

DESAIN KONVERTER GELOMBANG BENTUK SEGIENAM SEBAGAI SUMBER PEMBANGKIT LISTRIK DI PERAIRAN LAUT JAWA

Wahyu Nugroho Mustikojati, Eko Sasmito Hadi, Kiryanto
Program Studi S1 Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro, Indonesia
e-mail : wahyu.naval11@gmail.com

Abstrak

Indonesia sebagai negara kepulauan dengan luas perairan hampir 60% dari luas wilayahnya, tentu memiliki garis pantai yang sangat panjang. Badan Informasi Geospasial (BIG) menyebutkan, total panjang garis pantai Indonesia adalah 99.093 kilometer, hampir 100 kali panjang Pulau Jawa. Dengan garis pantai yang panjang tersebut, potensi energi ombak sangat besar. Energi yang dihasilkan ombak ini, jika dimanfaatkan tentu bisa menjadi sumber energi yang sangat besar. Oleh karena itu dibutuhkan analisa untuk memodifikasi konverter sebagai alat bantu yang menghasilkan sejumlah energi agar dapat bekerja dengan maksimal. Energi tersebut yang nantinya akan dimanfaatkan sebagai sumber pembangkit listrik alternatif menggantikan batu bara dan minyak bumi. WEC (*Wave Energy Converter*) atau konverter yang memanfaatkan energi gelombang merupakan alat yang menyerap energi gelombang dengan kekuatan gerakan secara langsung atau *Power Take-Off* (PTO). PTO merupakan sistem yang paling efisien dan bermanfaat dalam mengubah gerak osilasi kecepatan rendah gelombang laut. Dalam penelitian ini, dilakukan modifikasi variasi muatan pada konverter berbentuk segienam. Pemodelan variasi muatan memakai bantuan maxsurf dan bantuan Ansys Aqwa, yang bertujuan untuk menganalisa karakteristik gerakan dari konverter berbentuk segienam. Dengan mempertimbangkan hasil analisa karakteristik gerakan konverter berbentuk segienam, dilakukan analisis perbandingan dengan karakteristik gerak konverter berbentuk segienam saat dioperasikan di laboratorium, dengan memperhatikan kriteria operasi yang telah ditentukan. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa olah gerak terbaik untuk gerakan heave secara keseluruhan berturut-turut didapatkan pada converter bentuk segienam muatan 30 kg, muatan kosong, muatan 20 kg dan muatan 10 kg dengan nilai amplitudo 0,215818 dengan tinggi gelombang 0,8 m dan nilai spektrum gelombang 1,675 detik.

Kata kunci : *Seakeeping*, WEC (*Wave Energy Converter*), Konverter Berbentuk Segienam, *Heave*

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Energi adalah sesuatu yang memang sangat dibutuhkan manusia, energi digunakan dalam berbagai macam hal, seperti salah satunya listrik. Listrik yang kita ketahui diperoleh dari diesel yang menggunakan bahan bakar batu bara dan minyak bumi, sedangkan persediaannya sangat terbatas dan telah diprediksi oleh ahli geologis dan geofisika bahwa batu bara dan minyak bumi akan habis dalam kurung waktu 30-50 tahun kedepan. Tetapi ketergantungan terhadap sumber daya batu bara dan minyak bumi yang semakin lama berkurang jumlahnya menjadikan suatu masalah yang timbul selanjutnya. Perlu adanya suatu energi alternatif untuk mengatasi ketergantungan tersebut.

Terdapat beberapa energi alternatif yang dapat dimanfaatkan di negara Indonesia ini untuk menanggulangi ketersediaan batu bara dan minyak bumi yang terbatas, seperti energi surya, energi angin, energi uap/panas bumi, hydropower, energi gelombang air laut, dan lainnya[1].

Indonesia sebagai negara kepulauan dengan luas perairan hampir 60% dari luas wilayahnya, tentu memiliki garis pantai yang sangat panjang. Badan Informasi Geospasial (BIG) menyebutkan, total panjang garis pantai Indonesia adalah 99.093 kilometer, hampir 100 kali panjang Pulau Jawa. Dengan garis pantai yang panjang tersebut, potensi energi ombak sangat besar. Energi yang dihasilkan ombak ini, jika dimanfaatkan tentu bisa menjadi sumber energi yang sangat besar.

Asosiasi Energi Laut Indonesia (ASELI) pada tahun 2011 telah mendata potensi energi listrik yang bisa dihasilkan ombak. Arus pasang surut memiliki potensi teoretis sebesar 160 Gigawatt (GW), potensi teknis 22,5 GW, dan potensi praktis 4,8 GW. Sungguh besar, bukan? Akan tetapi, di manakah potensi itu berada?

Berdasarkan survei yang dilakukan Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT) dan Pemerintah Norwegia sejak tahun 1987, didapat jika banyak daerah-daerah pantai Indonesia yang berpotensi sebagai pembangkit listrik bertenaga ombak. Lokasinya tersebar di sepanjang Pantai Selatan Pulau Jawa, di atas Kepala Burung Irian Jaya, dan sebelah barat Pulau Sumatera yang sangat sesuai untuk menyuplai energi listrik.



