

ANALISIS PENGARUH POLA PENTEKSTURAN PADA *LINEAR SLIDING BEARING* UNTUK MENGURANGI GAYA GESEK PADA *WAVE ENERGY CONVERTER* DENGAN METODE *COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS* (CFD)

*Muhammad Farhan Mulyana¹, Mohammad Tauviqirrahman², Muchammad²

¹Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

²Dosen Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Jl. Prof. Sudharto, SH., Tembalang-Semarang 50275, Telp. +62247460059

*E-mail: mulyanafarhan36@gmail.com

Abstrak

Permintaan energi listrik terus meningkat, sementara proses konversinya saat ini masih bergantung pada sumber daya alam yang tidak dapat diperbarui seperti bahan bakar fosil atau gas alam, yang persediaannya semakin menipis. Negara yang wilayahnya didominasi oleh laut dapat memanfaatkan potensi tersebut dengan menggunakan *wave energy converter* (WEC). Dalam mekanisme kerjanya, alat ini menggunakan *journal bearing* untuk memandu agar poros tetap bergerak secara translasi. Dikarenakan WEC bekerja menggunakan *journal bearing*, pelumasan diperlukan pada sistemnya untuk mengurangi gaya gesek yang terjadi pada permukaan bantalan. Pada umumnya pelumasan yang digunakan untuk *journal bearing* adalah oli. Untuk mengurangi pencemaran dilaut sehingga pelumasan menggunakan air laut. Penelitian akhir-akhir ini menggunakan tekstur pada permukaan bantalan pada *journal bearing* untuk pelumasan dengan air laut mengurangi gaya gesek. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh pola penteksturan pada *linear sliding bearing* untuk mengurangi gaya gesek pada *wave energy converter* dengan metode *computational fluid dynamic* (CFD). Dengan pola penteksturan dengan sudut 0° memberikan kecepatan aliran maksimum 0.05747 m/s, koefisien gesek yaitu 0.1701862 dan *load carrying capacity* maksimum 9.18188 N.

Kata kunci: koefisien gesek; *load carrying capacity*; pola sudut penteksturan; simulasi cfd

Abstract

The increasing demand for electricity is currently being met through conversion processes that rely on non-renewable natural resources such as fossil fuels or natural gas, whose supplies are gradually depleting. Countries with territories dominated by seas can utilize this potential by using wave energy converters (WEC). In its operational mechanism, this device uses journal bearings to guide the shaft in translational motion. Since WEC operates using journal bearings, lubrication is required in the system to reduce friction on the bearing surfaces. Typically, the lubrication used for journal bearings is oil. To reduce marine pollution, seawater is used as a lubricant instead. Recent research has employed textures on the bearing surfaces of journal bearings to reduce friction using seawater lubrication. This study aims to analyze the effect of texturing patterns on linear sliding bearings to reduce friction in wave energy converters using computational fluid dynamics (CFD) methods. With a texturing pattern at a 0° angle, the maximum flow velocity is 0.05747 m/s, the friction coefficient is 0.1701862, and the maximum load-carrying capacity is 9.18188 N.

Keywords: cfd simulation; friction coefficient; load carrying capacity; texturing pattern

