

ANALISIS PENGARUH KEMIRINGAN *CHAMBER OSCILLATING WATER COLUMN* TERHADAP KECEPATAN ANGIN *OUTLET* DI PANTAI SOGE PACITAN

Arrizzal Tegar Al Azhar

S1 Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya
Email: arrizal.22064@mhs.unesa.ac.id

Indra Herlamba Siregar, S.T., M.T.

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya
Email: indrasiregar@unesa.ac.id

Abstrak

Oscillating Water Column (OWC) merupakan salah satu teknologi konversi energi gelombang laut yang bekerja dengan memanfaatkan osilasi kolom air untuk menghasilkan aliran udara yang digunakan menggerakkan turbin. Kinerja sistem OWC dipengaruhi oleh berbagai parameter, salah satunya adalah kemiringan *chamber* yang berpengaruh terhadap proses kompresi udara di dalam *chamber*. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh variasi sudut kemiringan *chamber* sebesar 45°, 50°, 55°, dan 60° terhadap kecepatan udara yang keluar dari *duct vent* pada OWC di Pantai Soge, Pacitan. Penelitian menggunakan pendekatan simulasi numerik *Computational Fluid Dynamics* (CFD) dengan perangkat lunak Ansys Fluent. Parameter gelombang diperoleh dari data reanalisis ERA5 ECMWF tahun 2024. Simulasi dilakukan pada tiga kondisi tinggi gelombang, yaitu gelombang terendah, rata-rata, dan tertinggi, dengan periode gelombang dipertahankan konstan. Hasil simulasi menunjukkan bahwa peningkatan sudut kemiringan *chamber* meningkatkan kecepatan udara keluar pada kondisi gelombang terendah dan rata-rata. Pada kondisi gelombang tertinggi, peningkatan kecepatan udara mulai menunjukkan kecenderungan konstan pada sudut 55° – 60°. Berdasarkan hasil yang diperoleh, sudut kemiringan *chamber* 60° menghasilkan performa terbaik karena mampu menghasilkan kecepatan udara tertinggi pada sebagian besar kondisi gelombang.

Kata Kunci: *Oscillating Water Column*, *Computational Fluid Dynamics*, Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut, Kemiringan *Chamber*

Abstract

Oscillating Water Column (OWC) is a wave energy conversion technology that utilizes the oscillation of the water column to generate airflow that is used to drive the turbine. The performance of the OWC system is influenced by various parameters, one of which is the tilt of the chamber, which affects the air compression process in the chamber. The purpose of this study was to determine the effect of variations in the tilt angle of the chamber of 45°, 50°, 55°, and 60° on the air velocity exiting the duct vent in the OWC at Soge Beach, Pacitan. The study used a *Computational Fluid Dynamics* (CFD) numerical simulation approach with Ansys Fluent software. Wave parameters were obtained from the 2024 ECMWF ERA5 reanalysis data. Simulations were conducted at three wave height conditions: the lowest, average, and highest, with the wave period kept constant. The simulation results showed that increasing the tilt angle of the chamber increased the exit air velocity at the lowest and average wave conditions. At the highest wave conditions, the increase in air velocity began to show a constant trend at an angle of 55° – 60°. Based on the results obtained, the 60° chamber tilt angle produces the best performance because it is able to produce the highest air speed in most wave conditions.

Keywords: *Oscillating Water Column*, *Computational Fluid Dynamics*, Ocean Wave Power Generation, Tilting Chamber

PENDAHULUAN

Permintaan energi listrik di Indonesia terus mengalami peningkatan setiap tahunnya seiring dengan pertumbuhan jumlah penduduk, perkembangan teknologi, serta pembangunan infrastruktur nasional. Konsumsi listrik nasional tercatat mencapai 306 TWh pada tahun 2020 dan meningkat menjadi sekitar 430 TWh pada tahun 2024 (Alfathi, 2025), dengan proyeksi pertumbuhan kebutuhan listrik sebesar 6,9% per tahun hingga tahun 2029 (Muliawati, 2025). Namun demikian, pemenuhan kebutuhan energi listrik di Indonesia masih sangat bergantung pada energi fosil, khususnya batubara, yang menyumbang sekitar 67% dari total pembangkit listrik nasional. Kondisi ini mendorong perlunya pengembangan

energi baru terbarukan (EBT) sebagai alternatif sumber energi yang ramah lingkungan dan berkelanjutan (Sinaga, 2024).

