Dalam penelitian ini, jenis turbulensi yang digunakan adalah IDDES-SST (*Improved Delayed Detached Eddy Simulation with Shear-Stress Transport*) k omega. Pilihan jenis turbulensi ini akan memungkinkan pemodelan yang lebih akurat dari aliran turbulen di sekitar SPAR-3VP. Adapun data model konstan nya yaitu; $C_{des} (inner) = 0.78$, $C_{des} (outer) = 0.61$, $C_{d1} = 20$, $\alpha_{inf} = 1$, $\alpha_{inf} = 0.52$, $\beta_{inf} = 0.09$, $\alpha_1 = 0.31$, $\beta_{i} (inner) = 0.075$. Material atau jenis fluida yang digunakan adalah *water-liquid*. Untuk bagian *velocity inlet*, *velocity magnitude* diatur berdasarkan variasi kecepatan yang telah ditentukan sebelumnya. *Turbulent intensity* sebesar 5% dan *turbulen viscosity ratio* = 10. *Solution initialization* menggunakan metode *Hybrid Initialization*. Pada bagian “*run calculation*” akan diatur sebagai berikut:

Tabel 2. Data setting run calculation

Time Stepping Method	Fixed
Time Step Size	1
Number of Time Step	0
Option	Data Sampling for Time Statistics
Sampling Interval	1
Max Iteration/Time Step	100
Reporting Interval	1
Profile Update	1

Setelah program diatur berdasarkan data diatas, maka dapat dilakukan *run calculation* dengan menekan bagian “*calculate*”. Selanjutnya, hasil penelitian dapat diatur bagian “*result*” yang akan disajikan dalam bentuk gambar yang untuk menampilkan perubahan kecepatan, tekanan, dan bentuk aliran fluida sekitar SPAR berdasarkan variasi kecepatan yang telah dimodelkan. Setelah hasil pemodelan diperoleh, selanjutnya akan dilakukan analisis hasil pemodelan untuk mengetahui perubahan yang terjadi pada aliran fluida sekitar SPAR berdsarkan variasi kecepatan yang telah diujikan dan untuk memberikan kesimpulan akhir dari penelitian.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Pemodelan SPAR

Software CFD bertujuan untuk menyimulasikan proses fisik, dengan menangkap permasalahan fenomena fisik ke dalam persamaan numerik. Karena itu, tidak ada jaminan bahwa akan ada solusi ‘konvergen’ pada kondisi mapan (*steady state convergence*) untuk suatu masalah. Masalah simulasi CFD pada umumnya bersifat non-linier dan teknik penyelesaiannya menggunakan proses secara iteratif untuk mendapatkan solusi hingga ‘konvergensi’ tercapai [3].

Untuk melakukan analisis pemodelan numerik aliran fluida di sekitar SPAR turbin angin lepas pantai berbasis CFD, digunakan software ANSYS Fluent. Berikut langkah-langkah pemodelannya:



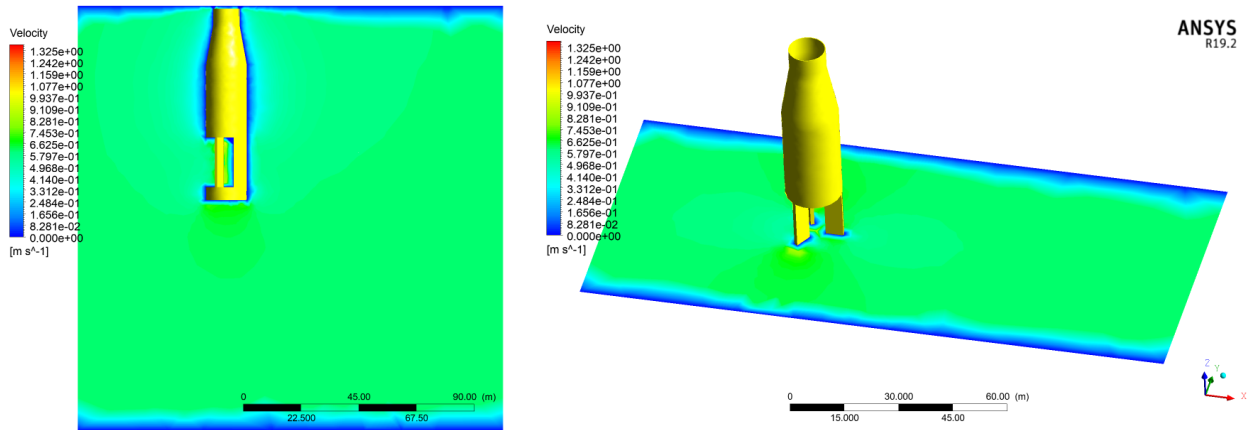
copyright is published under [Lisensi Creative Commons Atribusi 4.0 Internasional](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

