

PERANCANGAN KONVERTER ENERGI GELOMBANG LAUT UNTUK PEMBANGKIT LISTRIK MENGGUNAKAN SISTEM *FLOATING*

Eko Bayu Setiawan^{1*}, dan Nafsan Upara¹

¹Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Pancasila

*Corresponding author: Ekobayusetiwan93@gmail.com

Abstract. *The use of fossil energy for power plants as an energy source has a negative impact on the environment. Emissions caused contain greenhouse gases that cause global warming. The effort to optimize the use of natural energy and as a substitute for fossil energy is to utilize ocean wave energy. Ocean wave energy is one of the main media in designing this energy converter and there are several other components that also play an important role in the working system of this energy converter, one of which is floating. Floating is a component that is located in direct contact with ocean waves, as a driving medium for piston shafts that can pump seawater into the pump. The method used in designing this electrical energy converter is using the Vereign Deutcher Ingenieur (VDI) method. In the process of modeling and simulation using solidworks software. Based on the analysis of the calculations that have been done, the value of the velocity of the water flowing out of the pipe is 1,17 m / s, and the discharge from the pipe is 2,41 m³ / s.*

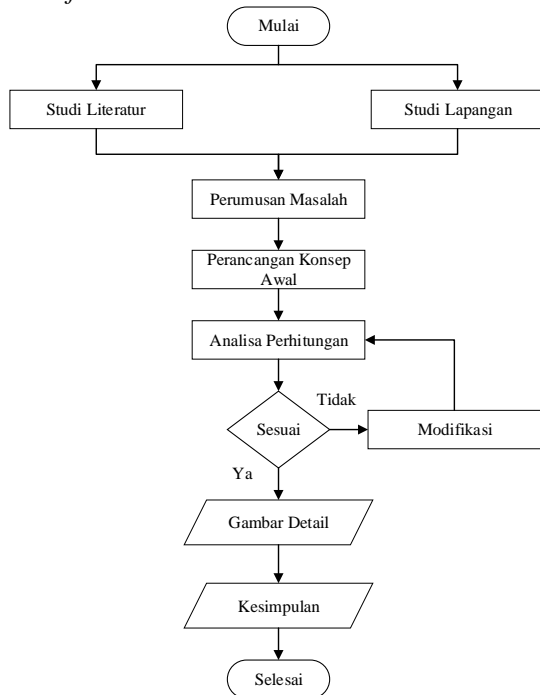
Keywords: *wave energy, energy converter, floating, VDI 2221*

Abstrak. Penggunaan energi fosil pada pembangkit listrik sebagai sumber energi menimbulkan dampak negatif pada lingkungan. Emisi yang ditimbulkan mengandung gas-gas rumah kaca yang menyebabkan pemanasan global. Salah satu upaya untuk mengoptimalkan penggunaan energi alamiah dan sebagai pengganti energi fosil tersebut adalah dengan memanfaatkan energi gelombang laut. Energi gelombang laut merupakan salah satu media utama dalam perancangan konverter energi ini dan ada beberapa komponen lain yang juga berperan penting terhadap sistem kerja dari konverter energi ini, salah satunya yaitu *floating*. *Floating* merupakan komponen yang letaknya bersentuhan langsung dengan gelombang laut, sebagai media penggerak *shaft piston* yang dapat memompakan air laut ke dalam pompa. Metode yang digunakan pada perancangan konverter energi listrik ini yaitu menggunakan metode *Vereign Deutcher Ingenieur* (VDI). Pada proses pemodelan dan simulasi menggunakan *software solidworks*. Berdasarkan analisa perhitungan yang sudah dilakukan maka didapatkan nilai dari kecepatan aliran air yang keluar pipa adalah 1,17 m/s, dan debit air yang keluar dari pipa adalah 2,41 m³/s.

Kata kunci: energi gelombang laut, konverter energi, *floating*, VDI 2221

tempat berdirinya turbin dan prototipe nantinya. Pengukuran tinggi gelombang rata-rata dan periode gelombang dilakukan pada siang dan sore hari tanggal 26 April 2019 dan pada sore hari disisi sebelah kiri pemecah gelombang pada 12 Mei 2019.