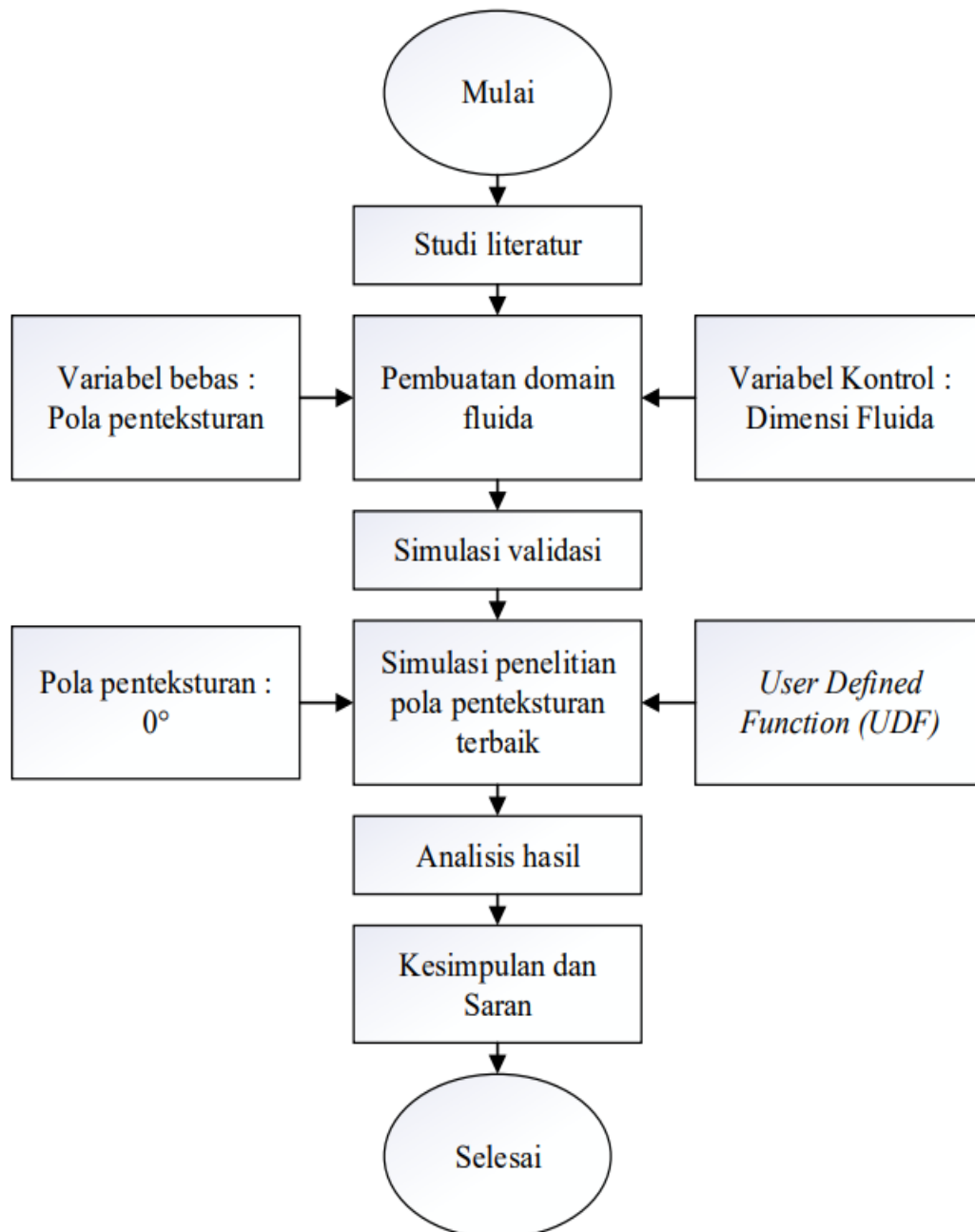
1. Pendahuluan

Dewasa ini, seluruh alat rumah tangga dan mesin-mesin industri memerlukan energi listrik untuk menjalankannya. Dan energi listrik yang digunakan menggunakan energi fosil. Oleh karena itu, permintaan pasar terus meningkat dan sumber energi fosil tradisional semakin berkurang sehingga membuat peningkatan harga minyak dan gas alam, dan tidak adanya keberlanjutan energi fosil dapat memperparah masalah sumber energi [1]. Dalam menangani krisis energi dan isu polusi saat ini, energi gelombang memiliki potensi besar karena kepadatan energinya dan ketersediaannya [2]. Oleh karena itu, teknologi Energi Terbarukan (ET) seperti energi surya, angin, hidro, biomassa, panas bumi, dan hidrogen telah diperkenalkan untuk menghasilkan listrik guna mengatasi krisis lingkungan [3]. Salah satu solusi yang dapat digunakan yaitu dengan menggunakan *wave energy converter* (WEC). Umumnya, mekanisme pada WEC menggunakan penampang untuk menerima gelombang dari ombak yang terhubung dengan poros (*shaft*) untuk merubah energi mekanis menjadi energi listrik. Gerakan translasi yang terjadi pada poros bertumpu pada *journal bearing* agar menjaga kestabilan poros selama beroperasi. Dalam tribology, pada umumnya gerakan kedua komponen sangat diperhatikan karena berdampak yang signifikan terhadap kinerja sistem mekanika dalam jangka waktu yang lama [4].

