

**STUDI POTENSI DAN PERENCANAAN PEMBANGKIT LISTRIK
TENAGA GELOMBANG LAUT DENGAN MENGGUNAKAN
SISTEM *OSCILLATING WATER COLUMN* DI PANTAI
PLENGKUNG, BANYUWANGI**

SKRIPSI

TEKNIK ELEKTRO KONSENTRASI TEKNIK ENERGI ELEKTRIK

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



GITAWAN DIMAS PRAKOSO

NIM. 115060307111039

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

FAKULTAS TEKNIK

MALANG

2015

LEMBAR PENGESAHAN

**STUDI POTENSI DAN PERENCANAAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA
GELOMBANG LAUT DENGAN MENGGUNAKAN SISTEM *OSCILLATING*
WATER COLUMN DI PANTAI PLENGKUNG, BANYUWANGI**

SKRIPSI

TEKNIK ELEKTRO KONSENTRASI TEKNIK ENERGI ELEKTRIK

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



GITAWAN DIMAS PRAKOSO

NIM. 115060307111039

Skripsi ini telah direvisi dan disetujui oleh dosen pembimbing
pada tanggal 7 Januari 2016

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Ir. Unggul Wibawa, M.Sc.
NIP. 19630106 198802 1 001

Ir. Teguh Utomo, MT.
NIP. 19650913 199103 1 003

Mengetahui
Ketua program Studi

M. Aziz Muslim, ST., MT. Ph.D.
NIP. 19741203 200012 1 001

JUDUL SKRIPSI:

STUDI POTENSI DAN PERENCANAAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA
GELOMBANG LAUT DENGAN MENGGUNAKAN SISTEM *OSCILLATING
WATER COLUMN* DI PANTAI PLENGKUNG, BANYUWANGI

Nama Mahasiswa : GITAWAN DIMAS PRAKOSO

NIM : 115060307111039-63

Program Studi : TEKNIK ELEKTRO

Konsentrasi : TEKNIK ENERGI ELEKTRIK

Komisi Pembimbing :

Ketua : Ir. UNGGUL WIBAWA, M.Sc.

Anggota : Ir. TEGUH UTOMO, MT.

TIM DOSEN PENGUJI :

Dosen Penguji 1 : Dr. RINI NUR HASANAH, ST., M.Sc.

Dosen Penguji 2 : Ir. HERY PURNOMO, MT


Dosen Penguji 3 : Bpk. HADI SUYONO, ST., MT., Ph.D.. ..

Tanggal Ujian : 30 DESEMBER 2015

SK Penguji : No. 1163/UN10.6/SK/2015

PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya dan berdasarkan hasilpenelusuran berbagai karya ilmiah, gagasan dan masalah ilmiah yang diteliti dan diulas di dalam Naskah Skripsi ini adalah asli dari pemikiran saya. Tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu Perguruan Tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata di dalam naskah Skripsi ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur jiplakan, saya bersedia Skripsi dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No. 20 Tahun 2003, pasal 25 ayat 2 dan pasal 70).

Malang, 30 Desember 2015

Mahasiswa,

Gitawan Dimas Prakoso

NIM. 115060307111039



PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT karena dengan berkat rahmat dan karunia serta ridlo-Nya penyusunan skripsi ini dengan judul “Studi Potensi dan Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut Dengan Menggunakan Sistem *Oscillating Water Column* di Pantau Plengkung, Banyuwangi” dapat diselesaikan. Penulis menyadari bahwa kajian ini tak akan mencapai titik akhir penyelesaiannya tanpa bantuan berbagai pihak, karenanya penulis mengucapkan terimakasih kepada:

1. Bapak M. Azis Muslim, S.T., M.T., Ph.D selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya.
2. Bapak Hadi Suyono, S.T., M.T., Ph.D selaku Sekretaris Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya.
3. Ir. Unggul Wibawa, M.Sc selaku dosen pembimbing yang telah memberikan motivasi, dan saran pada penyusunan skripsi ini.
4. Ir. Teguh Utomo, MT selaku dosen pembimbing yang telah memberikan motivasi, dan saran pada penyusunan skripsi ini.
5. Kedua orang tua, Bapak Agus Gunawan dan Ibu Dyah Krisbarianti Prita Dewi RP yang senantiasa mendoakan, memberikan nasihat, kasih sayang, dan perhatiannya selama ini.
6. Bapak Ahmad Bahtiar, S.Kom selaku pembimbing, dan seluruh staff di BMKG Perak 2, Surabaya. Yang telah mengizinkan dan membantu saya dalam pengambilan data yang saya butuhkan untuk menyelesaikan skripsi ini.
7. Bapak dan Ibu dosen serta karyawan Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya.
8. Teman-teman HEP09, INVERTER, BUNGKOP15, dan teman-teman yang tidak bisa saya sebutkan satu persatu.
9. Serta semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu yang telah turut membantu baik secara langsung maupun tidak langsung dalam penyelesaian skripsi ini.

repository.ub.ac.id

Tiada yang sempurna di dunia ini, tersadar bahwa skripsi ini sangat jauh dari kesempurnaan. Karenanya, segala kritik dan saran yang sifatnya membangun dari pembaca tentang skripsi ini akan diterima dengan senang hati. Akhir kata, penulis berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi semua pihak yang membutuhkan

Malang, Juli 2015

Penyusun



DAFTAR ISI

PENGANTAR	i
DAFTAR ISI.....	iii
DAFTAR GAMBAR	v
DAFTAR TABEL.....	vi
DAFTAR LAMPIRAN	vii
RINGKASAN.....	ix
SUMMARY.....	x
PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar belakang	1
1.2. Rumusan masalah	4
1.3. Batasan masalah.....	4
1.4. Tujuan	5
1.5. Sistematika penulisan.....	5
TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1. Gelombang Laut	6
2.1.1 Pengaruh Angin.....	8
2.2. Teknik Konversi Energi Kelautan Menjadi Energi Listrik	9
2.3. Komponen Dasar Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut Sistem <i>Oscillating Water Column</i>	11
2.3.1 Kolektor.....	11
2.3.2 Turbin.....	13
2.3.3 Turbin Angin	14
2.3.4 Generator	17
2.3.5 Prinsip Kerja Pembangkit Listrik Gelombang Laut (PLTGL)	18
2.4. Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut Sistem <i>Oscillating Water Colum</i> .19	

2.4.1 Prinsip Kerja <i>Oscillating Water Column</i> (OWC).....	20
2.4.2 Perhitungan Energi Gelombang Laut Sistem <i>Oscillating Water Column</i>	22
2.4.3 Perkiraan Daya Listrik Yang Dapat Dibangkitkan.....	24
2.5 Penentuan Lokasi Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut Sistem <i>Oscillating Water Column</i>	24
METODE PENELITIAN	30
3.1. Pengumpulan Data.....	31
3.2. Desain Konstruksi PLTGL Sistem <i>Oscillating Water Column</i> Teknologi LIMPET	31
3.3. Analisis Perhitungan Daya Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut Sistem <i>Oscillating Water Column</i>	31
3.4. Pengambilan Kesimpulan.....	32
DESAIN KONSTRUKSI PLTGL	33
4.1. Rekayasa Prototipe <i>Oscillating Water Column</i> Teknologi LIMPET	33
4.2. Desain Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut Sistem <i>Oscillating Water Column</i> LIMPET	33
PERHITUNGAN DAN ANALISIS PLTGL	42
5.1. Perhitungan Potensi Daya Gelombang	42
5.2. Perhitungan Gaya dan Tekanan Angin Yang Terjadi Pada <i>Orifice</i>	44
5.3. Perhitungan Daya Mekanik Yang Dihasilkan Turbin.....	48
5.4. Perhitungan Daya Listrik Yang Dapat Dibangkitkan PLTGL Sistem OWC.....	53
PENUTUP	57
6.1. Kesimpulan.....	57
6.2. Saran.....	57
DAFTAR PUSTAKA	58

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Perkiraan energi gelombang laut dunia (kW/m).....	3
Gambar 2.1 Pergerakan air laut.....	6
Gambar 2.2 Spektrum periode gelombang untuk berbagai kecepatan angin	8
Gambar 2.3 Kolektor tampak atas.....	12
Gambar 2.4 Kolektor Tampak Samping.....	12
Gambar 2.5 Turbin udara (<i>Wells Turbine</i>)	14
Gambar 2.6 Skema turbin <i>Wells</i>	15
Gambar 2.7 <i>Wells</i> turbin sebelum diletakkan di mesin konversi.....	15
Gambar 2.8. Diagram skema sistem pembangkitan pembangkit listrik tenaga gelombang.....	19
Gambar 2.9 Prinsip kerja <i>Oscillating Water Column</i>	20
Gambar 2.10 Kedalaman Laut	25
Gambar 2.11 Lokasi perencanaan PLTG sistem OWC.....	26
Gambar 2.12 Pergerakan gelombang laut.....	27
Gambar 2.13 Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut Sistem OWC di Pantai Parang Rancu Gunung Kidul, Yogyakarta.....	29
Gambar 3.1 Diagram Alir Metode Penelitian	30
Gambar 4.1 Desain PLTGL Dengan Lebar Kolom 4x4 meter	35
Gambar 4.2 Desain PLTGL Dengan Lebar Kolom 4x4 meter	36
Gambar 4.3 Desain PLTGL Dengan Lebar Kolom 4x4 meter.....	36
Gambar 4.4 Desain PLTGL Dengan Lebar Kolom 4x4 meter	37
Gambar 4.5 Desain PLTGL Dengan Lebar Kolom 6x6 meter	37
Gambar 4.6 Desain PLTGL Dengan Lebar Kolom 6x6 meter	38
Gambar 4.7 Desain PLTGL Dengan Lebar Kolom 6x6 meter	38
Gambar 4.8 Desain PLTGL Dengan Lebar Kolom 6x6 meter	39
Gambar 4.9 Desain PLTGL Dengan Lebar Kolom 8x8 meter	39
Gambar 4.10 Desain PLTGL Dengan Lebar Kolom 8x8 meter	40
Gambar 4.11 Desain PLTGL Dengan Lebar Kolom 8x8 meter	40
Gambar 4.12 Desain PLTGL Dengan Lebar Kolom 8x8 meter	41
Gambar 5.1 Hasil perhitungan daya gelombang dengan keadaan gelombang laut signifikan	43
Gambar 5.2 Hasil perhitungan daya gelombang dengan keadaan gelombang laut maksimum.....	43

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Data gelombang laut periode 1 Januari 2014-31 Desember 2014.....	9
Tabel 2.2 Refrensi Ukuran Kolektor	13
Tabel 2.3 Parameter Turbin	16
Tabel 4.1 Refrensi ukuran dari kolektor LIMPET	34
Tabel 5.1 Kecepatan Rambat Gelombang	45
Tabel 5.2 Hasil perhitungan tekanan angin pada saat gelombang signifikan.....	46
Tabel 5.3 Hasil perhitungan tekanan angin pada saat gelombang maksimum	46
Tabel 5.4 Hasil perhitungan besar gaya (N) pada saat gelombang signifikan.....	47
Tabel 5.5 Hasil perhitungan gaya (N) pada saat gelombang maksimum	48
Tabel 5.6 Hasil perhitungan torsi dan daya mekanik turbin pada saat gelombang signifikan	50
Tabel 5.7 Hasil perhitungan torsi dan daya mekanik turbin pada saat gelombang maksimum.....	51
Tabel 5.8 Hasil perhitunga daya efektif yang dapat dihasilkan pada saat gelombang signifikan	52
Tabel 5.9 Hasil perhitunga daya efektif yang dihasilkan pada saat gelombang maksimum.....	53
Tabel 5.10 Spesifikasi generator yang digunakan.....	54
Tabel 5.11 Hasil perhitungan daya yang dapat dihasilkan saat gelombang signifikan...55	
Tabel 5.12 Hasil perhitungan daya yang dapat dihasilkan saat gelombang maksimum .55	



DAFTAR LAMPIRAN

No	Judul	Halaman
Lampiran 1	Data tinggi gelombang dan periode gelombang	60
Lampiran 2	Hasil perhitungan potensi daya gelombang	63
Lampiran 3	Desain kolektor OWC	67
Lampiran 4	Spesifikasi <i>Wells Turbine</i>	71
Lampiran 5	Spesifikasi generator	75
Lampiran 6	Layout PLTGL sistem <i>oscillating water column</i>	85



RINGKASAN

Gitawan Dimas Prakoso, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, September 2015, Studi Potensi dan Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut Sistem *Oscillating Water Column* di Pantai Plengkung, Banyuwangi, Dosen Pembimbing: Unggul Wibawa, Teguh Utomo

Energi merupakan suatu hal yang dibutuhkan dimanapun, seiring dengan pertumbuhan penduduk, pengembangan wilayah dan pembangunan, kebutuhan akan pemenuhan energi listrik dan juga bahan bakar semakin meningkat. Dampak dari penggunaan bahan bakar fosil, yakni mulai dari proses penyediaan, pengolahan, transportasi, dan sampai pada pengguna terutama terkait dengan masalah penggunaan energi listrik, sampai saat ini mayoritas masih menggunakan bahan bakar fosil, sehingga menjadi beban masalah konversi dan kemampuan daya dukung lingkungan sekitar. Dari kenyataan tersebut, perlu untuk mencari sumber-sumber energi pengganti (*alternative energy source*) yang dimasa mendatang kebutuhan semakin meningkat. Banyak penelitian yang telah dilakukan untuk merekayasa alam menjadi sumber energi, salah satunya menggunakan gelombang laut. Dilihat dari perkiraan energi gelombang laut dunia, Indonesia memiliki potensi yang cukup besar untuk dapat memanfaatkan energi terbarukan (*renewable energi source*) yaitu energi gelombang laut. Banyuwangi adalah salah satu wilayah di Indonesia yang memiliki garis pantai yang luas dan memiliki gelombang laut yang cukup besar, salah satu wilayah di Banyuwangi yang memiliki gelombang yang besar yaitu berada di kawasan pantai Plengkung.

Tujuan akhir dari penelitian ini adalah mencari besar potensi gelombang laut yang dapat dimanfaatkan untuk pembangkitan listrik, dan mendapatkan kemungkinan besar daya yang dapat dihasilkan jika PLTGL sistem OWC ini dibangun di pantai Plengkung, serta mencari besar ukuran kolektor yang sesuai untuk dengan tinggi gelombang di pantai Plengkung.

Pada penelitian ini metode yang dilakukan yaitu pengambilan data, mendesain kolektor dengan beberapa variasi ukuran kolektor, analisis dan perhitungan dan kesimpulan serta saran. Data maritim yang digunakan yaitu berupa ketinggian gelombang laut, periode gelombang laut, dan panjang gelombang laut yang terjadi dikawasan perairan pantai Plengkung, Banyuwangi

Adapun langkah pertama yang dilakukan dalam penelitian ini adalah mendesain ulang kolektor PLTGL sistem *oscillating water column* yang telah ada yaitu yang menggunakan teknologi LIMPET dengan ukuran kolektor yang bervariasi yaitu sebesar 4x4 m, 6x6 m, dan 8x8m.

Langkah yang kedua ialah mencari besar potensi energi gelombang yang dapat dihasilkan dikawasan pantai Plengkung. Setelah didapatkan potensi energi gelombang maka desain kolektor yang telah dibuat disimulasikan untuk mendapatkan tekanan angin yang berada pada *orifice*, hasil dari tekanan udara ini yang digunakan untuk mencari besar gaya yang dapat memutar turbin sehingga daya mekanik turbin dapat diketahui, daya efektif turbin yang dapat diserap hanya sebesar 30% dari daya mekanik turbin. Dari daya efektif turbin ini yang akan digunakan untuk menentukan spesifikasi generator, didapatkan generator dengan efisiensi sebesar 90,3%

Berdasarkan hasil analisis dan perhitungan, semakin tinggi gelombang, semakin besar periode gelombang yang terjadi maka daya gelombang yang didapatkan akan semakin besar, dengan keadaan ini maka daya maksimum yang dapat dihasilkan dari PLTGL sistem OWC ini sebesar 40,946 kW dan daya listrik minimum sebesar 36,028 kW pada kolektor dengan ukuran 8x8 meter, sedangkan pada ukuran 6x6 dapat menghasilkan daya maksimum dan daya minimum sebesar 39,378 kW dan 34,541 kW. Untuk ukuran kolektor 4x4 dihasilkan daya maksimum dan minimum sebesar 13,374 kW dan 8,176 kW. Dan untuk ukuran kolektor yang sesuai adalah kolektor dengan ukuran 8x8 m karena menghasilkan daya keluaran yang paling besar dibandingkan dengan ukuran kolektor lainnya yaitu 6x6 m dan 4x4 m.

Kata kunci: Pembangkit listrik tenaga gelombang laut, *oscillating water column*, pantai plengkung.

SUMMARY

Gitawan Dimas Prakoso, Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, University of Brawijaya, September 2015, Potential Studies and Planning of Sea Waves Power Plant with Oscillating Water Column System at Plengkung beach, Banyuwangi, Academic Supervisor: Unggul Wibawa and Teguh Utomo

Along with population growth, regional development and construction the need of compliance for electrical energy and fuel have been increased that makes energy to become something essential everywhere. There have been impact of fossil fuel usage which are at the provision stage, processing stage, transportation and the users especially related to the use of electrical energy that in majority, keep using the fossil fuel so that it has become a major concern for conversion and the environment support. These facts have shown that it has become necessary to search for alternative energy source for the growing needs in the future. There have been conducted research that have manipulated the nature to be a source energy, one of them is by using sea waves energy. Banyuwangi is one of areas in Indonesia who has a vast coastline and large sea waves and the specific area in Banyuwangi that has the large sea waves is Plengkung beach.

The final project objective of this research is to search for the potential of sea waves which can be utilized for electricity generating and the prospect of big power that can be generated should this PLTGL-OWC system is built on Plengkung beach, Also the research is aiming to find the size of collector that is related to the height of waves on Plengkung beach.

In this study, done that method of data collection, design of collectors with some variations in the size of the collector, analysis and calculations and conclusions and suggestions. Maritime data used in the form of sea wave height, period ocean waves, and ocean going wavelength in Plengkung beach, Banyuwangi

The first step in this research is to redesign the collector of PLTGL oscillating water column system which has existed is that using technology limpet with varying collector size is equal to 4x4 m, 6x6 m, and 8x8 m.

