

Pemodelan Hydro-Pump Storage Bertenaga Gelombang Laut Menggunakan Simulink

Rizki Pratama Putra¹; Dhami Djohar Damiri²; Hasna Satya Dini³; Sugeng Purwanto⁴

^{1, 2, 3, 4} Institut Teknologi PLN

¹ rizki@itpln.ac.id

ABSTRACT

Intermittency problem of wave power energy converter becomes a disadvantage when integrated into a power system, same with another renewable energy plant. In this paper, a method is proposed to solve the intermittency problem of wave energy converter when integrated into a small power system or in standalone mode. The main idea is to integrate a small pumped hydro system to the wave energy converter which the mechanical energy from wave converted to fluid potential energy. This study aims to create mathematical models of the interaction between a wave-powered pump, the reservoir and the generator. The models then simulated to see how wave amplitude and reservoir height affect the energy output of the plant. From the simulation results, when the amplitude of the wave is varied between 0.6-1.4 m, the highest power output comes with 1 m wave amplitude. The water output debit which has a relation with stored energy also gives its high rate when the wave amplitude is 1 m. The nonlinear relationship between related parameters is nonlinear that optimization technique will be needed to optimize the plant at a specific working condition.

Keywords: Wave energy, Pumped Hydro Storage, Dynamic Models, Energy Output

ABSTRAK

Masalah intermiten dari pembangkit listrik tenaga gelombang (PLTGL) memberikan masalah ketidakstabilan frekuensi ketika diintegrasikan ke dalam sistem tenaga listrik, sama halnya dengan pembangkit energi terbarukan lainnya. Dalam makalah ini, diusulkan suatu metode untuk menghilangkan masalah intermiansi dari PLTGL ketika diintegrasikan ke dalam sistem tenaga atau dalam mode standalone. Ide pokok dalam penelitian ini adalah mengintegrasikan sistem pumped hydro ke konverter energi gelombang yang akan mengubah energi mekanik dari gelombang menjadi energi potensial fluida. Penelitian ini bertujuan untuk membuat model matematika dari interaksi antara pompa bertenaga gelombang, reservoir dan generator. Model dinamis kemudian disimulasikan untuk melihat bagaimana amplitudo gelombang dan tinggi reservoir mempengaruhi output energi pembangkit. Dari hasil simulasi, ketika amplitudo gelombang divariasikan antara 0,6-1,4 m, output daya tertinggi dicapai ketika dengan amplitudo gelombang 1 m. Debit output pompa yang menentukan besar energi yang tersimpan pada reservoir juga mencapai nilai tertingginya ketika amplitudo gelombang sama dengan 1 m. Hubungan nonlinear antara parameter-parameter sistem membuka jalan optimasi pada model dinamis untuk menghasilkan suatu spesifikasi sistem pembangkit yang optimal pada kondisi operasi tertentu..

Kata kunci: PLTGL, Penyimpanan Pumped-hydro, Model dinamis, Energi Output

1. PENDAHULUAN

Sifat intermitent dari pembangkit listrik tenaga gelombang laut (PLTGL) memberikan efek yang buruk pada kestabilan sistem interkoneksi yang terintegrasi dengan pembangkit tersebut atau pun dalam mode operasi standalone [1][2][3]. Berbagai studi telah dilakukan untuk melihat pengaruh intermitansi [4][5] dan juga teknik pengontrolan yang sesuai untuk jenis-jenis pembangkit listrik tenaga gelombang laut [6][7].

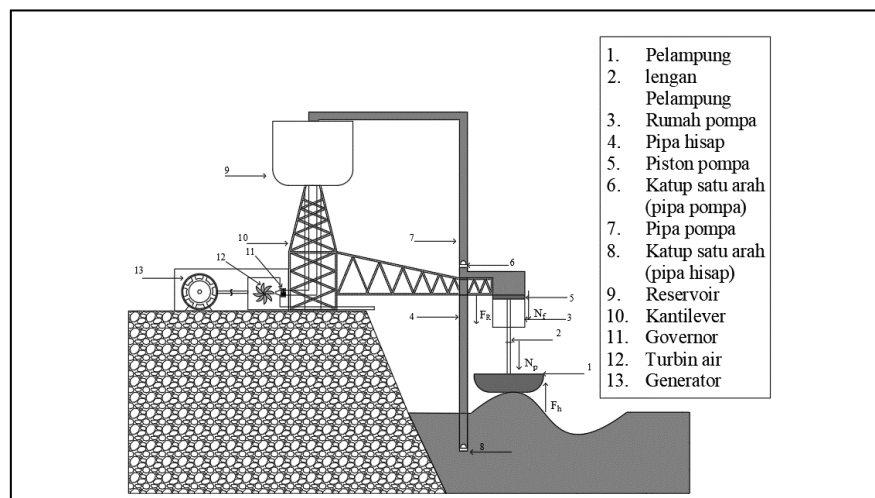
Untuk sistem interkoneksi berskala besar, integrasi pembangkit energi terbarukan seperti (PLTGL) membuat diperlukannya suatu penyimpanan energi berskala besar seperti sistem pumped hydro storage [8] atau pun penyimpanan energi lainnya yang memiliki waktu respon lebih cepat seperti flywheel energy storage system (FES) [9]. Sistem pumped hydro skala besar akan memberikan respon dan kestabilan tegangan dan frekuensi yang baik jika diterapkan pada sistem tenaga yang memiliki selisih daya mampu dan daya terpakai yang besar [10].