Untuk memastikan kinerja yang optimal, komponen yang bergerak dalam sistem mekanik harus didukung oleh sebuah bantalan yang menghubungkan keduanya agar dapat berinteraksi secara efektif [5]. Bantalan luncur (*journal bearing*) merupakan salah satu bagian yang umumnya dimanfaatkan dalam mesin untuk mengurangi gaya gesek yang dihasilkan oleh poros yang berputar dapat disebut sebagai sebuah komponen yang bertugas untuk mengurangi hambatan pergerakan pada poros [6]. Seiring dengan kemajuan pesat dalam ilmu pengetahuan dan teknologi, mesin-mesin yang bergerak baik secara translasi maupun radial dan berpotensi mengalami kontak langsung, yang dapat mengurangi durabilitasnya, umumnya menggunakan pelumasan. Pada umumnya pelumasan menggunakan fluida dengan viskositas yang cenderung besar. Penggunaan oli sebagai pelumas yang tidak bijaksana dapat menyebabkan kerusakan lingkungan, terutama ketika mesin-mesin dan kendaraan bawah laut mengalami kebocoran. Kebocoran ini mencemari ekosistem, yang menimbulkan kekhawatiran jangka panjang bagi dunia tentang dampaknya terhadap lingkungan [7]. Salah satu opsi ini adalah penggunaan bantalan jurnal berpelumas air atau *water lubricated bearing* [8]

2. Bahan dan Metode Penelitian

Penelitian ini dari awal hingga akhir dilakukan mengikuti serangkaian proses. Proses-proses yang dilakukan dalam penelitian ini disajikan dengan diagram alir yang dapat dilihat pada Gambar 1.



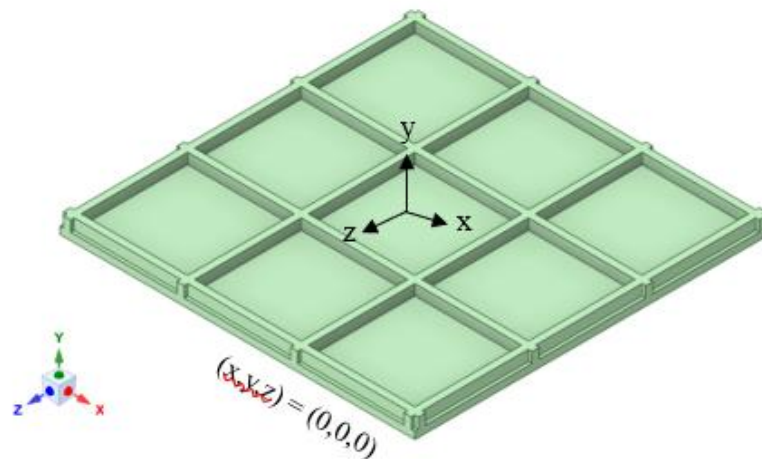
Gambar 1. Diagram Alir

Untuk mensimulasikan proses gerakan translasi pada plat, digunakan model persamaan vektor sinusoidal mengikuti Roithmayr & Hodges.,. Model ini menggunakan persamaan vektor sinusoidal sebagai persamaan gerakan plat:

$$v(t) = \frac{ds(t)}{dt} = A\omega \cos(\omega t + \phi) \quad (1)$$

dimana A adalah jarak *sliding* plat yang bergerak, $\omega = 2\pi \text{ rad/s}$ adalah frekuensi 1 Hz gerakan bolak-balik pada satuan detik, T adalah waktu yang digunakan pada simulasi.

Pola penteksturan memiliki beberapa parameter geometri yang dapat dipelajari. Dalam hal ini parameter yang akan menjadi fokus penelitian adalah sudut penteksturan. Contoh model dan parameternya dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Pola penteksturan 0°

Validasi dilakukan dengan menggunakan Hadi [9] sebagai referensi. Domain fluida pada proses validasi adalah $10 \text{ mm} \times 10 \text{ mm} \times 45 \text{ }\mu\text{m}$. Studi dalam makalah referensi menyatakan bahwa plat yang bergerak dengan kecepatan 20 mm/s . domain yang tersisa dianggap diam. Dengan karakteristik air laut menggunakan Nie et al., [10]. Data referensi koefisien gesek menunjukkan yaitu 0.15 dan *load carrying capacity* 10 N ditemukan oleh Hadi [9], adalah nilai yang digunakan untuk validasi.