Data yang didapatkan selama studi lapangan akan menjadi acuan awal untuk perhitungan kecepatan aliran air dan debit air yang keluar pipa yang selanjutnya akan digunakan sebagai acuan pembuatan turbin *crossflow*.

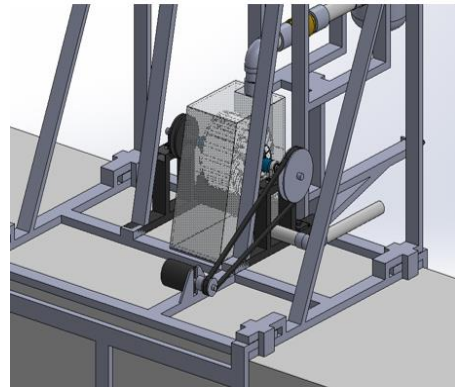
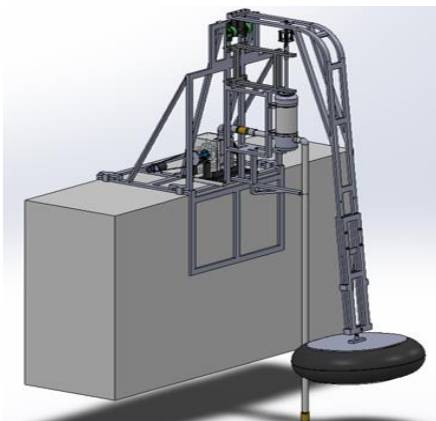


Gambar 1. Diagram Alir

Konsep Varian

Setelah melakukan studi lapangan dan perhitungan kuesioner maka didapatkan 3 konsep varian konverter energi gelombang laut, yaitu:

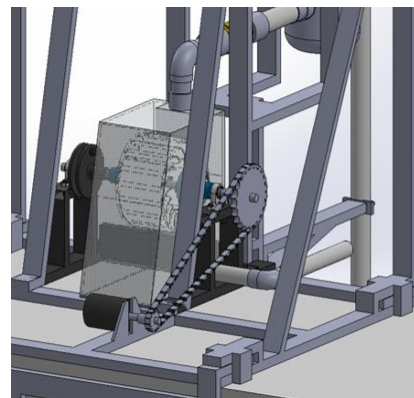
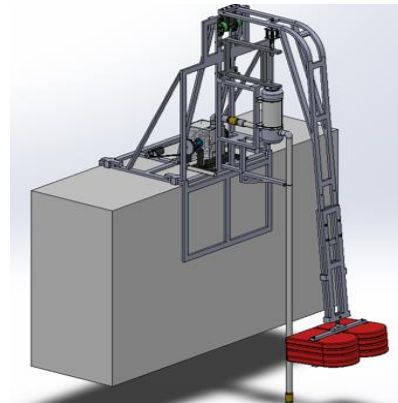
1) Varian 1



Gambar 2. Varian 1

Menggunakan material holo galvanis 20×40×6000 mm di bagian *frame* dan *bracket*, ban dalam mobil di bagian *floating* dan *pulley belt* untuk bagian transmisi.

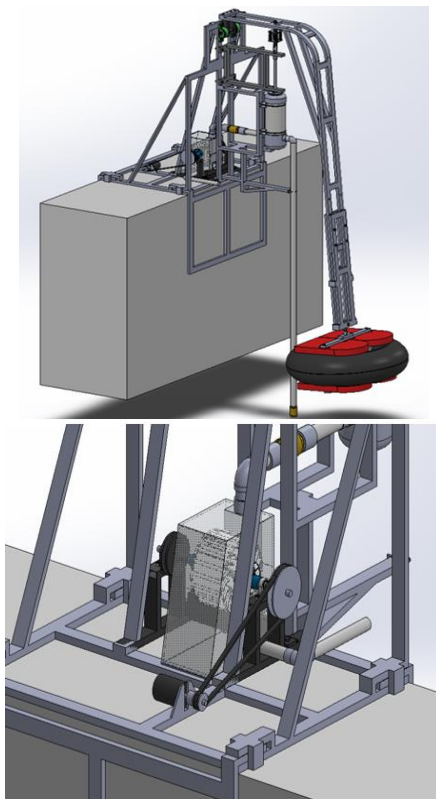
2) Varian 2



Gambar 3. Varian 2

Menggunakan material holo galvanis 20×40×6000 mm di bagian *frame* dan *bracket*, papan renang di bagian *floating* dan roda gigi serta rantai untuk bagian transmisi.