Untuk sistem tenaga yang kecil atau dalam operasi standalone, opsi pumped hydro berskala besar sulit untuk diterapkan sebab butuh energi yang besar untuk menampung air pada pumped hydro storage.

Pada penelitian ini dikaji suatu metode penyimpanan energi pumped hydro skala kecil yang ditenagai gelombang laut. Metode ini diusulkan agar dapat menutupi kelemahan PLTGL yakni ketidakstabilan outputnya. Penelitian ini bertujuan untuk menghasilkan suatu model matematis matematis interaksi pompa, reservoir dan generator, kemudian model dinamis tersebut akan disimulasikan untuk melihat bagaimana kinerja sistem berdasarkan karakteristik gelombang laut yang menjadi input. Parameter-parameter atau variable terkait sistem akan divariasikan untuk melihat pengaruhnya terhadap energi yang dapat disimpan oleh reservoir, lama waktu pengisian dan output energi generator. Hasil dari penelitian ini akan menjadi bahan pertimbangan awal dalam menentukan spesifikasi atau optimasi model fisik yang akan dibuat.

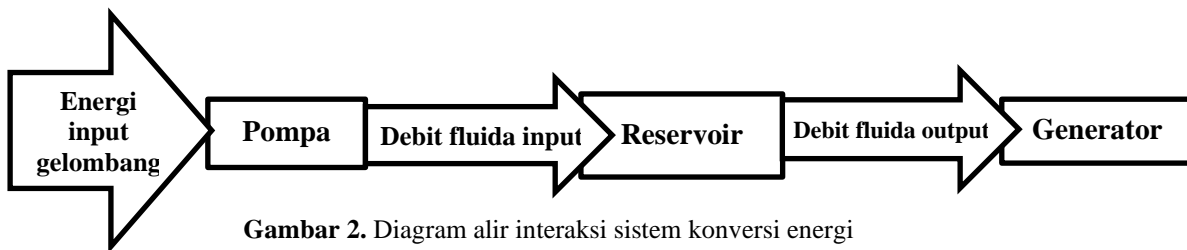
2. METODE/PERANCANGAN PENELITIAN

Sistem pembangkit listrik pump-hydro storage yang ditenagai gelombang laut terdiri dari beberapa subsistem, diantaranya yaitu : subsistem pompa-pelampung, subsistem pompa reservoir, dan subsistem reservoir dan generator. Gambar desain sistem pembangkit yang akan disimulasikan dapat dilihat dibawah ini:



Gambar 1. Gambar desain sistem pembangkit yang akan disimulasikan

Penelitian ini akan berfokus pada interaksi pompa-reservoir-generator, diagram alir proses konversi energi dapat dilihat pada gambar dibawah ini:



Gambar 2. Diagram alir interaksi sistem konversi energi

2.1. Laju Pengisian Reservoir

Laju pengisian reservoir ditentukan oleh debit air yang keluar dari pompa. Laju atau debit air didefinisikan sebagai $Q = Av$ (m^3/s) dimana A adalah luas penampang pipa dan v adalah kecepatan fluida.

Suatu gelombang air laut atau ombak memiliki amplituda gelombang yang periodik. Ketika ombak mengenai pelampung maka pompa akan terdorong ke atas pada setengah periode gelombang dan pada periode gelombang yang lain pompa akan kembali terdorong ke bawah. Pada setengah periode pertama akan terjadi proses pengisapan air laut oleh pompa. Jumlah fluida yang dihisap tergantung dari besarnya diameter pipa dan besar gaya yang didapat oleh piston pompa yang terhubung ke pelampung.