Gambar 1.1 Peta daerah yang memiliki potensi pembangkit listrik tenaga ombak berdasarkan riset BPPT

Oleh karena itu dibutuhkan analisa untuk memodifikasi konverter sebagai alat bantu yang menghasilkan sejumlah energi agar dapat bekerja dengan maksimal. Energi tersebut yang nantinya akan dimanfaatkan sebagai sumber pembangkit listrik alternatif menggantikan batu bara dan minyak bumi. Maka dibuatlah studi Tugas Akhir “ **DESAIN KONVERTER GELOMBANG BENTUK SEGIENAM SEBAGAI SUMBER PEMBANGKIT LISTRIK DI PERAIRAN LAUT JAWA** “

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan pokok permasalahan yang ada terdapat pada latar belakang, maka penelitian ini diambil rumusan masalah sebagai berikut :

1. Bagaimana merancang sebuah konverter tenaga gelombang laut berbentuk segi enam untuk sumber pembangkit listrik?
2. Bagaimana karakteristik gerakan yang dihasilkan sebuah konverter tenaga gelombang laut berbentuk segi enam untuk sumber pembangkit listrik?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan latar belakang di atas maka maksud dan tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mendapatkan desain konverter berbentuk segi enam sebagai sumber Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut.
2. Mendapatkan karakteristik gerak yang dihasilkan oleh konverter bebrbentuk segi enam sebagai sumber Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Energi Alternatif

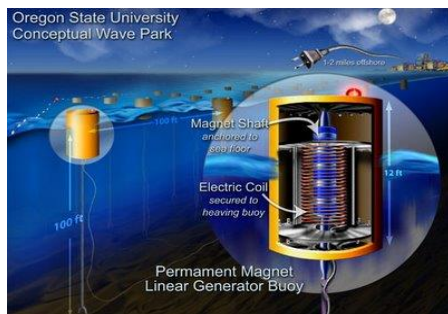
Lautan menyediakan beberapa bentuk energi terbarukan, dan masing-masing didorong oleh kekuatan yang berbeda. Energi dari gelombang laut dan pasang surut dapat dimanfaatkan untuk menghasilkan listrik, dan energi termal laut dari panas yang tersimpan dalam air laut dapat juga diubah menjadi listrik. Meskipun pada masa sekarang, energi laut memerlukan teknologi yang mahal dibandingkan dengan sumber energi terbarukan lainnya, selain itu energi yang dihasilkan oleh gelombang air laut hanya bisa digunakan di sekitar daerah laut saja. Tapi laut tetap penting sebagai sumber energi potensial untuk masa depan[1].

Salah satu tenaga alternatif adalah tenaga air. Air laut memiliki banyak manfaat.Salah satunya, menghasilkan energi listrik dari pusat pembangkit listrik tenaga ombak. Sifat kontinuitasnya yang tersedia terus setiap waktu menjadikan ombak baik untuk dijadikan sebagai pembangkit tenaga listrik Melalui pembangkit listrik ini, energi besar yang dimiliki ombak dapat diubah menjadi tenaga listrik.

2.2 WEC (Wave Energy Converter)

WEC (*Wave Energy Converter*) atau dalam bahasa indonesia diartikan konverter yang memanfaatkan energi gelombang merupakan alat yang menyerap energi gelombang dengan kekuatan gerakan secara langsung atau *Power Take-Off* (PTO). PTO merupakan sistem yang paling efisien dan bermanfaat dalam mengubah gerak osilasi kecepatan rendah gelombang laut. Titik menyerap WEC mencerminkan teknologi yang sederhana namun kuat, yang terdiri dari pelampung atau badan mengambang untuk menangkap gelombang yang bergerak naik-turun. Dalam sistem ini, pelampung bergerak melalui gerak tunggal sesuai dengan gelombang laut, mengendalikan lengan ayun yang mengubah rotasi generator. Pergerakan tersebut kemudian memberikan daya yang diperlukan

untuk platform saat merilis nol emisi ke atmosfer. Gelombang laut menerapkan besar energi pada kecepatan lambat, dan titik penggerak langsung menyerap sistem yang sangat cocok untuk menangkap energi dalam kondisi ini. Dalam studi ini, frekuensi dan waktu analisis domain dilakukan untuk sepenuhnya menentukan output daya sistem WEC ini[10].