1. Persiapan Data Geometri
 - Impor file model 3D turbin angin lepas pantai SPAR--3VP yang telah disiapkan sebelumnya menggunakan software CAD.
2. Pengaturan Grid (*Meshing*)
 - Menentukan jenis grid yang akan digunakan, seperti grid struktural atau unstruktural.
 - Generate grid yang sesuai dengan geometri dan jenis analisis yang diinginkan. Pastikan grid memiliki kualitas yang baik untuk menghindari kesalahan numerik.
3. Pengaturan Kondisi Batas (*Boundary Conditions*)
 - Kondisi batas dapat ditentukan pada bagian "*setup*". Pada bagian ini akan ditentukan kondisi batas pada model, seperti kecepatan aliran masuk, model turbulensi, dan *fluid density*.
4. Pengaturan Model Fisika
 - Model fisika disesuaikan dengan model yang akan disimulasi. Pada pemodelan ini akan digunakan model turbulensi IDDES SST k omega sesuai data pada bagian metode penelitian.
5. Pengaturan Solver (*Solver Setup*)
 - Solver yang digunakan adalah tipe *Pressure-Based* dan pada bagian *Velocity Formulation* disetel "Absolute".
 - Konfigurasi pengaturan *solver*, seperti jumlah iterasi, toleransi, dan lainnya.
6. *Solution Initialization*
 - Inisialisasi solusi dengan tebakan awal yang sesuai untuk variabel-variabel seperti kecepatan dan tekanan. Inisialisasi ini memungkinkan *solver* untuk memulai iterasi dari kondisi yang memadai. Untuk *initialization methods* dipilih "*Hybrid Initialitation*".
7. Simulasi (*Run Simulation*)
 - Menjalankan simulasi menggunakan pengaturan yang telah ditentukan sebelumnya. Mamastikan tidak ada kesalahan atau konvergensi yang buruk selama simulasi berjalan dengan memeriksa outputnya.
8. Analisis Hasil (*Post-processing*)
 - Setelah simulasi selesai, selanjutnya dilakukan analisis hasil simulasi. ANSYS Fluent memiliki berbagai alat untuk memvisualisasikan data hasil simulasi, seperti profil aliran, distribusi tekanan, distribusi suhu, dan sebagainya.
 - Hasil analisis akan digunakan untuk membuat kesimpulan dari penelitian.
9. Dokumentasi Hasil
 - Dokumentasi diperlukan untuk digunakan sebagai dokumentasi hasil dalam penyusunan laporan dan untuk memberikan kesimpulan dari simulasi yang dilakukan.

Analisis kecepatan dan tekanan fluida dalam pengembangan turbin angin lepas pantai sangat penting untuk memastikan keandalan operasi turbin, efisiensi energi yang dihasilkan, dan keselamatan struktur. Analisis ini juga membantu dalam memenuhi persyaratan perizinan dan peraturan lingkungan sebelum membangun dan mengoperasikan turbin tersebut serta membantu dalam mengidentifikasi beban angin dan gelombang yang akan dihadapi oleh turbin angin lepas pantai dan struktur SPAR. Dalam pengembangan turbin angin, simulasi numerik memainkan peran kunci dalam perancangan baling-baling dan penempatan turbin untuk maksimalkan produksi energi [4]. Interaksi antara aliran fluida (arus) dengan SPAR akan menyebabkan terbentuknya pola aliran yang berbeda-beda di belakang SPAR. Pola aliran tersebut mengikuti bentuk/geometri struktur yang dilewatinya [5].