3) Varian 3



Gambar 4. Varian 3

Menggunakan material holo galvanis $20 \times 40 \times 6000$ mm di bagian *frame* dan *bracket*, papan renang di bagian *floating* dan roda gigi serta rantai untuk bagian transmisi.

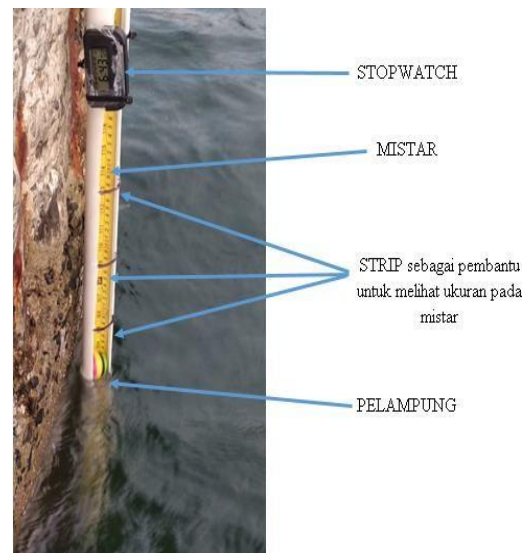
Dari ketiga varian di atas, dengan mempertimbangkan segala aspek dan perhitungan dari data kuesioner maka yang dipilih adalah varian ketiga dengan alasan:

1. Jenis material untuk *frame* menggunakan besi *hollow galvanis* karena mempertimbangkan daya tahan korosi di posisi *frame* selama proses pengujian *prototipe* berlangsung.
2. Jenis *floating* yang digunakan adalah gabungan antara ban dalam mobil dan papan renang dengan asumsi agar energi yang diterima dari gelombang laut akan maksimal jika luas penampang *floating* lebih luas dan daya apung yang baik.
3. Sambungan transmisi menggunakan *pulley belt* untuk mengurangi resiko korosi.

Hasil dan Pembahasan

Lokasi penelitian di wilayah Muara Baru (Pelabuhan Samudera Nizam Rachman

Jakarta) terlihat pada Gambar 4.10 pemilihan tempat dilakukan karena dinilai tepat untuk melakukan kegiatan penelitian. Beton pemecah ombak bisa dijadikan base tempat penelitian sebagai tempat berdirinya turbin dan prototipe nantinya. Pengukuran tinggi gelombang rata-rata dan periode gelombang dilakukan pada siang dan sore hari tanggal 26 April 2019 dan pada sore hari disisi sebelah kiri pemecah gelombang pada 12 Mei 2019.



Gambar 5. Alat Ukur

Pengukuran untuk mengetahui ketinggian, periode, dan waktu untuk amplitudo gelombang dilakukan dengan menggunakan mistar dan *stopwatch* untuk kemudian direkam menggunakan kamera dan dilakukan pencatatan data terkait dengan alat seperti Gambar 1.4.

Tabel 1.1, 1.2, dan 1.3 adalah hasil dari studi lapangan atau pengukuran karakteristik gelombang yang dilakukan pada wilayah muara baru (pelabuhan samudera nizam rachman jakarta) dengan 3 waktu berbeda. Metode mencatat data gelombang yaitu dengan cara mengukur tinggi gelombang di pinggir tembok pemecah gelombang dan dengan memakai *stopwatch* untuk mengukur periode gelombang dan juga digunakan aplikasi Avidemux untuk mengakuratkan pengukuran waktu dengan cara menghentikan *frame* video pengukuran pada saat posisi permukaan gelombang berada di atas dan di bawah.