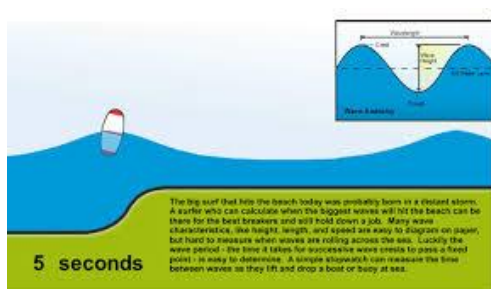


Gambar 1. Desain Konverter Linier Motion

Berikut merupakan siklus olah gerak dari pergerakan Konverter bentuk segienam. Awalnya poros konverter bentuk segienam ditambatkan ke dasar laut. Kemudian dengan adanya amplitudo gelombang laut apung-apung konverter akan bergerak naik turun mengikutinya. Gerakan tersebut menimbulkan gesekan antara konverter dengan porosnya. Gesekan tersebut nantinya menghasilkan frekuensi yang akan disalurkan menuju alternator. Kemudian dari alternator ini akan melalui proses selanjutnya sampai menghasilkan listrik yang akan dimanfaatkan.[8]

2.3 Gelombang Air Laut

Battacharyya (1987) menyatakan gelombang laut terbentuk karena permukaan laut terkena hembusan angin terus menerus. Besarnya gelombang tergantung dari intensitas, jangka, waktu, jarak angin berhembus (*fetch length*). Gelombang menyerap energi dari angin, dan sebaliknya mengeluarkan energi untuk penyebarannya.



Gambar 2. Gelombang Laut

Untuk menghitung daya ombak, diasumsikan gelombang linier, yang masuk pembangkit menggunakan persamaan :

$$P_w = \frac{1}{2T} w \rho g a^2 \quad (1)$$

dengan : w = lebar ombak

ρ = berat jenis air (1030 kg/m³)

g = gravitasi bumi (9,81 m/s²)

a = amplitudo gelombang (H/2)

H = Tinggi gelombang

T = periode gelombang

Untuk menghitung cepat rambat gelombang dan panjang gelombang menggunakan persamaan :

$$C = \frac{gT}{2\pi} \quad (2)$$

$$L = \frac{gT^2}{2\pi} \quad (3)$$

Persamaan 2 merupakan persamaan cepat rambat gelombang dan Persamaan 3 merupakan persamaan panjang gelombang[12].

2.4 Wilayah Laut Jawa

Karakteristik gelombang di laut Jawa bervariasi terhadap musim. Pada musim barat tinggi gelombang signifikan lebih besar dari pada musim timur. Tinggi gelombang signifikan dan periode puncak pada musim barat dan musim timur secara berturut-turut berkisar antara 0,44 - 1,83 m dan 2 - 5 detik dan 0,35 - 1,06 m dan 2 - 5 detik. Faktor arus laut juga berperan dalam memperbesar tinggi gelombang. Tinggi dan periode puncak pada musim barat akibat pengaruh arus laut berkisar antara 0,5 - 2,0 m dan 3 - 8 detik, sementara pada musim timur berkisar antara 0,37 - 1,11 m dan 3 - 6 detik[4].

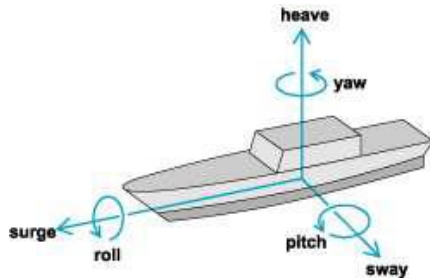
2.5 Seakeeping

Seakeeping adalah gerakan yang dipengaruhi oleh gaya-gaya luar yang disebabkan oleh kondisi air laut. Faktor luar yaitu iklim yang tidak mendukung dan mengakibatkan gelombang besar.

- *Rolling*, yaitu gerakan kapal yang mengelilingi sumbu X, ketika terjadi *rolling* bagian sisi kanan kapal bergerak ke bagian sisi kiri dan terulang secara bergantian.

- *Pitching*, yaitu gerakan kapal yang memutar sumbu Y, ketika terjadi *pitching* kapal mengalami perubahan trim bagian bow dan stern secara bergantian.

- *Heaving*, yaitu gerakan kapal yang sejajar sumbu Z dan saat terjadi *heaving* kapal mengalami naik turun secara vertical.



Gambar 3. Macam-macam Gerakan Kapal

2.6 Spektrum Gelombang

Pada penelitian ini spektra gelombang yang digunakan adalah spektra gelombang *ITTC* dengan 2 parameter sesuai pada Persamaan 4.1. Tinggi variasi gelombang signifikan (H_s) yang digunakan adalah 0,8 m, 0,6 m, 0,4 m, dan 0,2 m dengan variasi Periode Rata-rata (T_{ave})

$$S_{ITTC}(\omega) = \frac{A}{\omega^5} \exp\left(\frac{-B}{\omega^4}\right) \quad (1)$$

Dimana:

ω = frekuensi gelombang (rad/det)

$$A = 172,75 \frac{H_s^2}{T_{ave}^4}$$

$$B = \frac{691}{T_{ave}^4}$$

Spektrum gelombang (S_ω) yang dihasilkan dari persamaan (1) sangat bergantung pada nilai frekuensi gelombang. Akibat pengaruh kecepatan kapal dan sudut datang gelombang, maka frekuensi gelombang insiden (ω_w) akan berubah menjadi frekuensi gelombang papasan atau *encountering wave frequency* (ω_e). Gelombang papasan inilah yang digunakan untuk membuat spektrum gelombang papasan (S_e). Untuk menghitung frekuensi gelombang papasan dapat menggunakan persamaan (2)

$$\omega_e = \omega \quad (2)$$

Dimana:

ω_e = frek. gelombang papasan (rad/det)

ω_w = frek. gelombang (rad/det)

V = kecepatan kapal (m/s)

g = percepatan gravitasi ($9,81 \text{ m/s}^2$)

Pada kondisi sebenarnya, struktur terapung yang bergerak di laut akan mengalami eksitasi gelombang yang bersifat acak (random), sesuai dengan sifat alami dari gelombang laut. Dalam hal ini, suatu loncatan dalam pemecahan permasalahan gerak kapal di laut telah ditunjukkan oleh St. Denis dan Pierson pada awal tahun 50an. Peneliti tersebut mengungkapkan gerakan struktur terapung di atas gelombang acak dapat dihitung dengan mentransformasikan spektrum gelombang, $S(\omega)$, menjadi spektrum respons gerakan kapal, $S_R(\omega)$. Data yang akan digunakan adalah RAO dan spektra gelombang, sehingga dengan fungsi transfer berikut dapat dihitung spektra respons:

$$S_R(\omega) = \text{RAO}^2 \times S_j(\omega) \quad (3)$$

Jika spektra respons telah didapat, maka nilai-nilai statistik gerakan dapat dihitung dengan menerapkan formulasi matematis berikut.

$$m_0 = \int_0^\infty S_j(\omega) d\omega \quad (4)$$

Bila variabel m_0 didefinisikan sebagai luasan di bawah kurva spektra, maka tinggi (*double amplitude*) signifikan dapat dihitung sebagai

$$H_s = 4.0 \sqrt{m_0} \quad (5)$$

dan amplitudo signifikan adalah setengah dari tinggi signifikannya, atau

$$= 2.0 \zeta_s \sqrt{m_0} \quad (6)$$

Sedangkan tinggi rata-rata adalah

$$= 2.54 \bar{H} \sqrt{m_0} \quad (7)$$

Dan amplitudo rata-rata adalah

$$= 1.27 \bar{\zeta} \sqrt{m_0} \quad (8)$$

Disamping luasan di bawah spektra, dalam hal ini dapat juga didefinisikan momen spektra ke 2 dan ke 4, sebagai berikut.

$$m_0 = \int_0^\infty S(\omega) d\omega \quad (9)$$

$$m_4 = \int_0^\infty \omega^4 S(\omega) d\omega \quad (10)$$

Berdasar definisi ini, maka variabel stokastik kecepatan dan percepatan gelombang atau gerakan dapat dihitung, seperti dengan pemakaian untuk displasemen. Misalnya, amplitudo kecepatan rata-rata adalah:

$$= 1.27 \bar{\zeta} \sqrt{m_2} \quad (11)$$

$$\zeta_s \sqrt{m_4}$$

$$= 2.0 \quad (12)$$

Setelah nilai-nilai stokastik dari spektra respons telah didapatkan, maka selanjutnya dikolerasikan terhadap kriteria operasi .

2.7 RAO (*Response Amplitudo Operator*)

Respon gerakan kapal terhadap gelombang regular dinyatakan dalam RAO (*Response Amplitudo Operator*), dimana RAO adalah rasio antara amplitudo gerakan kapal (baik translasi maupun rotasi) terhadap amplitudo gelombang pada frekuensi tertentu.

Respon gerakan RAO untuk gerakan translasi merupakan perbandingan langsung antara amplitudo gerakan kapal (Z_0) dengan amplitudo gelombang (ζ_0) (keduanya dalam satuan panjang) :

$$RAO = \frac{Z_0}{\zeta_0} \text{ (m/m)} \quad (13)$$

Sedangkan gerakan rotasi merupakan perbandingan amplitudo gerakan rotasi (dalam radian) dengan kemiringan gelombang yang merupakan perkalian angka gelombang, $k_w = \omega^2/g$ dengan amplitudo gelombang :

$$RAO = \frac{\theta_0}{k_w \zeta_0} = \frac{\theta_0}{(\omega^2/g)\zeta_0} \text{ (rad/rad)} \quad (14)$$

Pada kenyataannya, gelombang di laut adalah gelombang acak sehingga respon kapal terhadap gelombang regular yang dinyatakan dalam RAO tidak dapat menggambarkan respon kapal pada keadaan sesungguhnya di laut. Untuk mendapatkan respon gerakan kapal terhadap gelombang acak dapat digambarkan dengan spektrum respon. Spektrum respon didapatkan dengan mengalikan spectrum gelombang (S_ζ) dengan RAO^2 :

$$S_{\zeta_r}(\omega) = RAO^2 \times S_\zeta(\omega) \quad (15)$$

2.8 Seakeeper

Seakeepers adalah program yang digunakan untuk menghitung besarnya seakeeping model kapal serta menganalisa bentuk gelombang yang terjadi (Isra, 2013). Tujuannya yaitu untuk menganalisis respons kapal terhadap gelombang dan mempelajari respons terhadap enam gerakan kapal.