Salah satu sumber energi terbarukan yang memiliki potensi besar di Indonesia adalah energi gelombang laut. Energi gelombang laut merupakan energi yang bersifat kontinu dan tidak menghasilkan emisi gas rumah kaca sehingga dianggap sebagai salah satu sumber energi bersih yang berkelanjutan. Wilayah pesisir selatan Pulau Jawa, khususnya Kabupaten Pacitan, memiliki karakteristik gelombang laut yang relatif tinggi karena berbatasan langsung dengan Samudera Hindia. Penelitian Dwiandhini *et al.* (2021) menunjukkan bahwa wilayah perairan Pacitan memiliki potensi energi gelombang yang cukup tinggi,

dengan estimasi potensi daya listrik mencapai 436,349 kW. Salah satu lokasi yang memiliki potensi besar untuk pengembangan pembangkit listrik tenaga gelombang laut adalah Pantai Soge, yang memiliki karakteristik gelombang tinggi serta tidak terhalang oleh pulau lain yang dapat mengurangi energi gelombang.

Salah satu teknologi yang banyak digunakan dalam pemanfaatan energi gelombang laut adalah *Oscillating Water Column* (OWC). Sistem OWC bekerja dengan memanfaatkan osilasi permukaan air laut di dalam chamber untuk menghasilkan aliran udara bolak-balik yang kemudian digunakan untuk memutar turbin dan menghasilkan energi listrik (Kim *et al.*, 2023).

METODE PENELITIAN

Jenis Penelitian

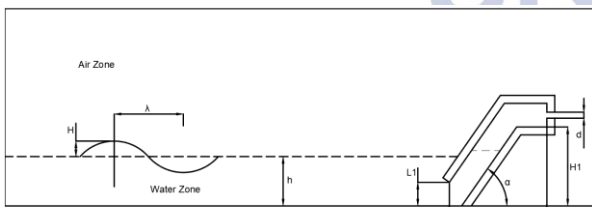
Penelitian ini melakukan simulasi *chamber* OWC dan turbin wells menggunakan metode numerik *Computational Fluid Dynamics* (CFD) melalui perangkat lunak Ansys Fluent. Simulasi ini bertujuan untuk menentukan nilai kecepatan udara yang keluar dari *chamber* OWC. Hasil dari parameter tersebut akan disajikan dalam bentuk tabel dan grafik.

Objek Penelitian

Objek penelitian yang digunakan adalah *chamber* OWC dengan model 2D. Berikut adalah rinciannya:

Tabel 1 Parameter Desain *Chamber* OWC

Parameter	Deskripsi	Simbol
Tinggi Perangkat	8 meter	H_1
Lebar Perangkat	2,4 meter	L_1
Kemiringan <i>Chamber</i>	$45^\circ - 60^\circ$	α
Diameter <i>Ducting</i>	0,61 meter	d
Panjang <i>Ducting</i>	0,80 meter	P



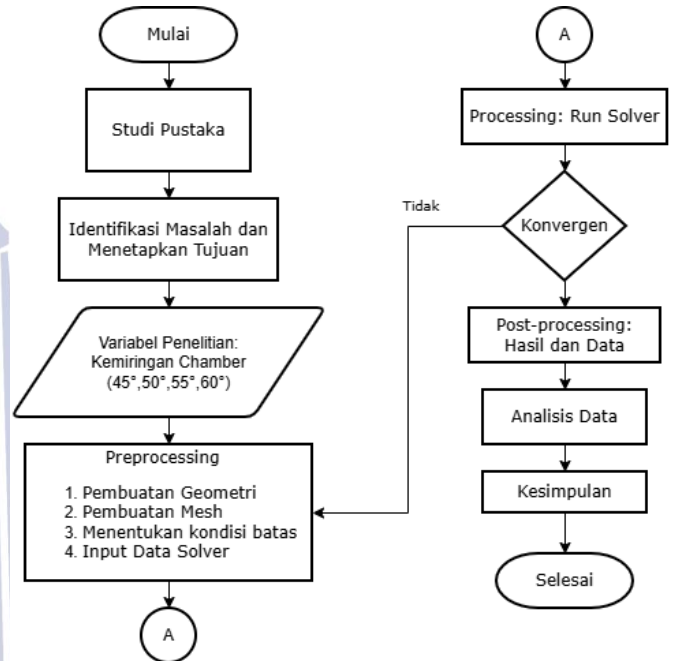
Gambar 1 Skema Simulasi OWC

Variabel Penelitian

- Variabel Bebas
Variasi sudut kemiringan *chamber* OWC yang digunakan adalah: 45° , 50° , 55° , dan 60° .
- Variabel Terikat
Variabel terikat dalam penelitian ini adalah kecepatan udara yang keluar dari *duct vent*.