Tabel 1. Data Gelombang Pada Siang Hari

| No. | Posisi permukaan gelombang | Waktu tinggi gelombang dalam video | Strip (ketinggian pada mistar) | Tinggi gelombang (cm) | Waktu untuk 2 amplitudo (s) | Periode 1 gelombang (s) |
|-----------|----------------------------|------------------------------------|--------------------------------|-----------------------|-----------------------------|-------------------------|
| 1 | Atas | 0,94 | 5 (270 cm) | 30 | 1,13 | 1,83 |
| 2 | Bawah | 2,07 | 8 (240 cm) | | | |
| 3 | Atas | 2,77 | 5 (270 cm) | 30 | 0,70 | 1,73 |
| 4 | Bawah | 3,23 | 8 (240 cm) | 30 | 0,47 | |
| 5 | Atas | 4,50 | 6 (260 cm) | 20 | 1,27 | 4,59 |
| 6 | Bawah | 6,00 | 7 (250 cm) | 10 | 1,50 | |
| 7 | Atas | 9,09 | 6 (260 cm) | 10 | 3,10 | 4,60 |
| 8 | Bawah | 11,09 | 9 (230 cm) | 30 | 2,00 | |
| 9 | Atas | 13,69 | 4 (280 cm) | 50 | 2,60 | 1,40 |
| 10 | Bawah | 14,69 | 8 (240 cm) | 40 | 1,00 | |
| 11 | Atas | 15,09 | 6 (260 cm) | 20 | 0,40 | |
| Rata-rata | | | | 27 | 1,41 | 2,83 |

Tabel 2. Data Gelombang Pada Sore Hari

| No. | Posisi permukaan gelombang | Waktu tinggi gelombang dalam video | Strip (ketinggian pada mistar) | Tinggi gelombang (cm) | Waktu untuk 2 amplitudo (s) | Periode 1 gelombang (s) |
|-----------|----------------------------|------------------------------------|--------------------------------|-----------------------|-----------------------------|-------------------------|
| 1 | Atas | 0,37 | 5 (270 cm) | 40 | 1,47 | 3,00 |
| 2 | Bawah | 1,84 | 9 (230 cm) | | | |
| 3 | Atas | 3,37 | 4 (280 cm) | 50 | 1,53 | 2,46 |
| 4 | Bawah | 4,83 | 8 (240 cm) | 40 | 1,46 | |
| 5 | Atas | 5,83 | 5 (270 cm) | 30 | 1,00 | 2,20 |
| 6 | Bawah | 6,60 | 6 (260 cm) | 10 | 0,77 | |
| 7 | Atas | 8,03 | 5 (270 cm) | 10 | 1,43 | 1,80 |
| 8 | Bawah | 9,10 | 7 (250 cm) | 20 | 1,07 | |
| 9 | Atas | 9,83 | 5 (270 cm) | 20 | 0,73 | 2,66 |
| 10 | Bawah | 11,33 | 9 (230 cm) | 40 | 1,50 | |
| 11 | Atas | 12,49 | 2 (300 cm) | 60 | 1,17 | |
| Rata-rata | | | | 32 | 1,21 | 2,42 |

Tabel 3. Data Gelombang Pada Sore Hari (Di Lokasi Sebelah Kiri Setelah Pemecah Ombak)