Teori yang digunakan dalam memprediksi respons kapal terhadap gerakan *heave* dan *pitch* adalah *Strip Theory*. *Respon roll* dihitung

dengan menganggap kapal sebagai benda sederhana, di mana sistem pegas/massa dan inersia tambahan adalah konstan dengan frekuensi (Hutauruk dan Pareng, 2014).

2.9 Software

Terdapat beberapa aplikasi yang digunakan dalam membantu dan menyelesaikan Tugas Akhir ini, diantaranya:

2.9.1 Freecad

Aplikasi yang digunakan dalam pembuatan model 3D sebelum memasuki tahap analisa untuk menentukan hasil.

2.9.2 Rhinoceros

Aplikasi yang fungsinya sama dengan *freecad* sebagai pembuatan model 3D. Namun aplikasi *rhinoceros* memiliki kelebihan yaitu hasil pemodelan lebih baik dan bisa terbaca secara utuh pada proses analisa menggunakan aplikasi selanjutnya. Penentuan batasan syarat model juga melalui aplikasi ini.

2.9.3 Maxsurf

Aplikasi yang digunakan untuk menganalisa model konverter. Pada aplikasi ini model mengalami 4 variasi muatan yang nantinya akan dianalisa dan hasilnya menjadi perbandingan. Hasil yang diperoleh dari aplikasi ini berupa RAO (*Response Amplitudo Operatore*), *Wave Spectrum* yang nantinya menjadi dasar perhitungan selanjutnya.

2.9.4 Ansys Aqwa

Aplikasi yang fungsinya sama dengan aplikasi *maxsurf*. Namun memiliki kelebihan hasil yang lebih akurat dan didalamnya terdapat beberapa point yang dapat digunakan agar analisa menyerupai kondisi model saat di lapangan nantinya. Dari aplikasi ini juga dapat diketahui hasil *seakeeper* yaitu *heaving* yang datanya digunakan untuk perhitungan lanjutan.

3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Pengumpulan Data

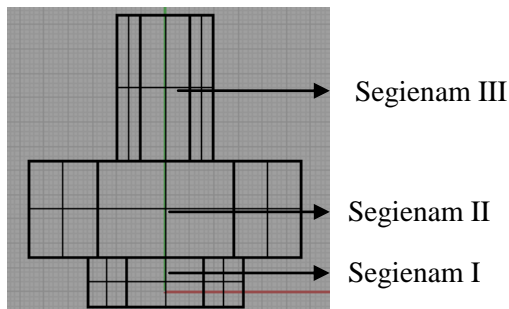
Mengumpulkan data-data sebagai upaya menunjang selesainya penelitian

a. Data Primer

Pengambilan data konverter berdasarkan rekomendasi dosen pembimbing dan menyesuaikan lokasi konverter akan diuji coba. Kemudian disinkronisasikan juga dengan data konverter yang sudah teruji kinerjanya. Ukuran yang digunakan :

Diameter segienam I	: 32,00 cm
Tinggi segienam I	: 10,00 cm

Diameter segienam II : 56,00 cm
 Tinggi segienam II : 20,00 cm
 Diameter segienam III : 20,00 cm
 Tinggi segienam III : 30,00 cm
 Sarat segienam (T) : 10,00 cm



Gambar 4 Model Konverter Berbentuk Segienam

b. Data Sekunder

Beberapa literatur dan sumber informasi yang dibutuhkan diperoleh dari berbagai buku-buku, jurnal, artikel, internet dan diskusi.

3.2 Studi Literatur

Mempelajari sistematika perhitungan yang akan dikemukakan di dalam Tugas Akhir dari berbagai referensi baik berupa buku, jurnal, dan lain – lain. Dasar – dasar teori dan referensi yang dijadikan untuk pengolahan data dan membahas data – data penelitian antara lain :

1. Teori *Hydrodynamic Defraction*
2. Teori Stabilitas Benda
3. Prinsip Kerja Banguna Lepas Pantai

3.3 Pembuatan Model

Dari data studi lapangan, studi literatur dan kesepakatan antara dosen pembimbing dengan mahasiswa kemudian dilakukan pembuatan model 3D dengan menggunakan *software freecad* untuk awal mula. Selanjutnya menggunakan *software Rhinoceros* untuk melengkapi kekurangan pada *software* awal.

3.4 Analisa Model

Dari *output pre analisis software Rhinoceros*, dengan menggunakan *software maxsurf* dan *software ansys aqwa* dijalankan proses analisis melalui *input file* model yang dianalisis (*igs*) dengan memvariasi jumlah muatan di dalam model sesuai variabel ditentukan.

3.5 Penyajian dan Perhitungan

Semua hasil pengolahan data berupa gambar model, *display* hasil analisis, serta parameter-parameter yang diperlukan seperti RAO, spektrum respon benda, spektrum gelombang, kecepatan, percepatan, amplitudo dan frekuensi dapat diperoleh hasil dari proses tersebut, kemudian dilakukan pengelompokkan agar mudah dalam penyusunan laporan.

