



**PENGARUH JUMLAH SUDU TURBIN WELLS DAN VARIASI GELOMBANG
LAUT TERHADAP PERFORMA *PROTOTYPE* PEMBANGKIT LISTRIK
TENAGA GELOMBANG LAUT SISTEM *OSCILLATING WATER
COLUMN* (OWC)**

Skripsi

Oleh

**Rudy Arnax Priliawan
NIM 131910201012**

**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO STRATA 1
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER
2017**



**PENGARUH JUMLAH SUDU TURBIN WELLS DAN VARIASI GELOMBANG
LAUT TERHADAP PERFORMA *PROTOTYPE* PEMBANGKIT LISTRIK
TENAGA GELOMBANG LAUT SISTEM *OSCILLATING WATER
COLUMN* (OWC)**

Skripsi

diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat
untuk menyelesaikan Program Studi Elektro (S1)
dan mencapai gelar Sarjana Teknik

Oleh

**Rudy Arnax Priliawan
NIM 131910201012**

**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO STRATA 1
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER
2017**

PERSEMBAHAN

Alhamdulillah, puji syukur kehadirat Allah SWT atas kasih setia-Nya yang telah melimpahkan segala rahmat yang tak ternilai, sehingga saya bisa menyelesaikan penelitian ini.

Akhirnya, saya persembahkan skripsi ini kepada:

1. Allah SWT yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang.
2. Nabi besar Muhammad SAW, yang menjadi suri tauladan bagi seluruh umat.
3. Kedua orang tua yang senantiasa menjadi inspirasi dan memberi dukungan.
4. Bapak RB. Moch. Gozali, ST., MT. dan Bapak Dedy Kurnia Setiawan, ST., MT. selaku dosen pembimbing yang telah membimbing menyelesaikan tugas akhir ini.
5. Guru-guru yang membimbing sejak taman kanak-kanak hingga perguruan tinggi;
6. Serta seluruh rekan-rekan yang penulis kenal dan rekan-rekan yang membaca skripsi ini.
7. Almamater Jurusan Teknik Elektro Universitas Jember;
8. Keluarga besar INTEL'UJ 2013, terima kasih telah memberikan arti kekeluargaan yang luar biasa.
9. Sahabat , yang selalu menjadi keluarga dan dukungan yang tiada henti.
10. Serta seluruh rekan-rekan yang penulis kenal dan rekan-rekan yang membaca skripsi ini.

MOTTO

“Setiap perkara (kehidupan) yang tidak dimulai dengan BISMILLAAHIR-
RAHMAANIR-RAHIIM, maka dia akan terputus. Artinya adalah kurang barakahnya.”
(Sabda Rasulullah SAW)

“Sesungguhnya Allah tidak akan mengubah nasib suatu kaum kecuali kaum itu
sendiri yang mengubah apa apa yang pada diri mereka ” (Surat Ar-Ra'd ayat 11).

“Barangsiapa yang mengerjakan kebaikan seberat dzarrahpun, niscaya dia akan
melihat (balasan)nya, Dan barangsiapa yang mengerjakan kejahatan sebesar
dzarrahpun, niscaya dia akan melihat (balasan)nya pula”
(Q.S. Al-Zalzalah [99] :7-8)

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Rudy Arnax Priiliawan

NIM : 131910201012

menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul ”Pengaruh Jumlah Sudu Turbin Wells dan Variasi Gelombang Laut Terhadap Performa *Prototype* Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut Sistem *Oscillating Water Column* (OWC)” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan pada institusi mana pun, dan bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab penuh atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa adanya tekanan dan paksaan dari pihak manapun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata di kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 7 Juli 2017

Yang menyatakan,

Rudy Arnax Priiliawan

NIM 131910201012

SKRIPSI

**PENGARUH JUMLAH SUDU TURBIN WELLS DAN VARIASI GELOMBANG
LAUT TERHADAP PERFORMA *PROTOTYPE* PEMBANGKIT LISTRIK
TENAGA GELOMBANG LAUT SISTEM *OSCILLATING WATER
COLUMN (OWC)***

Oleh

Rudy Arnax Priliawan

NIM 131910201012

Pembimbing :

Dosen Pembimbing Utama : RB. Moch. Gozali, ST., MT

Dosen Pembimbing Anggota : Dedy Kurnia Setiawan, S.T., M.T.

PENGESAHAN

Skripsi berjudul “Pengaruh Jumlah Sudu Turbin Wells dan Variasi Gelombang Laut Terhadap Performa *Prototype* Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut Sistem *Oscillating Water Column (OWC)*” karya Rudy Arnax Priiliawan telah diuji dan disahkan pada :

Hari :
Tanggal :
Tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

Tim penguji,

Ketua,

Anggota I,

RB. Moch. Gozali, ST., MT
NIP 196906081999031002

Dedy Kurnia Setiawan, ST., MT
NIP 198006102005011003

Anggota II,

Anggota III,

Ir. Widyono Hadi, MT
NIP 196104141989021001

Dr. Azmi Saleh, ST., MT
NIP 197106141997021001

Mengesahkan
Dekan,

Dr. Ir. Entin Hidayah, M.U.M.
NIP 196612151995032001

RINGKASAN

Pengaruh Jumlah Sudu Turbin Wells dan Variasi Gelombang Laut Terhadap Performa *Prototype* Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut Sistem *Oscillating Water Column* (OWC); Rudy Arnax Priliawan, 131910201012; 2017; 81 halaman; Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Jember.

Energi gelombang laut sebagai energi terbarukan adalah energi yang cukup potensial di wilayah pesisir terutama pulau-pulau kecil di kawasan timur (Erwandi, 2005). Gelombang laut energinya dalam jangka waktu yang panjang. Hal ini disebabkan energi gelombangnya tidak akan pernah habis. Pada energi gelombang laut dapat dimanfaatkan untuk memutar turbin pada pembangkit setiap saat. Sehingga pembangkit listrik tenaga gelombang laut (PLT-GL) bila diterapkan di Indonesia sangat baik untuk memenuhi kebutuhan listrik yang ada di Indonesia. Pada kebutuhan listrik semakin bertambah seiring kemajuan teknologi dan pembangunan semakin meningkat. Pembangkit listrik tenaga gelombang laut (PLT-GL) adalah salah satu solusi dari krisis energi pada Indonesia.

Oscillating water column adalah salah satu teknologi pada pembangkit listrik yang menggunakan tenaga naik turunnya air gelombang laut sebagai penggerak turbin. Gelombang Laut yang datang dari arah laut akan menabrak dinding bangunan depan OWC ini, pada bagian bawah bangunan ini terdapat kolom terbuka untuk masuknya gelombang air laut, kemudian tumbukan gelombang air laut bagian bawah bangunan masuk pada bagian dalam ruang isolasi atau chamber OWC akan berisolasi naik dan turun sehingga menimbulkan peristiwa sedot dan dorong pada kolom udara di atasnya (prinsip kerja pompa). Gerakan gelombang air laut yang naik turun serta menimbulkan peristiwa sedot dorong angin pada kolom udara di atasnya inilah yang akan menggerakkan turbin (perlu diperhatikan bahwa turbin yang digunakan adalah turbin searah, dimana pada saat terjadi tekanan udara naik turun/sedot dorong, turbin akan tetap memutar searah untuk menghasilkan energi listrik). Pada saat turbin berputar maka rotor pun akan berputar, dari sinilah

energi kinetik menjadi energi mekanik pada generator yang akan menghasilkan listrik.

Penelitian yang akan dilakukan yaitu pengaruh jumlah sudu turbin dan variasi gelombang terhadap performa *prototype* pembangkit listrik tenaga gelombang laut sistem *oscillating water column* (OWC) yang akan menghasilkan energi listrik. Untuk membandingkan output tegangan generator yang lebih optimal dengan menggunakan sudu turbin berbeda dari variasi tinggi gelombang buatan.

Pada melakukan pengambilan data di *prototype* pembangkit listrik tenaga gelombang laut menggunakan *Oscillating Water Column* (OWC), dilakukan pengujian agar mengetahui hubungan antara variasi tinggi gelombang dengan variasi sudu turbin wells yaitu hubungan antara PWM alat pembuat gelombang laut terhadap tinggi gelombang laut, hubungan antara tinggi gelombang laut terhadap kecepatan angin, hubungan antara kecepatan angin terhadap tegangan keluaran generator, hubungan jumlah sudu terhadap tegangan keluaran generator dan hubungan antara variasi tinggi gelombang terhadap performa variasi sudu

Hasil penelitian membuat desain *prototype* pembangkit listrik tenaga gelombang laut menggunakan *oscillating water column* dengan variasi sudu turbin dapat disimpulkan yaitu *Prototype* dapat bekerja dengan baik pada saat melakukan penelitian dengan menghasilkan parameter-parameter yang dibutuhkan dan juga menghasilkan output kecepatan angin dan output tegangan. Untuk semakin besar nilai PWM alat pembuat gelombang dihasilkan semakin besar nilai tinggi gelombang. Pada Nilai PWM sebesar 150 di hasilkan tinggi gelombang sebesar 6.1 cm. dan nilai PWM sebesar 175 di hasilkan tinggi gelombang sebesar 7 cm. Semakin besar nilai kecepatan angin maka di dapatkan nilai tegangan semakin besar. Gaya dorong dari kecepatan angin lebih besar sehingga dihasilkan gaya angkat turbin besar untuk memutar turbin daripada gaya hambat. Semakin besar jumlah sudu maka semakin besar tegangan keluaran yang di hasilkan generator. Luas bidang terima lebih besar sehingga dihasilkan gaya angkat yang semakin besar untuk memutar turbin daripada gaya hambat. Semakin besar jumlah sudu dan semakin besar tinggi gelombang dihasilkan tegangan keluaran generator lebih besar. Pada penelitian ini optimal jumlah sudu sebesar 12.

SUMMARY

The influence of the number of blade turbine wells and variation the waves of the sea to performance the prototype of power plant the waves of the sea system an oscillating water column (OWC); Rudy Arnax Priiliawan, 131910201012; 2017; 81 pages; Department of Electrical Engineering Faculty of Engineering, University of Jember.

Sea wave energy as renewable energy is potential energy in coastal areas, especially small islands in the east (Erwandi, 2005). The wave of its energies in the long term. This is because the wave energy will never run out. At sea wave energy can be utilized to rotate turbine at generator at any time. So that the wave power plant (PLT-GL) when applied in Indonesia is very good to meet the electricity needs in Indonesia. On the need for electricity is increasing as technology and development progressively increases. Sea wave power plant (PLT-GL) is one of the solutions of the energy crisis in Indonesia.

Oscillating water column is one of the technology in power plants that use up and down power of sea wave as turbine drive. Sea Waves coming from the sea will hit the wall of this OWC front building, at the bottom of this building there are open columns for the entry of sea water waves, then collisions of sea water waves under the building entrance on the inside of the isolation chamber or chamber OWC will insulate rise and Down so as to cause event suction and thrust on the air column above it (the working principle of the pump). Movement of sea waves that rise and fall and cause incident thrust of wind in the air column above it is what will move the turbine (note that turbine used is a direct turbine, where in the event of air pressure up / down the thrust, the turbine will still rotate in the same direction To generate electrical energy). At the time the turbine rotates the rotor will rotate, from where kinetic energy into mechanical energy in the generator that will generate electricity.

The research that will be done is the influence of the number of turbine blades and wave variations on the prototype performance of ocean wave power generator oscillating water column system (OWC) which will generate electrical

energy. To compare the output voltage of the generator more optimally by using turbine blades is different from the variation of wave height artificial.

In order to capture the data in the prototype of the ocean wave power plant using Oscillating Water Column (OWC), it is tested to know the correlation between wave height variation with turbine blade variation ie the relationship between PWM of sea wave generator to sea wave height, Sea to wind speed, the relation between wind speed and generator output voltage, the relation of the number of blades to the generator output voltage and the relationship between the wave height variation on the performance of the variation of the blade

The result of this research make prototype design of ocean wave power plant using oscillating water column with turbine blade variation can be concluded that Prototype can work well when doing research by generating the required parameters and also produce output of wind speed and voltage output. For the greater the PWM value of the wave generator means the greater the wave height value. At the PWM value of 150 in yield wave height of 6.1 cm. And the PWM value of 175 in yield wave height of 7 cm. The greater the value of wind speed then the voltage values get bigger. The thrust force of the wind speed is greater resulting in a large turbine lift force to rotate the turbine rather than the drag force. The greater the number of blades the greater the output voltage generated by the generator. The area of the receive receiver is larger resulting in an increased lift force to rotate the turbine rather than the drag force. The greater the number of blades and the greater the wave height the greater the output voltage of the generator. In this research optimum amount of blade equal to 12.