Pelampung akan turun kebawah karena pengaruh gaya gravitasi dan karena permukaan air ikut turun. Ketika piston pompa terdorong kebawah maka akan tercipta tekanan P_i pada inlet pompa sehingga air akan masuk dengan kecepatan v_i . Jumlah fluida yang dihisap adalah panjang pipa yang dilewati air dalam suatu periode waktu dikali dengan luas penampang pipa hisap atau bisa dituliskan dengan:

$$V = A \int_0^{\frac{1}{2}T} v dt \quad (1)$$

Pada setengah periode berikutnya pelampung terdorong ke atas dan fluida kemudian terdorong keatas. Piston pompa akan terdorong ke atas menghasilkan gaya tarik F dan memberikan tekanan dorong sebesar $P_p = F/A$. Berdasarkan persamaan bernouli sama seperti proses sebelumnya maka air akan terdorong keluar dari pompa pada ketinggian h_o dan dengan kecepatan v_o . Adapun jumlah debit air output dapat dihitung dengan persamaan (1) sama seperti ketika proses hisap fluida.

Selain menggunakan persamaan bernouli, kecepatan outlet air pada ketinggian reservoir tertentu dapat dicari. Ketinggian reservoir $H = nh_{max}$, dimana pada persamaan tersebut f_v menjadi konstan sehingga $h(t)$ akan sama pada siklus selanjutnya. Adapun kecepatan keluar fluida sama dengan $\frac{dh(t)}{dt}$ pada kondisi $H = nh_{max}$.

2.2. Sistem reservoir-turbin-generator

Jika dikehendaki sistem generator turbin dengan efisiensi η dapat menghasilkan energi listrik sebesar E_e . Maka dibutuhkan total energi dari fluida yang keluar dari reservoir sebesar E_R .

Kecepatan aliran fluida yang keluar dari pipa output reservoir tergantung dari ketinggian air yang ada dalam reservoir. Dengan menerapkan persamaan Bernouli pada reservoir, air akan keluar dari dasar reservoir dengan kecepatan yang jauh lebih tinggi dibandingkan kecepatan aliran air dalam reservoir atau kecepatan penurunan muka air dalam reservoir. Kecepatan aliran air yang keluar dapat dihitung dengan persamaan:

$$v_o = \sqrt{\frac{2gh_w}{1 - \frac{A_1}{A_2}}} \quad (2)$$

h_w disini adalah ketinggian permukaan air yang besarnya adalah:

$$h_w = h_0 - \Delta h = h_0 - \frac{\Delta V}{A_2} = h_0 - \frac{A_1 v_o t}{A_2} \quad (3)$$

Dimana A_1 adalah luas penampang pipa output dan A_2 adalah luas penampang reservoir. Sehingga,

$$v_o = \sqrt{\frac{2g(h_0 - \frac{A_1 v_o t}{A_2})}{1 - \frac{A_1}{A_2}}} \quad (4)$$

Dan karena kecepatan output air adalah positif maka

$$v_o = \frac{-gtA_1}{A_2 - A_1} + \frac{\sqrt{(2gtA_1)^2 + 8(A_2 - A_1)A_2gh_0}}{2(A_2 - A_1)} \quad (5)$$

Atau dapat juga dituliskan dengan

$$\frac{1}{A_1} \frac{dV}{dt} = \frac{-gtA_1}{A_2 - A_1} + \frac{\sqrt{(2gtA_1)^2 + 8(A_2 - A_1)A_2gh_0}}{2(A_2 - A_1)} \quad (6)$$

Sementara itu, karena posisi reservoir yang berada beberapa meter diatas tanah. Air yang keluar dari tangki dihubungkan menggunakan pipa yang ujung keluarannya terhubung dengan turbin yang berada diatas tanah ($h_r = 0$). Air yang keluar dari reservoir akan memiliki energi kinetik $\frac{1}{2}mv^2$ dan energi potensial (mgh) dan ketika sampai di bawah (turbin) energi potensial diubah sepenuhnya menjadi energi kinetik sehingga kecepatan air ketika sampai di turbin adalah :

$$v = \sqrt{2gh_r + v_o^2} \quad (7)$$

Dimana h_r adalah ketinggian reservoir dari permukaan tanah.