3.6 Validasi

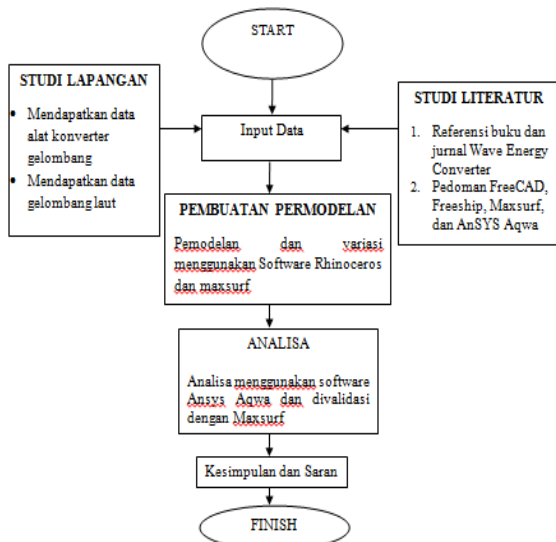
Validasi adalah tahapan untuk memperoleh gambaran apakah hasil analisa telah sesuai (*match*) dengan sistem yang diwakilinya (*representativeness*). Proses validasi ini bisa dijadikan parameter apakah hasil analisa yang sudah kita lakukan mendekati benar atau salah, validasi bisa dengan menggunakan *software* lain ataupun dengan cara manual. Cara manual yaitu dengan melakukan percobaan uji alat di laboratorium

3.7 Kesimpulan

Pada tahap ini diambil kesimpulan, kesimpulan diperoleh dari data yang telah diolah dan dianalisa sesuai dengan tujuan awal yang telah di tetapkan pada penelitian serta saran mengenai pengembangan penelitian lanjutan.

3.8 Flowcart

Penyusunan penelitian Tugas Akhir ini didasarkan pada sistematika metodologi yang diuraikan berdasarkan urutan diagram alir atau *flow chart* yang dilakukan mulai penelitian hingga selesainya penelitian. Penelitian ini dimulai dengan tahap pengumpulan data – data penunjang untuk penelitian Tugas Akhir yang kemudian dilanjutkan dengan pengolahan data dan dilanjutkan ketahap analisa yaitu didapatkan output yang sesuai dengan tujuan awal penelitian, sehingga diperoleh kesimpulan akhir.



Gambar 5. Flow chart diagram

4. PERHITUNGAN DAN PERENCANAAN

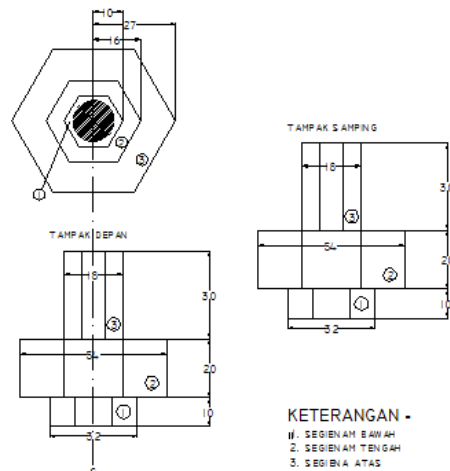
Penelitian ini merupakan penelitian yang bertujuan untuk mendapatkan nilai karakteristik optimal sebagai sumber pembangkit listrik tenaga gelombang laut untuk beroperasi di perairan laut Jawa-Indonesia. Sebagai catatan konverter gelombang ini dibuat bertingkat, terdiri dari 3 tingkatan yang masing-masing memiliki dimensi dan fungsi tersendiri. Dibagian tengah terdapat lubang yang nantinya digunakan sebagai poros konverter berbentuk segienam.

4.1 Pengolahan Data

Dari data tersebut dibuat variasi pemodelan bentuk konverter gelombang berbentuk segienam dengan bantuan software *Rhinoceros 4.0*. Secara umum proses variasi yang akan dilakukan adalah merubah jumlah muatan yang terdapat didalam konverter berbentuk segienam. Variasi dilakukan sebanyak 3 kali yang nantinya akan didapatkan syarat yang berbeda tiap masing-masing muatan.

Variasi yang akan digunakan dalam analisa konverter berbentuk gelombang ini, yaitu :

1. Muatan kosong dengan sarat 10 cm
2. Muatan 10 kg, dengan sarat 12,60 cm
3. Muatan 20 kg, dengan sarat 17,39 cm
4. Muatan 30 kg, dengan sarat 22,18 cm



Gambar 6 Desain Konverter

4.2 Studi Geografis

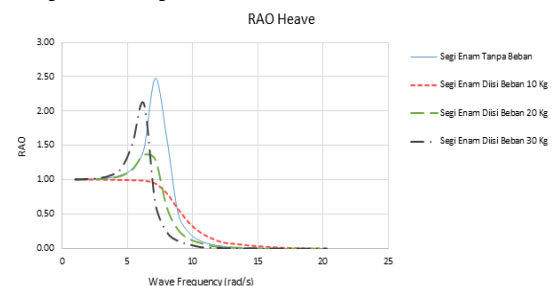
Pada penelitian ini spektra gelombang yang digunakan adalah spektra gelombang *ITTC* dengan 2 parameter sesuai pada Persamaan 4.1. Tinggi variasi gelombang signifikan (H_s) yang digunakan adalah 0,8 m, 0,6 m, 0,4 m, dan 0,2 m dengan variasi Periode Rata-rata (T_{av}) 1,675 detik, 1,425 detik, 1,137 detik dan 0,810 detik.