PRAKATA

Puji syukur kehadirat Allah SWT yang maha kuasa atas segalanya, karena dengan ridho, hidayah dan petunjukNya, penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Pengaruh Jumlah Sudu Turbin Wells dan Variasi Gelombang Laut Terhadap Performa *Prototype* Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut Sistem *Oscillating Water Column* (OWC)”. Selama penyusunan skripsi ini penulis mendapat bantuan berbagai pihak yang turut memberikan bantuan berupa motivasi, inspirasi, bimbingan, doa, fasilitas dan dukungan lainnya yang membantu memperlancar pengerjaan skripsi ini. Untuk itu penulis mengucapkan terimakasih kepada.

1. Allah SWT yang telah melimpahkan rezeki, rahmat, hidayah dan karunia serta kasih sayang-Nya sehingga penulis mampu menyelesaikan skripsi ini.
2. Nabi besar Muhammad SAW, yang telah menjadi suri tauladan bagi seluruh umat.
3. Kedua Orangtua Bapak Askar dan Ibu Sukarsih yang telah membesarkan, mendidik, mendoakan tiada henti, memberi motivasi semangat, dan memberi kasih sayang yang tak pernah habis serta pengorbanannya selama ini;
4. Ibu Dr. Ir. Entin Hidayah, M.U.M., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember
5. Bapak Dr. Bambang Sri Kaloko, S.T., M.T., Selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Jember;
6. Bapak Moch. Gozali, S.T., M.T. dan Bapak Dedy Kurnia Setiawan, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing yang telah membimbing menyelesaikan tugas akhir ini;
7. Bapak Ir. Widyono Hadi, M.T. dan Bapak Dr. Azmi Saleh, S.T., M.T. selaku dosen penguji yang sudah memberikan saran untuk memperbaiki tugas akhir ini;
8. Karimatun Nisa yang sangat membantu dalam penyelesaian tugas akhir ini dari pemberian semangat hingga membantu pelaksanaan di lapangan;

9. Keluarga besar INTEL'UJ 2013, terimakasih telah memberikan arti kekeluargaan yang luar biasa.
10. Sahabat yang selalu menjadi keluarga dan dukungan yang tiada henti.
11. Keluarga besar Civitas Akademia Jurusan Teknik Elektro Universitas Jember. Serta semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu, yang telah mendukung dalam penyelesaian skripsi ini.
12. Keluarga besar Civitas Akademia Jurusan Teknik Elektro Universitas Jember. Serta semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu, yang telah mendukung dalam penyelesaian skripsi ini.

Semoga skripsi ini dapat bermanfaat dalam mengembangkan ilmu pengetahuan khususnya untuk disiplin ilmu teknik elektro. Kritik dan saran yang membangun diharapkan terus mengalir untuk lebih menyempurnakan skripsi ini dan dapat dikembangkan untuk penelitian selanjutnya;

Jember, 18 Juli 2017

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN SAMPUL.....	i
HALAMAN JUDUL	ii
HALAMAN PERSEMBAHAN	iii
HALAMAN MOTTO	iv
HALAMAN PERNYATAAN.....	v
HALAMAN PEMBIMBING	vi
HALAMAN PENGESAHAN.....	vii
RINGKASAN	viii
SUMMARY.....	x
PRAKATA	xii
DAFTAR ISI.....	xiv
DAFTAR TABEL	xvii
DAFTAR GAMBAR.....	xviii
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan	4
1.5 Manfaat	4
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Gelombang Laut (<i>Ocean Waves</i>).....	5
2.1.1 Teori Gelombang Airy	6
2.2 Desain <i>Prototype</i> Konversi Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut (PLTGL)	8
2.3 Teknologi Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut <i>Oscillating Water Column</i>	12
2.3.1 Rumus perhitungan pembangkit listrik tenaga gelombang laut.....	13

2.3.2	Gaya tangesial dan Torsi pada turbin.....	15
2.4	Alat Pembuat Gelombang Laut Buatan.....	16
2.4.1	<i>Driver</i> Motor	17
2.4.2	Arduino UNO R-3.....	17
2.4.3	Motor <i>Power Window</i>	19
BAB 3.	METODE PENELITIAN.....	21
3.1	Jenis Penelitian	21
3.2	Waktu dan Tempat	21
3.3	Alat dan Bahan.....	21
3.3.1	Alat yang digunakan pembuatan <i>prototype</i> adalah sebagai berikut :	21
3.3.2	Adapun bahan yang digunakan dalam pembuatan <i>Prototype</i> adalah sebagai berikut :.....	21
3.3.3	Adapun <i>software</i> yang digunakan dalam pembuatan <i>Prototype</i> adalah sebagai berikut :	22
3.4	Prosedur Penelitian.....	22
3.4.1	Diagram Alur Penelitian	22
3.4.2	Alur Penelitian	23
3.5	Diagram Kerja <i>Prototype</i> PLTGL-OWC Menggunakan Turbin Wells.....	24
3.6	Perencanaan <i>Prototype</i> PLTGL tipe OWC menggunakan turbin wells	26
3.6.1	Perencanaan <i>prototype</i> pembangkit listrik gelombang laut sistem OWC	27
3.6.2	Perancangan Alat Pembuat Gelombang.....	28
3.6.3	Perancangan Desain Turbin wells.....	29
3.6.4	Perancangan motor dc sebagai generator.....	30
3.6.5	Perencanaan perbandingan tinggi gelombang.....	31
BAB 4.	ANALISIS DAN HASIL PERCOBAAN	33
4.1	Hubungan antara PWM alat pembuat gelombang laut terhadap tinggi gelombang.....	33
4.2	Hubungan antara variasi tinggi gelombang dengan kecepatan angin	35

4.3	Hubungan antara kecepatan angin dengan tegangan	39
4.4	Hubungan antara jumlah sudu turbin terhadap tegangan...	42
4.5	Hubungan antara variasi gelombang laut dengan performa jumlah sudu	44
4.6	Perhitungan Gaya Tangensial dan Torsi Turbin	Error!
	Bookmark not defined.	
	4.6.1 Perhitungan Gaya Tangensial	Error! Bookmark not defined.
	4.6.2 Perhitungan torsi turbin.....	Error! Bookmark not defined.
BAB 5. PENUTUP		54
5.1	Kesimpulan	54
5.2	Saran	55
DAFTAR PUSTAKA		56

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Spesifikasi Arduino Uno.....	18
Tabel 3.1 Data spesifikasi motor dc sebagai generator.....	31
Tabel 3.2 Data hubungan tinggi gelombang laut dengan tinggi gelombang buatan	31
Tabel 4.1 Hasil antara PWM alat pembuat gelombang terhadap tinggi gelombang	34
Tabel 4.2 Hasil pengujian hubungan variasi tinggi gelombang laut dengan kecepatan angin.....	37
Tabel 4.3 Hasil pengujian hubungan antara kecepatan angin dengan tegangan keluaran generator.....	40
Tabel 4.4 Hasil pengujian antara jumlah sudu turbin terhadap tegangan	42
Tabel 4.5 Hasil pengujian antara jumlah sudu turbin terhadap tegangan	44
Tabel 4.6 Hasil perhitungan gaya tangesial	48
Tabel 4.7 Hasil perhitungan torsi total.....	Error! Bookmark not defined.

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Gelombang Laut (<i>Ocean Waves</i>)	5
Gambar 2.2 Sketsa Definisi Gelombang (Shore Protection Manual, 1984)	7
Gambar 2.3 Pergerakan Gelombang Laut (Author wahw33d, 2011)	7
Gambar 2.4 Skema Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut	11
Gambar 2.5 Sketsa OWC Tampak Samping (Bagus, 2015)	13
Gambar 2.6 (a) dan (b) Modul Kontroler Arduino UNO-R3	18
Gambar 2.7 Motor <i>Power Window</i>	19
Gambar 3.1 <i>Flowchart</i> Penelitian	22
Gambar 3.2 (A) Diagram Kerja Alat Pembuat Gelombang laut, (B) Diagram Kerja <i>Prototype</i> PLTGL OWC.	24
Gambar 3.3 Rancangan <i>Prototype</i> Tampak Samping	27
Gambar 3.4 Rancangan <i>Prototype</i> Tampak Atas	28
Gambar 3.5 Rangkaian skematik <i>control</i> motor	29
Gambar 3.6 Perancangan Desain Turbin Wells	30
Gambar 3.7 Perancangan motor DC sebagai generator	30
Gambar 4.1 Grafik hasil PWM alat pembuat gelombang terhadap tinggi gelombang	34
Gambar 4.2 Pengujian Sistem <i>Oscillating Water Column</i> (OWC)	35
Gambar 4.2 Grafik Hasil pengujian hubungan variasi tinggi gelombang laut dengan kecepatan Angin	39
Gambar 4.3 Grafik hasil pengujian hubungan antara kecepatan angin dengan tegangan keluaran generator	41
Gambar 4.4 Grafik hasil pengujian hubungan antara jumlah sudu dengan tegangan keluaran generator	43
Gambar 4.5 Grafik hasil pengujian hubungan antara variasi gelombang laut dengan performa jumlah sudu	45

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pada zaman modern, kemajuan dan berkembangnya teknologi membutuhkan energi yang semakin tinggi. Cadangan energi di Indonesia semakin hari semakin menyusut. Hal ini disebabkan manusia sangat tergantung kepada energi fosil, seperti minyak bumi, gas alam dan batu bara, yang makin lama makin habis. Solusi untuk mengatasi kelangkaan energi fosil dan pemanasan global adalah penggunaan energi terbarukan sebagai sumber energi alternatif. Penggunaan energi terbarukan tentunya harus memperhatikan lingkungan, ketersediaan sumber daya dan teknologi.

Indonesia merupakan negara kelautan. Indonesia memiliki luas wilayah kelautan kurang lebih 5,6 juta km² dengan garis pantai yang luasnya 81.000 km. Selain itu, lautan Indonesia adalah tempat melintasnya dua arus dari samudra Pasifik dan samudra Indonesia, sehingga potensi energi gelombang laut sangat besar. Potensi energi yang dikandung oleh gelombang laut di antaranya adalah potensi energi kinetik (arus laut, arus pasang surut), energi potensial (gelombang laut, tinggi pasang surut), energi biomassa (mikro dan makro algae), energi temperatur laut, dan energi kimia laut (salinitas). Energi gelombang laut sebagai energi terbarukan adalah energi yang cukup potensial di wilayah pesisir terutama pulau-pulau kecil di kawasan timur (Erwandi, 2005). Gelombang laut energinya dalam jangka waktu yang panjang. Hal ini disebabkan energi gelombangnya tidak akan pernah habis. Pada energi gelombang laut dapat dimanfaatkan untuk memutar turbin pada pembangkit setiap saat. Sehingga pembangkit listrik tenaga gelombang laut (PLT-GL) bila diterapkan di Indonesia sangat baik untuk memenuhi kebutuhan listrik yang ada di Indonesia. Pada kebutuhan listrik semakin bertambah seiring kemajuan teknologi dan pembangunan semakin meningkat. Pembangkit listrik tenaga gelombang laut (PLT-GL) adalah salah satu solusi dari krisis energi pada Indonesia.

Oscillating water column adalah salah satu teknologi pada pembangkit listrik yang menggunakan tenaga naik turunnya air gelombang laut sebagai

penggerak turbin. Gerakan naik turun air gelombang laut menimbulkan peristiwa sirkulasi angin yang akan menggerakkan turbin. Turbin merupakan bagian penting dari pembangkit listrik tenaga gelombang laut.

Penelitian sebelumnya yang dilakukan menggunakan tipe *oscillating water column* tersebut. Daya rata – rata yang dihasilkan oleh prototipe pembangkit listrik untuk tinggi gelombang 0,2 meter adalah 6,37 miliWatt. Sedangkan untuk gelombang dengan tinggi 0,23 meter daya rata – rata yang mampu dihasilkan sebesar 6,4 miliWatt (Febri, 2014). Dalam penelitian digunakan kolom *oscillating water column* yang dipasang secara tidak tetap atau menggunakan bentuk kolom *oscillating water column* terapung. Pada *prototype* ini efisiensi turbin yang di pasang secara perhitungan memakai efisiensi 50 persen, dengan range efisiensi 0,4 – 0,7. Meskipun memakai efisiensi terendah, daya yang dibangkitkan jauh dari perhitungan yang dilakukan. Hal ini mengindikasikan turbin yang di desain pada penelitian ini mempunyai efisiensi dibawah 50 persen. Sehingga turbin yang tidak mampu memanfaatkan tenaga hembusan udara yang terdorong oleh gelombang air yang terperangkap dalam kolom *oscillating water column* secara maksimal.