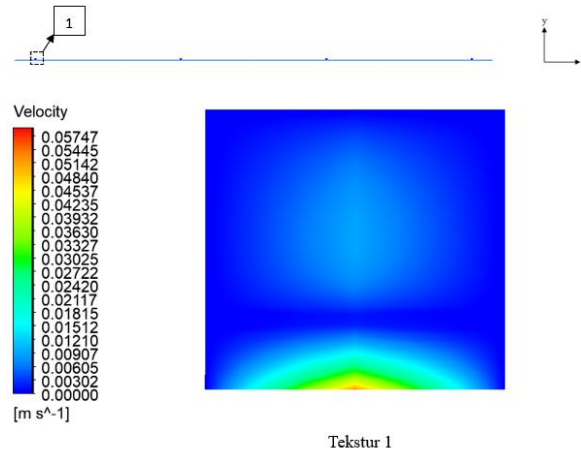
3. Hasil dan Pembahasan

Sebelum melakukan modifikasi pada pola penteksturan pada bantalan, langkah pertama yang sangat penting adalah melakukan proses validasi. Validasi ini dilakukan dengan tujuan untuk memastikan bahwa simulasi dan hasil yang diperoleh sesuai dengan referensi atau parameter acuan yang telah ditetapkan sebelumnya. Salah satu indikator utama yang digunakan dalam proses validasi ini adalah nilai laju aliran massa dalam kondisi tunak (steady-state) yang mengalir melalui sistem. Nilai ini dianggap sebagai parameter yang dapat digunakan untuk mengonfirmasi apakah simulasi telah menghasilkan hasil yang akurat dan dapat dipercaya.

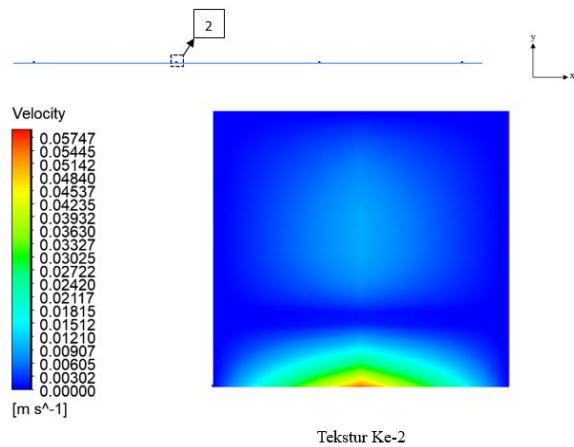
Langkah pertama dalam proses validasi melibatkan pembuatan pola penteksturan pada bantalan yang sesuai dengan nilai parameter acuan yang telah dibahas. Parameter acuan ini mencakup dimensi, orientasi sudut, serta sifat-sifat tekstur yang diharapkan dapat menghasilkan distribusi aliran dan karakteristik pelumasan yang optimal. Dalam tahap ini, pola penteksturan dibentuk dengan ketelitian tinggi, mengikuti spesifikasi dimensi $10 \text{ mm} \times 10 \text{ mm}$ dengan ketebalan sebesar $45 \text{ }\mu\text{m}$. Pemilihan ukuran ini didasarkan pada kebutuhan untuk memastikan bahwa tekstur yang dihasilkan cukup representatif dan mampu meniru kondisi sebenarnya dari permukaan yang akan dianalisis.

Setelah pola penteksturan yang diperlukan berhasil dibuat, simulasi validasi dapat mulai dijalankan. Tujuan dari simulasi ini adalah untuk memeriksa apakah pola penteksturan yang telah disiapkan memberikan hasil sesuai dengan ekspektasi dalam kondisi operasi yang diinginkan. Pada tahap ini, aliran massa dalam kondisi tunak diukur dan dibandingkan dengan nilai referensi untuk menilai kesesuaian pola dan kualitas tekstur yang dibuat. Jika hasil simulasi validasi menunjukkan konsistensi dengan nilai acuan, maka pola penteksturan dianggap memenuhi syarat dan dapat digunakan sebagai dasar untuk penambahan modifikasi lebih lanjut. Dengan kata lain, proses validasi ini memastikan bahwa desain awal dari pola tekstur telah sesuai dengan standar dan siap untuk dioptimalkan sesuai kebutuhan aplikasi.