4.3 Analisa

Analisis olah gerak dihitung dengan menggunakan bantuan *Ansys Aqwa* yang menggunakan *Hydrodynamic Diffraction* dan menggunakan *Maxsurf Seakeeper*. Hasil analisa olah gerak kapal dibagi menjadi beberapa bagian, yaitu:

1. RAO (*Response Amplitude Operator*) dari *heave*
2. *Wave spectrum*
3. *Vertical acceleration*

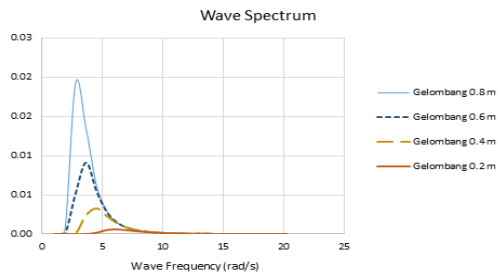
Hasil analisa oleh gerak ini berupa *Response Amplitude Operator* untuk *heave*



Gambar 7. RAO (*Response Amplitude Operator*) heaving

Dari hasil analisa perhitungan wave spektra RAO *heaving* menggunakan *Ansys Aqwa* dan

Maxsurf diperoleh spektrum respon. Berikut grafik *wave spectrum* dan *spektrum respon*.



Gambar 8. Wave Spectrum

Luasan dibawah kurva *spektrum respons* tiap gerakan atau disebut m_0 perlu didapatkan untuk nantinya digunakan untuk mencari nilai statistik tiap gerakan. Nilai amplitudo respons gerakan rata-rata di tiap gerakan inilah yang dikorelasikan dengan kriteria operasi, untuk didapatkan operabilitas di tiap periode dan tinggi gelombang signifikan.

Tabel 1. Nilai *velocity* gerakan *heaving*

	Velocity (m/s)			
	0,8m	0,6m	0,4m	0,2m
Muatan Kosong	0.950	0.876	0.7612	0.513
Muatan 10 kg	0.743	0.642	0.493	0.273
Muatan 20 kg	0.808	0.713	0.569	0.322
Muatan 30 kg	0.896	0.805	0.652	0.342

Tabel 2. Nilai *acceleration* gerakan *heaving*

	Acceleration (m/s ²)			
	0,8m	0,6m	0,4m	0,2m
Muatan Kosong	5.325	5.237	4.947	3.614
Muatan 10 kg	3.501	3.294	2.883	1.899
Muatan 20 kg	3.920	3.729	3.308	2.123
Muatan 30 kg	4.231	4.117	3.612	2.066

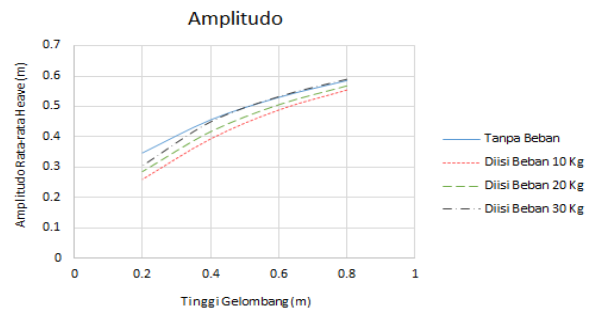
Tabel 3. Nilai *frekuensi* gerakan *heaving*

	Frekuensi (Hz)			
	0,8m	0,6m	0,4m	0,2m
Muatan Kosong	0.377	0.389	0.406	0.423
Muatan 10 kg	0.346	0.361	0.385	0.419
Muatan 20 kg	0.351	0.364	0.384	0.409
Muatan 30 kg	0.349	0.360	0.375	0.392

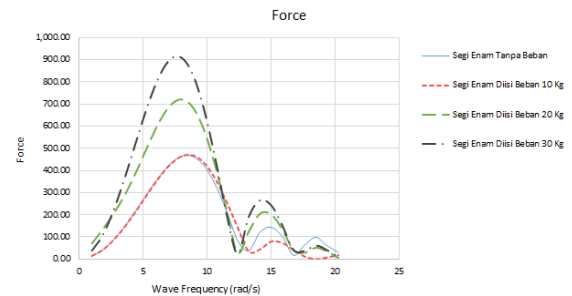
Tabel 4. Nilai amplitudo gerakan *heaving*

Amplitudo (Hz)

	0,8m	0,6m	0,4m	0,2m
Muatan Kosong	0.212	0.174	0.129	0.075
Muatan 10 kg	0.192	0.148	0.096	0.042
Muatan 20 kg	0.200	0.159	0.108	0.051
Muatan 30 kg	0.216	0.176	0.125	0.059



Gambar 9 Grafik *amplitudo* rata-rata



Gambar 10. Grafik Nilai Gaya Eksitasi *Heaving* Tiap Variasi Konverter

Force merupakan gaya yang ditimbulkan dan dibutuhkan konverter saat terjadi *heaving*. Nilai grafik force diatas dapat dilihat pada lampiran tugas akhir ini. Nilai force maximal dari konverter bentuk segienam berturut-turut yaitu muatan 30 kg 908,5134 N, muatan 20 kg 720,4464 N, muatan 10 kg 468,4012 N dan muatan kosong 463,6292 N.