The second step is to find a huge energy potential of waves that can be generated at Plengkung beach. Having obtained the potential of wave energy, the design of collectors who have made simulated to get an air pressure at the orifice, the result of air pressure is used to find the size of the force that can turn turbines to power mechanical turbine can be known, effective power turbine that can be absorbed only 30% of the mechanical power turbine. The effective power of the turbine is to be used to determine the specifications of the generator, the generator is obtained with an efficiency of 90.3%

Based on the analysis and calculation, the higher the wave, the bigger the wave period that occurs then the power waveform obtained will be even greater, with this situation, the maximum power that can be generated from PLTGL system OWC is 40.946 kW and electrical power with minimum of 36.028 kW at collector with a size of 8x8 meters, while the 6x6 size can generate maximum power and minimum power of 39.378 kW and 34.541 kW. For size 4x4 collector generated maximum power and minimum of 13.374 kW and 8.176 kW. And to measure the corresponding collector is a collector with a size of 8x8 m because it produces the greatest output power compared with other collectors sizes are 6x6 m and 4x4 m.

Keywords: Sea waves power plant, Oscillating Water Column, Plengkung beach

BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar belakang

Energi merupakan suatu hal yang dibutuhkan dimanapun, seiring dengan pertumbuhan penduduk, pengembangan wilayah dan pembangunan, kebutuhan akan pemenuhan energi listrik dan juga bahan bakar semakin meningkat. Kebutuhan energi selama ini masih bergantung pada energi fosil dengan minyak bumi sebagai prioritas utama. Pemanfaatan dan penggunaan sumber energi dengan menggunakan bahan bakar fosil seperti minyak bumi, gas bumi, dan batubara yang diambil secara terus menerus yang jumlahnya akan semakin sedikit dan terbatas. Karena permintaan yang semakin meningkat sedangkan jumlah yang di produksi semakin menurun, sehingga secara tidak langsung pengaruh harga menjadi semakin mahal dan tingkat ekonomis yang semakin rendah.

Dampak dari penggunaan bahan bakar fosil, yakni mulai dari proses penyediaan, pengolahan, transportasi, dan sampai pada pengguna terutama terkait dengan masalah penggunaan energy listrik, sampai saat ini mayoritas masih menggunakan bahan bakar fosil, sehingga menjadi beban masalah konversi dan kemampuan daya dukung lingkungan sekitar. Dampak terhadap masalah lingkungan, yaitu terkait dengan masalah perubahan iklim (*climate change*) dan efek gas rumah kaca (*green house effect gasses*) yang di timbulkan akibat penggunaan bahan bakar fosil.

Perubahan sudut pandang negara-negara maju di dunia sudah mengalihkan dan cenderung mengurangi penggunaan energi yang menggunakan bahan bakar fosil sebagai bahan bakar utama dan mengalihkan pada pemanfaatan sumber energi terbarukan (*renewable energy source*) sebagai sumber energi alternatif untuk menggantikan bahan bakar fosil yang ramah lingkungan.

Dari kenyataan tersebut, perlu untuk mencari sumber-sumber energi pengganti (*alternative energy source*) yang dimasa mendatang kebutuhan semakin meningkat. Banyak penelitian yang telah dilakukan untuk merekayasa alam menjadi sumber energi, misalnya panas bumi, nuklir, sinar matahari, angin, biomassa, arus laut, hydrogen, dan arus laut. Banyak pula dari metode-metode yang dihasilkan dari penelitian-penelitian tersebut yang telah diterapkan untuk mengubah fenomena alam menjadi energi yang bermanfaat bagi manusia.

Melihat lebih dari 70% bagian permukaan bumi adalah lautan, secara kuantitatif kandungan energi terbarukan dari samudra yang dapat dikelola secara ekonomis masih memerlukan kajian lebih lanjut. Energi yang berasal dari samudera dapat diperoleh dari 3 bentuk sumber utama yaitu: gelombang, pasang-surut, dan perbedaan suhu antara permukaan dengan bagian dalam laut.

Merujuk pada Undang-undang Nomor 30 tahun 2007 tentang energi, yang mengamanatkan bahwa dalam rangka mendukung pembangunan nasional secara berkelanjutan dan meningkatkan ketahanan energi nasional, maka pengolahan energi ditujukan untuk tercapainya kemandirian pengelolaan energi, terjaminnya ketersediaan energi dalam negeri, terjaminnya pengelolaan sumber daya energi secara optimal, terpadu, dan berkelanjutan, tercapainya peningkatan akses masyarakat, tercapainya pengembangan kemampuan industri energi dan jasa energi dalam negeri, meningkatkan profesionalisme sumber daya manusia, terciptanya lapangan kerja, dan terjaganya kelestarian fungsi lingkungan hidup.

Indonesia merupakan Negara kelautan terbesar di dunia, dengan luas laut Indonesia yang mencapai 5,8 juta km², yakni 70% dari luas keseluruhan Negara kesatuan republik Indonesia. Akan tetapi belum ada pemanfaatan potensi energi kelautan secara optimal, terutama dalam pembangkitan energi listrik.

Potensi laut dan samudra untuk menghasilkan listrik merupakan salah satu komponen yang belum banyak diketahui masyarakat umum, dengan melihat kelautan Indonesia yang begitu luas serta letak geografis Indonesia yang terapat oleh dua samudra yaitu samudra hindia dan samudra pasifik, maka memanfaatkan gelombang laut sebagai energi dalam pembangkitan listrik sangat berpotensi di Indonesia. Salah satunya menggunakan sistem *Oscillating Water Column* sebagai pembangkit listrik tenaga gelombang laut

Pada dasarnya prinsip kerja teknologi yang mengkonversi energi gelombang laut menjadi energi elektrik adalah mengakumulasi energi gelombang laut untuk memutar turbin generator. Karena itu sangat penting memilih lokasi yang secara topografi memungkinkan akumulasi energi. Meskipun penelitian untuk mendapatkan teknologi yang optimal dalam mengkonversi energi gelombang laut masih terus dikembangkan, saat ini ada beberapa alternative teknologi yang dapat dipilih.



Gambar 1.1 Perkiraan energi gelombang laut dunia (kW/m)

Sumber: Navarro, 2007:10

Dilihat dari perkiraan energi gelombang laut dunia, Indonesia memiliki potensi yang cukup besar untuk dapat memanfaatkan energi terbarukan (*renewable energy source*) yaitu energi gelombang laut untuk dimanfaatkan sebagai pembangkit listrik. Lautan Indonesia adalah tempat melintasnya dua arus dari samudra pasifik dan samudra hindia, sehingga potensi energi gelombang laut sangat besar dan belum tersentuh dengan baik sampai saat ini, selain itu laut Indonesia terutama bagian selatan, mulai dari Bali sampai dengan Sumatra Utara mempunyai dinamika gelombang laut yang menarik, sepanjang tahun ketinggian gelombang laut laut selatan beraneka ragam dari 1m sampai dengan 5m, hal ini dapat dimanfaatkan untuk pembangkitan listrik tenaga gelombang laut.

Banyuwangi adalah salah satu wilayah di Indonesia yang memiliki garis pantai yang luas dan memiliki gelombang laut yang cukup besar, salah satu wilayah di Banyuwangi yang memiliki gelombang yang besar yaitu berada di kawasan pantai Plengkung atau yang biasa di sebut G-land yang berada di taman nasional alas purwo, pantai Plengkung mempunyai gelombang laut yang besar, saat ini pantai Plengkung merupakan kawasan wisata alam yang dimanfaatkan para turis mancanegara untuk berselancar. Secara geografis pantai Plengkung terletak di antara $8^{\circ}42'36''$ lintang selatan dan $114^{\circ}21'31''$ bujur timur. Pantai Plengkung di pilih sebagai lokasi yang sangat berpotensi karena berhadapan langsung dengan samudera Hindia dan pada daerah ini tidak berhadapan dengan pulau yang dapat mengurangi energi yang

terkandung dalam gelombang. Berdasarkan data yang didapat ketinggian gelombang laut di samudera hindia selatan jawa timur ketinggian maksimum gelombang dapat mencapai ketinggian 5 meter. Oleh karena itu, dengan memperhatikan beberapa hal yang telah disebutkan di atas maka perlu diadakan studi potensi dan perencanaan pembangkit listrik tenaga gelombang laut dengan menggunakan sistem *oscillating water column* di pantai Plengkung, Banyuwangi.

1.2. Rumusan masalah

Berdasarkan uraian pada latar belakang di atas maka pembahasan dalam skripsi ini ditekankan pada:

1. Seberapa besar potensi energi gelombang laut yang dapat terjadi di perairan pantai Plengkung, Banyuwangi.
2. Seberapa besar daya yang dapat dihasilkan dari pembangkit listrik tenaga gelombang laut menggunakan sistem *oscillating water column* apabila diterapkan di pantai Plengkung, Banyuwangi.
3. Bagaimana besar kolektor yang sesuai untuk tinggi gelombang yang ada di pantai plengkung, Banyuwangi dan spesifikasi generator yang digunakan pada pembangkit listrik tenaga gelombang laut sistem *oscillating water column*.

1.3. Batasan masalah

Berdasarkan pembahasan di atas, maka batasan masalah yang ditentukan adalah:

1. Analisis dilakukan terhadap pembangkit listrik tenaga gelombang laut sistem *oscillating water column* yang telah dibangun di pantai Parang Rancuk, Baron, Gunung kidul, Yogyakarta. Sebagai acuan sistem *oscillating water column*.
2. Variasi dimensi pembangkit sistem *oscillating water column* dengan tidak mendesain ulang bentuk OWC melainkan menggunakan desain yang sudah ada sebelumnya dengan variasi ukuran kolektor dan tidak membahas bangunan sipil.
3. Hasil akhir ditujukan untuk mengetahui daya listrik yang dapat dihasilkan oleh pembangkit listrik tenaga gelombang laut sistem *oscillating water column* yang ada jika diterapkan di pantai Plengkung, Banyuwangi.
4. Perhitungan yang dilakukan berdasarkan dari data yang di ambil pada 1 Januari 2014 – 31 Desember 2014

1.4. Tujuan

Tujuan dari pengerjaan skripsi ini antara lain sebagai berikut :

1. Memperoleh besar potensi energi gelombang laut yang dapat dihasilkan untuk pembangkit energi listrik di pantai Plengkung, Banyuwangi.
2. Mencari daya listrik yang dapat dihasilkan oleh pembangkit listrik tenaga gelombang laut sistem *oscillating water column*.
3. Mencari dimanasi dari kolektor pembangkit listrik tenaga gelombang laut sistem *oscillating water column* yang sesuai dengan tinggi gelombang dan yang ada di pantai Plengkung, Banyuwangi dan spesifikasi generator yang digunakan. Tanpa merubah desain *oscillating water column* yang telah ada sebelumnya.

1.5. Sistematika penulisan

Sistematika pembahasan skripsi ini disusun sebagai berikut :

BAB I : PENDAHULUAN

Berisi latar belakang, rumusan masalah, ruang lingkup, tujuan, dan sistematika pembahasan

BAB II : TINJAUAN PUSTAKA

Berisi dasar teori yang digunakan untuk dasar analisa dan untuk mendukung permasalahan yang diungkapkan

BAB III : METODOLOGI PENELITIAN

Berisi tahapan penyelesaian skripsi ini yang meliputi studi literatur, pengambilan data, inspeksi visual, perhitungan dan analisis data.

BAB IV : DESAIN KONSTRUKSI PLTGL

Berisi tahapan yang dilakukan dalam mendesain konstruksi PLTGL sistem OWC dengan menggunakan bantuan *software* SolidWork

BAB V : ANALISIS DAN PERHITUNGAN

Berisi tentang pembahasan, perhitungan, dan analisis data yang diajukan dalam penelitian menggunakan *software* ANSYS – CFX

BAB VI : KESIMPULAN DAN SARAN

Berisi kesimpulan hasil dan pembahasan dan saran untuk penelitian selanjutnya.

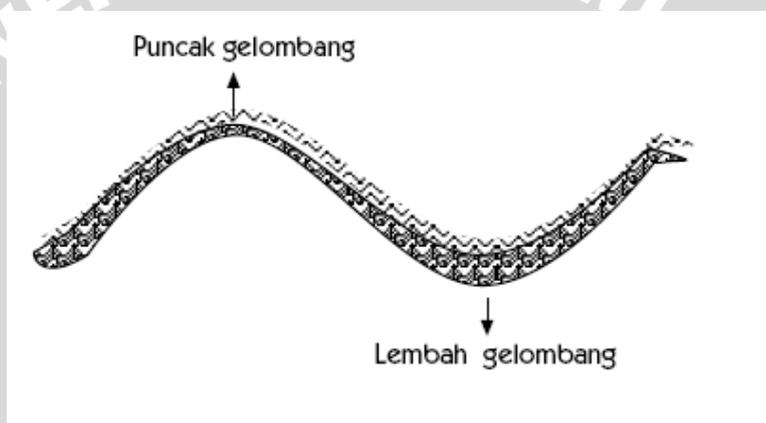
BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Gelombang Laut

Gelombang laut merupakan energi dalam transisi, merupakan energi yang terbawa oleh sifat aslinya. Prinsip dasar terjadinya gelombang laut adalah sebagai berikut (Waldopo, 2008:26): *“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. Hal ini seperti ditunjukkan pada gambar



Gambar 2.1 Pergerakan air laut

Sumber: Waldopo, 2008

Gelombang permukaan merupakan gambaran yang sederhana untuk menunjukkan bentuk dari suatu energi kelautan. Gejala energi gelombang bersumber pada fenomena-fenomena sebagai berikut (Pudjanarsa, 2006):

1. Benda (*body*) yang bergerak pada atau dekat permukaan yang menyebabkan terjadinya gelombang dengan periode kecil dan berenergi kecil
2. Angin merupakan sumber penyebab utama gelombang pada lautan
3. Gangguan seismic yang menyebabkan terjadinya gelombang pasang atau tsunami. Contoh gangguan seismic adalah: gempa bumi, pergerakan lempeng bawah laut.
4. Medan gravitasi bumi dan bulan penyebab gelombang-gelombang yang besar, terutama menyebabkan gelombang pasang yang tinggi.

Selanjutnya gelombang laut ditinjau dari sifat pengukurannya dibedakan menurut ketinggian serta periode alunannya. Dari kebanyakan data yang ada, tinggi gelombang

lautan dapat diukur melalui alat ukur gelombang ataupun dengan cara visual dengan melakukan pengamatan secara langsung.

Gelombang laut yang terjadi di laut sebenarnya dapat dibedakan menjadi beberapa jenis atau tipe gelombang. Perbedaan jenis atau tipe gelombang ini berdasarkan gaya yang membangkitkannya. Gelombang yang terjadi karena dibangkitkan oleh angin disebut dengan gelombang angin. Angin yang bertiup dipermukaan laut selama waktu tertentu, baik angin yang bertiup ke arah darat maupun angin yang bertiup ke arah laut akan menimbulkan gelombang. Gelombang angin termasuk jenis gelombang pendek, karena besar periode gelombang ini adalah mulai beberapa detik sampai beberapa menit saja. Gelombang pasang surut atau sering disebut juga dengan gelombang pasut, merupakan gelombang yang terjadi disebabkan oleh gaya tarik-menarik benda-benda langit, terutama matahari dan bulan. Gelombang ini termasuk jenis gelombang panjang, karena periode gelombang ini terjadi mulai dari beberapa hari sampai beberapa tahun. Gelombang tsunami adalah gelombang yang terjadi karena adanya pergerakan massa air laut, yang dapat disebabkan oleh letusan gunung berapi atau gempa yang terjadi di dasar laut. (Zakaria, 2009:1)

Gelombang yang sebenarnya yang terjadi di alam adalah sangat kompleks dan tidak dapat dirumuskan dengan akurat. Akan tetapi dalam mempelajari fenomena gelombang yang terjadi di alam dilakukan beberapa asumsi sehingga muncul beberapa teori gelombang. Akan tetapi dalam penelitian ini hanya akan dibahas mengenai teori gelombang amplitude kecil. Teori gelombang ini merupakan teori gelombang yang paling sederhana karena merupakan teori gelombang linier, yang pertama kali diperkenalkan oleh Airy pada tahun 1845.

Sebelum menurunkan persamaan gelombang, maka perlu diketahui asumsi-asumsi yang diberikan untuk menurunkan persamaan gelombang. Asumsi-asumsi ini diberikan agar penurunan teori gelombang amplitude kecil dapat dilakukan. Berikut adalah asumsi-asumsi tersebut (Zakaria, 2009:3):

1. Air laut adalah homogen, sehingga rapat massanya adalah konstan.
2. Air laut tidak mungkin tersedat atau mampat
3. Tegangan permukaan yang terjadi diabaikan
4. Gaya Coriolis diabaikan
5. Tegangan pada permukaan dianggap konstan

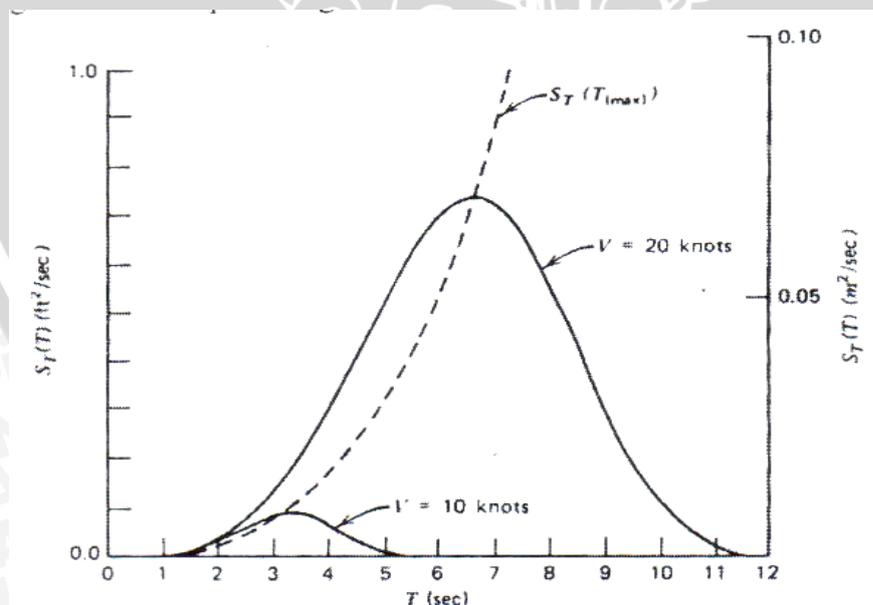
6. Dasar laut adalah horizontal, tetap dan impermeable
7. Gerak gelombang tegak lurus terhadap arah penjalarannya
8. Zat cair adalah ideal dan berlaku aliran tak berotasi

2.1.1 Pengaruh Angin

Angin merupakan sumber utama terjadinya gelombang pada lautan. Dengan demikian tinggi gelombang, periode, dan arah gelombang selalu berhubungan dengan kecepatan dan arah angin.