| No. | Posisi permukaan gelombang | Waktu tinggi gelombang dalam video | Strip (ketinggian pada mistar) | Tinggi gelombang (cm) | waktu untuk 2 amplitudo (s) | Periode 1 gelombang (s) |
|-----------|----------------------------|------------------------------------|--------------------------------|-----------------------|-----------------------------|-------------------------|
| 1 | Atas | 0,50 | 5 (270 cm) | 30 | 0,83 | 2,23 |
| 2 | Bawah | 1,33 | 8 (240 cm) | | | |
| 3 | Atas | 2,73 | 5 (270 cm) | 30 | 1,40 | 2,76 |
| 4 | Bawah | 3,79 | 6 (260 cm) | 10 | 1,07 | |
| 5 | Atas | 5,49 | 5 (270 cm) | 10 | 1,70 | 4,13 |
| 6 | Bawah | 7,09 | 7 (250 cm) | 20 | 1,60 | |
| 7 | Atas | 9,62 | 5 (270 cm) | 20 | 2,53 | 1,13 |
| 8 | Bawah | 10,42 | 6 (260 cm) | 10 | 0,80 | |
| 9 | Atas | 10,75 | 5 (270 cm) | 10 | 0,33 | 1,33 |
| 10 | Bawah | 11,38 | 7 (250 cm) | 20 | 0,63 | |
| 11 | Atas | 12,08 | 6 (260 cm) | 10 | 0,70 | |
| Rata-rata | | | | 17 | 1,16 | 2,32 |

Pengukuran yang dilakukan pada 3 waktu yang berbeda kemudian dihitung rata-rata tinggi gelombang, waktu untuk amplitudo, dan periode gelombang seperti terlihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Data Gelombang Rata-rata

| No. | Waktu pengukuran | Tinggi gelombang rata-rata (cm) | waktu untuk 2 amplitudo rata-rata (s) | Periode 1 gelombang rata-rata (s) |
|-----------|--|---------------------------------|---------------------------------------|-----------------------------------|
| 1 | Siang | 27 | 1.41 | 2.83 |
| 2 | Sore | 32 | 1.21 | 2.42 |
| 3 | Sore (Di lokasi setelah pemecah ombak) | 17 | 1.16 | 2.32 |
| Rata-rata | | 25.33 | 1.26 | 2.52 |

Analisa Perhitungan

1. Menghitung Periode Gelombang

Panjang dan kecepatan gelombang laut dipengaruhi oleh periode datangnya gelombang. Periode datangnya gelombang dapat dihitung dengan menggunakan rumus yang disarankan oleh Kim Nielsen, yaitu :

$$T = 3,55 \times \sqrt{H}$$

Dimana:

T= Periode datangnya gelombang (s)

H= Tinggi gelombang laut (m)

$$\text{➤ } T = 3,55 \times \sqrt{H}$$

$$T = 3,55 \times \sqrt{0.2533}$$

$$T = 1,7866 \text{ s}$$

2. Menghitung Panjang dan Kecepatan Gelombang

Setelah mengetahui prakiraan periode datangnya gelombang, maka kita dapat menghitung besar panjang gelombang dan kecepatan gelombang berdasarkan persamaan yang disarankan oleh David Ross, yaitu:

$$\lambda = 5,12 \times T^2$$

Dimana:

λ = Panjang gelombang laut (m)

T= Periode datangnya gelombang (s)

$$\text{➤ } \lambda = 5,12 \times T^2$$

$$\lambda = 5,12 \times (1,7866)^2$$

$$\lambda = 16,34 \text{ m}$$

3. Maka, kecepatan gelombang dapat diperoleh dengan menggunakan rumus:

$$V = \frac{\lambda}{T}$$

Dimana:

V = Kecepatan gelombang laut (m/s)

λ = Panjang gelombang laut (m)

T = Periode datangnya gelombang (s)

$$\text{➤ } V = \frac{\lambda}{T}$$

$$V = \frac{16,34}{1,7866}$$

$$V = 9,14 \text{ m/s}$$

4. Menghitung Energi Potensial Gelombang

$$\frac{EPG}{A} = \frac{1}{4} \times \rho \times a^2 \times \frac{g}{g_c}$$

Dimana,

EPG = Energi gelombang laut (J/m²)

A = Luas gelombang (m²)