Telah diketahui bahwa energi potensial yang dimiliki oleh air yang berada pada reservoir diubah menjadi energi kinetik ketika sampai pada turbin. Energi kinetik yang diberikan oleh air ke turbin pada suatu selang waktu dt adalah $\frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}(\rho Avdt)v^2 = \frac{1}{2}\rho Av^3 dt$. Dan total energi kinetik yang dihasilkan oleh air dalam reservoir yang memiliki luas penampang A_2 , luas penampang outlet A_1 , volume V dan ketinggian dari permukaan tanah h_r dapat dicari dengan

$$E_{k \text{ air total}} = \frac{1}{2}\rho A \int_0^{t_f} v^3 dt \quad (8)$$

t_f disini adalah lama waktu hingga air dalam reservoir sudah habis dikeluarkan dan nilainya dapat dicari dengan mensubstitusi $v_o = 0$ pada persamaan (5) dan didapatkan

$$2t^2 - t - 4(A_2 - A_1)A_2h_0 = 0 \quad (9)$$

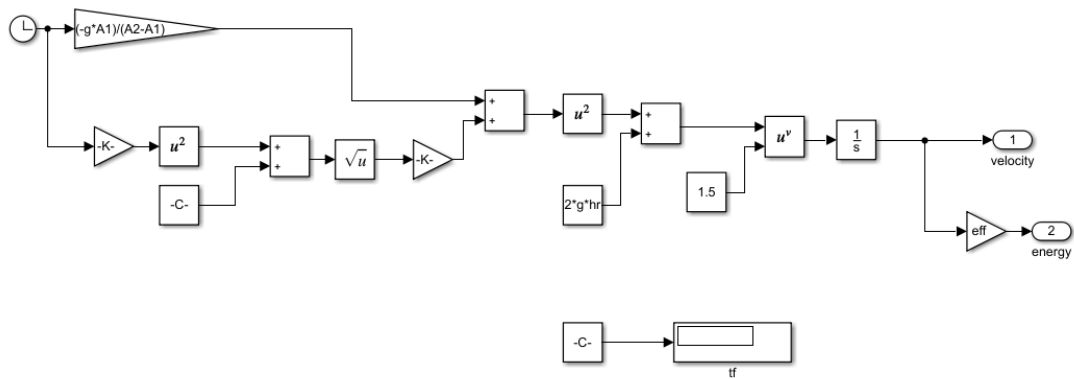
Dengan mengambil nilai t positif maka didapatkan

$$t = \frac{1}{4} + \sqrt{\frac{1}{4} + 8(A_2 - A_1)A_2h_0} \quad (10)$$

2.3. Efisiensi Sistem

Secara keseluruhan efisiensi reservoir atau efisiensi dari proses penyaluran fluida dari dalam reservoir ke turbin dipengaruhi oleh hambatan air yakni segala sesuatu yang menghambat laju aliran

2. Subsistem reservoir-generator



Gambar 4. Diagram blok Simulink subsistem reservoir-generator

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

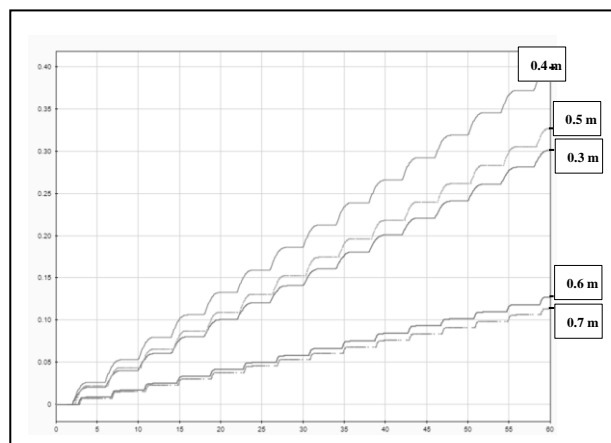
3.1. Hasil simulasi

Model Simulink akan disimulasikan untuk melihat pengaruh beberapa variable pembangkitan terhadap energi yang dihasilkan oleh generator. Parameter-parameter yang akan digunakan dalam simulasi dapat dilihat ditabel dibawah ini:

Tabel 1. Parameter statis komponen sistem pembangkitan

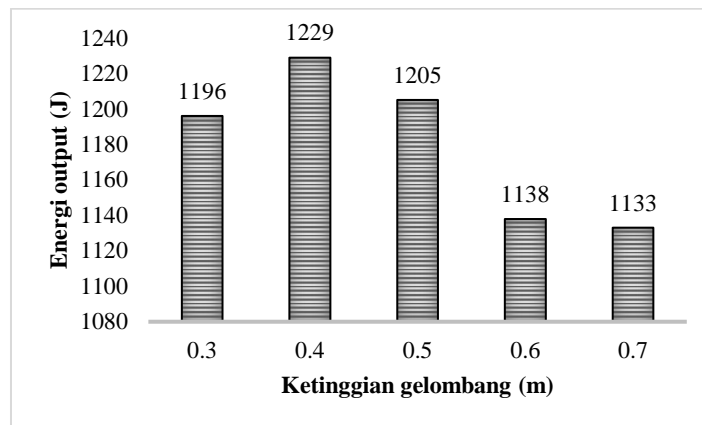
Parameter	Satuan	Nilai
Massa pelampung	kg	15
Luas pelampung	m ²	1
Panjang pipa hisap	m	5
Gaya friksi pompa	N	2
Panjang travel maksimum	m	1
Efisiensi generator	%	80
Waktu simulasi	s	10

Adapun hasil simulasi laju pengisian reservoir berdasarkan karakteristik gelombang laut yang diujikan dapat dilihat pada gambar di bawah ini:



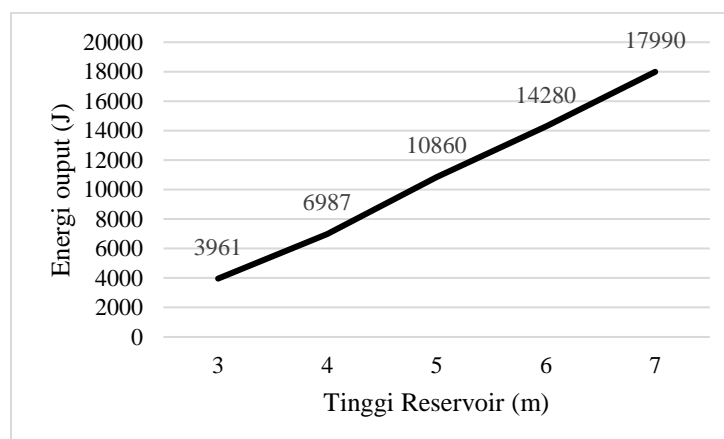
Gambar 5. Hubungan ketinggian gelombang dengan kurva debit output pompa

Pengaruh ketinggian gelombang laut terhadap output energi generator dapat dilihat pada gambar dibawah ini:



Gambar 6. Hubungan ketinggian gelombang dengan energi output yang dihasilkan generator (waktu simulasi 1 menit)

Faktor lain yang mempengaruhi energi yang ditampung oleh sistem penyimpanan energi adalah ketinggian reservoir. Seperti yang ditunjukkan pada persamaan (2)-(8), ketinggian reservoir h_0 berpengaruh signifikan pada nilai E_k yang dapat dihasilkan oleh penyimpanan energi tersebut. Adapun hubungan antara ketinggian reservoir dan total energi kinetic yang dapat disalurkan oleh reservoir dapat dilihat pada gambar dibawah ini:



Gambar 7. Pengaruh ketinggian reservoir terhadap total energi yang dapat dihasilkan oleh generator

3.2. Analisa:

Ketinggian gelombang mempengaruhi jumlah fluida yang dapat dipompa masuk ke reservoir. Hubungan jumlah fluida terpompa dan tinggi gelombang laut tidak linear. Pada gambar 5 diperlihatkan bahwa tinggi gelombang 0.4 m memberikan debit air terpompa paling besar, ketika tinggi gelombang lebih dari 0.4 m terlihat terjadi penurunan debit air yang dipompa ke reservoir.

Pada gambar 6 ditunjukkan hasil simulasi total energi output yang dihasilkan oleh generator dengan berbagai ketinggian gelombang, waktu simulasi adalah 1 menit. Pada grafik tersebut karakteristik jumlah energi total yang dibangkitkan generator sama dengan karakteristik jumlah debit yang dipompa berdasarkan ketinggian gelombang laut. Energi total terbesar yang dihasilkan oleh generator ada pada tinggi gelombang 0.4 meter dan energi output generator akan bertambah kecil dengan meningkatnya amplitude gelombang. Berdasarkan persamaan (2)-(8) nilai ini dapat saja berubah jika parameter-parameter terkait dengan spesifikasi pompa berubah. Proses optimasi dapat

dilakukan sebab output energi generator dan input energi gelombang periodik memiliki hubungan yang tidak bersifat linear.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Pada penelitian ini telah dimodelkan suatu interaksi pelampung-pompa-reservoir-generator dalam suatu sistem pembangkitan tenaga listrik pumped hidro bertenaga gelombang laut. Model matematis dibuat menggunakan analisa fisika fundamental kemudian dibuat dalam bentuk diagram blok Simulink untuk kemudian disimulasikan. Parameter komponen sistem pembangkitan divariasikan untuk melihat pengaruhnya terhadap output energi generator dan laju pengisian reservoir.