Angin dengan kecepatan rendah akan menyebabkan kecilnya tinggi gelombang dan rendahnya periode gelombang yang terjadi, sedangkan angin yang kuat dan angin ribut akan menyebabkan variasi tinggi gelombang serta periode gelombang yang tinggi yang mengarah ke berbagai penjuru. Pada kondisi angin yang baik, gelombang laut dapat diobservasi secara acak, baik untuk tinggi, periode, maupun arahnya. Angin memberikan pengaruh yang besar terhadap terjadinya gelombang laut sehingga efisiensi hampir semua mesin pengkonversi energi gelombang laut dipengaruhi oleh frekuensi angin yang terjadi sepanjang tahun pada suatu zona lautan tertentu (Pudjanarsa, 2006)

Gambar 2.2 menunjukkan suatu spektrum periode gelombang untuk berbagai variasi kecepatan angin.



Gambar 2.2 Spektrum periode gelombang untuk berbagai kecepatan angin

Sumber: Pudjanarsa, 2006

2.1.2 Data Gelombang Laut

Pada penelitian ini data gelombang yang digunakan adalah data ketinggian gelombang laut pada bagian selatan pantai plengkung, Kabupaten Banyuwangi yaitu tepatnya pada $8^{\circ}43'59.61''$ lintang selatan dan $114^{\circ}20'34.85''$ bujur timur. Data tersebut meliputi data ketinggian gelombang laut, periode gelombang laut dan panjang gelombang laut, ada pun sumber data tersebut adalah dari Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika Stasiun Meteorologi Maritim Perak II Surabaya. Data tinggi gelombang laut, periode, dan panjang gelombang yang terjadi sepanjang tahun 2014 yaitu pada 1 Januari 2014 hingga 31 Desember 2014. Berikut memperlihatkan data yang akan digunakan dalam penelitian ini:

Tabel 2.1 Data gelombang laut periode 1 Januari 2014-31 Desember 2014

Bulan	Tinggi Signifikan (m)	Periode signifikan (s)	Tinggi Maksimum (m)	Periode maksimum (s)	Panjang Gelombang (m)
Januari	1,25	5,9	2,10	6,0	55,65
Februari	1,03	6,0	1,75	6,1	56,01
Maret	0,64	5,3	1,05	5,6	46,58
April	0,50	4,6	0,85	4,7	34,15
Mei	0,95	5,5	1,57	6,2	51,12
Juni	1,30	5,3	2,18	5,4	45,00
Juli	1,55	5,6	2,60	5,9	52,06
Agustus	1,24	5,2	2,06	5,3	42,60
September	0,82	4,9	1,50	5,1	39,10
Oktober	0,85	4,8	1,52	4,9	36,70
November	0,82	5,2	1,37	5,7	42,50
Desember	0,87	5,0	1,50	5,1	40,00

Sumber: BMKG Stasiun Meteorologi Maritim Perak II Surabaya

Tinggi gelombang signifikan adalah rata-rata tinggi gelombang (dari puncak ke lembah) dari satu per tiga gelombang laut tertinggi yang terjadi dalam periode waktu tertentu (Efendi, 2011:3), pada tabel 2.1, adalah rata-rata tinggi gelombang dan periode gelombang yang terjadi di setiap bulannya.

2.2. Teknik Konversi Energi Kelautan Menjadi Energi Listrik

Pada dasarnya prinsip kerja teknologi yang mengkonversi energi gelombang laut menjadi energi listrik adalah mengakumulasi energi gelombang laut untuk memutar

turbin generator. Ada tiga cara membangkitkan energi listrik dengan menggunakan tenaga gelombang laut (Rahma Utami. S, 2010:6):

a. Energi Gelombang (*Wave*)

Energi kinetik yang terkandung pada gelombang laut digunakan untuk menggerakkan turbin. gelombang laut naik ke dalam ruang generator, lalu air yang naik menekan udara keluar dari ruang generator dan menyebabkan turbin berputar ketika air turun, udara bertiup dari luar ke dalam ruang generator dan memutar turbin kembali. Beberapa keuntungan dan kerugian energi gelombang laut antara lain:

1. Gelombang mempunyai amplitude besar di permukaan air laut, dan mengecil ke dasar laut, sehingga ekstrasi energi gelombang laut hanya dapat dilakukan pada permukaan air laut.
2. Besarnya gelombang lebih sulit diprediksi, tergantung angin yang berhembus.
3. Daerah dengan perbedaan suhu besar seperti daerah utara dan selatan berpotensi lebih besar karena memungkinkan angin berhembus lebih kencang.
4. Semakin besar gelombang laut semakin besar energi yang dapat dihasilkan.

b. Pasang Surut Air Laut (*Tidal*)

Bentuk lain dari pemanfaatan energi laut dinamakan energi pasang surut. Ketika pasang datang ke pantai, air pasang di tampung di dalam reservoir. Kemudian ketika air surut, air dibelakang reservoir dapat dialirkan seperti pada PLTA biasa. Agar bekerja optimal, kita membutuhkan gelombang pasang yang besar. Dibutuhkan perbedaan kira-kira 16 kaki antara gelombang pasang dan gelombang surut. Hanya ada beberapa pembangkit listrik telah beroperasi menggunakan sistem ini. Sebuah pembangkit di Prancis sudah beroperasi dan mencukupi kebutuhan listrik untuk 240.000 rumah.

Keunggulan tidal energi adalah lebih mudah di prediksi karena posisi bulan dan matahari dapat diprediksi dengan mudah, kekurangannya adalah terdapat periode dimana ketinggian antara pasangsurut air laut tidak mencukupi yaitu saat bulan tidak berada lurus dengan air laut.

c. Pemanfaatan Perbedaan Temperatur Air Laut (*Ocean Thermal Energy*)

Cara lain untuk membangkitkan listrik dengan menggunakan energi kelautan adalah dengan memanfaatkan perbedaan suhu di laut. Jika kita berenang dan menyelam

di laut kita akan merasakan perbedaan suhu yaitu semakin kita menyelam maka suhu laut akan semakin rendah (dingin). Suhu yang lebih tinggi pada permukaan laut disebabkan sinar matahari yang memanasi permukaan laut. Tetapi, di bawah permukaan laut, suhu sangat dingin.

Pembangkit listrik bisa dibangun dengan memanfaatkan perbedaan suhu untuk menghasilkan energi. Perbedaan suhu yang diperlukan sekurang-kurangnya 38° fahrenheit antara suhu permukaan dengan suhu bawah laut untuk keperluan ini. Cara ini dinamakan *Ocean Thermal Energy Conversion* atau OTEC. Cara ini telah digunakan di Negara maju seperti Jepang dan Hawaii dalam beberapa proyek percobaan.

2.3. Komponen Dasar Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut Sistem *Oscillating Water Column*

Konstruksi pembangkit listrik tenaga gelombang laut (PLTG) terdiri dari kolektor, turbin angin, dan generator

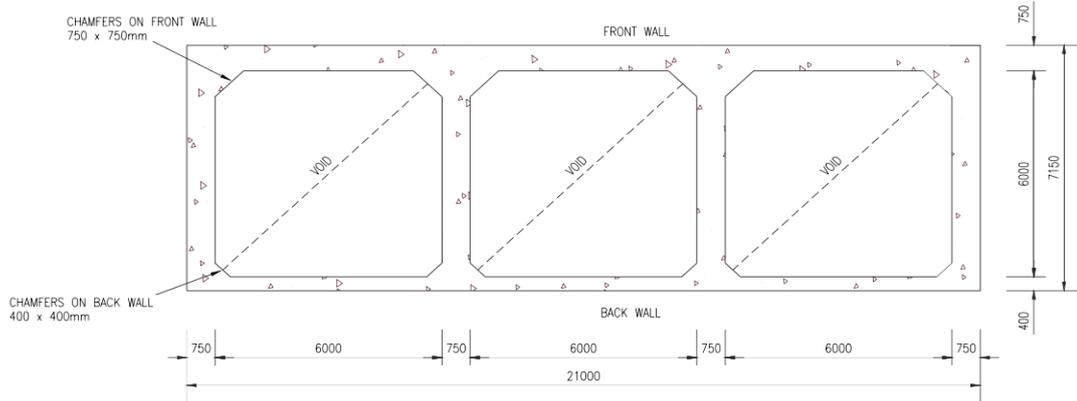
2.3.1 Kolektor

Kolektor merupakan bangunan yang berfungsi untuk mengumpulkan gelombang laut sebanyak-banyaknya, kemudian memfokuskan pada konverter. Berdasarkan fungsinya maka bentuk dari kolektor adalah menjorok ke lautan lepas yang menghadap ke lautan.

Dalam mendesain kolektor OWC ada beberapa hal yang harus diperhatikan yaitu:

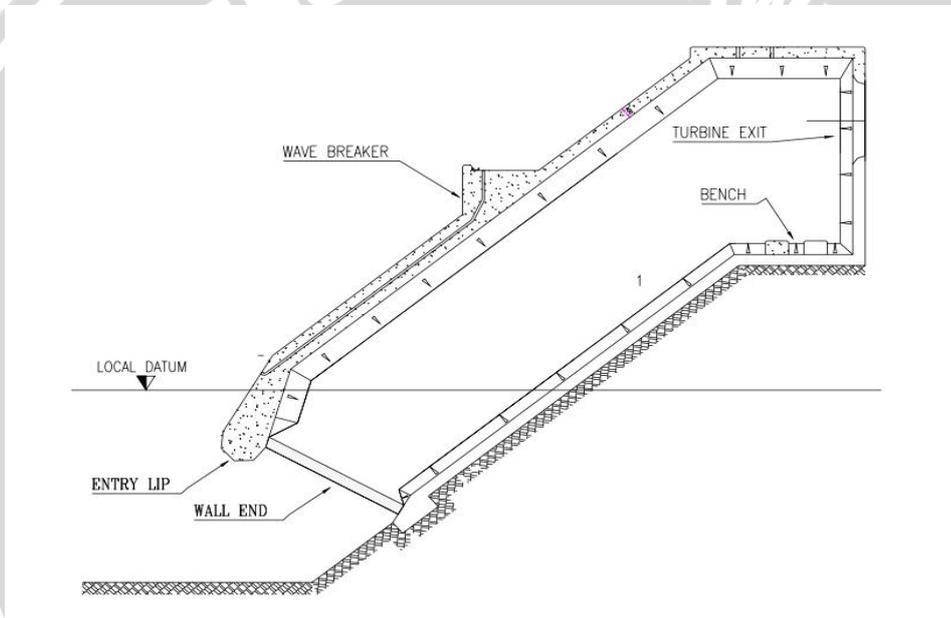
1. Kapasitas target pembangkit
2. Aksesibilitas situs
3. Pemilihan bahan konstruksi
4. Teknik perancangan
5. Penerapan desain ke situs

Kolektor berisi udara yang berfungsi untuk menggerakkan turbin yang telah dikopel dengan generator. Pergerakan air yang dihasilkan oleh gelombang laut akan menyebabkan gerakan naik turun sehingga udara yang berada dalam kolektor mengalir ke turbin melalui *orifice* atau saluran udara yang menghubungkan ruang osilasi dengan turbin udara. Pada *orifice* terdapat gaya dan tekanan angin yang digunakan untuk memutar turbin angin. Pergerakan udara didalam kolektor adalah tiup dan hisap sehingga dibutuhkan baling-baling *unidirectional* sehingga dengan aliran udara tiup maupun hisap baling-baling tersebut berputar dengan putaran yang searah.



Gambar 2.3 Kolektor tampak atas

Sumber: *Published Report of Islay LIMPET Wave Power Plant, 2002:15*



Gambar 2.4 Kolektor Tampak Samping

Sumber: *Published Report of Islay LIMPET Wave Power Plant, 2002:16*

Dari gambar 2.4, dan 2.5. Terlihat dimensi dari PLTGL Limpet dengan lebar kolom 6x6 meter dengan ketebalan dinding 750 mm pada bagian depan dan 400 mm pada bagian belakang. Tabel 2.1 berikut adalah referensi ukuran kolektor PLTGL Islay LIMPET:

Tabel 2.2 Refrensi Ukuran Kolektor

Collector Roof	12,50
Turbine Axis	9,84
Top of Turbine Slab	8,30
Bench Level Inside Collector	4,94
Top of Wave Breaker on Front Wall	8,30
Start of 60o slope on Front Wall	2,40
Mean High Water Spring Tides	0,76
Local Datum	0,00
Mean Low Water Spring Tides	-1,34
Underside of Entry Lip	-2,63
Bottom of Diaphragm Walls	-4,52
Sea Bed under Lip	-7,00

Sumber: *Published Report of Islay LIMPET Wave Power Plant*, 2002:17

2.3.2 Turbin

Turbin merupakan bagian yang penting dalam suatu pembangkit tenaga listrik. Turbin merupakan penggerak awal, yang mengubah energi mekanik menjadi energi listrik. Dimana energi fluida kerjanya dipergunakan langsung untuk memutar roda turbin. Pada turbin hanya terdapat gerak rotasi. Bagian turbin yang berputar dinamakan stator atau rumah turbin. Roda turbin terletak dalam rumah turbin dan roda turbin memutar poros daya yang menggerakkan atau memutar beban seperti generator listrik.

Di dalam turbin terdapat fluida kerja yang mengalami proses ekspansi yaitu proses penentuan tekanan yang mengalir secara terus menerus. Fluida kerja dapat berupa air, uap air atau gas.

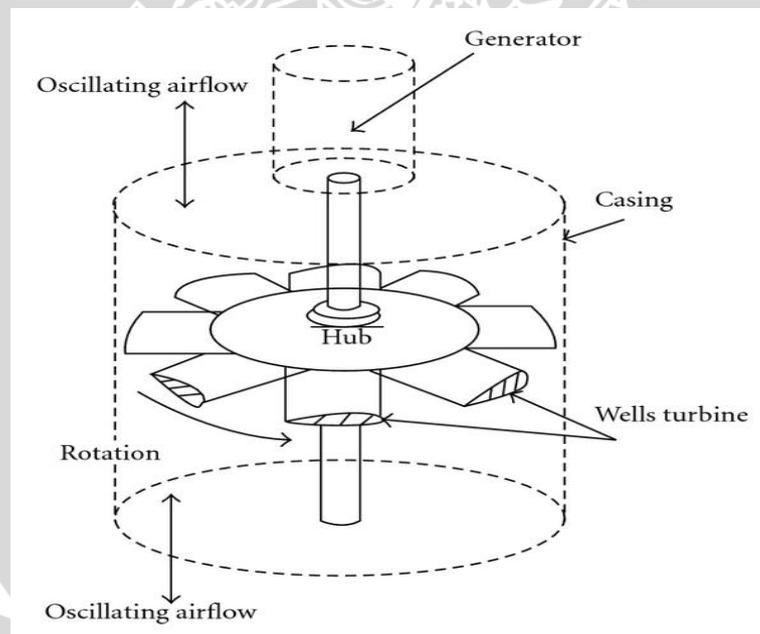
Pada roda turbin terdapat sudu, kemudian fluida akan mengalir melalui ruang di antara sudu tersebut sehingga roda turbin berputar. Ketika roda turbin berputar maka tentu ada daya yang bekerja pada sudu. Gaya tersebut timbul karena terjadinya perubahan momentum dari fluida kerja yang mengalir diantara sudu. Jadi sudu harus dibentuk sedemikian rupa agar terjadi perubahan momentum pada fluida kerja. Karena sudu bergerak bersamaan dengan gerak roda turbin, maka sudu tersebut dinamakan sudu gerak, sedangkan sudu yang menyatu dengan rumah turbin sehingga tidak bergerak dinamakan sudu tetap. Sudu tetap berfungsi mengarahkan aliran fluida kerja masuk ke dalam sudu gerak atau juga berfungsi sebagai nosel. Pada sebuah roda turbin mungkin terdapat satu baris sudu gerak saja yang disebut turbin bertingkat tunggal, dan jika terdapat beberapa baris sudu gerak disebut turbin bertingkat ganda (Pudjanarsa, 2006: 37).

2.3.3 Turbin Angin

Prinsip dasar kerja turbin udara adalah mengubah energi mekanis dari tekanan udara menjadi energi putar pada turbin, lalu putaran turbin digunakan untuk memutar generator, yang akhirnya akan menghasilkan listrik. Umumnya daya efektif yang dapat diperoleh dari sebuah turbin angin hanya sebesar 20% sampai 30%.

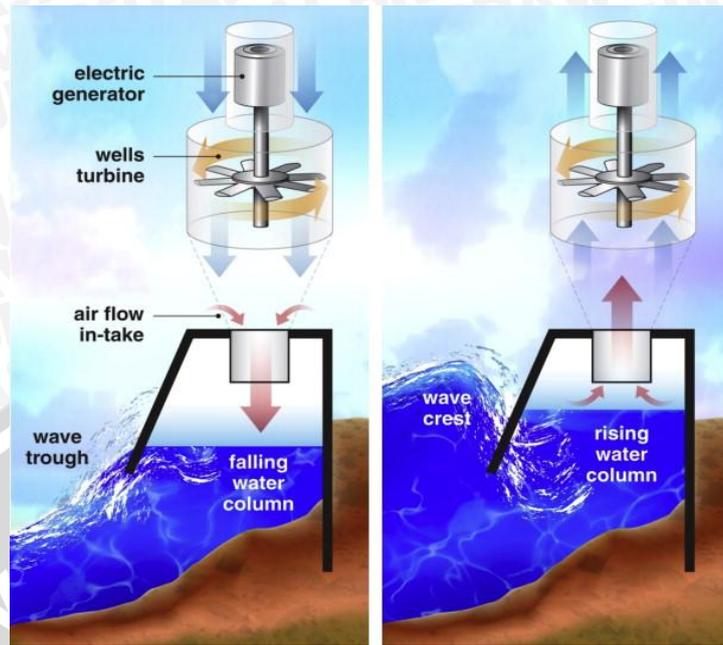
Sistem ini terjadi dari sebuah ruang yang dibangun di tepi pantai. Gerakkan laut/gelombang laut mendorong kantong udara sebuah pemecah gelombang ke atas dan kebawah. Kemudian udara akan melewati turbin udara. Selanjutnya, ketika gelombang kembali ke laut, udara yang keluar tadi akan beredar melalui turbin dengan arah yang sebaliknya.

Turbin penyearah ini dirancang oleh Profesor Alan Wells dari Queen's University, yang menggerakkan generator listrik dipasang pada poros yang sama, seperti di ilustrasikan pada gambar. Untuk mengontrol tekanan udara di dalam sistem digunakan katub atau klep yang dipasang secara paralel dengan turbin (Siti Rahma Utami, 2010:23).