- Variabel Kontrol
 - ❖ Lebar dan tinggi *chamber* OWC.
 - ❖ Ukuran *duct vent*
 - ❖ Kedalaman pemasangan perangkat OWC yaitu 5 meter.

Diagram Alir Penelitian

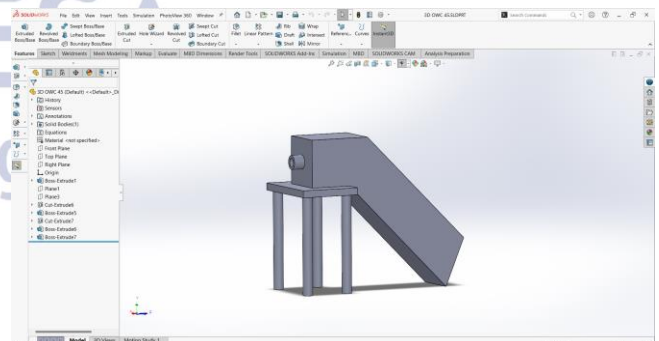


Gambar 2 Diagram Alir Penelitian

Teknik Pengumpulan Data

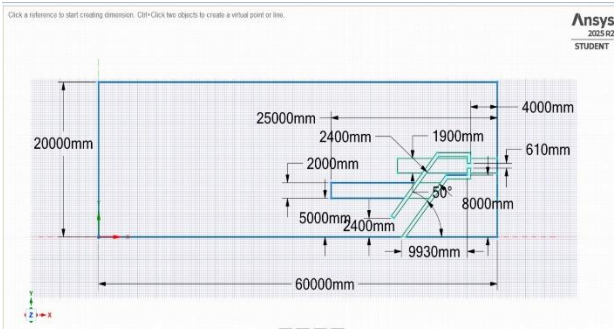
Tahap Pre-processing

Tahap awal pada simulasi numerik komputasi fluida dinamik yaitu tahap *pre-processing*, pada tahap ini dilakukan pembuatan geometri, pembuatan domain fluida, pembuatan *mesh*, dan penentuan *solver*.



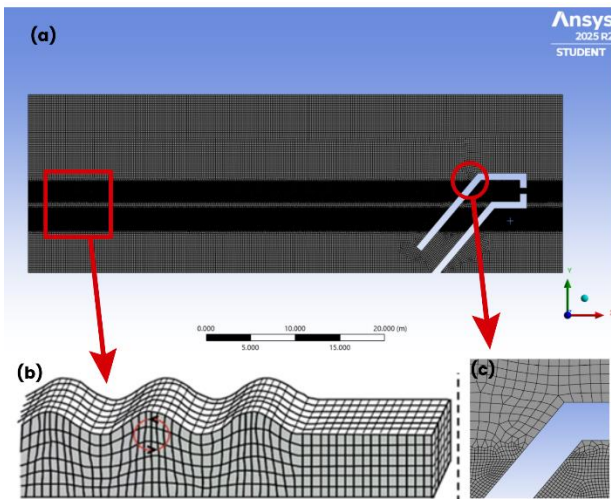
Gambar 3 Pembuatan Geometri *Chamber*

- Pembuatan *Domain* Fluida
Pembuatan *domain* fluida dilakukan dalam bentuk 2D *chamber* dengan menyesuaikan panjang serta tinggi *domain* dengan kondisi lautan. Sehingga, digunakan *domain* dengan panjang 60 meter dan tinggi 20 meter. *Domain* ini dibuat melalui *software* Ansys Spaceclaim.