Hasil simulasi menunjukkan bahwa laju pengisian reservoir tidak memiliki relasi yang linear dengan nilai amplitud gelombang laut. Sama halnya dengan energi output generator yang dipengaruhi oleh jumlah fluida yang tertampung dalam reservoir dan juga ketinggian reservoir. Karena fluida yang ditampung oleh reservoir tergantung jumlah debit air yang dipompa maka output energi generator akan memiliki relasi yang serupa dengan perubahan ketinggian gelombang.

Hasil yang diperoleh dalam simulasi menunjukkan bahwa parameter ketinggian reservoir, ketinggian gelombang memiliki relasi yang tidak linear. Hal ini memerlukan optimasi untuk mendesain suatu spesifikasi sistem pembangkit gelombang laut dengan reservoir.

Validasi hasil simulasi pada penelitian ini hanya secara kualitatif saja yakni debit air yang dipompa bersifat periodik sesuai besar amplitud gelombang laut yang sesuai dengan pengamatan pada kerja sistem pompa fluida yang biasa ditemukan pada industry atau laboratorium. Sementara itu validasi eksperimental tetap perlu dilakukan untuk menguji secara kuantitatif keabsahan model dinamis yang telah dibuat.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Institut Teknologi PLN yang telah memberikan bantuan dana sehingga penelitian ini dapat berjalan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] V. Gevorgian, Y. Zhang, and E. Ela, "Investigating the Impacts of Wind Generation Participation in Interconnection Frequency Response," *IEEE Trans. Sustain. Energy*, 2015.
- [2] S. Zhang, "Investigating the impacts of renewable energy generators and energy storage systems on power system frequency response." Queensland University of Technology, 2016.
- [3] G. Ren, J. Liu, J. Wan, Y. Guo, and D. Yu, "Overview of wind power intermittency: Impacts, measurements, and mitigation solutions," *Appl. Energy*, vol. 204, pp. 47–65, 2017.
- [4] B. Sivaneasan, N. K. Kandasamy, M. L. Lim, and K. P. Goh, "A new demand response algorithm for solar PV intermittency management," *Appl. Energy*, vol. 218, pp. 36–45, 2018.
- [5] P. Praveen, S. Ray, J. Dasl, and A. Bhattacharya, "Multi-Objective power system expansion planning with renewable intermittency and considering reliability," in 2018 International Conference on Computation of Power, Energy, Information and Communication (ICCPEIC), 2018, pp. 424–429.
- [6] J. Davidson, R. Genest, and J. V. Ringwood, "Adaptive Control of a Wave Energy Converter," *IEEE Trans. Sustain. Energy*, 2018.
- [7] L. Wang, J. Isberg, and E. Tedeschi, "Review of control strategies for wave energy conversion systems and their validation: the wave-to-wire approach," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2018.

- [8] A. J. H. van Meerwijk, R. M. J. Benders, A. Davila-Martinez, and G. A. H. Laugs, “Swiss pumped hydro storage potential for Germany’s electricity system under high penetration of intermittent renewable energy,” *J. Mod. Power Syst. Clean Energy*, 2016.
- [9] S. M. Mousavi G, F. Faraji, A. Majazi, and K. Al-Haddad, “A comprehensive review of Flywheel Energy Storage System technology,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2017.
- [10] P. Sankaramurthy, B. Chokkalingam, S. Padmanaban, Z. Leonowicz, and Y. Adedayo, “Rescheduling of generators with pumped hydro storage units to relieve congestion incorporating flower pollination optimization,” *Energies*, 2019.
- [11] F. Yazdanifard, E. Ebrahimnia-Bajestan, and M. Ameri, “Investigating the performance of a water-based photovoltaic/thermal (PV/T) collector in laminar and turbulent flow regime,” *Renew. Energy*, vol. 99, pp. 295–306, 2016.
- [12] R. Ranjbarzadeh, A. Karimipour, M. Afrand, A. H. M. Isfahani, and A. Shirneshan, “Empirical analysis of heat transfer and friction factor of water/graphene oxide nanofluid flow in turbulent regime through an isothermal pipe,” *Appl. Therm. Eng.*, vol. 126, pp. 538–547, 2017.