Gambar 2.5 Turbin udara (*Wells Turbine*)

Sumber: Murdani. B, 2008



Gambar 2.6 Skema turbin Wells

Sumber: Murdani, B, 2008



Gambar 2.7 Wells turbin sebelum diletakkan di mesin konversi

Sumber: Mackie, G, 2004

Parameter turbin yang digunakan adalah :

Tabel 2.3 Parameter Turbin

Turbine Diameter	2,6 m
Nominal Operating Speed	1050 rpm
Number of Turbines	2
Arrangement	In Line Contra-rotating
Blade Form	NACA0012
Number of Blades	7
Blade Chord	320 mm
Hub to Tip Ratio	0,62

Sumber: *Publishable Report of Islay LIMPET Wave Power Plant*, 2002:18

Turbin *wells* diletakkan pada Duct dengan diameter 2,6 meter dengan panjang 1342 mm, pada tiap ujung *Duct* terdapat *Butterfly valve* yang berfungsi sebagai katup, fungsi utama dari katup ini adalah sebagai pengatur besarnya udara yang masuk kedalam *Duct* yang dapat mempengaruhi putaran pada turbin angin. Selain itu katup ini berfungsi untuk mengisolasi turbin angin dari kolektor pada saat perbaikan ataupun pada kondisi darurat. Karena Wells turbin merupakan salah satu jenis dari turbin angin maka turbin ini memiliki efisiensi yang cukup rendah yaitu sebesar 30%, ini dikarenakan wells turbin ini mempunyai sumbu horizontal dimana turbin angin yang memiliki sumbu horizontal memiliki efisiensi sebesar 30%, turbin dengan sumbu horizontal memiliki efisiensi yang lebih baik dibandingkan dengan turbin angin yang menggunakan sumbu vertikal. Secara teori, efisiensi maksimum yang bisa dicapai setiap desain turbin angin adalah 59%, artinya energi angin yang bisa diserap hanyalah 59%. Jika faktor-faktor seperti kekuatan dan durabilitas diperhitungkan, maka efisiensi sebenarnya hanya 35 - 45%, bahkan untuk desain terbaik. Terlebih lagi jika ditambah inefisiensi sistem wind turbin lengkap, termasuk generator, bearing, transmisi daya dan sebagainya, hanya 10-30% energi angin yang bisa dikonversikan ke listrik.

Untuk menghitung daya yang dihasilkan turbin angin pada pembangkit membutuhkan nilai gaya pada *orifice* kolektor serta torsi dari turbin. Nilai gaya dan tekanan angin pada *orifice* didapatkan dari hasil uji coba model menggunakan software CFX. Setelah didapatkan tekanan angin yang terdapat pada kolektor, maka dilakukan perhitungan untuk mencari gaya yang dihasilkan oleh angin dengan menggunakan persamaan:

$$\text{Gaya (N)} = \text{Tekanan (Pa)} \times \text{Luas Penampang Turbin (m}^2\text{)} \quad (2-1)$$

Dimana luas penampang turbin sesuai dengan spesifikasi turbin yang digunakan yaitu sebesar 5,2 m². Untuk menghitung torsi turbin digunakan rumusan: (Istiqomah, 2005:24)

$$Q = F \times I \quad (2-2)$$

Dimana :

Q = Torsi Turbin (Nm)

F = Gaya yang terjadi pada orifice (N)

I = Jari-jari Turbin (m)

Setelah didapatkan besarnya torsi yang dihasilkan oleh turbin, maka dapat dihitung besarnya daya yang dihasilkan turbin dengan menggunakan persamaan:

$$P_t = \omega Q = 2\pi n Q \quad (2-3)$$

Dimana :

P_t = Daya yang dihasilkan turbin (W)

Q = Torsi turbin (Nm)

n = Putaran Turbin (rpm)

2.3.4 Generator

Generator adalah suatu alat yang digunakan untuk mengkonversi energi mekanis dari prime over menjadi energi listrik. Generator yang umum dipergunakan dalam sistem pembangkit adalah generator sinkron. Secara garis besar generator terbagi atas stator dan rotor (Rahma Utami, 2010:24).

1. Stator

Stator merupakan bagian dari generator yang berada pada kondisi diam yang terdiri dari rangka stator, inti stator, dan belitan-belitan stator. Walaupun dalam keadaan diam stator dapat menghasilkan tegangan AC. Rangka stator terbuat dari baja yang dapat melindungi seluruh bagian generator dari getaran. Inti stator terbuat dari bahan ferromagnetic yang disusun berlapis-lapis, di tempat inilah fluks magnet terbentuk. Belitan stator terbuat dari tembaga yang

disusun didalam alur-alur pada inti stator, di dalam belitan ini akan timbul gaya gerak listrik (GGL) dan tegangan.

2. Rotor

Rotor merupakan bagian generator yang berputar. Pada rotor terdapat kutub-kutub magnet dengan lilitan kawatnya yang dialiri oleh arus searah. Kutub magnet rotor terdiri dari 2 jenis yaitu rotor kutub menonjol dan rotor kutub tidak menonjol (silinder). Rotor kutub menonjol biasanya digunakan untuk generator dengan kecepatan rendah dan menengah sedangkan rotor kurub tidak menonjol (silinder) digunakan untuk generator dengan kecepatan yang tinggi.

Terdapat beberapa hal yang mendasari dalam pemilihan generator. Pada pemakaian tegangan generator yang relative tinggi, maka diperlukan isolasi yang tebal dan baik, hal ini menyebabkan ruangan untuk penghantar menjadi semakin sempit dan harga generator akan menjadi lebih mahal. Sedangkan pada generator dengan pemakaian tegangan lebih rendah akan menyebabkan berkurangnya jumlah lilitan gulungan stator, sehingga akan membatasi dalam perencanaan dan tidak ekonomis tetapi menguntukan dalam pengoperasiannya.

Berdasarkan pertimbangan hal-hal tersebut diatas maka diberikan suatu standar untuk pemilihan tegangan berdasarkan daya yang dibangkitkan, sedangkan factor daya ($\cos \phi$) dipilih antara 0,8-0,9

2.3.5 Prinsip Kerja Pembangkit Listrik Gelombang Laut (PLTGL)

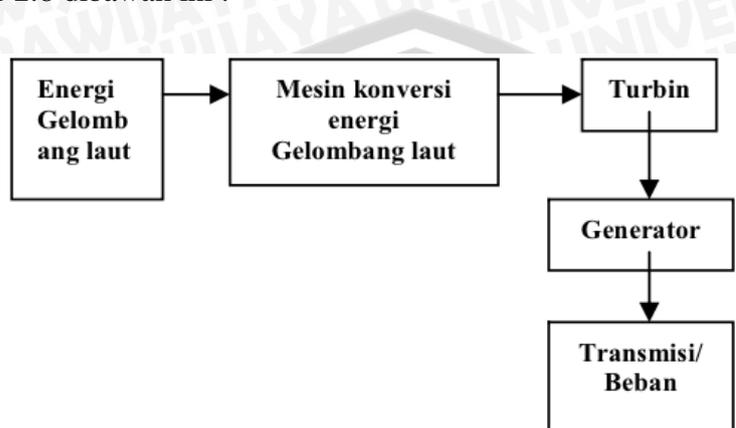
Dalam sistem pemanfaatan gelombang laut dalam pembangkitan listrik, ada beberapa peralatan penting yang sangat berperan. Peralatan-peralatan tersebut adalah(Rahma Utami, 2010):

1. Mesin konversi energi gelombang laut (kolektor)
Berfungsi untuk menyalurkan energi kinetik yang dihasilkan oleh gelombang laut yang kemudian dialirkan ke turbin.
2. Turbin
Berfungsi untuk mengubah energi kinetic gelombang menjadi energi mekanik yang dihasilkan oleh perputaran rotor pada turbin.

3. Generator

Di dalam generator energi mekanik yang dihasilkan turbin dirubah kembali menjadi energi listrik dengan kata lain generator sebagai pembangkit tenaga listrik.

Sistem pembangkitan pada pembangkit listrik tenaga gelombang laut dapat dijelaskan melalui gambar 2.8 dibawah ini :



Gambar 2.8. Diagram skema sistem pembangkitan pembangkit listrik tenaga gelombang.

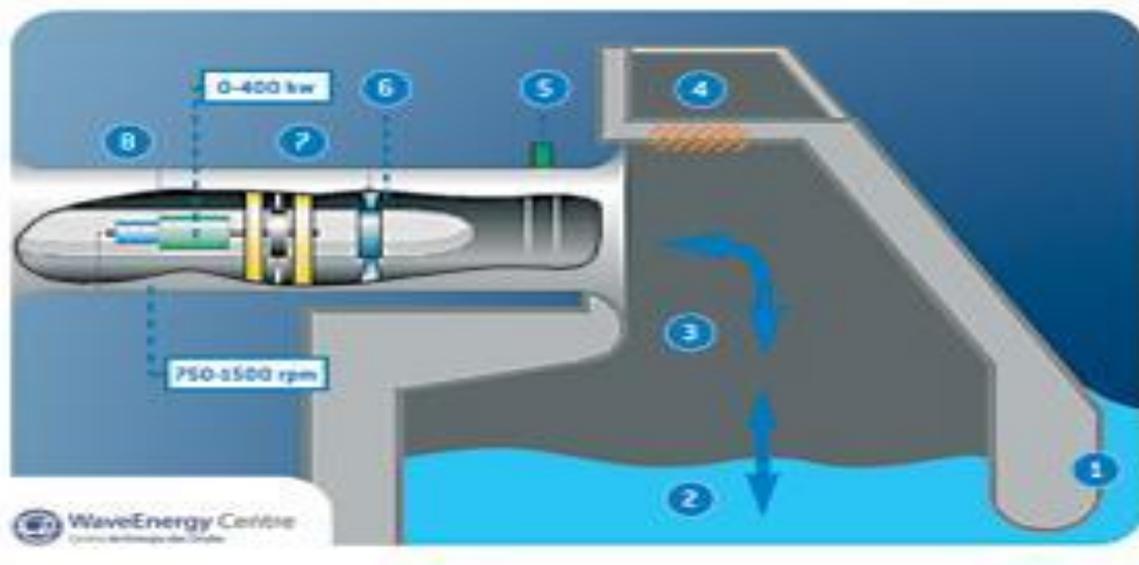
Gelombang laut yang mempunyai energi kinetik masuk kedalam mesin konversi energi gelombang. Kemudian dari mesin konversi aliran gelombang yang mempunyai energi kinetik ini di alirkan menuju turbin. Didalam turbin ini energi kinetik yang dihasilkan oleh gelombang digunakan untuk memutar rotor. Kemudian dari perputaran rotor inilah energi mekanik yang disalurkan ke generator diubah menjadi energi listrik (daya listrik), daya listrik yang dihasilkan dialirkan menuju sistem transmisi melalui kabel laut. Daya yang disalurkan melalui kabel laut ini adalah daya listrik arus searah (DC).

2.4. Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut Sistem *Oscillating Water Column*

Oscillating Water Column adalah salah satu teknologi pembangkit listrik yang menggunakan tenaga gelombang laut sebagai penggerak turbinnya, mengubah energi gelombang laut menjadi energi listrik dengan menggunakan kolom osilasi. Alat OWC ini akan menangkap energi gelombang yang mengenai lubang pintu OWC, sehingga terjadi fluktuasi atau osilasi gerakan air dalam ruang OWC, kemudian tekanan udara ini akan menggerakkan baling-baling turbin yang dihubungkan dengan generator listrik sehingga menghasilkan energi listrik. Hal yang harus di perhatikan pada pembuatan

ruang udara *oscillating water column* adalah karakteristik pada periode gelombang, tinggi gelombang, dan panjang gelombang pada iklim daerah terkait. *Oscillating water column* terdiri dari dua jenis, yaitu OWC tidak terapung (fix) dan OWC terapung. (Kadir, A, 1997)

2.4.1 Prinsip Kerja *Oscillating Water Column* (OWC)



Gambar 2.9 Prinsip kerja *Oscillating Water Column*

Sumber: Hasnan. A, 2010:24

Pertama pergerakan gelombang laut (1) akan masuk ke dalam kolom (2) lalu udara tertekan keatas didalam kolom (3) setelah melewati katub (5) angin yang terkompresi menggerakkan turbin angin (7) yang terhubung dengan generator, yang mengkonversikan gerakan turbin menjadi listrik (8). (Ahmad Hasnan, 2010:4)

Pada sistem *Oscillating Water Column* ini, menggunakan tekanan udara dari ruangan kedap air untuk menggerakkan *wells turbine* yang nantinya pergerakan turbin ini digunakan untuk menghasilkan energi listrik. Ruangan kedap air ini dipasang tetap dengan struktur bawah terbuka ke laut. Tekanan udara pada ruangan kedap air ini disebabkan oleh pergerakan naik-turunnya permukaan gelombang air laut. Gerakan gelombang di dalam ruangan ini merupakan gerakan *compresses* dan *decompresses* yang ada di atas tingkat air di dalam ruangan. Gerakan ini mengakibatkan, dihasilkannya sebuah *alternating streaming* kecepatan tinggi dari udara. Aliran udara ini di dorong melalui pipa ke turbin generator yang digunakan untuk menghasilkan listrik. (Vining. J, 2005)

Di Indonesia OWC sudah dibangun di daerah gunung kidul, jawa tengah, sedangkan tipe modelnya dapat dilihat di Technopark parang rancu, Yogyakarta dikembangkan oleh BPPT, teknologi ini dinamakan PLTO (Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut) beroperasi di kedalaman 4-10 m dengan rpm maksimal 3000 rpm, listrik yang dihasilkan mencapai 19 kW.

Adapun kelebihan dan kekurangan dari PLTGL tipe *Oscillating Water Column* adalah sebagai berikut: (Rahma Utami, 2010:46)

Kelebihan:

1. Teknologi OWC sudah dikembangkan selama lebih dari tiga puluh tahun sehingga teknologi ini sangat fleksibel untuk semua karakteristik laut dan dapat beroperasi dengan sangat efisien pada daerah dengan densitas daya gelombang yang rendah. Maka dari itu OWC menjadi teknologi konversi energi gelombang laut yang paling sering digunakan
2. Turbin angin pada sistem OWC adalah turbin yang berputar searah yang cocok dengan aerodinamis.
3. Sebagian besar sistem OWC terletak didaratan sehingga sangat fleksibel untuk menghubungkan daya listrik yang dihasilkan ke dalam sistem transmisi.
4. Sebagian besar konstruksi sistem OWC terbuat dari baja dan beton, sehingga memiliki kerangka yang sangat stabil dan memiliki umur pemakaian yang cukup panjang.
5. Perawatan dan operasi sistem OWC membutuhkan biaya yang rendah, serta menjaga ekosistem laut tetap terjaga karena tidak merusak lingkungan.

Kekurangan:

1. Konversi energi menggunakan sistem OWC memiliki total efisiensi yang cukup rendah terutama turbin angin dan generator, hal ini di sebabkan proses konversi yang kompleks dan efisiensi turbin angin yang rendah.
2. Dalam pembangunan konstruksi sistem OWC yang terletak di laut, maka faktor iklim dan cuaca menjadi hal yang dapat menghambat pembangunan serta dapat meningkatkan biaya investasi.
3. Biaya modal untuk sistem OWC yang cukup tinggi menyebabkan sistem OWC ini kurang sesuai jika digunakan untuk pembangkit listrik komersial.

2.4.2 Perhitungan Energi Gelombang Laut Sistem *Oscillating Water Column*

Dalam perhitungan besarnya energi gelombang laut dengan metode *oscillating water column* (OWC), hal yang harus diketahui adalah ketersediaan akan energi gelombang laut. Total energi gelombang laut dapat diketahui dengan menjumlahkan besarnya energi kinetik dan energi potensial yang dihasilkan oleh gelombang laut.

Energi potensial adalah energi yang di timbulkan oleh massa air diantara palung dan puncak terhadap MWL (*mean water level*) sehingga persamaan untuk energi potensial adalah: (Istikomah, 2005:22)

$$P.E. = mg \frac{y(x,t)}{2} \quad (J) \quad (2-4)$$

Dimana :

$m = wpy$: Massa Gelombang (kg)

ρ = massa jenis air laut (kg/m^3)

w = lebar gelombang (m) (diasumsikan sama dengan luas kolektor pada OWC)

$Y = y(x,t) = a \sin(kx - \omega t)$ (m): persamaan gelombang (diasumsikan gelombang sinusoidal)

$a = h/2$: amplitudo gelombang.

h = ketinggian gelombang (m)

$k = \frac{2\pi}{\lambda}$: Konstanta gelombang

λ : panjang gelombang (m)

$\omega = \frac{2\pi}{T}$ (rad/sec) : frekuensi gelombang

T : periode gelombang (secon)

Maka persamaan energi potensial ini dapat di tulis sebagai berikut:

$$P.E. = w\rho g \frac{y^2}{2} = w\rho g \frac{a^2}{2} \sin^2(kx - \omega t) \quad (2-5)$$

Selanjutnya dihitung besarnya energi potensial gelombang lebih dari 1 periode, diasumsikan bahwa gelombang hanya merupakan fungsi dari x terhadap waktu, sehingga didapatkan persamaan $y(x,t) = y(x)$.

Jadi didapatkan persamaan:

$$dP.E. = 0.5 w \rho g a^2 \sin^2(kx - \omega t) dx \quad (2-6)$$

Berdasarkan persamaan $K = \frac{2\pi}{\lambda}$ dan $\omega = \frac{2\pi}{T}$, maka didapatkan persamaan:

$$P.E. = \frac{1}{4} w \rho g a^2 \lambda \quad (2-7)$$

Energi kinetik adalah energi yang timbul akibat adanya kecepatan partikel air yang bergerak bersamaan dengan gerak gelombang laut. Besarnya energi kinetik lebih dari 1 periode adalah sebanding dengan besarnya energi potensial yang dihasilkan: (Istikomah, 2005:23)

$$K.E. = \frac{1}{4} w \rho g a^2 \lambda \quad (2-8)$$

Dimana energi kinetik merupakan bagian energi yang berhubungan dengan gerakan dari gelombang laut. Setelah besaran energi potensial dan energi kinetik diketahui, maka dapat dihitung total energi yang dihasilkan selama lebih 1 periode. Total energi yang dihasilkan dapat dicari dengan menggunakan persamaan:

$$E_W = P.E + K.E = \frac{1}{2} w \rho g a^2 \lambda \quad (2-9)$$

Total energi yang dimaksud disini adalah jumlah besarnya energi yang dihasilkan gelombang laut yang didapatkan melalui penjumlahan energi potensial dan energi kinetik yang dimiliki gelombang laut tersebut. Melalui persamaan diatas, maka dapat dihitung besarnya *energi density* (E_{WD}), daya listrik (P_W), dan *power density* (P_{WD}) yang dihasilkan gelombang laut. Untuk menentukan besarnya *energi density* yang dihasilkan gelombang laut digunakan persamaan:

$$E_{WD} = \frac{E_W}{\lambda_W} = \frac{1}{2} \rho g a^2 \text{ (J/m)} \quad (2-10)$$

Energi density adalah besarnya kerapatan energi yang dihasilkan gelombang laut tiap 1 satuan luas permukaan. Untuk menentukan besarnya daya listrik (P_W) yang dapat dihasilkan gelombang laut digunakan persamaan berikut (Istikomah, 2005:23)

$$P_W = \frac{E_W}{T} \text{ (W)} \quad (2-11)$$

Dimana *wave power* adalah besarnya daya listrik yang mampu dihasilkan oleh gelombang laut.