Dari kekurangan penelitian tersebut dapat digunakan kolom *oscillating water column* yang dipasang secara tetap. Efisiensi kolom *oscillating water column* tetap lebih tinggi 10 persen jika dibandingkan dengan kolom *oscillating water column* terapung.(Dudhgaunkar,2011). Untuk efisiensi turbin yang lebih optimal , perlu dilakukan studi lanjut mengenai desain turbin. Pada penelitian sebelumnya efisiensi turbin dibawah 50 persen. Sehingga masalah efisiensi turbin berpengaruh terhadap daya yang dihasilkan. Pada teknologi *oscillating water column*, lebih baik menggunakan turbin angin seperti turbin wells. Hal ini disebabkan pada baling - baling turbin wells berbentuk pisau simetris *airfoil* yang dapat menggerakkan baling - baling turbin secara satu arah. Turbin wells dirancang sebagai turbin udara bertekanan rendah. Sehingga turbin wells berputar dengan kecepatan tinggi. (Bagus, 2015). Selain itu untuk meningkatkan performa perangkat turbin wells dapat dilakukan dengan menggunakan jumlah sudu yang optimum. Berdasarkan eksperimen pada skala kecil yang dilakukan oleh Setoguchi dan Takao pada tahun 2001, geometri sudu yang optimum untuk wells turbine adalah tipe Foil NACA

0020 dengan aliran steady state dan kecepatan aliran rendah. Sedangkan menurut eksperimen pada skala besar dimana turbin telah diaplikasikan pada wave converter yang dikembangkan oleh LIMPET pada tahun 2004, menurut Takao, geometri sudu yang optimum adalah tipe NACA 0015 dengan jumlah sudu yang optimal delapan sudu . Dengan demikian pengaruh dari jumlah dan geometri sudu turbin wells belum dapat diklarifikasi. (Bagus Prasetio, 2015) Sehingga memakai turbin wells pada perancangan *prototype* pembangkit listrik tenaga gelombang sistem *oscillating water column* akan lebih optimal dan mencari performansi yang lebih efektif dengan variasi sudu turbin wells.

Dengan Perancangan *prototype* ini dapat mengimplemintasikan atau memanfaatkan teknologi *oscillating water column* di Indonesia sehingga dapat memperkirakan energi yang dihasilkan ketika melakukan perencanaan atau rancang bangun di pantai yang akan dibangun pembangkit listrik tenaga gelombang.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas maka dapat dirumuskan masalah sebagai berikut :

1. Bagaimana cara membuat rancangan *prototype* pembangkit listrik tenaga gelombang laut tipe *oscillating water column* menggunakan turbin wells.
2. Bagaimana cara membuat rancangan alat pembuat gelombang laut .
3. Bagaimana pengaruh hubungan variasi jumlah sudu turbin dengan variasi gelombang laut .

1.3 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mengabaikan segala macam gesekan yang timbul.
2. Menggunakan satu jenis geometri *Aerofoil* pada turbin wells.
3. Menggunakan turbin dan generator yang sudah ada di pasaran.
4. Tinggi dan volume air pada kolam tetap

1.4 Tujuan

Tujuan yang ingin dicapai dari penelitian ini adalah :

1. Merancang *prototype* pembangkit listrik tenaga gelombang sistem *oscillating water column* menggunakan turbin wells.
2. Mendapatkan nilai tegangan pada output generator yang akan digunakan sebagai *prototype* pembangkit listrik tenaga gelombang laut sistem *oscillating water column* menggunakan turbin wells.
3. Mengetahui hubungan jumlah sudu turbin yang optimal terhadap variasi gelombang

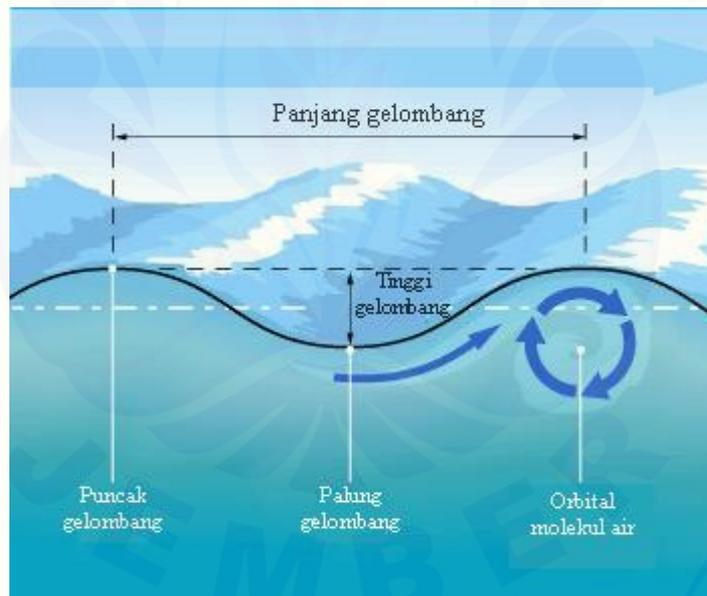
1.5 Manfaat

Yang diharapkan manfaat yang diperoleh dari penelitian ini adalah dapat menjadi referensi pada saat mengimplemintasi pembangkit listrik tenaga gelombang laut teknologi *oscillating water column* (PLTG-OWC) menggunakan turbin wells dengan skala yang lebih besar.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Gelombang Laut (*Ocean Waves*)

Gelombang laut merupakan energi dalam transisi, merupakan energi yang terbawa oleh sifat aslinya. Prinsip dasar terjadinya gelombang laut adalah jika ada dua massa benda yang berbeda kerapatannya (densitasnya) bergesekan satu sama lain, maka pada bidang gerakannya akan terbentuk gelombang. Gelombang merupakan gerakan naik turunnya air laut (Valens, 2015). Pergerakan naik dan turunnya air laut dengan arah tegak lurus permukaan air laut yang membentuk kurva/grafik sinusoidal. Angin di atas lautan memindahkan tenaganya ke permukaan perairan, menyebabkan riak-riak dan berubah menjadi gelombang laut. (Waldopo,2008)



Gambar 2.1 Gelombang Laut (*Ocean Waves*)

(Setyo Nugroho, 2013)

Terjadinya gelombang laut bisa dibangkitkan oleh angin, gaya tarik matahari dan bulan atau pasang surut antara lain :

1. Gelombang Angin

Gelombang Angin adalah gelombang yang ditimbulkan oleh tiupan angin diatas permukaan air laut.

2. Gelombang Pasang Surut

Gelombang Pasang Surut adalah gelombang yang timbul oleh gaya tarik-menarik bumi dan planet lain seperti bulan dan matahari.

Dalam melakukan perencanaan mencari data tentang besaran gelombang, gelombang pada *prototype* ini menggunakan gelombang buatan dengan memanfaatkan motor *power window*. Sehingga menimbulkan naik turunnya pada air dan membentuk gelombang. Besaran dari gelombang yang dihasilkan tergantung dari beberapa faktor, yaitu:

- Kecepatan motor *power window*
- Volume air yang diberikan pada wadah atau *prototype*
- Kedalaman atau tingginya air
- Massa air

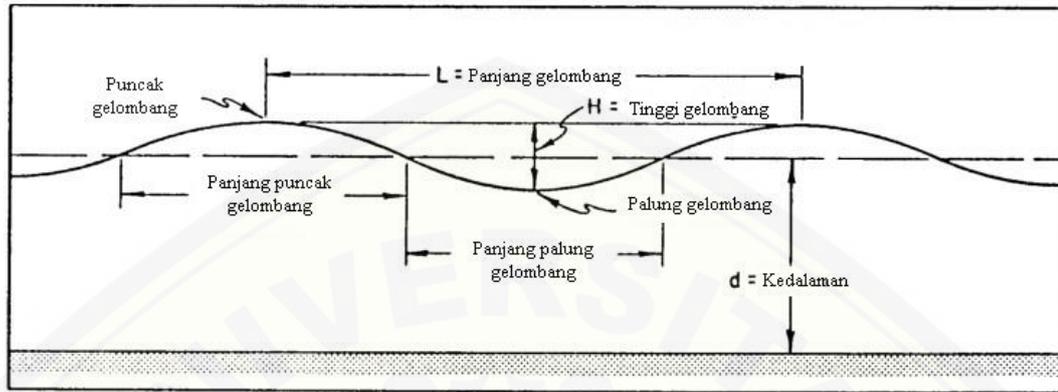
2.1.1 Teori Gelombang Airy

Teori Gelombang Airy (teori amplitudo kecil) diturunkan berdasarkan persamaan Laplace untuk aliran tak rotasi (*irrotational flow*) dengan kondisi batas di dasar laut dan di permukaan air. Terdapat beberapa anggapan yang digunakan untuk menurunkan persamaan gelombang adalah sebagai berikut. (Nur Yuwono, 1982)

1. Zat cair adalah homogen dan tidak termampatkan, sehingga rapat masa adalah konstan.
2. Tegangan permukaan diabaikan.
3. Gaya *coriolis* (akibat perputaran bumi di abaikan).
4. Tekanan pada permukaan air adalah seragam dan konstan.
5. Zat cair adalah ideal, sehingga berlaku aliran tak rotasi.
6. Dasar laut adalah horizontal, tetap dan *impermeable* sehingga kecepatan vertikal di dasar adalah nol.
7. Amplitudo gelombang kecil terhadap panjang gelombang dan

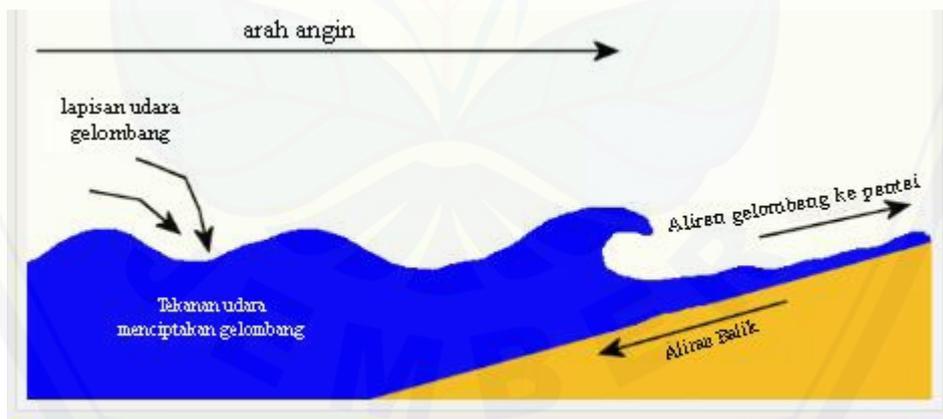
kedalaman air.

8. Gerak gelombang berbentuk silinder yang tegak lurus arah penjarangan gelombang sehingga gelombang adalah dua dimensi.



Gambar 2.2 Sketsa Definisi Gelombang (Shore Protection Manual, 1984)

Ketinggian dan periode gelombang tergantung kepada panjang fetch pembangkitannya. Fetch adalah jarak perjalanan tempuh gelombang dari awal pembangkitannya. Fetch ini dibatasi oleh bentuk daratan yang mengelilingi laut. Semakin panjang jarak fetchnya, ketinggian gelombangnya akan semakin besar.



Gambar 2.3 Pergerakan Gelombang Laut (Author wahw33d, 2011)

Angin juga mempunyai pengaruh yang penting pada ketinggian gelombang. Angin yang lebih kuat akan menghasilkan gelombang yang lebih besar. Gelombang yang menjalar dari laut dalam (*deep water*) menuju ke pantai akan mengalami perubahan bentuk karena adanya perubahan kedalaman laut. Apabila gelombang

bergerak mendekati pantai, pergerakan gelombang di bagian bawah yang berbatasan dengan dasar laut akan melambat. Ini adalah akibat dari friksi/gesekan antara air dan dasar pantai. Sementara itu, bagian atas gelombang di permukaan air akan terus melaju. Semakin menuju ke pantai, puncak gelombang akan semakin tajam dan lembahnya akan semakin datar. Fenomena ini yang menyebabkan gelombang tersebut kemudian pecah.