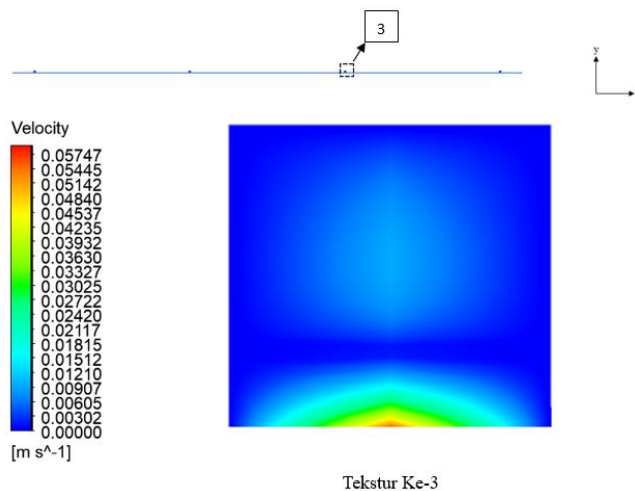
Koefisien gesek yang diperoleh sebesar 0.15017 dan *load carrying capacity* yang diperoleh sebesar 9.8219 N. Nilai yang dijadikan acuan validasi untuk koefisien gesek adalah 0.15 dan untuk *load carrying capacity* 10 N. Terdapat error sebesar 0.11% pada koefisien gesek dan error sebesar 1.7% pada *load carrying capacity*. Karena nilai errornya dibawah 10% maka simulasi dapat dikatakan valid. Plat yang bergerak secara translasi menghasilkan gerakan yang menyebabkan air bergerak pada domain. Hasil simulasi berupa kontur kecepatan pada bidang vertikal dapat dilihat pada Gambar 3.1 sampai Gambar 3.4



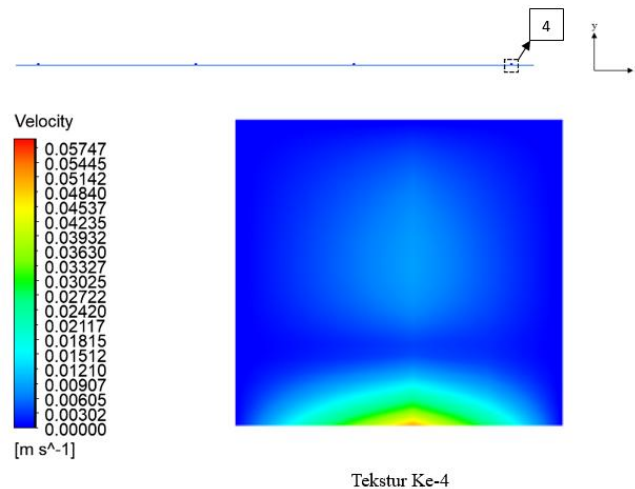
Gambar 3. 1 Kontur kecepatan bidang vertikal pada $z = 0$ m pada $x = -3$ mm pola penteksturan dengan sudut 0°



Gambar 3.2 Kontur kecepatan bidang vertikal pada $z = 0$ m pada $x = -1.5$ mm pola penteksturan dengan sudut 0°



Gambar 3.3 Kontur kecepatan bidang vertikal pada $z = 0$ m pada $x = 1.5$ mm pola penteksturan dengan sudut 0°



Gambar 3.4 Kontur kecepatan bidang vertikal pada $z = 0$ m pada $x = 3$ mm pola penteksturan dengan sudut 0°

Dari hasil data di atas, pada pola penteksturan 0° mendistribusi kecepatan maksimum secara merata pada setiap sumbu x yaitu 0.05747 m/s. Penelitian ini juga menunjukkan pola penteksturan menghasilkan nilai *load carrying capacity* sehingga mempengaruhi koefisien gesek pada bantalan.