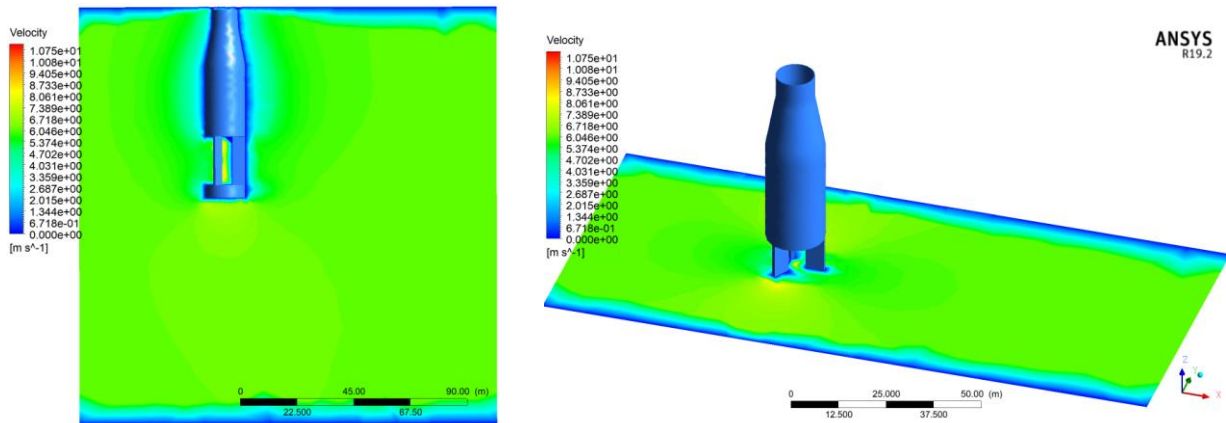
3.2 Kecepatan aliran sekitar SPAR

- $V1 = 0.661 \text{ m/s}$



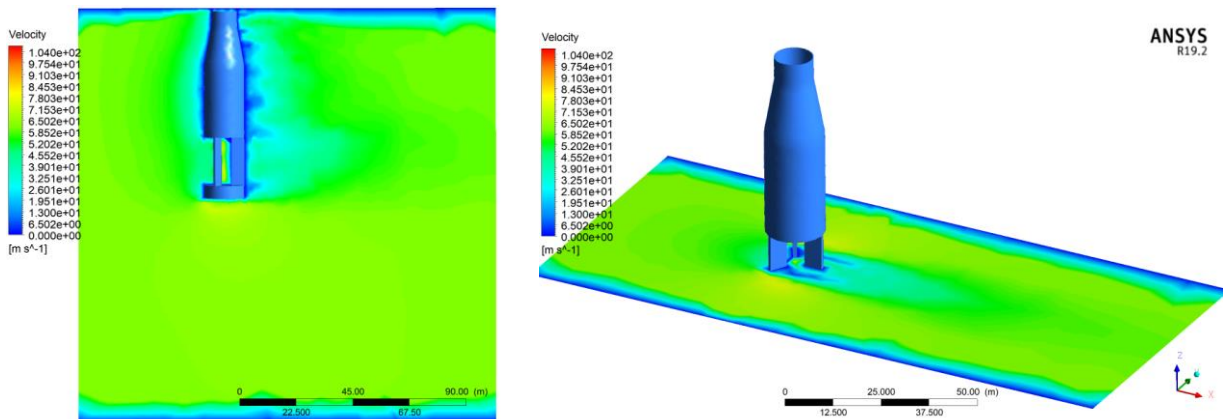
Gambar 2. Kecepatan aliran fluida sekitar SPAR pada kondisi V1 0.661 m/s.