2.2 Desain *Prototype* Konversi Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut (PLTGL)

Penggunaan pertama gelombang laut ada pada tahun 1799 di Paris, dibuat oleh Girard, namun paten ini belum diteruskan menjadi sebuah alat konversi energi. Alat konversi energi gelombang laut pertama dibuat oleh Bochaux-Praceique, seorang Perancis, untuk menyalakan lampu-lampu dan alat listrik di rumahnya sendiri. Selanjutnya, dari tahun 1855 hingga 1973, sudah ada 340 paten (hanya di Inggris) mengenai penggunaan energi gelombang laut ini. Eksperimen modern mengenai sumber energi ini dimulai oleh seorang warga Jepang bernama Yoshio Masuda. Dia sudah merancang berbagai alat konversi gelombang laut, beberapa ratus di antaranya digunakan untuk menyalakan lampu navigasi (mercusuar). Munculnya kembali ketertarikan orang untuk meneliti sumber energi jenis ini dimulai saat krisis minyak pada tahun 1973, banyak peneliti dari berbagai universitas yang meriset alat konversi energi jenis ini. Tahun 1980, harga minyak turun kembali dan ketertarikan pada sumber energi ini kembali menurun. Namun, isu perubahan iklim baru-baru ini membuat ketertarikan pada sumber-sumber energi terbarukan, termasuk energi gelombang laut, menjadi tinggi kembali. Lalu, pembangkit yang menggunakan energi pasang-surut air laut pertama dibangun antara tahun 1960 hingga 1966 di Perancis dengan kapasitas 240MW. Setelah, itu bermunculan berbagai pembangkit listrik mulai dari kapasitas kecil (0.4 MW) hingga kapasitas 1320 MW yang dijadwalkan akan dibangun Korea Selatan pada tahun 2017. (Andreas Julianto, 2010)

Banyak ilmuwan atau profesor dari berbagai negara untuk meneliti dan mengembangkan dengan memanfaatkan tenaga gelombang laut dimana negara

yang paling berpengaruh dalam pengembangan tenaga gelombang laut adalah Inggris karena gelombang laut di Inggris sangat berpotensi untuk pengembangan pembangkit listrik tenaga laut (PLTGL). Di negara kita Indonesia juga cukup berpotensi dalam pengembangan tenaga gelombang laut karena mempunyai gelombang laut yang juga tidak kalah di negara Inggris, contoh di laut selatan pulau Jawa yang terkenal dengan gelombang laut tingginya dan pulau Sumatra. Jadi dengan pembuatan *prototype* dapat menjadi acuan dalam pengembangan tenaga gelombang laut dan juga dapat diteiti lebih jauh daya yang dihasilkan dari *prototype* tersebut sehingga dapat diimplementasikan di pantai-pantai Indonesia yang berpotensi.

Untuk konstruksi pembangkit listrik tenaga gelombang laut dalam skala *prototype* terdiri dari mesin konversi energi gelombang, turbin dan generator.

a. Mesin Konversi Energi Gelombang Laut

Untuk memutar atau menggerakkan turbin itu sendiri memerlukan mesin konversi energi dimana memanfaatkan energi gelombang laut yang menghasilkan energi kinetik dan kemudian alirkan ke turbin. Energi gelombang laut merupakan energi yang dapat di manfaatkan untuk menggerakkan pesawat-pesawat yang nantinya akan bermanfaat demi kesejahteraan manusia. Banyak upaya untuk memanfaatkan energi gelombang laut, dimana telah dilaksanakan dengan sangat baik dalam konsep sederhana maupun dalam konsep yang canggih. Sehingga sejumlah percobaan telah banyak dilakukan oleh para ahli dibidang gelombang laut dan hasilnya telah ditemukan beberapa konsep untuk pemanfaatannya.

b. Turbin Wells

Turbin merupakan salah satu komponen yang sangat penting dalam suatu pembangkit listrik. Berfungsi untuk mengubah dari energi kinetik menjadi energi mekanik, dimana energi mekanik dihasilkan dari perputaran rotor pada turbin. Pada pembangkit listrik gelombang laut ini jenis turbin yang digunakan ada dua jenis turbin yang banyak digunakan dalam mengubah energi kinetik ke energi mekanik, yaitu turbin air dan turbin udara. Dimana turbin air menggunakan media air sebagai fluida kerjanya, sedangkan turbin udara

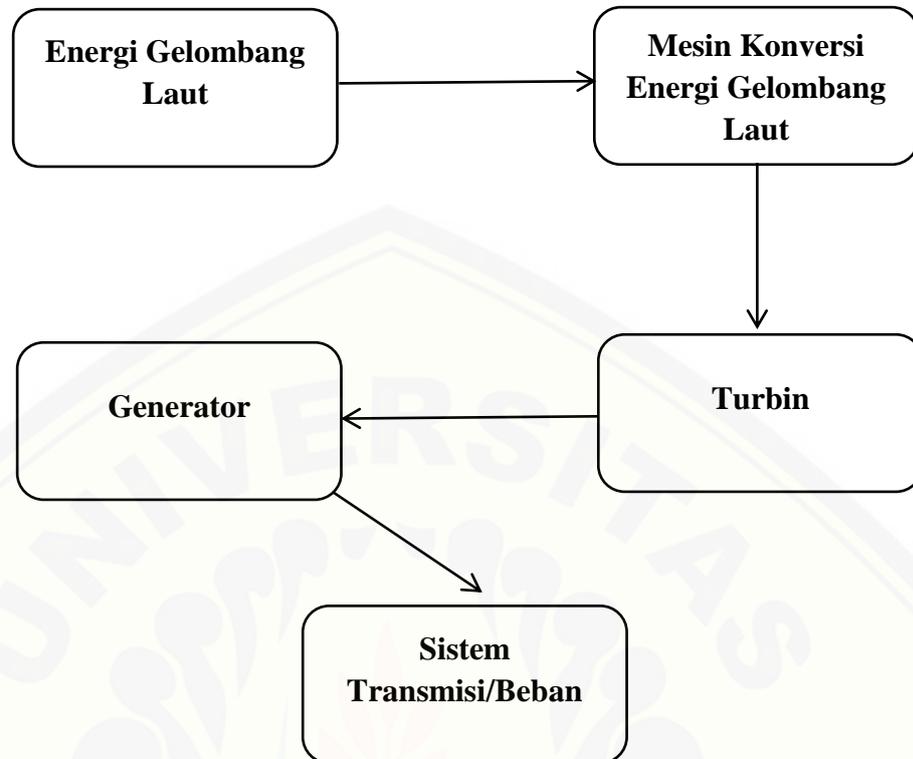
menggunakan udara untuk fluida kerjanya. Untuk jenis turbin air biasanya digunakan pada pembangkit listrik tenaga gelombang laut yang menggunakan teknologi *bouy tipe* dan teknologi *overtopping devices*. Sedangkan untuk jenis turbin udara digunakan pada pembangkit listrik tenaga gelombang laut yang menggunakan teknologi *Oscillating Water Column* (OWC), dimana memanfaatkan tekanan udara yang masuk sehingga dapat menggerakkan turbin

Pada pembangkit listrik tenaga gelombang laut *Oscillating Water Column* PLTGL-OWC ini menggunakan jenis turbin udara (*wells turbine*), *uni-directional wells turbine*. Dimana turbin ini terdiri dari 2 jenis ukuran turbin, hal ini disesuaikan dengan prinsip kerja 2 arah pada PLGL-OWC. Dua buah turbin ini diatur dengan kemiringan posisi bidang turbin yang berlawanan, sehingga nantinya pada pergerakan udara keluar masuk *chamber* di hasilkan arah putaran yang sama. Kemudian dari perputaran turbin inilah nantinya akan dikopel dengan generator sehingga dapat menghasilkan energi listrik atau daya listrik.

c. Generator

Di dalam generator energi mekanik dari turbin dirubah kembali menjadi energi listrik atau boleh dikatakan generator ini sebagai pembangkit tenaga listrik.

Sistem pembangkitan pada pembangkit listrik tenaga gelombang ini dapat dijelaskan melalui skema dibawah ini.



Gambar 2.4 Skema Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut

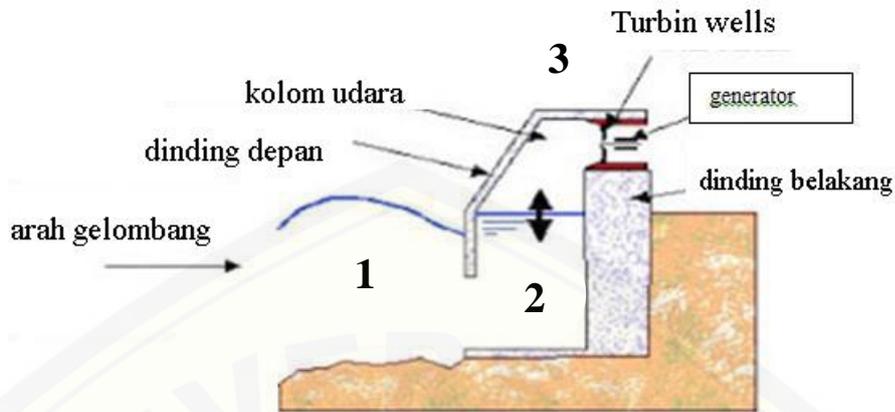
Pada Skema sistem pembangkit listrik gelombang laut menjelaskan tentang bagaimana energi gelombang diubah ke energi listrik. Pertama-tama gelombang laut atau energi gelombang laut masuk ke mesin konversi energi gelombang disini akan menghasilkan energi kinetik dari naik turunnya gelombang laut. Kemudian dari mesin konversi energi gelombang laut yang mempunyai energi kinetik ini akan dialirkan menuju turbin. Di dalam turbin tersebut terdapat sebuah generator dimana ketika energi kinetik dialirkan ke turbin maka rotor akan ikut berputar. Kemudian dari perputaran rotor inilah menghasilkan energi mekanik, lalu energi mekanik disalurkan ke dalam generator dan di dalam generator energi mekanik di ubah menjadi energi listrik. Sehingga dari generator ini menghasilkan tegangan listrik dan tegangan listrik yang dihasilkan akan dialirkan lagi menuju sistem transmisi (beban) melalui kabel laut.

2.3 Teknologi Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut *Oscillating Water Column*

Oscillating Water column adalah suatu teknologi yang memanfaatkan tekanan udara dari ruangan kedap air yang dihasilkan oleh gelombang laut untuk memutar turbin. Prinsip kerja dari teknologi OWC adalah mengubah energi gelombang laut menjadi energi listrik dengan menggunakan prinsip kerja kolom isolasi.

Prinsip kerja alat OWC ini adalah mengubah energi gelombang laut menjadi energi listrik berdasarkan prinsip kerja kolom isolasi. Perhatikan gambar sketsa OWC tampak samping. Cara kerja OWC sebagai berikut :

1. Gelombang Laut yang datang dari arah laut akan menabrak dinding bangunan depan OWC ini, pada bagian bawah bangunan ini terdapat kolom terbuka untuk masuknya gelombang air laut,
2. kemudian tumbukan gelombang air laut bagian bawah bangunan masuk pada bagian dalam ruang isolasi atau chamber OWC akan berisolasi naik dan turun sehingga menimbulkan peristiwa sedot dan dorong pada kolom udara di atasnya (prinsip kerja pompa).
3. Gerakan gelombang air laut yang naik turun serta menimbulkan peristiwa sedot dorong angin pada kolom udara di atasnya inilah yang akan menggerakkan turbin (perlu diperhatikan bahwa turbin yang digunakan adalah turbin searah, dimana pada saat terjadi tekanan udara naik turun/sedot dorong, turbin akan tetap memutar searah untuk menghasilkan energi listrik). Pada saat turbin berputar maka rotor pun akan berputar, dari sinilah energi kinetik menjadi energi mekanik pada generator yang akan menghasilkan listrik.



Gambar 2.5 Sketsa OWC Tampak Samping (Bagus, 2015)

2.3.1 Rumus perhitungan pembangkit listrik tenaga gelombang laut

Untuk menghitung potensi besarnya energi gelombang laut yang dihasilkan oleh sistem *Oscillating Water Column (OWC)*, hal pertama yang perlu diperhatikan adalah potensi ketersediaan gelombang laut. Sedangkan untuk mencari total energi gelombang laut dapat diketahui dengan menjumlahkan besarnya energi potensial dengan besarnya energi kinetik yang diperoleh dari gelombang laut tersebut.