4. Kesimpulan

Tekstur pada permukaan yang bersentuhan dengan fluida memainkan peran penting dalam mempengaruhi karakteristik aliran, kemampuan menahan beban, dan koefisien gesekan. Dalam studi ini, pola penteksturan pada permukaan diuji dengan sudut orientasi yang bervariasi untuk menentukan efeknya terhadap distribusi kecepatan fluida, kapasitas penahanan beban, serta tingkat gesekan yang dihasilkan.

Pada sudut orientasi 0° , pola penteksturan menunjukkan kemampuan yang signifikan dalam mempengaruhi distribusi kecepatan maksimum fluida. Dari tampilan depan di sumbu Z , kecepatan maksimum yang dicapai pada fluida tercatat sebesar 0.05747 m/s. Kecepatan ini menunjukkan bahwa tekstur dengan sudut orientasi 0° memungkinkan fluida untuk mencapai distribusi kecepatan yang lebih terfokus dan optimal pada arah tertentu, sehingga menghasilkan aliran yang lebih seragam di area tersebut.

Selain pengaruhnya pada distribusi kecepatan, pola tekstur pada sudut 0° juga menghasilkan kemampuan menahan beban (*load carrying capacity*) yang cukup tinggi, yakni sebesar 9.18188 N. Hal ini menandakan bahwa tekstur permukaan dengan orientasi 0° mampu mendukung beban yang lebih besar dibandingkan dengan beberapa variasi sudut lainnya, sehingga dapat meningkatkan stabilitas sistem pelumasan.

Selanjutnya, koefisien gesekan yang dihasilkan oleh pola tekstur dengan sudut 0° tercatat sebesar 0.1701862 . Nilai ini menunjukkan bahwa meskipun pola penteksturan pada sudut ini mampu menahan beban yang besar, gaya gesekan yang dihasilkan relatif terkendali, menjadikannya pilihan yang efektif untuk aplikasi pelumasan dengan efisiensi tinggi. Hal ini menunjukkan bahwa pola penteksturan berorientasi 0° memiliki keseimbangan antara daya dukung beban yang optimal dan tingkat gesekan yang rendah, yang ideal untuk aplikasi pelumasan yang membutuhkan efisiensi energi dan daya tahan tinggi.

5. Daftar Pustaka

- [1] Zhang, Y., Zhao, Y., Sun, W., & Li, J., 2021, "Ocean wave energy converters: Technical principle, device realization, and performance evaluation. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 141: 110764.
- [2] Santoso, Muhammad Alfian, et al., 2023, "A Mini Review: Wave Energy Converters Technology, Potential Applications and Current Research in Indonesia," 10: 1642-1650.
- [3] Ang, Tze-Zhang, et al., 2022, "A comprehensive study of renewable energy sources: Classifications, challenges and suggestions. *Energy Strategy Reviews*," 43: 100939.
- [4] Tauviquirrahman, Mohammad, et al., 2022, "Performance comparison of Newtonian and non-Newtonian fluid on a heterogeneous slip/No-slip journal bearing system based on CFD-FSI method. *Fluids*," 7.7: 225.
- [5] Li, Qiang, et al., 2019, "Investigations of the three-dimensional temperature field of journal bearings considering conjugate heat transfer and cavitation. *Industrial Lubrication and Tribology*," 71.1: 109-118.
- [6] Suryawanshi, Shubham, Dond, Dipak, Chavan, Harshal A., 2023, "Influence of nanoparticle additives on vibration characteristics in fluid film lubricated journal bearing using real time analysis. *Materials Today: Proceedings*."
- [7] Wasim & Djukic., 2022. External corrosion of oil and gas pipelines: A review of failure mechanisms and predictive preventions. *Journal of Natural Gas Science and Engineering*, 100, 104467.

-
- [8] Charamis & Nikolakopoulos,. 2024. Investigation of Cavitated Flow in Water-Lubricated Bearings Considering Surface Roughness, Thermal, and Elastic Effects. *Lubricants*, 12(4), 107.
 - [9] Hadi, 2024, “*Study on the Effect of Surface Texturing on UHMWPE Linear Sliding Bearings to Reduce Friction in Wave Energy Converters.*”
 - [10] Yin, Fanglong, et al., 2024. “*A system-level CFD simulation model for investigating the energy dissipation mechanism of seawater pump and rotary energy recovery device in SWRO desalination system.* *Desalination*,” 587: 117947.