Untuk menentukan besarnya power density (P_{WD}) yang dihasilkan gelombang laut digunakan persamaan sebagai berikut:

$$P_{WD} = \frac{P_W}{\lambda_W} = \frac{1}{2T} \rho g a^2 \quad (\text{w/m}^2) \quad (2-12)$$

2.4.3 Perkiraan Daya Listrik Yang Dapat Dibangkitkan

Untuk dapat menentukan besarnya daya listrik yang dapat dihasilkan oleh pembangkit PLTGL sistem OWC di Pantai Plengkung, Banyuwangi ini adalah dengan mengetahui daya mekanik yang dihasilkan oleh turbin angin sebagai penggerak rotor pada generator. Daya mekanik yang dihasilkan turbin angin digunakan sebagai acuan pemilihan generator. Setelah didapatkan spesifikasi dan efisiensi generator, maka dilakukan perhitungan daya listrik yang dapat dihasilkan oleh PLTGL dengan persamaan:

$$P_g = P_t \times \eta_{\text{Generator}} \quad (2-13)$$

Dimana :

P_g = Daya listrik yang dihasilkan oleh generator (W)

P_t = Daya mekanik yang dihasilkan oleh turbin Wells (W)

$\eta_{\text{Generator}}$ = Efisiensi generator

2.5 Penentuan Lokasi Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut Sistem *Oscillating Water Column*

Untuk menentukan lokasi pembangkit listrik tenaga gelombang laut sistem OWC ada beberapa hal yang perlu dipertimbangkan, antara lain:

A. Tinggi Gelombang Laut

Tinggi gelombang yang dimanfaatkan untuk PLTG sistem ini adalah gelombang yang selalu terbentuk sepanjang tahun dengan tinggi minimal satu sampai dua meter. Gelombang yang sesuai dengan kriteria ini adalah gelombang swell yang cenderung mengandung energi yang besar.

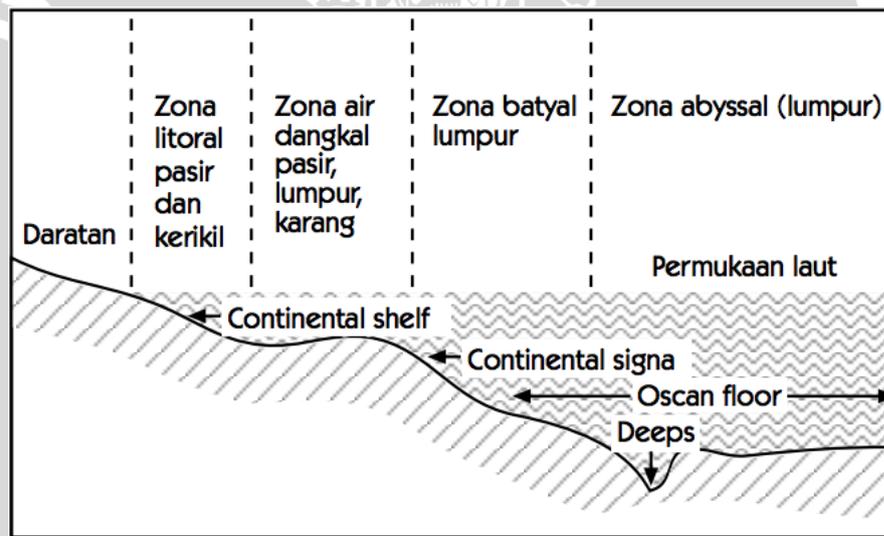
B. Arah Datang Gelombang

Mulut kolektor harus sesuai dengan arah datang gelombang, jika tidak searah maka energi gelombang yang masuk akan berkurang. Hal ini disebabkan banyaknya energi yang hilang akibat sifat refleksi, difraksi maupun refraksi pada gelombang.

C. Keadaan Topografi Lautan

Optimalisasi dari suatu desain PLTGL sistem *oscillating water column* tergantung pada topografi kelautan atau barimetri di sekitar lokasi. Apabila kondisi dasar lautan atau permukaan kurang memenuhi persyaratan maka akan dilakukan pengerukkan atau penambahan.

Berdasarkan kedalamannya, laut dapat dibedakan menjadi beberapa zona seperti terlihat pada gambar 2.10



Gambar 2.10 Kedalaman Laut

Sumber: Waldopo, 2008:24

a. Zona litoral

Zona litoral atau yang biasa disebut zona pesisir adalah wilayah laut antara garis batas air pasang naik dengan garis batas air pasang surut. Wilayah ini tergenang pada saat pasang naik sedangkan pada keadaan surut laut wilayah ini tidak tergenang air laut.

b. Zona neritic

Zona neritic atau yang biasa disebut zona laut dangkal adalah wilayah laut yang dangkal antara batas pasang surut dampai dengan kedalaman 200 meter.

c. Zona bathial

Zona bathial atau yang biasa disebut zona laut dalam adalah wilayah laut yang dalam dengan kedalaman antara 200 meter hingga kedalaman 1800 meter.

d. Zona abisyal

Zona abisyal atau yang biasa disebut zona laut sangat dalam adalah wilayah laut dengan kedalaman lebih dari 1800 meter.

Pada penelitian ini, lokasi yang direncanakan untuk penempatan PLTGL sistem OWC adalah pada bagian selatan garis pantai Plengkung yang berhadapan langsung dengan samudra hindia. Yaitu pada $8^{\circ}43'59.61''$ lintang selatan dan $114^{\circ}20'34.85''$ bujur timur. Dipilih sebagai lokasi yang sesuai karena berdasarkan kedalamannya daerah ini termasuk kedalan zona laut dangkal atau zona neritic karena berada dekat dengan pantai dan pada lokasi ini selalu tergenang air laut pada saat laut pasang maupun laut dalam keadaan surut. Lokasi ini terletak ± 100 meter dari garis pantai. Berikut gambar lokasi perencanaan PLGL:



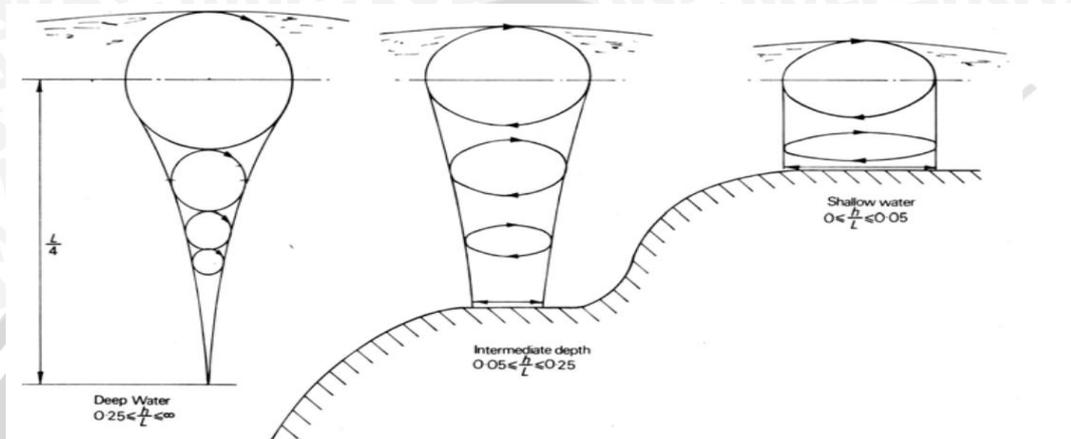
Gambar 2.11 Lokasi perencanaan PLTG sistem OWC

Sumber: Google Earth, 2015

Pola ketinggian gelombang laut yang terjadi di kawasan ini tergolong konstan dan cukup besar, hal ini dikarenakan laut yang ada di kawasan ini berhadapan langsung dengan laut lepas (Samudra Hindia) dan pada lokasi ini tidak berhadapan langsung dengan pulau yang dapat mengurangi energi yang terkandung dalam gelombang laut.

Oleh karena itu laut di kawasan ini sangat potensial untuk dikembangkan pembangkit listrik tenaga gelombang laut (PLTGL)

Berdasarkan kedalaman relative (h/L) dimana (h) adalah kedalaman laut dan (L) adalah panjang gelombang, gelombang dapat di klarifikasikan menjadi 3 tipe gelombang yaitu (Zakaria A, 2009:21):



Gambar 2.12 Pergerakan gelombang laut

Sumber: Navvaro D, 2007:7

1. Gelombang di laut dangkal jika : $h/L \leq 1/20$
2. Gelombang di laut transisi jika : $1/20 \leq h/L \leq 1/4$
3. Gelombang di laut dalam jika : $h/L \geq 1/4$

Pada penelitian ini, tipe gelombang yang terdapat pada lokasi penempatan PLTGL ini adalah tipe gelombang di laut dangkal, hal ini di karenakan PLTGL sistem OWC terletak di garis pantai yang merupakan perairan laut dangkal. Persamaan untuk cepat rambat gelombang adalah: (Zakaria, 2009:20)

$$C = \frac{gT}{2\pi} \tanh\left(\frac{2\pi h}{L}\right) \quad (2-14)$$

Dan persamaan untuk panjang gelombang adalah $L = CT = \frac{gT^2}{2\pi}$. Sehingga persamaan cepat rambat gelombang adalah

$$C = \frac{gT}{2\pi} \quad (2-15)$$

Dimana:

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

T = Periode gelombang (s)

h = Kedalaman laut (m)

L = Panjang gelombang (m)

Berdasarkan tipe gelombang, kedalaman relative h/L adalah lebih kecil dari atau sama dengan $1/20$, maka nilai $\tanh\left(\frac{2\pi h}{L}\right)$ lebih mendekati nilai $\left(\frac{2\pi h}{L}\right)$, maka untuk persamaan cepat rambat gelombang dan panjang gelombang menjadi (Ahmad Zakaria, 2009:21):

Cepat rambat gelombang:

$$C = \frac{gT}{2\pi} \left(\frac{2\pi h}{L} \right) \quad (2-16)$$

Panjang Gelombang:

$$L = \frac{gT^2}{2\pi} \left(\frac{2\pi h}{L} \right) \quad (2-17)$$

Persamaan di atas merupakan persamaan cepat rambat gelombang dan panjang gelombang yang terjadi pada laut perairan dangkal.

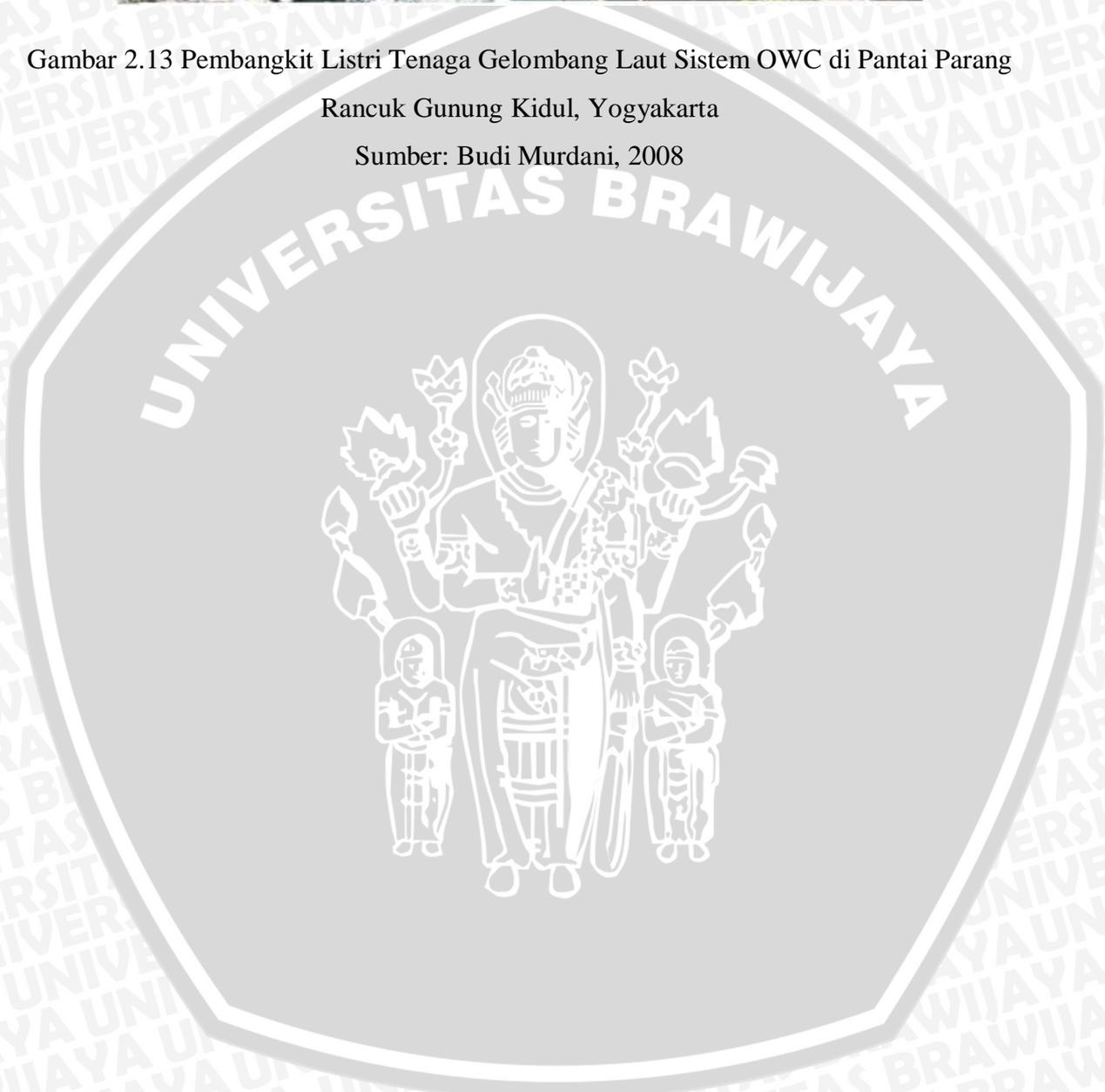
Salah satu wilayah di Indonesia yang telah dibangun PLTGL sistem OWC menggunakan teknologi LIMPET adalah Yogyakarta, Pantai Selatan di daerah Yogyakarta memiliki potensi gelombang 19 kw/panjang gelombang. Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut di daerah Yogyakarta dikembangkan oleh BPPT khususnya BPDP (Balai Pengkajian Dinamika Pantai). Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut ini menggunakan metode *Oscillating Water Column* (OWC). BPDP – BPPT pada tahun 2004 telah berhasil membangun prototype OWC pertama di Indonesia. Prototype itu dibangun di pantai Parang Racuk, Baron, Gunung Kidul. Prototype OWC yang dibangun adalah OWC dengan dinding tegak. Luas bersih kolektor 3x3 meret. Tinggi sampai pangkal dinding miring 4 meter, tinggi dinding miring 2 meter sampai ke ducting, tinggi ducting 2 meter. Prototype OWC 2004 ini setelah di uji coba operasional memiliki efisiensi 11%. Pada tahun 2006 ini pihak BPDP – BPPT kembali membangun OWC dengan sistem Limpet di pantai Parang Racuk, Baron, Gunung Kidul. OWC Limpet dibangun berdampingan dengan OWC 2004 tetapi dengan model yang berbeda. (Mardani. B, 2008)



Gambar 2.13 Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut Sistem OWC di Pantai Parang

Rancu Gunung Kidul, Yogyakarta

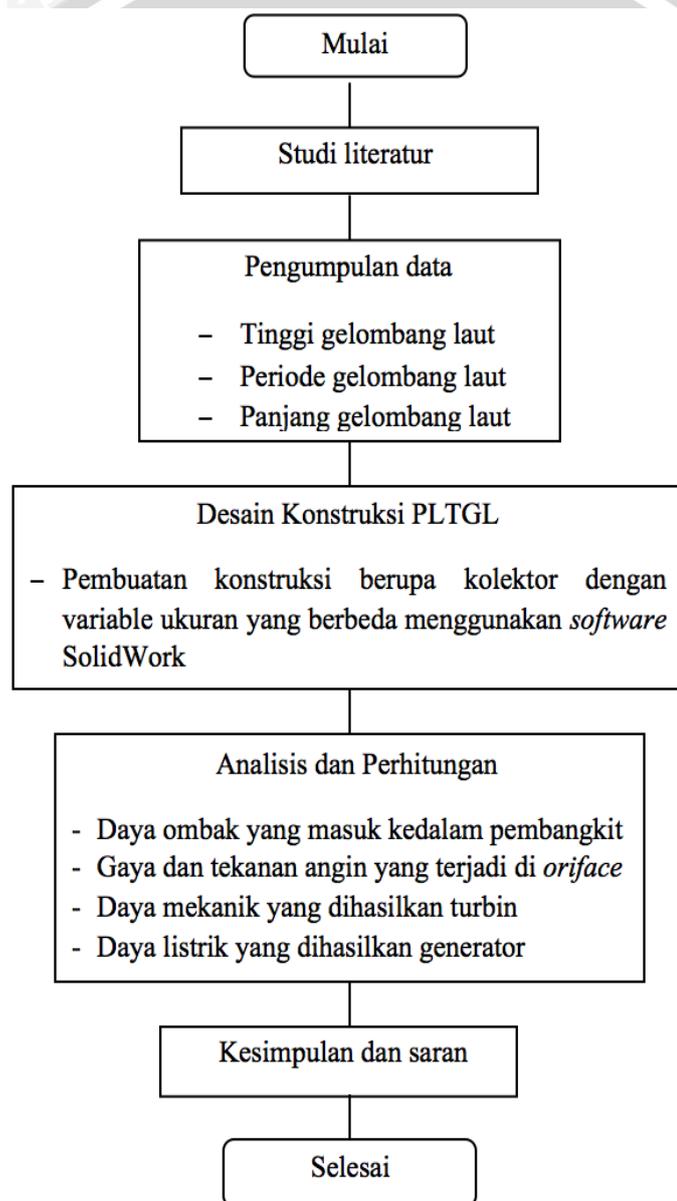
Sumber: Budi Murdani, 2008



BAB III

METODE PENELITIAN

Secara umum kajian yang digunakan dalam skripsi ini adalah kajian yang bersifat analisis mengenai besarnya energi yang dapat dihasilkan gelombang laut dengan penggunaan pembangkit listrik tenaga gelombang laut *sistem oscillating water column* di kawasan pantai Plengkung, Banyuwangi.