Energi potensial adalah energi yang ditimbulkan oleh posisi relatif atau konfigurasi gelombang laut pada suatu sistem fisik. Bentuk energi ini memiliki potensi untuk mengubah keadaan objek-objek lain di sekitarnya, contohnya konfigurasi atau gerakannya. Sedangkan energi kinetik adalah bentuk energi dari gerakan yang ditimbulkan oleh gelombang laut atau bagian energi dari pergerakan gelombang laut. Besarnya energi potensial dan energi kinetik dari gelombang laut dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut (University of Michigan,2008):

$$P. E = \frac{1}{4} w \rho g a^2 \lambda \dots\dots\dots(2.1)$$

Untuk energi kintetik lebih dari 1 periode adalah sedanding dengan besarnya energi potensial yang dihasilkan :

$$K. E = \frac{1}{4} w \rho g a^2 \lambda \dots\dots\dots(2.2)$$

Energi kinetik itu sendiri merupakan bagian dari naik turun atau gerakan gelombang laut.

Setelah hasil energi potensial dan energi kinetik diketahui, maka dapat melakukan perhitungan total energi yang dihasilkan pada saat lebih 1 periode (total energi yang dihasilkan oleh gelombang laut) dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$E_W = P.E + K.E = \frac{1}{2}w\rho g a^2 \lambda \dots\dots\dots(2.3)$$

Maksud dari total energi yang dihasilkan dari persamaan tersebut adalah penjumlahan antara energi potensial dan energi kinetik sehingga menghasilkan total energi yang dihasilkan oleh gelombang laut. Melalui persamaan tersebut, maka dapat menghitung nilai besaran *energy density* (E_{WD}), daya listrik (P_W), dan *power density* (P_{WD}) yang dihasilkan gelombang laut. Jadi untuk menentukan nilai besaran energi density (E_{WD}) yang dihasilkan gelombang laut menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$E_{WD} = \frac{E_W}{\lambda_W} = \frac{1}{2}\rho g a^2 \text{ (J/m}^2\text{)} \dots\dots\dots(2.4)$$

$$P_W = \frac{E_W}{T} \text{ (W)} \dots\dots\dots(2.5)$$

$$P_{WD} = \frac{P_W}{\lambda_W} = \frac{1}{2T}\rho g a^2 \text{ (W/m}^2\text{)} \dots\dots\dots(2.6)$$

Keterangan :

P.E= Besarnya energi potensial (Joule)

K.E= Besarnya energi kinetik (Joule)

w = Lebar gelombang (m). *Diasumsikan lebar gelombang sama dengan luas Chamber pada OWC*

ρ = Massa jenis air laut (1030 Kg/m³)

g = Gravitasi bumi (9,81 m/s)

a = Amplitudo gelombang dengan persamaan $a=h/2$

λ = Panjang gelombang (m)

h = Tinggi gelombang (m)

Sedangkan untuk mengetahui tekanan udara pada chamber prototype dapat menggunakan rumus sebagai berikut :

a. Tekanan pada *chamber*

$$P_2 = P_0 + \rho \left(\frac{A_1}{A_2} \right) + \rho \frac{Q_2}{A_2} (v_2 - v_1) \text{ (Pa)} \dots\dots\dots(2.7)$$

b. Rumus mencari nilai debit udara

$$Q_1 = v_1 A_1 \dots \dots \dots (2.8)$$

$$Q_2 = v_2 A_2 \dots \dots \dots (2.9)$$

c. Menghitung aliaran udara pada *chamber*

$$v_2 = \frac{A_1}{A_2} v_1 \dots \dots \dots (2.10)$$

Keterangan :

P_2 = Tekana udara pada *orifice* (Pa)

P_0 = Tekanan udara diluar sistem (Pa)

v_1 = Kecepatan aliran udara sekitar kolom OWC (m/s)

v_2 = Kecepatan udara pada *orifice* (m/s)

A_1 = Area kolom OWC (m²)

A_2 = Area kolom *orifice* (m²)

Q_1 = Debit air pada kolom OWC (m³/s)

Q_2 = Debit udara pada *orifice* (m³/s)

2.3.2 Gaya tangensial dan Torsi pada turbin

Prinsip kerja *Wells Turbine* adalah akibat kecepatan aliran udara maka menyebabkan sudu berputar dengan kecepatan putar tertentu, maka resultan dari kecepatan tersebut akan menghasilkan gaya aerodinamis. Pada penelitian kali melakukan perhitungan untuk mengetahui gaya dan torsi turbin pada alat yang sudah dilakukan dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$f = \text{Tekanan (pa)} \times \text{Luas (m}^2) \dots \dots \dots (2.11)$$

Gaya tangensial pada aerofoil terjadi karena adanya komponen gaya angkat (lift) pada bidang putar yang dikurangi dengan gaya hambat (drag) yang berlawanan arah. Sehingga gaya tangensial didapatkan dari persamaan :

$$F\emptyset = L \sin \alpha - L \cos \alpha \dots \dots \dots (2.12)$$

Keterangan :

$F\emptyset$ = Gaya Tangensial (N)

L = Gaya Angkat (N)

α = Sudut Serang

Perhitungan nilai torsi didapatkan dari hasil kali gaya tangensial dengan jari-jari pada setiap sudu. Dinyatakan dalam persamaan :

$$T = F\theta \times R \dots\dots\dots(2.13)$$

Keterangan :

T = Torsi (Nm)

F θ = Gaya Tangensial (N)

R = Jari-jari (m)

Untuk menghitung daya turbin, kita haru terlebih dahulu mengetahui kecepatan sudut turbin. Kecepatan sudut turbin diperoleh berdasarkan nilai *Tip Speed Ratio (TSR)*. TSR merupakan perbandingan antara kecepatan putar turbin terhadap kecepatan angin.

$$\omega = \frac{2\pi}{T} \dots\dots\dots(2.14)$$

$$\lambda = \frac{\omega R}{Vw} \dots\dots\dots(2.15)$$

Keterangan :

λ = tip speed ratio

ω = kecepatan sudut (Rad/s)

R = Jari – jari (m)

Vw = kecepatan aliran udara (m/s)

T = Periode (s)

2.4 Alat Pembuat Gelombang Laut Buatan

Gelombang Laut merupakan energi yang dapat menggerakkan turbin untuk membangkitkan listrik. Pada pembangkit listrik tenaga gelombang laut OWC memanfaatkan gelombang yang masuk pada *chamber* sehingga terjadi isolasi atau fluktuasi gerakan air laut dalam ruangan OWC yang akan menggerakkan turbin. Untuk *prototype* ini sendiri menggunakan gelombang laut buatan dimana memanfaatkan perputaran motor, Motor DC adalah suatu piranti elektronik yang berfungsi untuk mengubah energi listrik menjadi energi mekanik yang akan menggerakkan papan yang sudah terpasang, dimana papan tersebut akan naik turun

sehingga dapat mendorong air yang ada dalam wadah menyebabkan riak-riak dan merubah menjadi gelombang laut.

2.4.1 Driver Motor

Motor DC adalah suatu piranti elektronik yang berfungsi untuk mengubah energi listrik menjadi energi mekanik. Pada aplikasi robotika pergerakan robot beroda umumnya menggunakan motor DC sebagai alat penggerakannya, karena jenis motor ini lebih mudah untuk dikendalikan. Kecepatan yang dihasilkan oleh motor DC berbanding lurus dengan potensial yang diberikan. Motor DC tidak dapat dikendalikan secara langsung oleh mikrokontroler, karena kebutuhan arus listrik yang besar pada motor DC sedangkan arus keluaran pada mikro sangat kecil. Driver motor merupakan pilihan alternatif yang harus digunakan untuk mengendalikan motor DC.

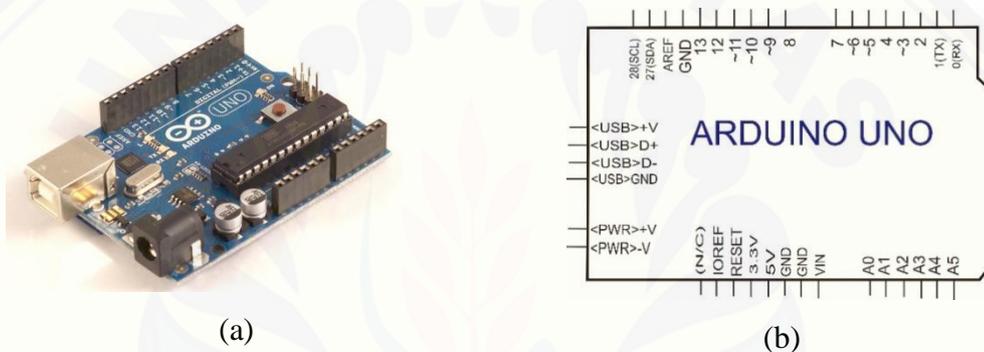
Sistem kerja pembangkit gelombang laut pada penelitian ini sangat bergantung pada motor dc. Dengan mengadopsi cara kerja pada piston kendaraan bermotor dan teknik PWM yang diprogram untuk mendapatkan variasi gelombang laut yang diciptakan. Agar dapat memaksimalkan variasi gelombang yang dihasilkan dibuatlah variabel-variabel tegangan yang memungkinkan terjadinya gelombang yang ideal. Energi listrik memiliki peran penting dalam kebutuhan hidup manusia, berbagai aktifitas kehidupan dengan berkembangnya teknologi yang ada energi listrik menjadi sumber energi utama sebagai sumber tenaga. Sehingga penulis membuat miniatur pembangkit gelombang laut sebagai pengembangan awal pembangkit listrik tenaga gelombang laut secara miniatur (pemodelan). (Arief Prastiantomo, 2014)

2.4.2 Arduino UNO R-3

Dalam penelitian ini digunakan ADUINO UNO-R3 sebagai mikrokontroler untuk membantu perkaman data antarmuka dari sensor. Arduino Uno adalah modul mikrokontroler berbasis ATmega 328. Modul ini memiliki empat belas pin *input-output* (14 I/O) di mana enam diantaranya dapat digunakan sebagai *output pulse width modulation* (PWM), enam *input* analog, sebuah osilator Kristal 16 MHz,

sebuah koneksi USB, tombol *reset* dan koneksi ke catu daya. Kontroler ini semua yang dibutuhkan untuk mendukung mikrokontroler.

“Uno” berarti satu dalam bahasa Itali dan hal ini untuk menandai versi pertama (Arduion 1.0) yang akan menjadi versi acuan bagi Arduion berikutnya. Uno adalah seri terakhir dari seri papan atau modul USB Arduino. Uno tidak lagi menggunakan *chip* FTDI USB-to-serial tetapi menggunakan Atmega 8U2 sebagai konverter USB ke serial. Gambar 12(a) adalah modul Arduino UNO-R3 sedangkan Gambar 12(b) menunjukkan skema dari modul Arduino UNO-R3 yang merupakan penyederhanaan dari gambar modul aslinya (Arduino UNO 2015).



Gambar 2.6 (a) dan (b) Modul Kontroler Arduino UNO-R3
(<https://www.arduino.cc/en/main/arduinoBoardUno>)

Masing-masing pin I/O dapat digunakan sebagai *input* maupun *output* dengan menggunakan fungsi `pinMode()`, `digitalWrite()`, dan `digitalRead()`. Masing-masing pin ini beroperasi pada tegangan 5 volt dan dapat menerima arus 40 mA serta sudah memiliki *pull-up* resistor 20-50 k Ω yang secara *default* tidak tersambung (*disconnected*).

Berikut ini adalah tabel spesifikasi dari Arduino Uno R3 dapat kita lihat pada Tabel 2.1 dibawah ini.