ρ = 1000 kg/m³

a = $\frac{\text{tinggi gelombang rata-rata}}{2}$

$$\frac{25,33 \text{ cm}}{2} = 12,67 \text{ cm} = 0,1267 \text{ m}$$

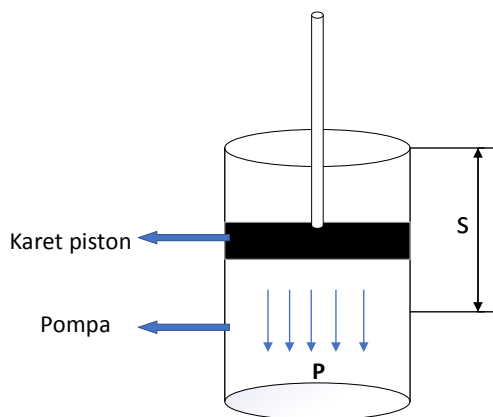
g = 9,81 m/s²

g_c = Faktor konversi (1,0 kg.m/(N.s²))

$$\text{➤ } \frac{EPG}{A} = \frac{1}{4} \times 1000 \times (0,1267)^2 \times \frac{9,81 \text{ m/s}^2}{1,0 \text{ kg.m/(N.s}^2\text{)}}$$

$$EPG = 39,37 \text{ J/m}^2$$

5. Menghitung Gaya Tekan Pompa



Gambar 6. Sistem Kerja Pompa

Energi gelombang laut digunakan untuk menggerakkan pompa *single acting*,

sebagaimana diperlihatkan pada gambar 5. Sehingga dikonversikan menjadi energi mekanik yang menggerakkan piston.

$$Eg = Em = P \times s$$

Dimana :

Eg = 39,37 J/m²

s = 150 mm = 0,15 m

P = Gaya yang menekan piston (N)

$$\text{➤ } Eg = Em = P \times s$$

$$P = \frac{Eg}{s}$$

$$P = \frac{39,37 \text{ J/m}^2}{0,15 \text{ m}}$$

$$P = 262,26 \text{ N}$$

6. Sehingga *pressure* dapat dihitung dengan rumus:

$$p = P/A$$

Dimana

p = Tekanan pada dinding silinder (Pa)

P = Gaya tekan piston (N)

A = Luas penampang silinder (m²) (memakai pipa vpc 4", dimana di = 109,9 mm)

$$\text{➤ } A = \frac{\pi}{4} \times d_i^2$$

$$A = \frac{\pi}{4} \times 0,1099^2$$

$$A = 0,0092 \text{ m}^2$$

$$\text{➤ } \text{Jadi, } p = P/A$$

$$p = 262,26 \text{ N} / 0,0092 \text{ m}^2$$

$$p = 28506,63 \text{ Pa}$$

7. Menghitung Kecepatan Aliran Air Keluar Pompa

$$V = \sqrt{2 \times g \times h}$$

Dimana,

V = Kecepatan air keluar pompa (m/s)

g = Percepatan gravitasi (m/s²)

h = Jarak nosel ke turbin (m)

$$= 0,07 \text{ m}$$

$$\text{➤ } V = \sqrt{2 \times g \times h}$$

$$V = \sqrt{2 \times 9,81 \text{ m/s}^2 \times 0,07 \text{ m}}$$

$$V = 1,17 \text{ m/s}$$

8. Menghitung Debit Aliran Air Keluar Pompa

$$Q = A \times V$$

Dimana

Q = Debit air (m³/s)

A = Luas penampang nosel (m²)

$$= \frac{\pi}{4} \times d_i^2 \text{ (elbow } 1 \frac{1}{4}\text{'')}$$

$$= \frac{\pi}{4} \times 0,381^2$$

$$= 0,143 \text{ m}^2$$

V = Kecepatan air keluar pompa (m/s)