Gambar 3.1 Diagram Alir Metode Penelitian

3.1. Pengumpulan Data

Data yang diperlukan dalam studi ini meliputi data primer dan data sekunder, adapun data primer yang diperlukan meliputi data ketinggian gelombang laut dan periode gelombang yang terjadi di kawasan perairan pantai Plengkung, Banyuwangi. Sedangkan data sekunder meliputi data dimensi pembangkit listrik tenaga gelombang laut sistem *oscillating water column* yang sudah beroperasi di pantai Parang Rancuk, Baron, Gunung kidul, Yogyakarta dan juga yang telah beroperasi di luar negeri, dengan menggunakan teknologi *Islay Limpet*. Untuk data gaya dan tekanan udara pada kolektor didapat dari hasil simulasi desain menggunakan ANSYS – CFX

3.2. Desain Konstruksi PLTGL Sistem *Oscillating Water Column* Teknologi LIMPET

Desain konstruksi fisik yang akan di implementasikan adalah berupa prototipe konversi energi, yaitu berupa kolektor serta turbin gerak dalam sistem *oscillating water column* (OWC). *Oscillating water column* merupakan salah satu sistem yang dapat mengubah energi gelombang laut menjadi energi elektrik dengan menggunakan kolom osilasi. Desain *oscillating water column* menggunakan teknologi limpet yaitu dimana peletakan turbin yang mengarah horizontal dan konstruksi bangunan konversi energi dapat bangun di permukaan tanah maupun terapung. Dimensi dari ukuran kolektor yang akan di desain bervariasi yaitu, 4x4 m, 6x6 m, dan 8x8 m. Untuk mendesain konstruksi konversi energi dilakukan dengan menggunakan *software SolidWork*, sehingga dapat diperoleh gambar rancangannya

3.3. Analisis Perhitungan Daya Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut Sistem *Oscillating Water Column*

Setelah mendapatkan data-data yang dibutuhkan maka daya yang dihasilkan dapat dihitung. Perhitungann potensi daya gelombang laut dapat diketahui setelah didapatkan hasil dari perhitungangan energi total yaitu penjumlahan antara energi kinetik dan energi potensial yang dihasilkan oleh gelombang laut. Daya gelombang laut ini dapat diketahui menggunakan persamaan :

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

Dimana :

E_w = Total energi yang dihasilkan gelombang laut (penjumlahan energi potensial dan energi kinetik yang dihasilkan oleh gelombang laut)

T = Periode gelombang laut

Untuk perhitungan tekanan angin menggunakan bantuan simulasi menggunakan *software ANSYS – CFX*, input data yang digunakan adalah cepat rambat gelombang yang diasumsikan sama dengan kecepatan angin yang masuk kedalam kolektor. Hasil dari simulasi yaitu berupa tekanan angin digunakan untuk mencari besar gaya yang akan digunakan untuk menghitung daya mekanik yang dihasilkan turbin. Daya mekanik turbin digunakan untuk menentukan spesifikasi generator sehingga dapat diketahui daya listrik yang dihasilkan oleh generator.

3.4. Pengambilan Kesimpulan

Setelah mendapatkan hasil analisis dan perhitungan, maka langkah berikutnya yang dilakukan adalah pengambilan kesimpulan dan pemberian saran. Penarikan kesimpulan diambil berdasarkan teori yang dipakai dan perhitungan daya yang didapatkan. Saran dibuat berdasarkan kesulitan yang dialami selama penelitian dan hal-hal lain yang sekiranya perlu di kaji lebih dalam.

BAB IV

DESAIN KONSTRUKSI PLTGL

4.1. Rekayasa Prototipe *Oscillating Water Column* Teknologi LIMPET

Rekayasa konstruksi fisik yang akan di implementasikan adalah berupa prototype konversi energi, berupa kolektor serta turbin gerak dalam sistem *oscillating water column* (OWC). Melihat dari topografi dasar laut yang dimiliki, serta ketinggian gelombang laut di lokasi yang direncanakan, maka desain pembangkit listrik tenaga gelombang laut sistem *oscillating water column* yang ideal untuk digunakan di lokasi yang direncanakan adalah *oscillating water column* dengan desain LIMPET (*Land Installed Marine Power Energy Transmitted*). Desain ini biasanya ditempatkan di zona litoral atau yang biasa disebut zona pesisir pantai atau dapat juga di tempatkan di zona neritic atau yang biasa disebut zona laut dangkal. Dengan lokasi perencanaan yang memiliki kedalaman 2 meter hingga 10 meter maka desain LIMPET ini akan di pasang dengan cara di tanamkan beberapa buah kaki di dasar laut sebagai pondasi.

4.2. Desain Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut Sistem *Oscillating Water Column* LIMPET

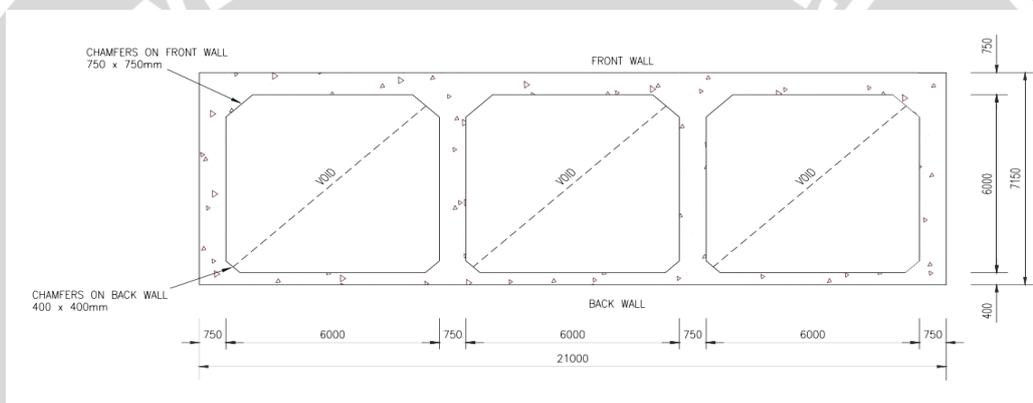
Pada penelitian ini, desain PLTGL sistem OWC yang digunakan sebagai referensi adalah desain LIMPET dan PLTGL sistem OWC yang telah dibangun di pantai baron, Yogyakarta. Perancangan desain berupa gambar 3 dimensi yang diproses menggunakan *software SolidWork*. *Software* ini juga sudah mendukung hasil olahan grafis yang dapat langsung diproses sebagai input dari software CFX.

Pada proses ini data masukkan yang berupa ukuran dari PLTGL menggunakan data dimensi PLTGL LIMPET. Adapun spesifikasi dimensi dari konstruksi PLTGL tersebut adalah sebagai berikut:

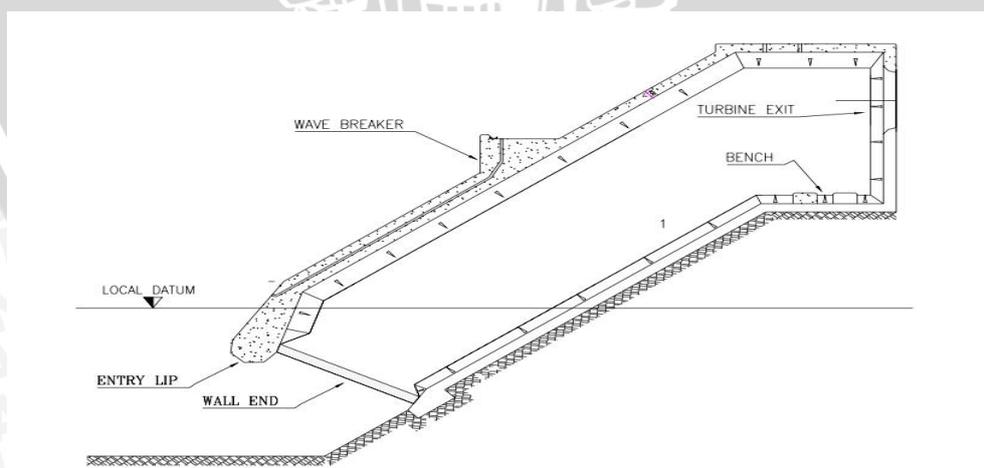
Tabel 4.1 Refrensi ukuran dari kolektor LIMPET

Collector Roof	12,50
Turbine Axis	9,84
Top of Turbine Slab	8,30
Bench Level Inside Collector	4,94
Top of Wave Breaker on Front Wall	8,30
Start of 60o slope on Front Wall	2,40
Mean High Water Spring Tides	0,76
Local Datum	0,00
Mean Low Water Spring Tides	-1,34
Underside of Entry Lip	-2,63
Bottom of Diaphragm Walls	-4,52
Sea Bed under Lip	-7,00

Sumber: *Publish Report of Islay LIMPET Wave Power Plant, 2002*



Sumber: *Published Report of Islay LIMPET Wave Power Plant, 2002*



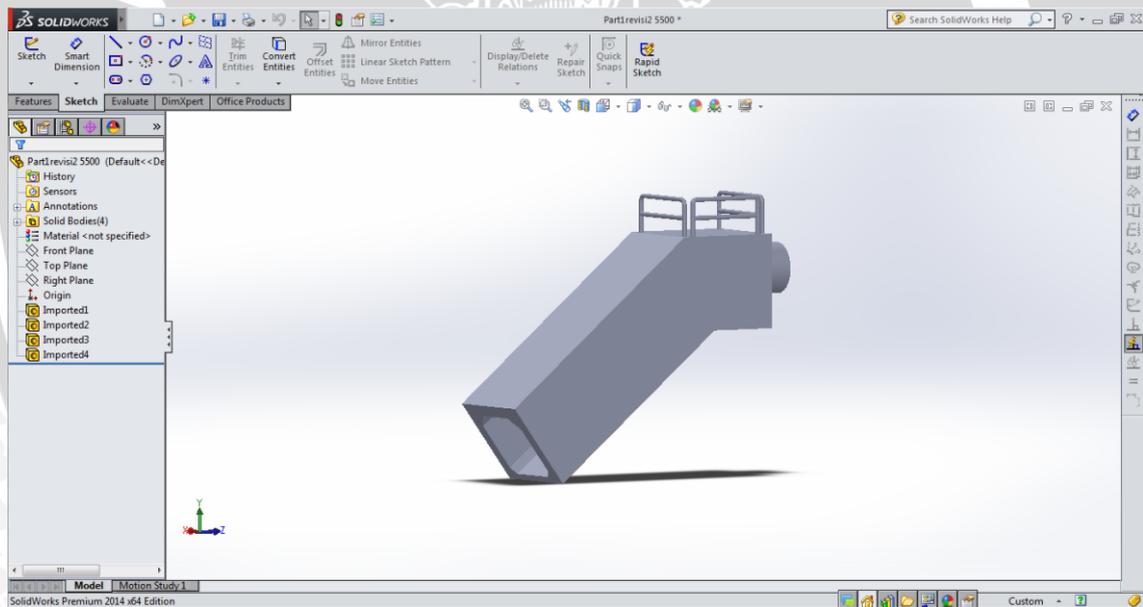
Sumber: *Published Report of Islay LIMPET Wave Power Plant, 2002*

Setelah data dimensi PLTGL diketahui, selanjutnya adalah perancangan model PLTGL yang ingin digunakan, merujuk pada dimensi yang sebenarnya pada PLTGL LIMPET, maka luas dari kolom kolektor adalah sebesar 6x6 meter, akan tetapi pada penelitian ini menggunakan 3 variabel ukuran luas kolektor yang berbeda yaitu ukuran 4x4 meter, 6x6 meter, dan 8x8 meter.

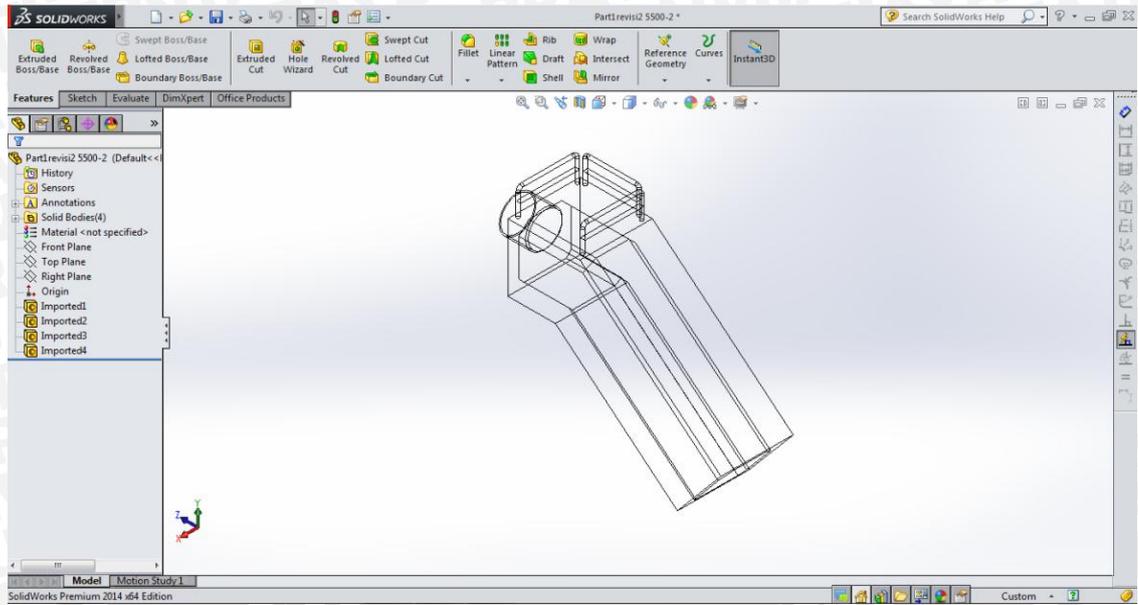
4.3 Perancangan Desain PLTGL Menggunakan Software SolidWork

Gambar dibawah ini adalah hasil perancangan model PLGL menggunakan aplikasi software SolidWork untuk 3 variabel luas kolom yang berbeda yaitu 4x4 meter, 6x6 meter, dan 8x8 meter. Berikut hasil desain PLTGL sistem OWC menggunakan Software SolidWork:

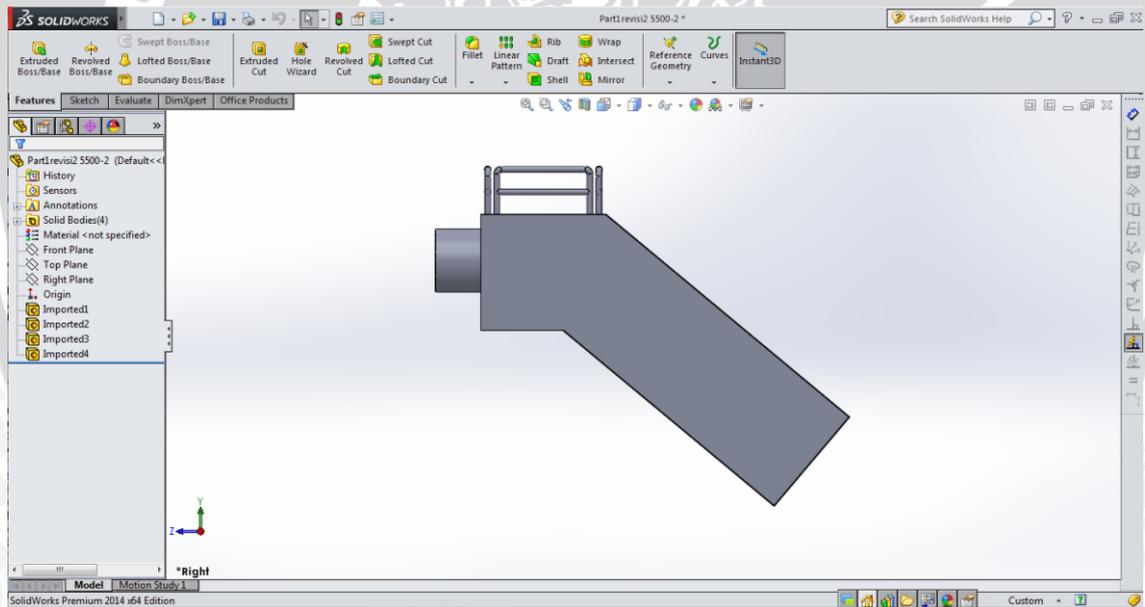
4.3.1 Desain PLTGL Dengan Ukuran Kolektor 4x4 meter



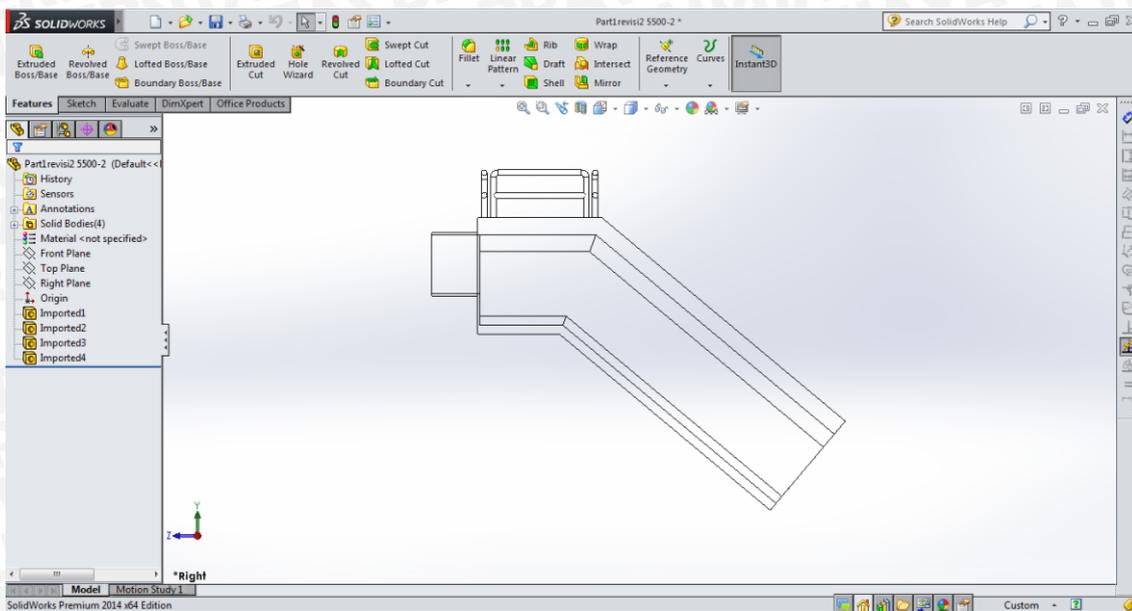
Gambar 4.1 Desain PLTGL Dengan Lebar Kolom 4x4 meter
Sumber: Hasil Simulasi Software SolidWork, 2015