Tabel 2.1 Spesifikasi Arduino Uno

Spesifikasi Arduino UNO-R3	
<i>Microcontroller</i>	ATmega328
Tegangan Operasi	5 V

Tegangan <i>Input</i>	7-12 V
Tegangan <i>Input</i> (Batas)	60-20 V
I/O Digital	14 (6 buah menyediakan PWM output)
<i>Input Analog</i>	6 buah
Arus DC per I/O pin	40 Ma
Arus DC untuk pin 3.3	50 Ma
<i>Flash Memory</i>	Bootloader
<i>SRAM</i>	2 Kb
<i>EEPROM</i>	1 kB
Kecepatan Klok	16 MHz

Diterjemahkan dari: (Arduino UNO 2015)

(<https://www.arduino.cc/en/main/arduinoBoardUno>)

2.4.3 Motor *Power Window*

Motor penggerak regulator berputar searah jarum jam atau arah sebaliknya menggerakkan regulator jendela untuk dirubah menjadi gerak naik turun. Jenis motor yang digunakan pada sistem *power window* adalah motor DC. Motor listrik menggunakan energi listrik dan energi magnet untuk menghasilkan energi mekanis. Tujuan motor adalah untuk menghasilkan gaya yang menggerakkan (torsi).



Gambar 2.7 Motor *Power Window*

<http://www.denso.co.id/PowerWindow.html>

Pada *prototype* pembangkit listrik tenaga gelombang laut, motor *power window* digunakan untuk membuat gelombang buatan dengan memanfaatkan gerak motor ke atas dan ke bawah seperti pada sistem kerja jendela mobil. Motor *power window* ini akan di couple dengan papan yang ada pada air sehingga dengan gerakan motor papan dapat bergerak ke atas dan ke bawah sehingga dapat menimbulkan gelombang buatan pada air.



BAB 3. METODE PENELITIAN

3.1 Jenis Penelitian

Penelitian yang akan dilakukan yaitu pengaruh jumlah sudu turbin dan variasi gelombang terhadap performa *prototype* pembangkit listrik tenaga gelombang laut sistem *oscillating water column* (OWC) yang akan menghasilkan energi listrik. Untuk membandingkan output tegangan generator yang lebih optimal dengan menggunakan sudu turbin berbeda dari variasi tinggi gelombang buatan.

3.2 Waktu dan Tempat

Penelitian ini membutuhkan waktu 3 bulan, dimulai dari bulan Januari 2016 sampai dengan bulan Maret 2017. Tempat pembuatan *prototype* dan melaksanakan penelitian dilaksanakan di Lab. Konversi Energi Listrik Jurusan Teknik Elektro Universitas Jember.

3.3 Alat dan Bahan

3.3.1 Alat yang digunakan pembuatan *prototype* adalah sebagai berikut :

- | | |
|---------------------------|------------------------|
| 1. Gergaji | 8. Turbin 8 sudu |
| 2. Penggaris atau meteran | 9. Turbin 10 sudu |
| 3. Anemometer | 10. Motor Power Window |
| 4. Avometer | 11. Tang |
| 5. Motor DC 3 V | 12. Solder |
| 6. Control Motor | 13. Arduino UNO |
| 7. Turbin 12 sudu | 14. Penyedot timah |

3.3.2 Adapun bahan yang digunakan dalam pembuatan *Prototype* adalah sebagai berikut :

1. Kaca
2. Lem
3. Kabel
4. Papan
5. Timah

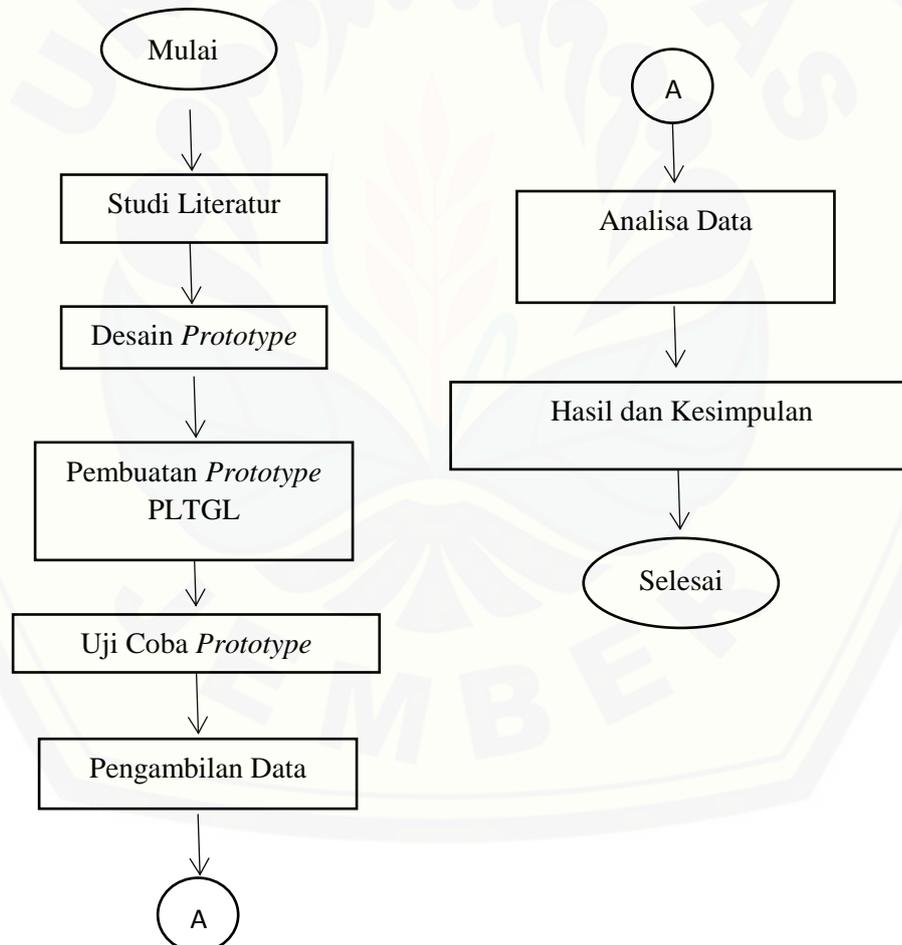
3.3.3 Adapun *software* yang digunakan dalam pembuatan *Prototype* adalah sebagai berikut :

1. Arduino IDE
2. Microsoft Excel
3. SketchUp

3.4 Prosedur Penelitian

3.4.1 Diagram Alur Penelitian

Pada penelitian mulai dari tahapan persiapan, perancangan, pengujian, analisis, kesimpulan dan saran. Untuk lebih jelas dapat dilihat pada gambar 3.1.



Gambar 3.1 *Flowchart* Penelitian

3.4.2 Alur Penelitian

Dalam pembuatan skripsi dan penelitian ini memiliki beberapa langkah atau prosedur penelitian, secara garis besar meliputi :

1. Tahapan persiapan

Dalam tahap persiapan ini berisi tentang pengurusan administrasi, izin, survey, pelatihan dan membuat secara garis besar rencana / konsep penelitian.

2. Studi literatur terhadap objek dan penelitian

Pada tahap ini adalah proses menggali dan mempelajari materi yang didapat jurnal-jurnal, buku atau artikel baik lokal maupun internasional demi menunjang penelitian ini, yang nanti akan dijadikan sebagai rujukan untuk menentukan hipotesis awal penelitian. Bahan studi literatur diambil yang mencakup sistem kerja PLTGL-OWC dan komponen-komponen yang menunjang dalam merancang desain *Prototype* .

3. Melakukan pembuatan *Prototype* PLTGL-OWC

Setelah mempelajari sistem kerja teknologi PLTGL-OWC dan mempersiapkan komponen-komponen. Maka akan melakukan pembuatan *Prototype* , dimana pertama-tama membuat skala *Prototype* dari kaca, menentukan motor DC dan di *couple* dengan papan yang akan digunakan untuk membuat gelombang buatan lalu membuat control motor dengan komponen-komponen yang sudah disiapkan.

4. Uji coba pada *Prototype*

Prototype selesai dibuat maka akan melakukan uji coba untuk mengetahui sejauh mana kinerja *Prototype* dapat menunjang saat melakukan pengambilan data dan juga dapat mengetahui kekurangan pada *Prototype* sehingga pada saat melakukan penelitian meminimalisir terjadinya error pada *control* motor.

5. Pengambilan data

Setelah melakukan uji coba selanjutnya adalah melakukan penelitian dengan menentukan parameter-parameter yang dibutuhkan. Yaitu dengan pengambilan data parameter angin dengan mengukur kecepatan angin dan parameter tegangan dengan mengukur tegangan yang dihasilkan generator.

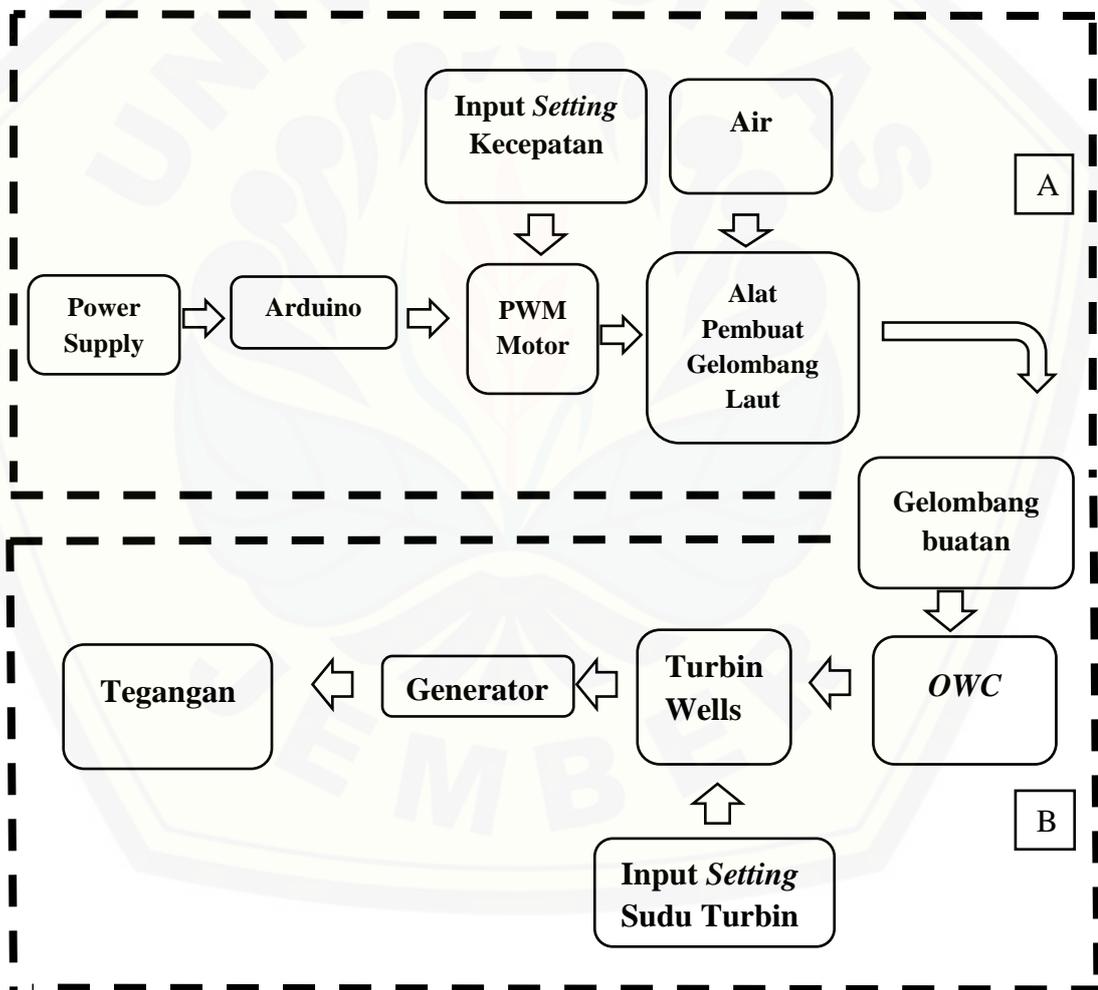
6. Analisa Data

Analisa data dilakukan untuk menganalisa parameter-parameter yang sudah di dapatkan untuk mengetahui pada percobaan seberapa *Prototype* menghasilkan tegangan dan kecepatan angin maksimum dan minimum.

7. Pengambilan keputusan dan saran

Tahap terakhir penelitian ini adalah pengambilan kesimpulan pada *Prototype*.

3.5 Diagram Kerja *Prototype* PLTGL-OWC Menggunakan Turbin Wells



Gambar 3.2 (A) Diagram Kerja Alat Pembuat Gelombang laut, (B) Diagram Kerja *Prototype* PLTGL OWC.