Gambar 4 Pembuatan *Domain* Fluida pada *Chamber*

- Pembuatan *Mesh*



Gambar 5 *Mesh* Simulasi OWC

- Penentuan *Solver*

Penentuan solver mencakup beberapa parameter seperti *viscous model* yang digunakan, *setting* pada *boundary condition* dan *multiphase model*. Pada penelitian ini digunakan solver 2D dan pengaturan pada pembentukan gelombang menggunakan *code UDF* yang di *compiled* ke dalam *solver* Fluent.

```
#include "udf.h"

DEFINE_CG_MOTION(movingwall,dt,cg_vel,cg_omega,time,dtim)
{
    real kecepatan_x;
    real kecepatan_y;

    kecepatan_x = U_max*cos(omega*time);
    kecepatan_y = 0.0;

    cg_vel[0] = kecepatan_x;
    cg_vel[1] = kecepatan_y;
    cg_vel[2] = 0.0;

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

Gambar 6 *Code UDF* Pembentukan Gelombang Simulasi

Tahap *Processing*

Pada tahap ini semua kondisi yang telah diatur sebelumnya akan dilakukan perhitungan. Simulasi dilakukan dengan total iterasi 2400 pada *time step* 0.05 s.

Tahap *Post-Processing*

Pada tahap ini hasil dari perhitungan yang telah dilakukan dapat ditampilkan secara kuantitatif ataupun kualitatif. Data kuantitatif berupa nilai kecepatan angin yang keluar dari *duct vent* dan data kualitatif dapat berupa grafik.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Validasi Model

Validasi model OWC dilakukan untuk memastikan bahwa model numerik pada Ansys Fluent mampu merepresentasikan kondisi gelombang yang diinput pada *code UDF*. Validasi dilakukan dengan membandingkan amplitudo gelombang hasil simulasi terhadap data eksperimen oleh Weerakoon *et al.* (2021), dengan amplitudo gelombang sebesar 0,5 m dan *wave angular frequency* 1,57 rad/s. Simulasi dijalankan selama 40 s dengan *time step* 0,05 s, sedangkan data yang dianalisis diambil pada interval waktu 30–40 s. Selanjutnya, dilakukan variasi ukuran *mesh* dan dihitung nilai *error* amplitudo terhadap data eksperimen. *Mesh* dengan nilai *error* terkecil dipilih sebagai acuan pada seluruh simulasi dalam penelitian ini.

Tabel 2 Data Validasi Model OWC

Mesh Size (m)	Jumlah Elemen	Amplitudo Simulasi (m)	Error (%)
0.30	13304	0.445	11.25
0.20	29698	0.447	10.60
0.10	118654	0.545	9.0

Hasil Penelitian

Data Gelombang Pantai Soge Pacitan

