

INTISARI

Indonesia memiliki potensi energi gelombang laut yang sangat besar, terutama di wilayah perairan timur seperti Laut Arafura, namun pemanfaatannya masih nol. Di sisi lain, studi akademis mengenai Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut (PLTGL) tipe *Oscillating Water Column* (OWC) seringkali melompat ke analisis performa tanpa menyajikan metodologi perancangan yang transparan dan cenderung menentukan desain terbaik hanya berdasarkan efisiensi puncak, bukan pada kondisi gelombang riil di lokasi. Penelitian ini bertujuan untuk mengisi celah tersebut dengan melakukan analisis performa hidrodinamik secara fundamental dari tiga variasi geometri OWC (*Conventional*, *L-Type*, dan *U-Type*) yang dirancang secara sistematis berdasarkan karakteristik spesifik Laut Arafura.

Metodologi penelitian ini mengintegrasikan simulasi numerik *Computational Fluid Dynamics* (CFD) dengan validasi eksperimental pada skala 1:25. Proses perancangan OWC didasarkan pada data probabilitas gelombang Laut Arafura, yang menunjukkan dominasi mutlak pada periode 5 detik (63,55% kejadian), yang kemudian menjadi acuan utama desain melalui penskalaan Froude. Tiga variasi geometri diuji pada tiga level tinggi gelombang (10 mm, 30 mm, dan 50 mm) dengan rentang periode 0,5 s hingga 2,0 s. Untuk menentukan desain paling optimal, diperkenalkan metode analisis Efisiensi Tertimbang (*Weighted Efficiency*) yang menggabungkan data efisiensi hidrodinamik dengan data probabilitas periode gelombang.

Hasil validasi model numerik menunjukkan korelasi yang sangat kuat dengan data eksperimen ($R^2 > 0,94$). Analisis performa menunjukkan bahwa modifikasi *L-Type* memiliki efisiensi puncak absolut tertinggi, mencapai lebih dari 32%. Namun, puncak kinerjanya terjadi pada periode 1,25 detik yang probabilitas kejadiannya lebih rendah. Sebaliknya, *Conventional OWC* menunjukkan efisiensi puncak yang lebih rendah (sekitar 21,9%), tetapi terjadi tepat pada periode dominan Laut Arafura (1 detik pada skala model). Analisis akhir menggunakan Efisiensi Tertimbang membuktikan bahwa *Conventional OWC* adalah konfigurasi paling optimal dengan nilai 18,55%, mengalahkan *L-Type* (12,83%) dan *U-Type* (10,1%).

Kesimpulan dari penelitian ini menegaskan bahwa pendekatan desain yang berbasis lokasi spesifik dan analisis statistik probabilitas lebih unggul dalam menentukan perangkat OWC yang paling efektif untuk aplikasi nyata. Temuan ini memberikan panduan teknis yang lebih realistis untuk pengembangan potensi energi gelombang laut di Indonesia.

Kata Kunci: *Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut (PLTGL), Oscillating Water Column (OWC), Performa Hidrodinamik, Analisis Numerik (CFD), Laut Arafura.*

ABSTRACT

Indonesia possesses vast ocean wave energy potential, particularly in its eastern waters like the Arafura Sea, yet its utilization remains effectively zero. On the other hand, academic studies on Oscillating Water Column (OWC) type Wave Energy Converters (WECs) often proceed directly to performance analysis without presenting a transparent design methodology. Furthermore, they tend to select the optimal design based solely on peak efficiency rather than on real, site-specific wave conditions. This research aims to fill these gaps by conducting a hydrodynamic performance analysis of three OWC geometric variations (Conventional, L-Type, and U-Type), which are systematically designed based on the specific characteristics of the Arafura Sea to determine the most optimal design.

The research methodology integrates Computational Fluid Dynamics (CFD) numerical simulations with experimental validation at a 1:25 scale. The OWC design process is based on the wave probability data from the Arafura Sea, which shows an absolute dominance of a 5 second wave period (63,55% occurrence probability). This period served as the primary reference for the design via Froude scaling. The three geometric variations were tested at three wave height levels (10 mm, 30 mm, and 50 mm) across a period range of 0,5 s to 2,0 s. To determine the most optimal design, a Weighted Efficiency analysis method was introduced, which combines the hydrodynamic efficiency at each period with the corresponding wave period probability.

The numerical model validation showed a very strong correlation with the experimental data ($R^2 > 0.94$). The performance analysis revealed that the L-Type OWC achieved the highest absolute peak efficiency, exceeding 32%. However, its peak performance occurred at a 1,25 second period, which is less probable. Conversely, the Conventional OWC exhibited a lower peak efficiency (21.9%), but it occurred precisely at the scaled dominant period (1 s). The final analysis using Weighted Efficiency proved that the Conventional OWC is the most optimal configuration with a value of 18,55%, outperforming the L-Type (12,83%) and U-Type (10,1%).

The main conclusion of this study confirms that a site-specific design approach based on probabilistic statistical analysis is superior to merely pursuing theoretical peak efficiency. This finding provides a more realistic and defensible technical guide for the development of ocean wave energy potential in Indonesia, particularly in regions with consistent wave characteristics like the Arafura Sea.

Keywords: *Wave Energy Converter (WEC), Oscillating Water Column (OWC), Hydrodynamic Performance, Numerical Analysis (CFD), Arafura Sea.*