Untuk sistem kerja pada (A) Alat Pembuat Gelombang laut memanfaatkan alat gelombang buatan dengan menggunakan motor DC *power window* untuk penggerakannya. Untuk lebih lanjut sistem kerja pada (A) Alat Pembuat Gelombang laut adalah :

1. Untuk sebelum menggunakan Arduino , sumbernya menggunakan *power supply* AC to DC sebesar 7-12 V. *power supply* digunakan untuk mengalirkan arus listrik untuk komponen arduino dengan arus DC (arus searah).
2. Arduino UNO R3 digunakan untuk pusat kontrol motor *power window* DC dan *switch*. merupakan bagian *main board module* atau dapat juga dikatakan sebagai otak untuk pembuat gelombang buatan. Pada arduino UNO dapat dimasukan program untuk mengatur PWM dan *control* motor dapat mengatur kecepatan motor dengan PWM dan dapat mengatur gerak motor kanan kiri menggunakan *switch*. Penggunaan Arduino bertujuan memudahkan memakai atau kontrol komponen lainnya.
3. PWM motor digunakan untuk mengatur kecepatan putar motor DC *power window*. Motor ini adalah sebagai pembuat gelombang buatan sehingga dengan di berikannya PWM mendapatkan variasi tinggi gelombang pada *prototype*. PMW ini mengatur tegangan yang masuk pada motor, *output* tegangan yang di berikan oleh PWM.
4. Alat pembuat gelombang laut diperlukan motor DC *power window* untuk pompa naik turun dengan memberikan dorongan pada air. Prinsip kerja alat pembuat gelombang buatan adalah mengatur kecepatan putar motor DC di pasang dengan papan yang ada pada air bergerak ke atas dan ke bawah dengan mengangkat air dan menekan air sehingga menimbulkan gelombang buatan. motor bergerak ke atas dan ke bawah dibantu dengan dua *switch* yang ada disekitar motor. Ketika besi yang di pasang dengan papan menyentuh *switch* bagian atas maka arduino akan merespon dan motor akan bergerak kebawah dan ketika motor menyentuh switch bagian bawah maka motor akan bergerak ke atas. Hal itu akan terjadi

secara terus-menerus dan dari situlah akan terbentuk gelombang atau ombak buatan.

Untuk sistem kerja pada (B) *Prototype* PLTGL tipe OWC adalah memanfaatkan tekanan udara dari gelombang laut. Untuk lebih lanjut sistem kerja pada (B) *Prototype* PLTGL tipe OWC adalah :

1. Gelombang laut yang di hasilkan dari alat pembuat gelombang laut akan di lanjutkan ke OWC. Prinsip kerja OWC yaitu Gelombang Laut yang datang dari arah alat pembuat gelombang laut akan menabrak dinding depan OWC, pada bagian bawah dinding terdapat kolom terbuka untuk masuknya gelombang air laut, kemudian tumbukan gelombang air laut bagian bawah bangunan masuk pada bagian dalam ruang isolasi atau *chamber* OWC akan berisolasi naik dan turun sehingga menimbulkan peristiwa sedot dan dorong angin pada kolom udara di atasnya (prinsip kerja pompa).
2. Gerakan gelombang air laut yang naik turun serta menimbulkan peristiwa sedot dorong angin pada kolom udara OWC di atasnya inilah yang akan menggerakkan turbin (perlu diperhatikan bahwa turbin yang digunakan adalah turbin searah, pada saat terjadi tekanan udara naik turun/sedot dorong turbin akan tetap memutar searah). Agar turbin memutar searah secara maksimal di butuhkan Input setting sudu. Input variasi sudu bertujuan untuk mengetahui performa sudu yang optimal saat menggunakan metode OWC dengan variasi gelombang laut Sudu turbin wells yang di gunakan bervariasi sebesar 3, 4, 5, 6, 10, 11 dan 12 sudu
3. Pada saat turbin berputar maka rotor pun akan berputar, dari sinilah energi kinetik menjadi energi mekanik pada generator yang akan menghasilkan listrik.

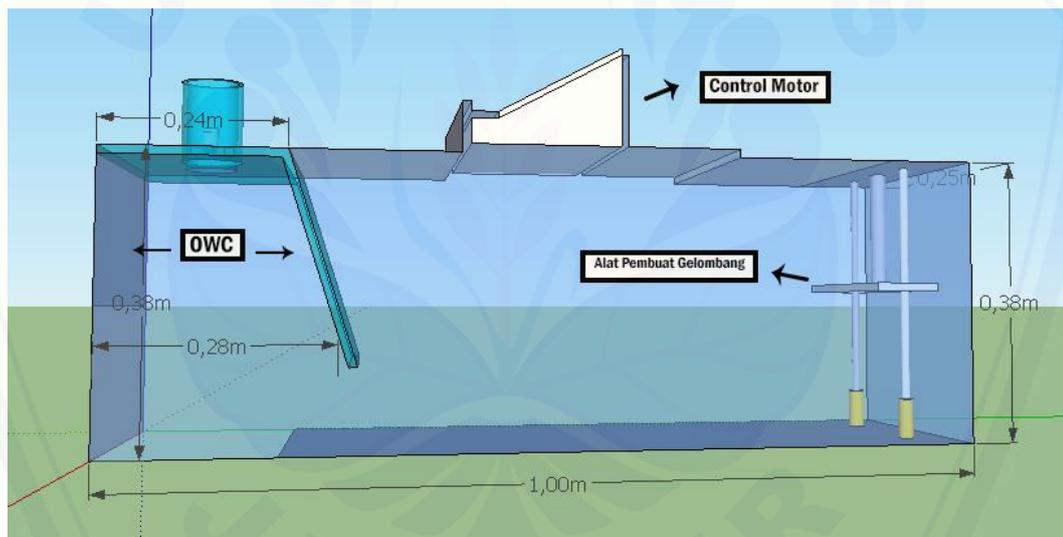
3.6 Perencanaan *Prototype* PLTGL tipe OWC menggunakan turbin wells

Untuk merancang *prototype* pembangkit listrik gelombang laut dengan menggunakan teknologi OWC. Terlebih dahulu membuat desain perancangan

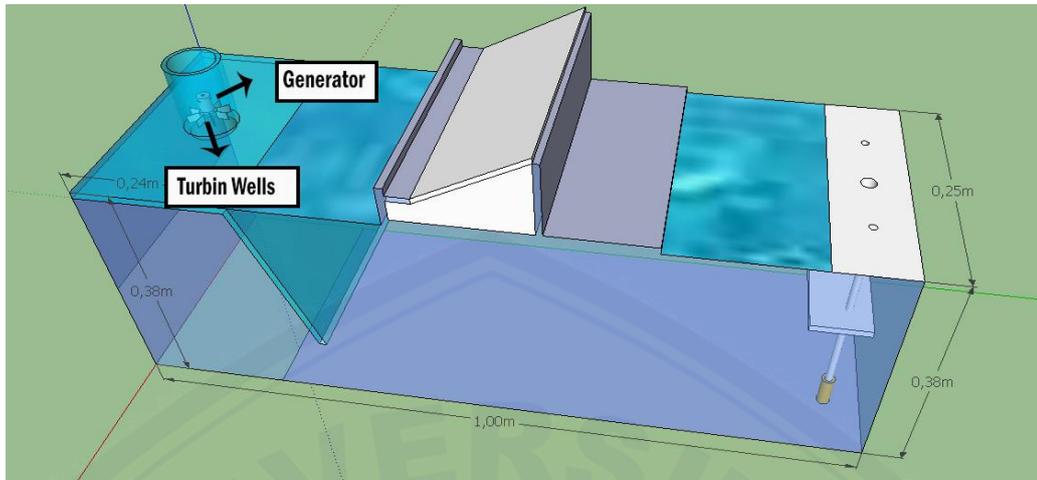
dengan menggunakan aplikasi SketchUp dan menentukan ukuran *prototype* . Kemudian perancangan kontrol motor di gunakan untuk membuat gelombang laut.

3.6.1 Perancangan *prototype* pembangkit listrik gelombang laut sistem OWC

Untuk perancangan desain *prototype* pembangkit listrik gelombang laut dengan menggunakan teknologi OWC. Dalam menentukan ukuran pada *prototype* dilakukan berdasarkan penelitian sebelumnya rancangan pembangkit listrik tenaga gelombang laut dengan dimensi yaitu panjang 17 m × lebar 8 meter × tinggi 14 meter dengan luas *chamber* 24 m². (Toni Ragil, 2014). Pada penelitian ini dilakukan dengan perbandingan dimensi *prototype* pembangkit listrik tenaga gelombang laut 1: 317 maka dimensi luas *chamber* sebesar 758 cm²



Gambar 3.3 Rancangan *Prototype* Tampak Samping



Gambar 3.4 Rancangan *Prototype* Tampak Atas

Perbedaan penelitian Perancangan PLTGL-OWC dngan PLTGL-OWC *prototype* :

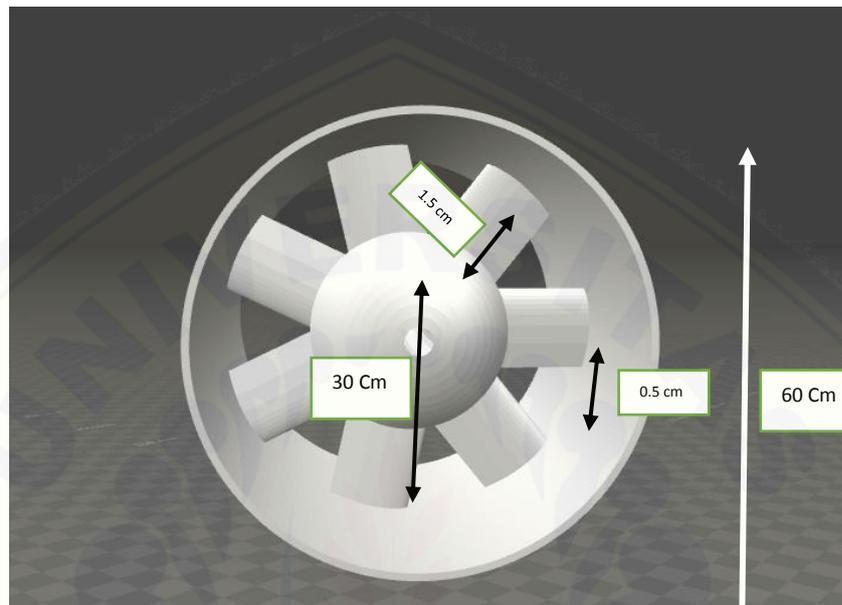
1. Dimensi luas chamber pada *prototype* sebesar 758 cm^2 dengan luas *chamber* PLTGL-OWC sebesar 24 m^2 .
2. Perbedaan skala *chamber* 1 : 317
3. Ukuran Turbin dan Generator yang digunakan berbeda.
4. *Prototype* menggunakan gelombang buatan sedangkan PLTGL-OWC menggunakan gelombang laut.

3.6.2 Perancangan Alat Pembuat Gelombang

Pada *ptototype* ini untuk membuat gelombang buatan menggunakan motor *power window*, dimana untuk mengatur atau mengontrol *power window* diperlukan *control* motor sehingga dapat mengatur motor dengan mudah dalam pembuatan gelombang buatan. Motor *power window* di *control* seperti sistem kerja pada jendela mobil dengan menggunakan *switch* pada sekitar lengan besi yang telah di *couple* oleh motor.