Parameter gelombang yang digunakan dalam analisis meliputi tinggi gelombang signifikan (*significant wave height*) dan periode gelombang rata-rata (*wave mean period*). Data diperoleh dari dataset reanalisis ERA5 milik European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF) tahun 2024 dengan interval pengambilan setiap 3 jam. Data kemudian diolah menjadi rata-rata bulanan dan selanjutnya dirata-ratakan menjadi nilai tahunan. Nilai tinggi dan periode gelombang tahunan tersebut digunakan sebagai parameter input dalam pembentukan gelombang pada simulasi *Oscillating Water Column (OWC)*. Hasil reanalisis parameter gelombang Pantai Soge tahun 2024 disajikan pada bagian berikut.

Tabel 3 Data Gelombang Pantai Soge 2024

Bulan	Tinggi Gelombang Rata-Rata (m)	Tinggi Gelombang Tertinggi (m)	Tinggi Gelombang Terendah (m)	Periode Gelombang Rata-Rata (s)
Januari	1.60	2.04	1.26	12.52
Februari	1.37	1.92	0.90	12.17
Maret	1.84	2.95	1.01	12.79
April	1.55	2.28	1.04	13.02
Mei	1.75	2.75	1.13	13.51
Juni	2.12	3.23	1.46	13.90
Juli	1.98	2.92	1.30	13.63
Agustus	2.08	2.91	1.57	14.12
September	1.81	2.70	1.18	13.94
Oktober	1.93	2.93	1.26	13.94
November	1.50	1.90	0.82	13.05
Desember	1.90	2.63	1.41	13.05
Rata-Rata Total	1.79	2.60	1.20	13.30

Pada sistem *Oscillating Water Column* (OWC), tinggi gelombang dan periode gelombang merupakan parameter utama yang memengaruhi respons hidrodinamika. Meskipun keduanya saling berkaitan melalui hubungan dispersi, penelitian ini menggunakan pendekatan dengan mempertahankan periode gelombang tetap dan memvariasikan tinggi gelombang. Pendekatan ini mengacu pada penelitian Ordoñez-Saca *et al.* (2025), sehingga pengaruh perubahan energi gelombang dapat dianalisis tanpa dipengaruhi perubahan frekuensi. Dengan demikian, pengaruh kemiringan *chamber* terhadap kinerja turbin Wells dapat dievaluasi secara lebih terfokus dan konsisten.

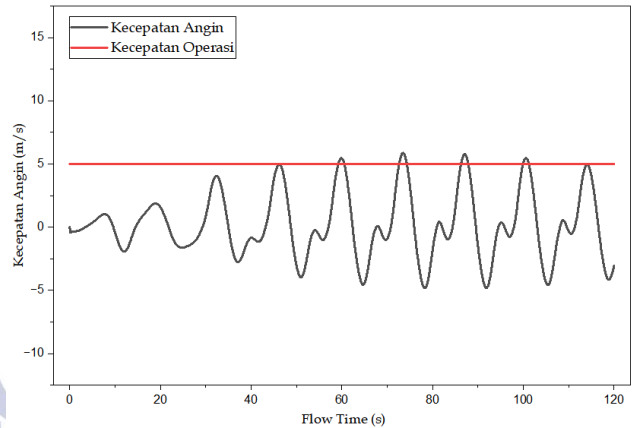
Hasil Simulasi OWC

Untuk memberikan gambaran umum mengenai pola aliran udara yang dihasilkan, ditampilkan tiga grafik kecepatan udara terhadap waktu yang mewakili kondisi simulasi tertentu dari total 12 hasil simulasi yang dilakukan. Setiap grafik menunjukkan fluktuasi kecepatan udara selama waktu simulasi, di mana dapat diamati pola periodik yang terbentuk akibat pengaruh gelombang laut. Pada grafik tersebut, bagian yang menunjukkan kecepatan udara di atas 5 m/s dapat diidentifikasi sebagai siklus aliran udara operasi turbin wells.

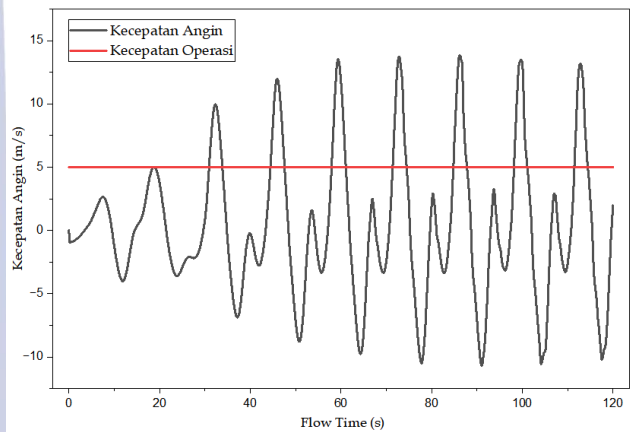
Siklus didefinisikan berdasarkan ambang batas kecepatan udara atau *operating condition* turbin wells sebesar 5 m/s. Pemilihan nilai ambang ini didasarkan pada penelitian yang dilakukan oleh Fazli, (2009) yang merupakan batas minimum dalam merepresentasikan aliran udara yang berpotensi dimanfaatkan untuk konversi energi.