Gambar 4.2 Desain PLTGL Dengan Lebar Kolom 4x4 meter
 Sumber: Hasil Simulasi *Software SolidWork*, 2015

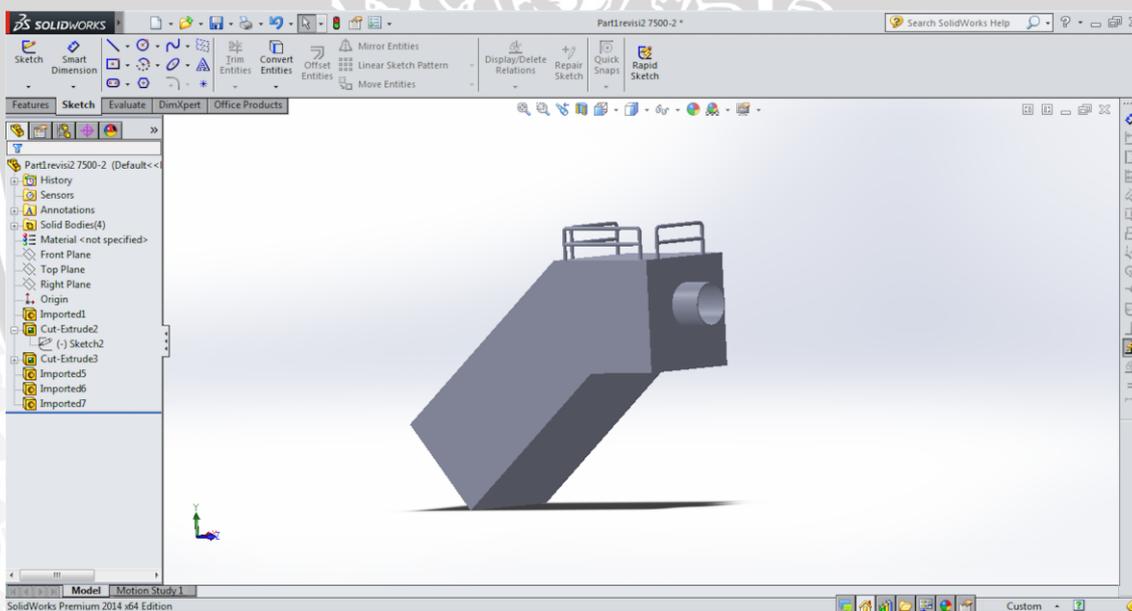


Gambar 4.3 Desain PLTGL Dengan Lebar Kolom 4x4 meter
 Sumber: Hasil Simulasi *Software SolidWork*, 2015

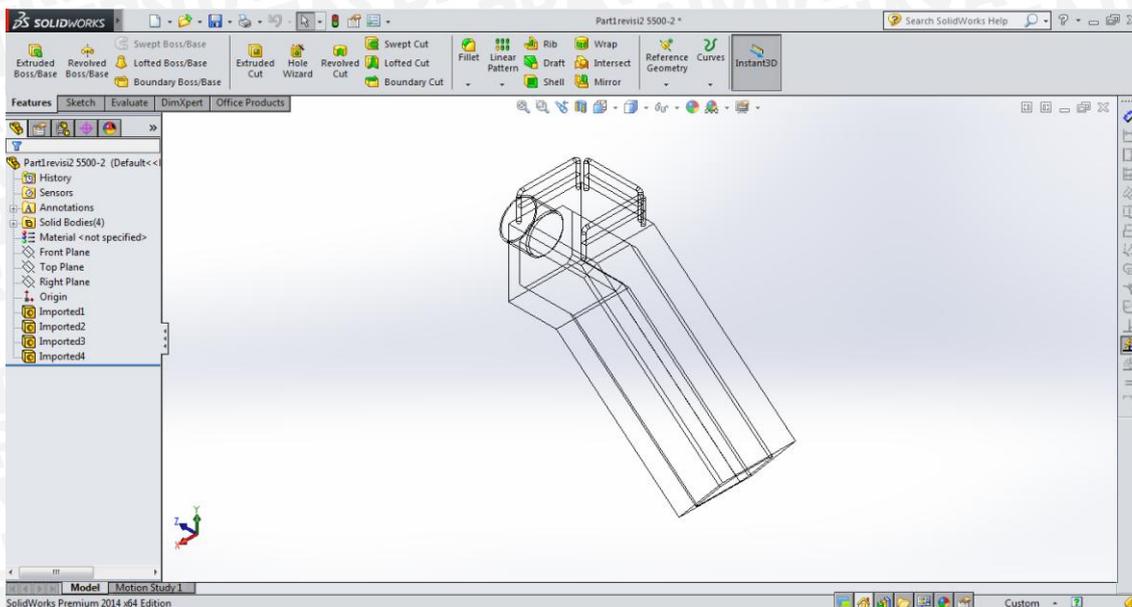


Gambar 4.4 Desain PLTGL Dengan Lebar Kolom 4x4 meter
 Sumber: Hasil Simulasi *Software* SolidWork, 2015

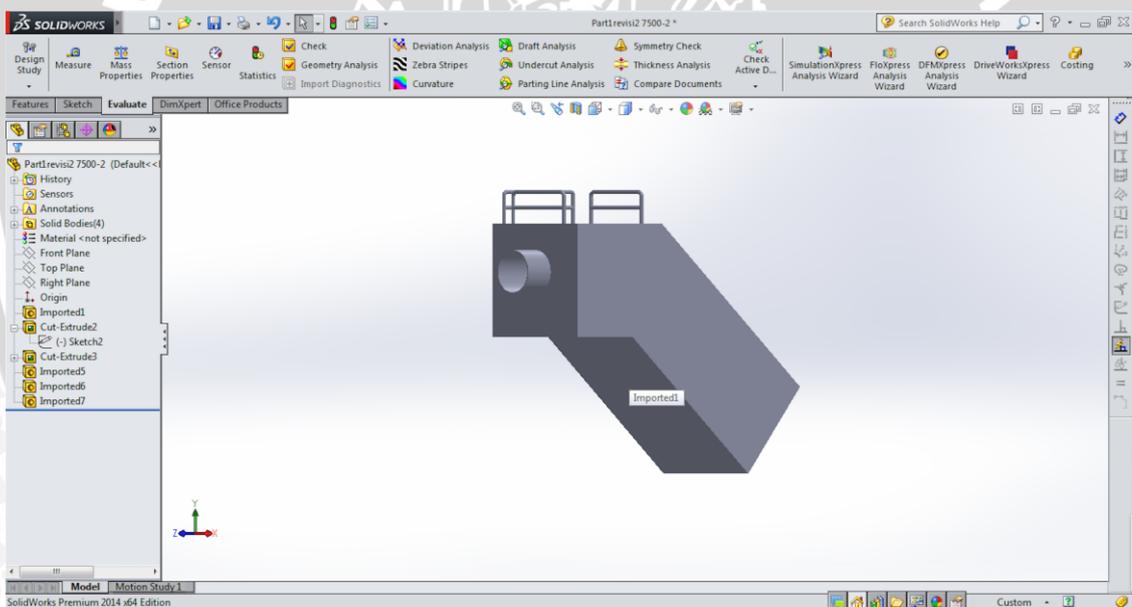
4.3.2 Desain PLTGL Dengan Ukuran Kolektor 6x6 meter



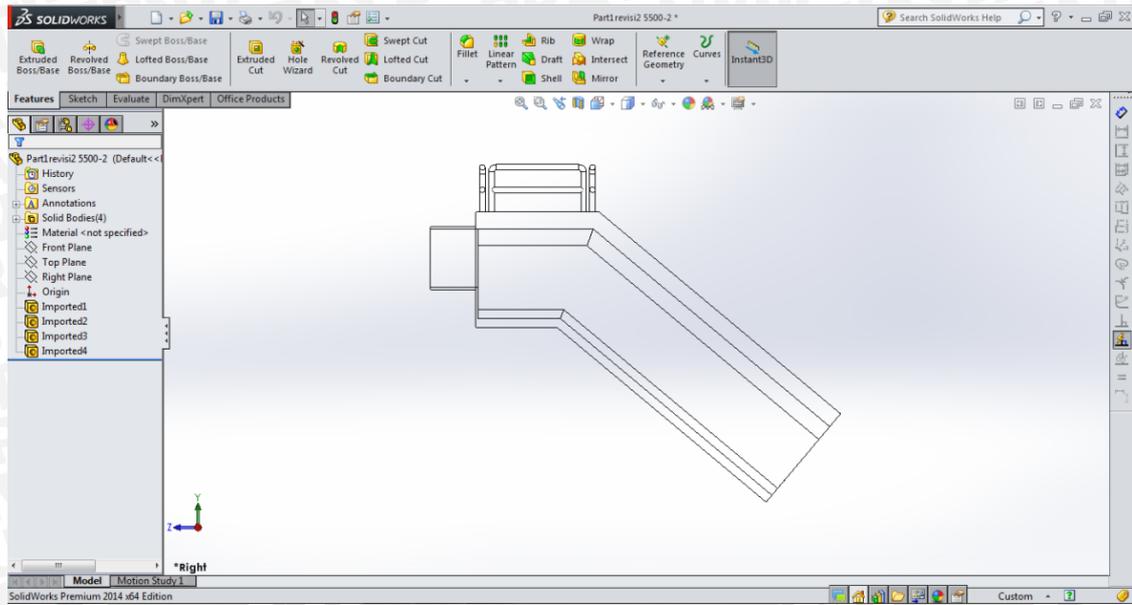
Gambar 4.5 Desain PLTGL Dengan Lebar Kolom 6x6 meter
 Sumber: Hasil Simulasi *Software* SolidWork, 2015



Gambar 4.6 Desain PLTGL Dengan Lebar Kolom 6x6 meter
 Sumber: Hasil Simulasi *Software SolidWork*, 2015

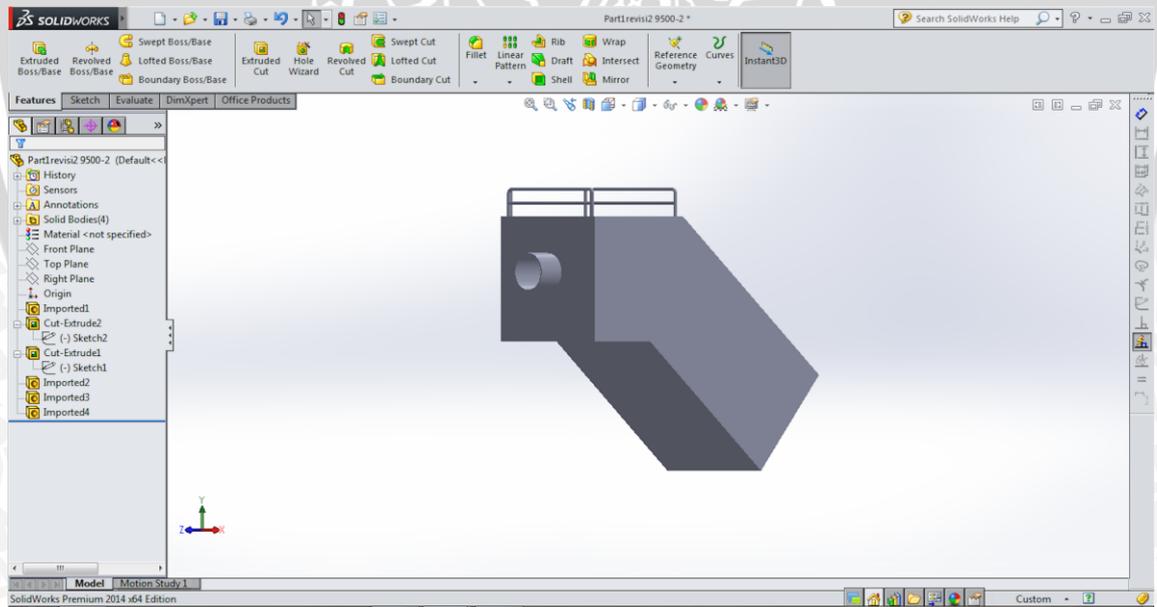


Gambar 4.7 Desain PLTGL Dengan Lebar Kolom 6x6 meter
 Sumber: Hasil Simulasi *Software SolidWork*, 2015

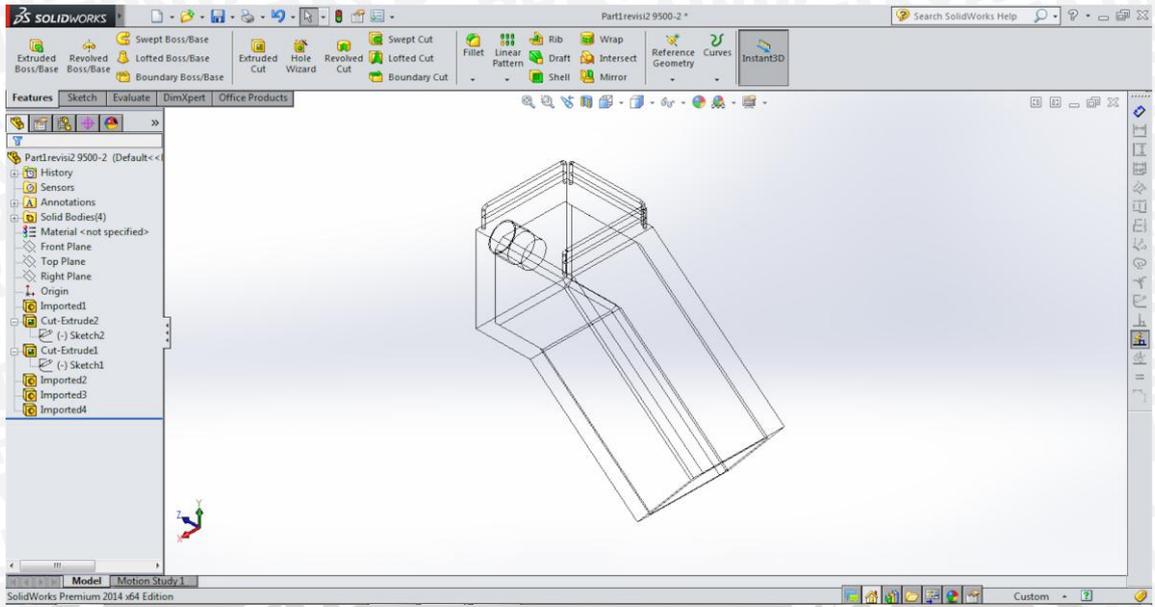


Gambar 4.8 Desain PLTGL Dengan Lebar Kolom 6x6 meter
 Sumber: Hasil Simulasi Software SolidWork, 2015

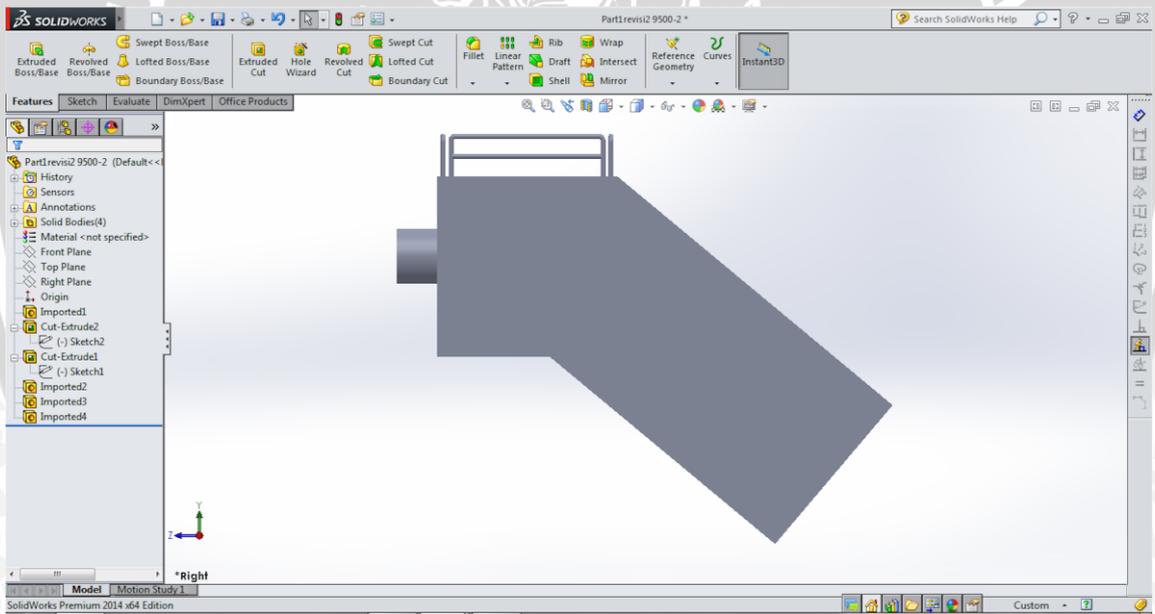
4.3.3 Desain PLTGL Dengan Ukuran Kolektor 8x8 meter



Gambar 4.9 Desain PLTGL Dengan Lebar Kolom 8x8 meter
 Sumber: Hasil Simulasi Software SolidWork, 2015

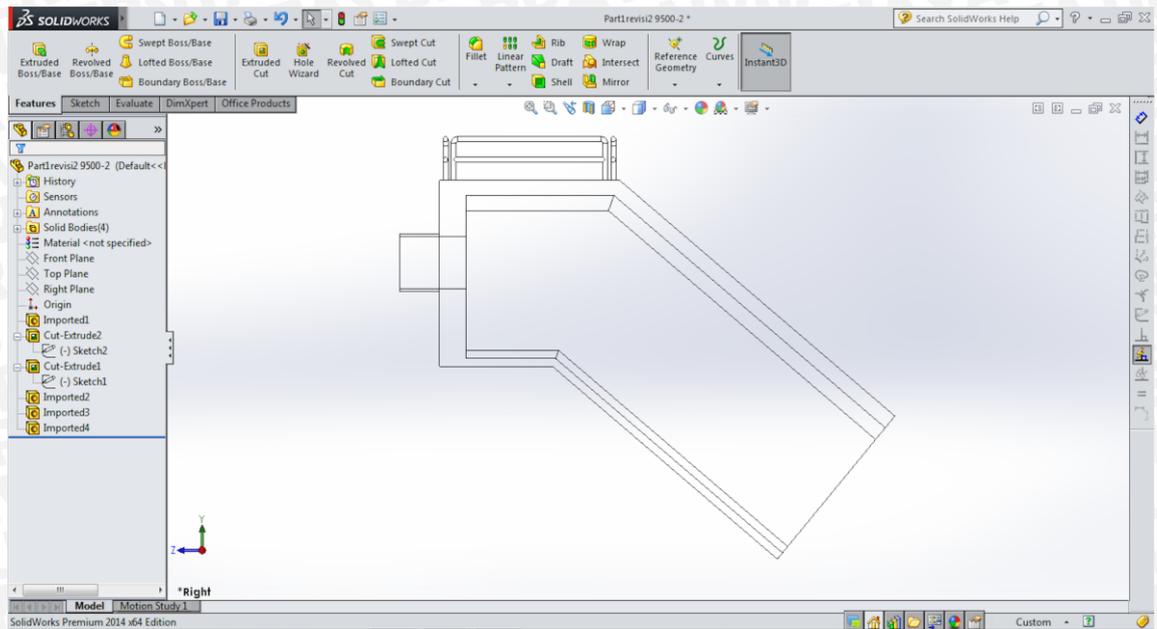


Gambar 4.10 Desain PLTGL Dengan Lebar Kolom 8x8 meter
 Sumber: Hasil Simulasi Software SolidWork, 2015



Gambar 4.11 Desain PLTGL Dengan Lebar Kolom 8x8 meter
 Sumber: Hasil Simulasi Software SolidWork, 2015





Gambar 4.12 Desain PLTGL Dengan Lebar Kolom 8x8 meter
Sumber: Hasil Simulasi *Software* SolidWork, 2015

Setelah proses desain selesai, maka 3 desain konstruksi PLTGL ini akan disimulasikan menggunakan *software* ANSYS – CFX untuk mengetahui seberapa besar tekanan udara yang terjadi pada keluaran kolektor (*orifice*). *Orifice* adalah lubang pada kolektor yang menghubungkan kolektor dengan turbin angin serta generator, tekanan angin yang terjadi pada kolektor adalah akibat dari fluktuasi air laut, sehingga udara di dalam kolektor terkompres keluar melalui *orifice*.