- $V2 = 6.114 \text{ m/s}$



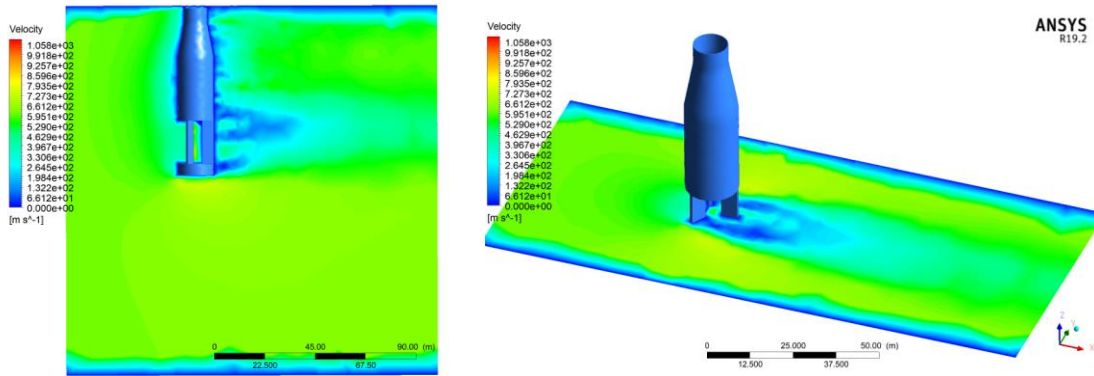
Gambar 3. Kecepatan aliran fluida sekitar SPAR pada kondisi V2 6.114 m/s.

- $V3 = 61.144 \text{ m/s}$



Gambar 4. Kecepatan aliran fluida sekitar SPAR pada kondisi V3 61.144 m/s.

- $V_4 = 611.438 \text{ m/s}$



Gambar 5. Kecepatan aliran fluida sekitar SPAR pada kondisi V_4 611.438 m/s.

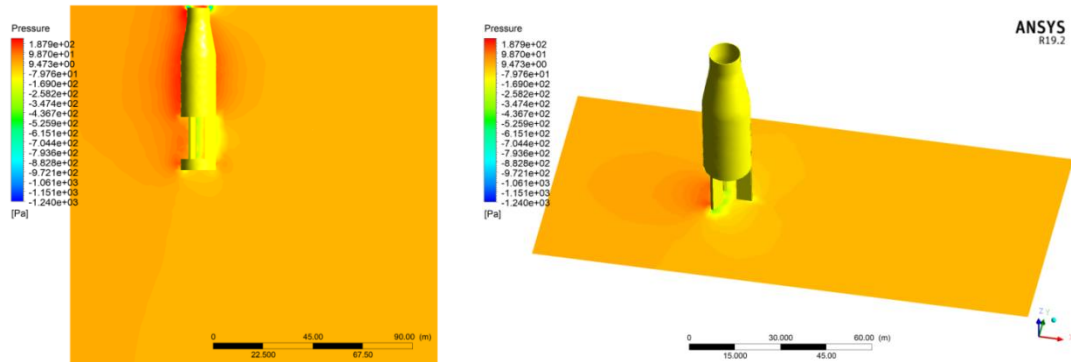
Dari data hasil simulasi diatas, diperoleh nilai kecepatan maksimum (*max velocity*) aliran fluida di sekitar SPAR sebagai berikut:

Tabel 3. Nilai kecepatan maksimum aliran fluida sekitar SPAR

	Kecepatan arus (m/s)	Kecepatan maksimum (m/s)
V1	0.661	1.366
V2	6.114	11.084
V3	61.14	107.289
V4	611.438	1091.02