Satu siklus aliran udara didefinisikan sebagai interval waktu yang dimulai ketika kecepatan udara pertama kali mencapai nilai 5 m/s, kemudian meningkat hingga mencapai nilai maksimum, dan selanjutnya menurun kembali di nilai 5 m/s berikutnya. Dengan definisi ini, setiap siklus mencerminkan satu fase penuh dari proses

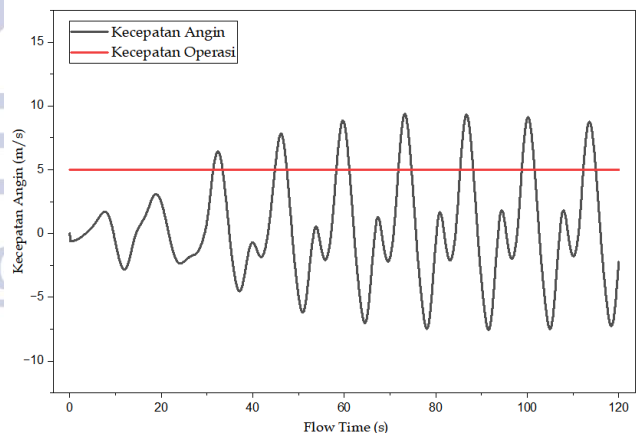
kompresi udara di dalam *chamber* OWC akibat gerakan gelombang.



Gambar 7 Grafik Kecepatan Angin pada Chamber 45 Gelombang Rata-Rata

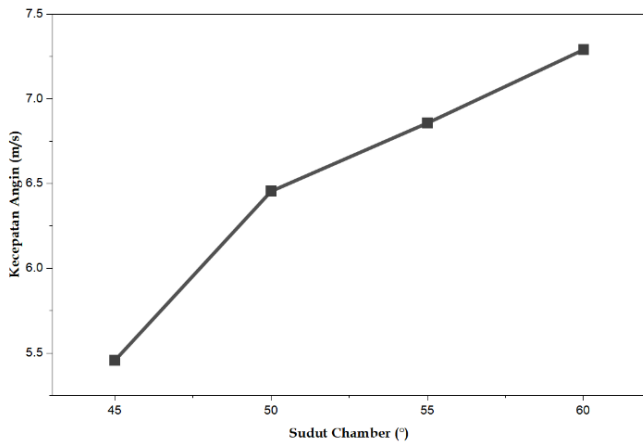


Gambar 8 Grafik Kecepatan Angin pada Chamber 45 Gelombang Terendah

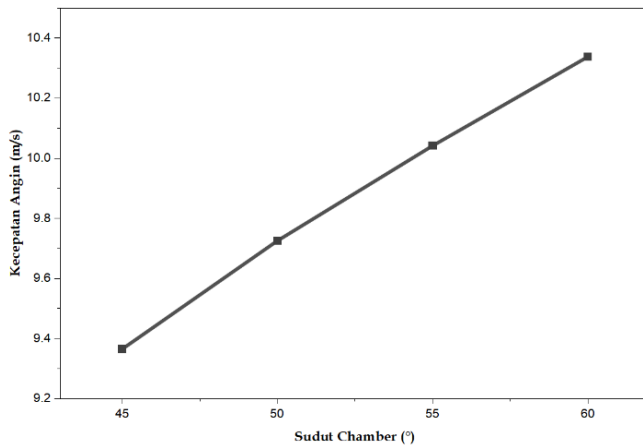


Gambar 9 Grafik Kecepatan Angin pada Chamber 45 Gelombang Tertinggi

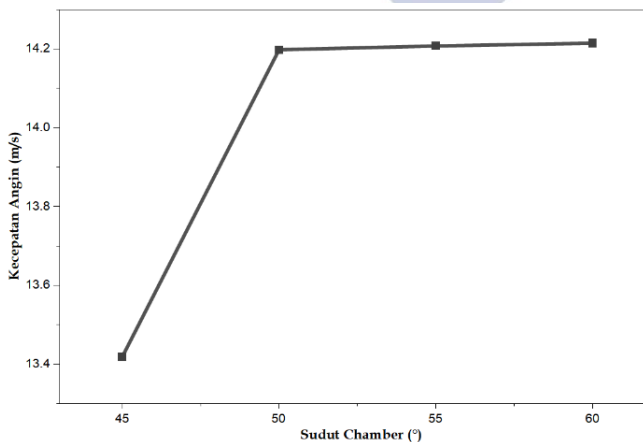
Pengaruh Kemiringan *Chamber* terhadap Kecepatan Udara *Outlet*



Gambar 10 Pengaruh Sudut *Chamber* terhadap Kecepatan Angin pada Kondisi Gelombang Terendah



Gambar 11 Pengaruh Sudut *Chamber* terhadap Kecepatan Angin pada Kondisi Gelombang Rata-Rata



Gambar 12 Pengaruh Sudut *Chamber* terhadap Kecepatan Angin pada Kondisi Gelombang Tertinggi

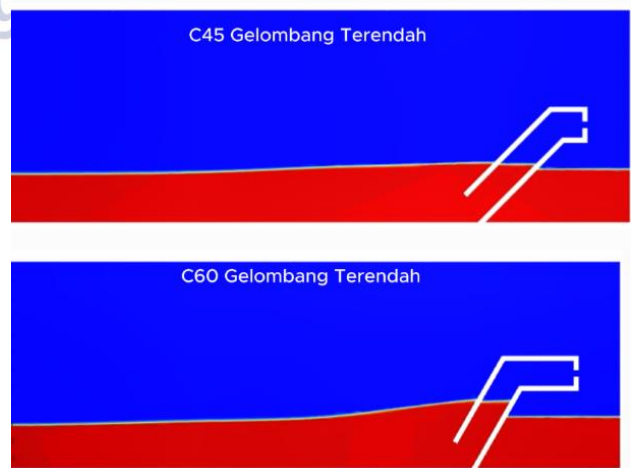
Terdapat total 12 variasi simulasi yang dilakukan, menyesuaikan dengan variasi sudut *chamber* dan tiga kondisi tinggi gelombang. Namun, untuk keperluan perbandingan, analisis berikut difokuskan pada data siklus

ke-4 yang merepresentasikan kondisi aliran yang sudah cenderung stabil pada setiap variasi. Data yang ditampilkan pada Gambar 10 hingga 12 merupakan nilai kecepatan angin maksimum di siklus 4.

Hasil simulasi menunjukkan bahwa variasi sudut kemiringan *chamber* memengaruhi kecepatan udara yang keluar melalui *duct vent*. Pada kondisi gelombang terendah, perbedaan antar sudut terlihat paling jelas di antara ketiga kondisi gelombang yang diuji. *Chamber* 45° hanya menghasilkan kecepatan rata-rata 5.309 m/s dengan maksimum 5.457 m/s, sedangkan *chamber* 60° menghasilkan kecepatan rata-rata 6.469 m/s dan maksimum 7.301 m/s. Rentang perbedaan ini cukup besar mengingat energi gelombang yang tersedia sangat terbatas. Hal ini sejalan dengan kesimpulan Tao *et al.* (2024) yang menemukan bahwa struktur OWC dengan kemiringan yang lebih besar lebih mampu menangkap energi gelombang panjang berfrekuensi rendah karena geometrinya memungkinkan gelombang masuk ke dalam *chamber* dengan lebih mudah.