5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Tujuan utama dalam penelitian ini adalah mendapat nilai *heaving* dari konverter gelombang berbentuk segi enam dengan variasi beban. Penelitian ini menghasilkan :

1. Dari hasil analisa keseluruhan didapatkan hasil amplitudo gerakan keempat model variasi muatan konverter gelombang bentuk segianam, untuk gerakan *heave* memiliki nilai berurutan dari yang terbesar yaitu muatan 30 kg, muatan kosong, muatan 20 kg

dan muatan 10 kg. Nilai amplitudo didapatkan berdasarkan momen dari tiap model konverter bentuk segienam. Untuk nilai frekuensi didapatkan hasil berurutan nilai *heave* dari yang terbesar yaitu muatan kosong, muatan 20 kg, muatan 10 kg dan muatan 30 kg. Nilai frekuensi didapatkan berdasarkan fase tiap waktu dari tiap model konverter bentuk segienam.

- Hal ini menunjukkan bahwa dari keempat variasi muatan konverter bentuk segienam muatan kosong, muatan 10 kg, muatan 20 kg dan muatan 30 kg mempunyai gerakan nilai *heave* pada tinggi variasi gelombang signifikan (H_s) yang digunakan adalah 0,8 m, 0,6 m, 0,4 m, dan 0,2 m dengan variasi periode rata-rata 1,675 detik, 1,425 detik, 1,137 detik dan 0,810 detik. Dan dari analisa spektra gelombang, didapatkan nilai spektra gelombang tertinggi sebesar 0,019 m²/rad/s, pada H_s 0,8 m dan T_p 1,675 detik. Untuk nilai amplitudo terbaik pada konverter bentuk segienam yaitu 0,215818 m dengan variasi muatan 30 kg dan ketinggian gelombang 0,8 m dengan nilai force 908,5134 N.

5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan pada kajian tugas akhir ini adalah :

- Untuk penelitian selanjutnya, dapat dilakukan analisis kekuatan struktur untuk mengetahui apakah keempat modifikasi variasi muatan ini mampu bekerja maksimal pada model konverter bentuk segienam.
- Meskipun secara numerik variasi muatan konverter bentuk segienam ini telah dinyatakan layak dan aman untuk digunakan sebagai konverter gelombang, namun pembuktian secara eksperimen perlu dilakukan sebelum diaplikasikan secara riil.
- Perlu dianalisa lagi olah gerak konverter bentuk segienam dengan menggunakan uji laboratorium hidrodinamika.

DAFTAR PUSTAKA

- 14-macam-energi-alternatif-di-dunia. (n.d.).
Edition, D., & Pinkster, J. (2002).
INTRODUCTION IN, (April).
Falnes, J., & Kurniawan, A. (2015).
Fundamental formulae for wave-energy
conversion Subject Category :

- Hadi, S., Ningsih, N. S., & Pujiana, K. (2005).
Studi Awal Pemodelan Medan
Gelombang di Laut Jawa dan
Karakteristik Spektrum Energi
Gelombang di Teluk Jakarta,
10(September), 169–176.
- Henriques, J. C. C., Lopes, M. F. P., Lopes, M. C., Gato, L. M. C., & Dente, A. (2011).
Design and testing of a non-linear power
take-off simulator for a bottom-hinged
plate wave energy converter. *Ocean
Engineering*, *38*(11-12), 1331–1337.
<http://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2011.06.003>
- Iqbal, M., Rindo, G., Perkapalan, J. T., Teknik, F., & Diponegoro, U. (2015). Optimasi bentuk demihull kapal katamaran untuk meningkatkan kualitas seakeeping, *12*(1), 19–24.
- keunggulan-dan-kelemahan-energi_15. (n.d.).
Manik, P., Studi, P., Perkapalan, T., Teknik, F., & Diponegoro, U. (2007). Analisa gerakan seakeeping kapal pada gelombang reguler, *4*(1), 1–10.
- Pastor, J., & Liu, Y. (2014). Frequency and time domain modeling and power output for a heaving point absorber wave energy converter. <http://doi.org/10.1007/s40095-014-0101-9>
- Pelamis_ Si Ular Laut Pembangkit Listrik Tenaga Ombak _ Majalah 1000guru. (n.d.).
- Vehicles, M. (1978). *Dynamics of Marine Vehicles by Rameswar Bhattacharya.*