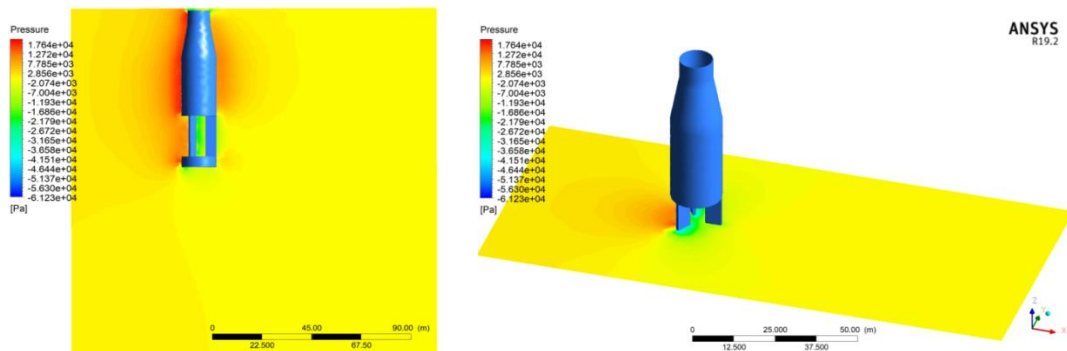
3.3 Tekanan aliran sekitar SPAR

- $V_1 = 0.661 \text{ m/s}$



Gambar 6. Tekanan aliran fluida sekitar SPAR pada kondisi V_1 0.661 m/s.

- $V_2 = 6.114 \text{ m/s}$

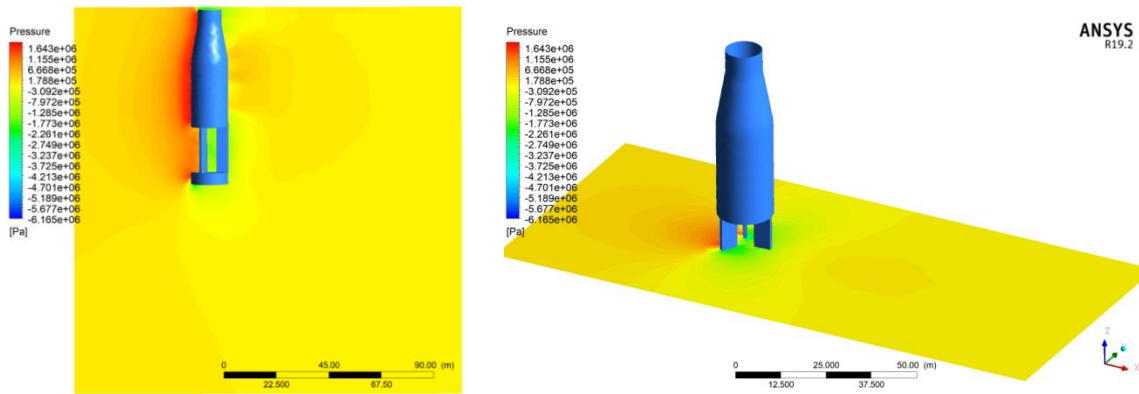


Gambar 7. Tekanan aliran fluida sekitar SPAR pada kondisi V_2 6.114 m/s.



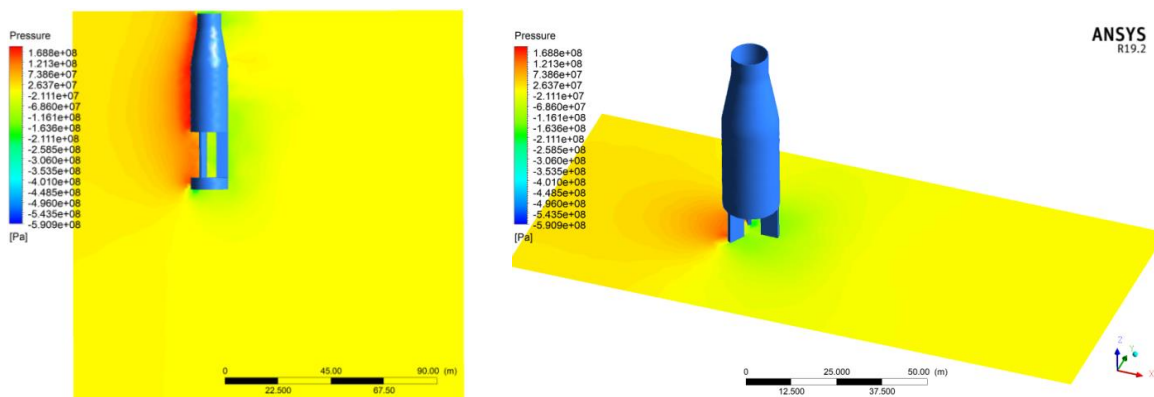
copyright is published under [Lisensi Creative Commons Atribusi 4.0 Internasional](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

• $V_3 = 61.144 \text{ m/s}$



Gambar 8. Tekanan aliran fluida sekitar SPAR pada kondisi V_3 61.144 m/s.