Pada kondisi gelombang rata-rata, kecepatan udara rata-rata siklus ke 4 meningkat seiring bertambahnya sudut *chamber*, yakni 7.805 m/s (45°), 7.929 m/s (50°), 8.091 m/s (55°), dan 8.284 m/s (60°). Dengan kecepatan udara maksimum pada siklus ke-4 juga meningkat seiring bertambahnya sudut *chamber*, yakni 9.37 m/s (45°), 9.73 m/s (50°), 10.04 m/s (55°), dan 10.34 m/s (60°). Tren menunjukkan bahwa sudut *chamber* yang lebih besar menghasilkan efek kompresi udara yang lebih kuat. Hal ini sejalan dengan penelitian Naik *et al.* (2023) yang menjelaskan bahwa ketika kemiringan diperbesar, energi gelombang lebih efektif mendorong kolom air di dalam *chamber*.

Gerakan naik-turun air yang lebih besar menyebabkan perubahan volume udara di dalam *chamber* juga lebih besar, sehingga kompresi udara yang terjadi selama fase naik menjadi lebih kuat. Gerakan naik-turun gelombang di dalam *chamber* dapat dilihat pada Gambar 13.



Gambar 13 *Contour Phase* pada *Chamber 45* dan *Chamber 60* pada Gelombang Terendah

Pada kondisi gelombang tertinggi, kecepatan angin maksimum siklus ke-4 dari keempat sudut saling berdekatan, yaitu 13.495 m/s (45°), 14.198 m/s (50°), 14.208 m/s (55°), dan 14.214 m/s (60°). *Chamber 55°* dan 60° menghasilkan kecepatan yang hampir sama. Hal ini menunjukkan bahwa pada energi gelombang yang besar, perbedaan geometri sudut antara 50° hingga 60° tidak lagi menghasilkan perbedaan signifikan. Kondisi ini sejalan dengan apa yang dilaporkan oleh Ordoñez-Saca *et al.* (2025), yang menemukan bahwa *chamber* dengan sudut 55° sudah mampu menghasilkan stabilitas aliran udara yang baik.

PENUTUP

Simpulan

Berdasarkan hasil simulasi CFD mengenai pengaruh variasi sudut kemiringan *chamber* terhadap kecepatan udara keluar pada sistem *Oscillating Water Column* (OWC), dapat disimpulkan bahwa:

- Berdasarkan data kecepatan udara maksimum diketahui bahwa konfigurasi *chamber 60°* menghasilkan kecepatan udara tertinggi, sedangkan *chamber 45°* menghasilkan kecepatan udara terendah. Hal ini menunjukkan bahwa sudut *chamber* yang lebih besar lebih efektif dalam memanfaatkan energi gelombang pada kondisi energi rendah hingga sedang.
- Sudut *chamber* yang lebih besar menghasilkan perubahan volume udara di dalam *chamber* yang lebih besar sehingga proses kompresi udara menjadi lebih efektif dan menghasilkan kecepatan udara keluar yang lebih tinggi.

Saran

Terdapat beberapa saran untuk penelitian selanjutnya sebagai berikut:

- Melakukan variasi parameter gelombang yang lebih beragam, seperti periode gelombang, arah datang gelombang, dan kondisi gelombang tidak beraturan (*irregular wave*).
- Mengkaji pengaruh variasi parameter geometris OWC lainnya, seperti lebar *chamber*, tinggi *chamber*, panjang *duct*, diameter *duct vent*, serta kedalaman pemasangan perangkat

DAFTAR PUSTAKA