$$\text{➤ } Q = A \times V$$

$$= 0,143 \text{ m}^2 \times 1,171 \text{ m/s}$$

$$= 0,167 \text{ m}^3/\text{s}$$

Kesimpulan

Setelah melakukan perancangan dan pembuatan *prototipe* konverter energi gelombang laut, dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Setelah melakukan perancangan dan perhitungan ini didapatkan komponen dan material untuk pembuatan *prototipe* konverter energi gelombang laut, sebagai berikut:
 - *Frame* dan *bracket* menggunakan besi holo galvanis 20×40×6000 mm
 - *Floating* menggunakan ban dalam mobil dan papan renang
 - Pompa menggunakan PVC AW 4 inchi
 - Piston menggunakan karet matras
 - *Shaft* Piston menggunakan besi silinder *solid stainless steel* diameter 12 mm
 - Turbin *crossflow* menggunakan akrilik dan pvc
2. Proses perakitan konverter energi menggunakan proses pengelasan dan sambungan mur baut.
3. Hasil yang didapat untuk perhitungan kecepatan aliran air yang keluar pipa (V) adalah 1,17 m/s dan debit air yang keluar pipa (Q) adalah 2,41 m³/s
4. Proses pengujian masih mengalami beberapa kendala dan masalah yaitu pada saat *start* diperlukan waktu 30 menit untuk memenuhi pompa dengan air laut karena periode datang dan tingginya gelombang laut tidak dapat diprediksi dan dapat berubah sewaktu-waktu.

Referensi

- [1] M. Muchlis, D. Adhi, and D. Permana, “Pengembangan Sistem Kelistrikan dalam Menunjang Pembangunan Nasional Jangka Panjang Proyeksi Kebutuhan Listrik PLN Tahun,” 2010.
- [2] A. Uihlein and D. Magagna, “Wave and tidal current energy – A review of the current state of research beyond technology,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 58, pp. 1070–1081, May 2016.
- [3] B. Czech and P. Bauer, “Wave Energy Converter Concepts : Design Challenges and Classification,” *IEEE Ind. Electron. Mag.*, vol. 6, no. 2, pp. 4–16, Jun. 2012.
- [4] B. Chenari, S. Saadatian, and A. Ferreira, “Wave Energy Systems: An Overview Of Different Wave Energy Converters And Recommendation For Future Improvements Occupational And Safety Issues Of Workers In Central Tower Solar Energy Facilities View project Forest Fire Research View” 2014.
- [5] M. Esteban and D. Leary, “Current developments and future prospects of offshore wind and ocean energy,” *Apply. Energy*, vol. 90, no. 1, pp. 128–136, Feb. 2012.
- [6] A. F. de O. Falcão, “Wave energy utilization: A review of the technologies,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 14, no. 3, pp. 899–918, Apr. 2010.
- [7] Raymond Alcorn., & Dara, O'Sullivan., (2013). *Electrical Design for Ocean Wave and Tidal Energy Systems-The Institution of Engineering and Technology, Vol. 17*
- [8] G. A. Moore, “Powerplant Technology,” vol. 31, no. 1. p. 84, 2010.
- [9] Siti Rahma Utami., (2010) “*Studi Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut Dengan Menggunakan Sistem Oscilating Water Column (OWC) Di Tiga Puluh Wilayah Kelautan Indonesia*”,. Skripsi. Jakarta: Studi Teknik Elektro Universitas Indonesia.
- [10] Ululfathy, Izzuramadany., (2019). *Bangun Ruang Bakar Berbahan Bakar Gas Pada Generator Set Berpenggerak Stirling Engine*, Skripsi. Jakarta: Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Pancasila.
- [11] Mafruddin, “*Studi Eksperimental Sudut Nosel Dan Sudut Sudu*,” no.

-
- 116, 2006.
- [12] M. Pltmh, S. Simanjuntak, and L. O. M. Firman, “*Analisis perhitungan daya PMTMH*”.
- [13] L. F. Drbal, P. G. Boston, K. L. Westra, and R. B. Erickson, *Power Plant Engineering*. 2011.
- [14] B. Nesbitt, *Handbook of Pumps and Pumping (Pumping Manual International)*, 2006.
- [15] M. Stewart, *Surface Production Operations*, vol. 4. Joe Hayton, 2018.
- [16] F. Jurnal, T. Mesin, E. A. Pane, B. M. Suyitno, and F. D. Yudhanto, “Analisis Penurunan Tekanan Aliran Udara Pada Pipa Bertekanan”, 2016.
- [17] Wahyu Widiyanto , Sanidhya Nika Purnomo, (2014) “*PERMASALAHAN HIDRAULIK TEMPAT WUDHU PADA MASJID-MASJID DI KOTA PURWOKERTO*”, Purbalingga: Program Studi Teknik Sipil, Universitas Jendral Soedirman.