• $V_4 = 611.438 \text{ m/s}$



Gambar 9. Tekanan aliran fluida sekitar SPAR pada kondisi V_4 611.438 m/s.

Dari data hasil simulasi diatas, diperoleh nilai tekanan maksimum (*max pressure*) aliran fluida di sekitar SPAR sebagai berikut:

Tabel 4. Nilai tekanan maksimum aliran fluida sekitar SPAR

Kecepatan arus (m/s)	Tekanan maksimum (N/m^2)
V1 0.661	232.549
V2 6.114	20109.8
V3 61.14	1.88677×10^6
V4 611.438	1.92571×10^8

4. KESIMPULAN

Berdasarkan data hasil simulasi tekanan dan kecepatan aliran fluida sekitar SPAR dengan variasi kecepatan arus yang berbeda, diperoleh kesimpulan sebagai berikut: 1) Hasil simulasi menunjukkan bahwa aliran fluida di sekitar SPAR sangat sensitif terhadap perubahan kecepatan aliran. Peningkatan kecepatan aliran dapat mengakibatkan perubahan yang signifikan dalam parameter seperti tekanan dan kecepatan maksimum. 2) Data dari simulasi menunjukkan bahwa efek perubahan kecepatan dalam aliran fluida sekitar SPAR cenderung bersifat eksponensial. Ini mengindikasikan bahwa perubahan kecil dalam kecepatan dapat menghasilkan perubahan besar dalam parameter aliran fluida. 3) Simulasi menunjukkan bahwa tekanan maksimum dalam aliran fluida sekitar SPAR dapat mencapai level yang sangat tinggi ketika kecepatan aliran mencapai tingkat yang signifikan. Hal ini dapat diamati pada simulasi V_4 611.438 m/s, yang menunjukkan perubahan tekanan dan kecepatan aliran fluida sekitar SPAR yang meningkat secara



copyright is published under [Lisensi Creative Commons Atribusi 4.0 Internasional](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

signifikan bila dibandingkan pada 3 simulasi sebelumnya.

Penelitian ini memiliki potensi aplikasi praktis dalam desain dan pengoperasian SPAR, khususnya dalam mengoptimalkan kecepatan aliran fluida untuk mengelola tekanan yang ada dan memastikan kinerja yang aman dan efisien. Penelitian ini masih terbatas pada parameter yang digunakan serta kurangnya pemahaman dalam pengoperasian software ANSYS Fluent. Oleh karena itu, diperlukan penelitian yang lebih mendalam untuk memperoleh hasil yang lebih maksimal. Uji model dapat menjadi salah satu cara memperoleh hasil data yang lebih valid dengan membandingkannya dengan hasil pengujian dengan metode numerik (CFD).

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Randa, "Permodelan Unjuk Kerja Turbin Pusaran (Vortex) Untuk Model Alat Uji Pembangkit Listrik Menggunakan Software Ansys Fluent", Fakultas Teknik, Universitas Lampung, 2023.
- [2] F. M. Assidiq, *et. al.*, "Influence of Vertical Plate on the Pitching Motion of a SPAR Wind Floater in Waves", *CCORE 2022, SPESS*, pp. 30-42, 2023.
- [3] F. M. Assidiq, *et. all.*, "Experimental Investigation on the Characteristics of Pitch Motion for a Novel SPAR type FOWT in Regular Waves", *Kapal: Jurnal Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Kelautan*, 20(2), 163-174, 2023.
- [4] Sorensen, J. Norker, and J. K. Madsen. "Unsteady aerodynamics experiment II." *Wind Energy* 6.3: 219-240, 2003.
- [5] S. Achmad, "Analisis Pengaruh Variasi Konfigurasi Helical Strakes pada Aliran Fluida dan Gerakan Struktur SPAR", Teknik Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2018.