- Alfathi, B. R. (2025). *Konsumsi Listrik Indonesia Sentuh 430 TWh pada 2025*. GoodStats.
<https://data.goodstats.id/statistic/konsumsi-listrik-indonesia-sentuh-430-twh-pada-2025-hxSCU>
- Dwiandhini, Y. S., Prasita, V. D., & Bintoro, R. S. (2021). *Karakteristik Gelombang Sebagai Potensi Pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga*

Gelombang Laut Oscillating Water Column di Selatan Jawa Timur [Universitas Hang Tuah].

https://perpus.ftik.hangtuah.ac.id/index.php?p=show_detail&id=3199&keywords=

- Fazli, M. (2009). *Design, Rapid Prototyping and Testing of the Wells Turbine* (Issue January). Universitas Teknologi Petronas.
- Kim, J. S., Nam, B. W., Kim, S., Park, J., Park, S., & Kim, K. H. (2023). Experimental study on hydrodynamic behavior and energy conversion of multiple oscillating-water-column chamber in regular waves. *Ocean Engineering*, 280(July).
<https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2023.114495>
- Muliawati, F. D. (2025). *Dalam 5 Tahun, Konsumsi Listrik RI Diramal Naik Hingga 6,9%*. CNBC Indonesia.
<https://www.cnbcindonesia.com/news/20250123171002-4-605533/dalam-5-tahun-konsumsi-listrik-ri-diramal-naik-hingga-69>
- Naik, N., Gayathri, R., Behera, H., & Tsai, C. C. (2023). Wave power extraction by a dual OWC chambers over an undulated bottom. *Renewable Energy*, 216, 119026.
<https://doi.org/10.1016/J.RENENE.2023.119026>
- Ordoñez-Saca, B., Espinoza-Andaluz, M., Barzola-Monteses, J., Velastegui-Marcos, N., & Yange-Camacho, N. (2025). Optimization of Air Compression in Oscillating Water Column Systems for Enhanced Wells Turbine Performance. *Processes*, 13(6), 1–21.
<https://doi.org/10.3390/pr13061723>
- Sinaga, J. V. (2024). *Batubara Indonesia : Pilar Utama Energi Di Era Transisi Energi dan Hilirisasi Menuju Kemandirian Bangsa*. Minerba ESDM.
<https://www.minerba.esdm.go.id/berita/minerba/detail/20241003-batubara-indonesia-pilar-utama-energi-di-era-transisi-energi-dan-hilirisasi-menuju-kemandirian-bangsa>
- Tao, T., Deng, Z., Li, M., Cheng, P., & Luo, W. (2024). Numerical and Experimental Study on the Hydrodynamic Performance of a Sloping OWC Wave Energy Converter Device Integrated into Breakwater. *Journal of Marine Science and Engineering*, 12(12).
<https://doi.org/10.3390/jmse12122318>
- Weerakoon, A. H. S., Kim, B. H., Cho, Y. J., Prasad, D. D., Ahmed, M. R., & Lee, Y. H. (2021). Design optimization of a novel vertical augmentation channel housing a cross-flow turbine and performance evaluation as a wave energy converter. *Renewable Energy*, 180, 1300–1314.
<https://doi.org/10.1016/J.RENENE.2021.08.092>