Switch ini digunakan untuk mengatur motor supaya dapat bergerak ke atas dan ke bawah. Sistem kerjanya ketika lengan besi menyentuh *switch* yang atas maka arduino akan memberi sinyal pada *relay* sehingga *relay* mengganti penyulut sumber positif menjadi negatif dan sumber negatif menjadi positif, secara otomatis

- Blade number = 6 blades
- Panjang blades = 2 cm
- Lebar blades = 1.5 cm



Gambar 3.6 Perancangan Desain Turbin Wells

3.6.4 Perancangan motor dc sebagai generator

Untuk perancangan motor dc sebagai generator untuk *prototype* pembangkit listrik gelombang laut dengan menggunakan teknologi OWC. Keuntungan menggunakan Motor dc ini adalah motor dc 3-5 v jenis motor range sedang dimana torsi pada motor dc pada range sedang. Motor DC ini juga mudah di dapatkan di pasaran. Efisiensi Motor DC ini sebesar 60 % dimana sudah termasuk besar. berikut gambar dan spesifikasi dari motor DC tersebut :



Gambar 3.7 Perancangan motor DC sebagai generator

Tabel 3.1 Data spesifikasi motor dc sebagai generator

Specification	Value
Nominal Voltage (VDC)	3
Voltage Range (VDC)	1 V - 3V
Current @ Max.	0,085
Efficiency (A)	
Speed @ Max.	2000
Efficiency (RPM)	
Torque @ Max.	1.14
Efficiency (N-m)	
Shaft Diameter (inch)	32 mm
Shaft Length (inch)	22.8 mm

3.6.5 Perencanaan skala tinggi gelombang

Untuk perencanaan tinggi gelombang untuk *prototype* pembangkit listrik gelombang laut. Dalam menentukan ukuran tinggi gelombang dilakukan berdasarkan tinggi gelombang laut yang penelitian sebelumnya. (Toni Ragil, 2014). Pada penelitian ini dilakukan dengan skala dimensi tinggi gelombang laut 1: 30 maka

Tabel 3.2 Data hubungan tinggi gelombang laut dengan tinggi gelombang buatan

No.	Hari	Tinggi Gelombang Asli (m)		Tinggi Gelombang Perbandingan 1:30 (cm)	
		Surut	Pasang	Surut	Pasang
1	Minggu, 1 Juni 2014	0.895	1.401	3.0	4.7
2	Senin, 2 Juni 2014	1.134	1.162	3.8	3.9
3	Selasa, 3 Juni 2014	0.63	1.77	2.1	5.9
4	Rabu, 4 Juni 2014	0.606	0.77	2.0	2.6

5	Kamis, 5 Juni 2014	0.513	0.484	1.7	1.6
6	Jumat, 6 Juni 2014	0.894	1.497	3.0	5.0
7	Sabtu, 7 Juni 2014	0.726	1.602	2.4	5.3
8	Minggu, 8 Juni 2014	0.749	1.886	2.5	6.3
9	Senin, 9 Juni 2014	1.119	2.047	3.7	6.8
10	Selasa, 10 Juni 2014	0.56	0.552	1.9	1.8
11	Rabu, 11 Juni 2014	1.064	0.996	3.5	3.3
12	Kamis, 12 Juni 2014	0.412	1.473	1.4	4.9
13	Jumat, 13 Juni 2014	0.988	1.195	3.3	4.0
14	Sabtu, 14 Juni 2014	0.884	1.832	2.9	6.1
15	Minggu, 15 Juni 2014	1.414	2.676	4.7	8.9
16	Senin, 16 Juni 2014	1.378	2.504	4.6	8.3
17	Selasa, 17 Juni 2014	2.008	3.164	6.7	10.5
18	Rabu, 18 Juni 2014	2.085	3.232	7.0	10.8
19	Kamis, 19 Juni 2014	1.347	2.924	4.5	9.7
20	Jumat, 20 Juni 2014	1.52	2.133	5.1	7.1
21	Sabtu, 21 Juni 2014	0.855	1.049	2.9	3.5
22	Minggu, 22 Juni 2014	0.741	0.981	2.5	3.3
23	Senin, 23 Juni 2014	0.675	0.896	2.3	3.0
24	Selasa, 24 Juni 2014	1.454	1.78	4.8	5.9
25	Rabu, 25 Juni 2014	1.075	1.247	3.6	4.2
26	Kamis, 26 Juni 2014	0.404	0.839	1.3	2.8
27	Jumat, 27 Juni 2014	0.935	1.036	3.1	3.5
28	Sabtu, 28 Juni 2014	1.16	1.494	3.9	5.0
29	Minggu, 29 Juni 2014	1.505	3.007	5.0	10.0
30	Senin, 30 Juni 2014	1.266	2.636	4.2	8.8

BAB 5. PENUTUP

Pada bab ini akan dibahas tentang kesimpulan dari hasil-hasil pengujian dan pembahasan yang telah dilakukan dalam Bab 4. Dari kesimpulan tersebut dapat diberikan beberapa saran yang dapat digunakan sebagai dasar untuk penelitian selanjutnya.

5.1 Kesimpulan

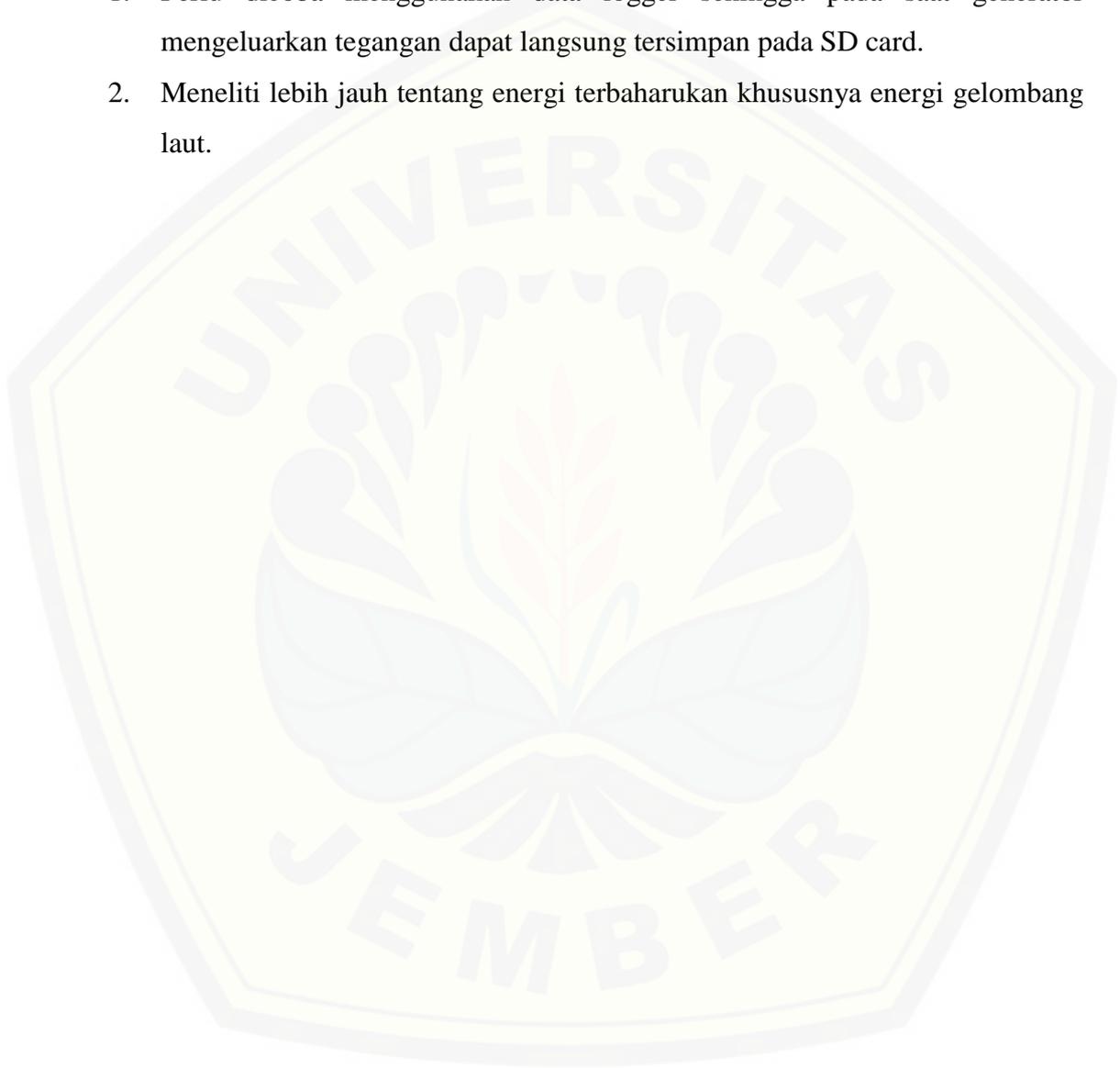
Hasil penelitian membuat desain *prototype* pembangkit listrik gelombang laut menggunakan *oscillating water column* dengan variasi sudut turbin dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. *Prototype* dapat bekerja dengan baik pada saat melakukan penelitian dengan menghasilkan parameter-parameter yang dibutuhkan dan juga menghasilkan output kecepatan angin dan output tegangan.
2. Untuk semakin besar nilai PWM alat pembuat gelombang dihasilkan semakin besar nilai tinggi gelombang. Pada Nilai PWM sebesar 150 di hasilkan tinggi gelombang sebesar 6.1 cm. dan nilai PWM sebesar 175 di hasilkan tinggi gelombang sebesar 7 cm.
3. Semakin besar nilai kecepatan angin maka di dapatkan nilai tegangan semakin besar. Gaya dorong dari kecepatan angin lebih besar sehingga dihasilkan gaya angkat turbin besar untuk memutar turbin daripada gaya hambat.
4. Semakin besar jumlah sudut maka semakin besar tegangan keluaran yang di hasilkan generator. Luas bidang terima lebih besar sehingga dihasilkan gaya angkat yang semakin besar untuk memutar turbin daripada gaya hambat.
5. Semakin besar jumlah sudut dan semakin besar tinggi gelombang dihasilkan tegangan keluaran generator lebih besar. Pada penelitian ini optimal jumlah sudut sebesar 12.

5.2 Saran

Hal-hal yang dapat disarankan untuk kegiatan penelitian berikutnya yang berhubungan dengan *prototype* pembangkit listrik tenaga gelombang laut *oscillating water column* adalah sebagai berikut:

1. Perlu dicoba menggunakan data logger sehingga pada saat generator mengeluarkan tegangan dapat langsung tersimpan pada SD card.
2. Meneliti lebih jauh tentang energi terbarukan khususnya energi gelombang laut.



DAFTAR PUSTAKA

- Arduino UNO, R3. 2015. "A000066 Arduino | Mouser." *MOUSER ELECTRONICS*. [Diakses pada tanggal 5 Desember 2016].
- Author. 2011. *Mengenal Gelombang Laut, Jenis-Jenis dan Manfaatnya*. <http://www.apakabardunia.com/post/tahukah-kamu/mengenal-lebih-detail-seluk-beluk-gelombang-laut> [Diakses pada tanggal 5 Desember 2016].
- Dudhgaonkar, Prasad, S. Kedarnath, Pattanaik, Biren. 2011 "Performance analysis of a floating power plant with a unidirectional turbine based power module.: Linkoping:Sweden 2230-2237
- Jetty, Weir. 1984. *Shore Protection Manual*. Washington DC : Department of The Army Coastal Engineering Research Center.
- Johnson, Nicole., Olson, Eric. 2010. *Oscilating Water Column (OWC)*. University of Winconsin Madison. Julianto, Andreas. 2010.
- Karim, M. K., Sarwito, S., dan Kusuma, I. R. 2014. *Perancangan Prototipe Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut Tipe Oscilating Water Column di Pantai Bandalit Jember*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS).
- Nugroho, Setyo. 2013. *Gelombang Air dalam Kehidupan Sehari-hari*. Diakses di [URL:http://fisikamarsud.blogspot.com/2013/08/gelombang-air-dalam-kehidupan-sehari.html](http://fisikamarsud.blogspot.com/2013/08/gelombang-air-dalam-kehidupan-sehari.html). [Diakses pada tanggal 8 Desember 2016].
- Pemanfaatan Energi Gelombang Laut*. www.google.com. [Diakses pada tanggal 8 Desember 2016].
- Prasetio, Bagus., Chrismianto, Deddy., & Iqbal, Muhammad. (2015). *Analisa Pengaruh Geometri dan Jumlah Sudu Terhadap Performa Wells Turbine*. Semarang: Program Studi S1 Teknik Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Diponegoro
- Prastiantomo, A. 2013. *Rancang Bangun Miniatur Pembangkit Gelombang Laut*. Jakarta: Universitas Negeri Jakarta

- Saputro, T.R. 2014. *Studi Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut Menggunakan Sistem Oscilating Water Column Di Daerah Puger Jember*. Jember: Universitas jember.
- Tae, V., Jasron, J. U., Nurhayati, & Koehuan, V. A. (2015). Perencanaan Turbin Wells Sistem Osilasi Kolom Air pada Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut dengan Kapasitas 10 kW. *Jurnal Teknik Mesin UNDANA*, 73-80.
- University of Michigan,2008. [Diakses pada tanggal 9 Desember 2016]
- Waldopo, dkk. 2008. *Perairan Darat dan Laut*. www.google.com [Diakses pada tanggal 9 Desember 2016]
- Wijaya, Arta. 2010. *Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut Menggunakan Oscillating Water Column di Perairan Bali*. Bukit Jimbaran : Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Udayana.