BAB V

PERHITUNGAN DAN ANALISIS PLTGL

5.1. Perhitungan Pontensi Daya Gelombang

Untuk menghitung besarnya potensi daya gelombang laut yang masuk kedalam kolektor pembangkit maka diperlukan data ketinggian dan periode gelombang. Mengacu pada tabel 2.1. Dengan data-data perhitungan yang dijadikan variable meliputi:

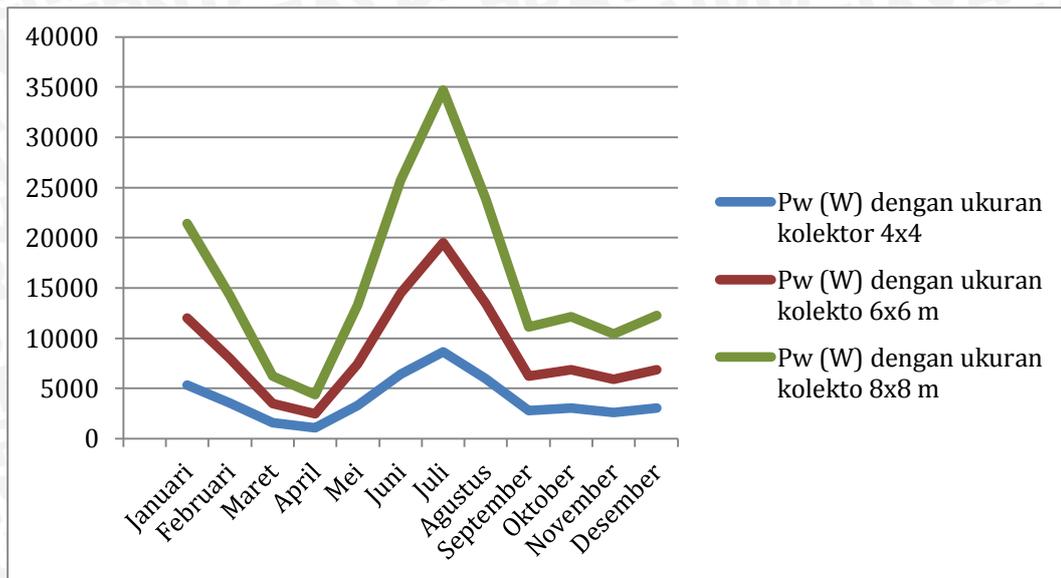
H (tinggi gelombang)	: 2,1 meter
T (periode gelombang)	: 6 detik
W (gelombang yang masuk kedalam kolektor)	: 4x4 meter
ρ (massa jenis air laut)	: 1030
g (gravitasi bumi)	: 9,81
a (amplitudo gelombang)	: 1,05

Mengacu pada persamaan (2-11), perhitungan daya gelombang yang masuk kedalam pembangkit adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 P_{WD} &= \frac{P_W}{\lambda_W} = \frac{1}{2T} w \rho g a^2 \text{ (W/m}^2\text{)} \\
 &= \frac{1}{2 \times 6} 16 \times 1030 \times 9,81 \times 1,05^2 \\
 &= 14853,321 \text{ W/m}^2
 \end{aligned}$$

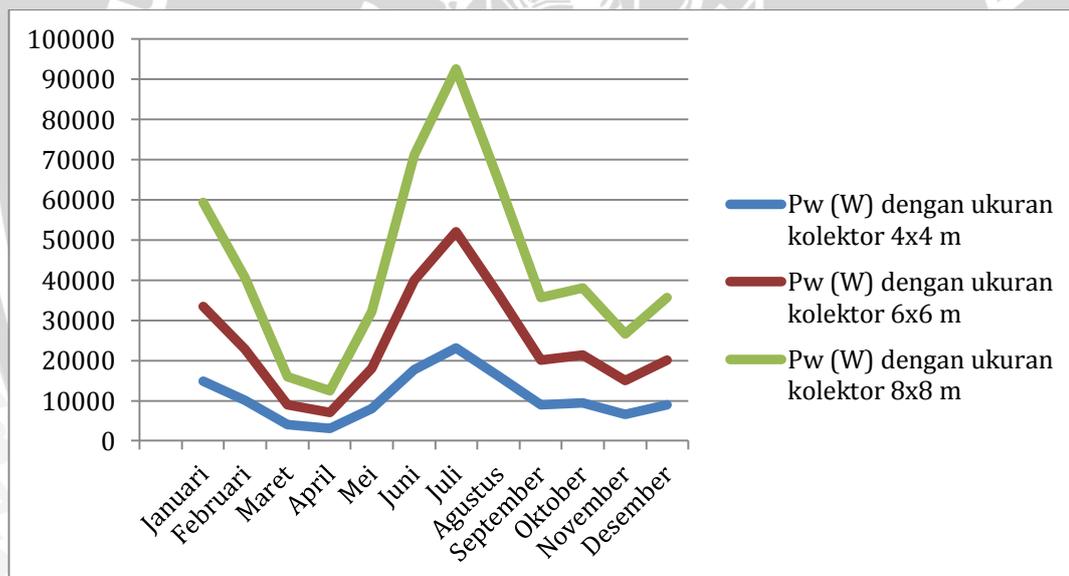
Jadi nilai daya gelombang laut yang masuk kedalam pembangkit dengan ketinggian gelombang 2,1 meter dan periode gelombang 6 detik dan dengan lebar gelombang yang di asumsikan sama dengan luas kolektor sebesar 16 meter² adalah sebesar 14853,321 W/m².

Pada penelitian ini dimensi kolektor PLTGL divariasikan menjadi tiga ukuran yaitu 4x4 meter, 6x6 meter, dan 8x8 meter berikut hasil perhitungan data gelombang dengan tinggi gelombang dan periode gelombang maksimum



Gambar 5.1 Hasil perhitungan daya gelombang dengan keadaan gelombang laut signifikan

Sumber : Hasil perhitungan, 2015



Gambar 5.2 Hasil perhitungan daya gelombang dengan keadaan gelombang laut maksimum

Sumber : Hasil perhitungan, 2015

Dari gambar 5.1 sampai dengan gambar 5.6 dapat dilihat bahwa daya gelombang yang dihasilkan berbeda disetiap ukuran kolektor. Dengan ketinggian signifikan gelombang ukuran kolektor 4x4 dihasilkan potensi daya gelombang sebesar 5351,853814 W/m². Namun dengan ketinggian maksimum gelombang dihasilkan daya gelombang sebesar 14853,321 W/m². Dan dapat dilihat dari besar ukuran kolektor yang



berbeda namun dengan ketinggian dan periode gelombang yang sama maka besar daya gelombang yang didapatkan juga berbeda, untuk ukuran kolektor 4x4 dihasilkan daya gelombang sebesar 14853,321 W/m², untuk ukuran kolektor 6x6 dihasilkan daya gelombang sebesar 33419,972 W/m², dan untuk ukuran kolektor 8x8 dihasilkan daya gelombang sebesar 59413,284 W/m². Dengan tinggi dan periode gelombang yang sama namun ukuran kolektor yang berbeda maka akan mengakibatkan perbedaan besar dari daya gelombang yang masuk kedalam pembangkit, semakin besar ukuran dari kolektor maka daya gelombang yang masuk kedalam kolektor juga akan semakin besar. Hasil perhitungan daya gelombang dapat dilihat pada lampiran 4.

5.2. Perhitungan Gaya dan Tekanan Angin Yang Terjadi Pada Orifice

Orifice adalah lubang yang terdapat pada kolektor yang menghubungkan kolektor dengan turbin angin dan generator, tekanan udara yang terjadi pada kolektor adalah akibat dari fluktuasi air laut pada kolom kolektor yang menyebabkan udara didalam kolektor terkompres keluar melalui *orifice*. Pada saat air dalam kolektor naik (gelombang datang) maka udara didalam kolektor akan berhembus keluar melalui *orifice* dan melewati turbin angin, sebaliknya pada saat air didalam kolektor turun (gelombang pergi) maka udara diluar akan terhisap kedalam kolom kolektor melewati turbin angin.

Proses terbentuknya pembangkitan gelombang di laut oleh gerakan angin belum sepenuhnya dapat dimengerti, atau dapat dijelaskan secara terperinci, tetapi menurut perkiraan-perkiraan, gelombang terjadi karena hembusan angin secara terus menerus diatas permukaan laut, hembusan angin yang demikian akan membentuk riak permukaan, yang bergerak searah dengan hembusan angin. (Illemoned, 2008)

Sehingga untuk memudahkan analisis ini maka perhitungan tekanan udara pada *orifice* beberapa asumsi, yakni sebagai berikut:

1. Kecepatan angin didalam kolektor sama dengan kecepatan rambat gelombang yang masuk kedalam PLTGL
2. Besar tekanan angin pada *orifice* yang terjadi saat gelombang datang dan gelombang pergi adalah sama besar.
3. Data masukan yang digunakan adalah data dimensi PLTGL yang telah didesain sebelumnya dengan 3 variabel ukuran yang berbeda dan data gelombang di kawasan pantai Plengkung, Banyuwangi.

Pada penelitian ini, perhitungan tekanan udara menggunakan bantuan *software* simulasi ANSYS-CFX dengan aplikasi SolidWork. Tujuan dari simulasi ini adalah untuk mencari besar tekanan udara yang akan digunakan untuk mencari besar gaya yang dapat memutar turbin angin. Dari besarnya tekanan udara dan gaya maka dapat diketahui besar daya mekanik yang dihasilkan oleh turbin angin.

Mengacu pada tabel 2.1, dengan data-data gelombang dikawasan pantai Plengkung yang dijadikan variable yaitu periode gelombang, mengacu pada persamaan (2-15) sehingga perhitungan kecepatan rambat gelombang adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 C &= \frac{gT}{2\pi} \\
 &= \frac{9,81 \times 5,9}{2 \times 3,14} \\
 &= 9,216401274 \text{ (m/s)}
 \end{aligned}$$

Berikut hasil perhitungan kecepatan rambat gelombang:

Tabel 5.1 Kecepatan Rambat Gelombang

Cepat Rambat Gelombang (C)				
Bulan	Periode Signifikan (s)	Periode Maksimum (s)	Cepat Rambat Gelombang Signifikan (m/s)	Cepat Rambat Gelombang Maksimum (m/s)
Januari	5,9	6,0	9,216401274	9,372611465
Februari	6,0	6,1	9,372611465	9,528821656
Maret	5,3	5,6	8,279140127	8,747770701
April	4,6	4,7	7,185668790	7,341878981
Mei	5,5	6,2	8,591560510	9,685031847
Juni	5,3	5,4	8,279140127	8,435350318
Juli	5,6	5,9	8,747770701	9,216401274
Agustus	5,2	5,3	8,122929936	8,279140127
September	4,9	5,1	7,654299363	7,966719745
Oktober	4,8	4,9	7,498089172	7,654299363
November	5,2	5,7	8,122929936	8,903980892
Desember	5,0	5,1	7,810509554	7,966719745

Sumber: Hasil perhitungan, 2015

5.2.1 Analisis Perhitungan Tekanan Udara Pada *Orifice* Menggunakan *Software* ANSYS – CFX

Untuk mempermudah analisa ini, maka perhitungan tekanan angin dilakukan dengan mangasumsikan besar kecepatan angin yang terjadi didalam kolektor adalah sama dengan besar cepat rambat gelombang yang masuk kedalam kolektor. Berikut hasil dari simulasi menggunakan *software* ANSYS-CFX:

Tabel 5.2 Hasil perhitungan tekanan angin pada saat gelombang signifikan

Bulan	Kecepatan Angin saat gelombang signifikan (m/s)	Tekanan Angin (Pa)		
		Kolektor 4x4 meter	Kolektor 6x6 meter	Kolektor 8x8 meter
Januari	9,216	61,027	192,027	198,027
Februari	9,372	62,805	193,805	199,805
Maret	8,279	50,983	181,983	187,983
April	7,185	40,625	171,625	177,625
Mei	8,591	54,211	185,211	191,211
Juni	8,279	50,983	181,983	187,983
Juli	8,747	55,870	186,870	192,870
Agustus	8,122	49,413	180,413	186,413
September	7,654	44,885	175,885	181,885
Oktober	7,498	43,435	174,435	180,435
November	8,122	49,413	180,413	186,413
Desember	7,810	46,364	177,364	183,364

Sumber: Hasil perhitungan, 2015

Tabel 5.3 Hasil perhitungan tekanan angin pada saat gelombang maksimum

Bulan	Kecepatan angin saat gelombang maksimum (m/s)	Tekanan Angin (Pa)		
		Kolektor 4x4 meter	Kolektor 6x6 meter	Kolektor 8x8 meter
Januari	9,372	62,805	193,805	199,805
Februari	9,528	64,614	195,614	201,614
Maret	8,747	55,870	186,870	192,870
April	7,341	42,015	173,015	179,015
Mei	9,685	66,452	197,452	203,452
Juni	8,435	52,582	183,582	189,582
Juli	9,216	61,027	192,027	198,027
Agustus	8,279	50,983	181,983	187,983
September	7,966	47,874	178,874	184,874
Oktober	7,654	44,885	175,885	181,885
November	8,903	57,559	188,559	194,559
Desember	7,966	47,874	178,874	184,874

Sumber: Hasil perhitungan, 2015

5.2.2 Perhitungan Gaya Yang Dapat Memutar Turbin Angin

Perhitungan gaya bertujuan untuk mendapatkan besarnya gaya yang dapat memutar turbin angin, dari data gaya ini maka dapat diketahui besarnya daya mekanik yang dihasilkan oleh turbin angin.

Dari data tekanan angin yang didapatkan, digunakan untuk menghitung besar gaya yang terjadi untuk memutar turbin angin, untuk mencari besarnya gaya digunakan persamaan:

$$\text{Gaya (N)} = \text{Tekanan (Pa)} \times \text{Luas penampang (m}^2\text{)}$$

Berikut hasil perhitungan gaya yang dapat memutar turbin yang terjadi pada kolektor dengan ukuran 4x4 meter, 6x6 meter, dan 8x8 meter:

Tabel 5.4 Hasil perhitungan besar gaya (N) pada saat gelombang signifikan

Bulan	Tekanan (Pa) udara saat gelombang signifikan			Luas Penampang Turbin (m ²)	Gaya (N) Signifikan 4x4 meter	Gaya (N) Signifikan 6x6 meter	Gaya (N) Signifikan 8x8 meter
	4x4 meter	6x6 meter	8x8 meter				
Januari	61,027	192,027	198,027	5,2	317,340	998,504	1029,740
Februari	62,805	193,805	199,805	5,2	326,589	1007,789	1038,989
Maret	50,983	181,983	187,983	5,2	265,113	946,313	977,513
April	40,625	171,625	177,625	5,2	211,253	892,453	923,653
Mei	54,211	185,211	191,211	5,2	281,900	963,100	994,300
Juni	50,983	181,983	187,983	5,2	265,113	946,313	977,513
Juli	55,870	186,870	192,870	5,2	290,527	971,727	1002,927
Agustus	49,413	180,413	186,413	5,2	256,952	938,152	969,352
September	44,885	175,885	181,885	5,2	233,403	914,603	945,803
Oktober	43,435	174,435	180,435	5,2	225,864	907,064	938,264
November	49,413	180,413	186,413	5,2	256,952	938,152	969,352
Desember	46,364	177,364	183,364	5,2	241,097	922,297	953,497

Sumber: Hasil perhitungan, 2015

Tabel 5.5 Hasil perhitungan gaya (N) pada saat gelombang maksimum

Bulan	Tekanan (Pa) udara saat gelombang Maksimum			Luas Penampang Turbin	Gaya (N) Maks 4x4 meter	Gaya (N) Maks 6x6 meter	Gaya (N) Maks 8x8 meter
	4x4 meter	6x6 meter	8x8 meter				
Januari	62,805	193,805	199,805	5,2	326,589	1007,789	1038,989
Februari	64,614	195,614	201,614	5,2	335,993	1017,193	1048,393
Maret	55,870	186,870	192,870	5,2	290,527	971,727	1002,927
April	42,015	173,015	179,015	5,2	218,481	899,681	930,881
Mei	66,452	197,452	203,452	5,2	345,552	1026,752	1057,952
Juni	52,582	183,582	189,582	5,2	273,429	954,629	985,829
Juli	61,027	192,027	198,027	5,2	317,340	998,540	1029,740
Agustus	50,983	181,983	187,983	5,2	265,113	946,313	977,513
September	47,874	178,874	184,874	5,2	248,947	930,147	961,347
Oktober	44,885	175,885	181,885	5,2	233,403	914,603	945,803
November	57,559	188,559	194,559	5,2	299,309	980,509	1011,709
Desember	47,874	178,874	184,874	5,2	248,947	930,147	961,347

Sumber: Hasil perhitungan, 2015

5.3. Perhitungan Daya Mekanik Yang Dihasilkan Turbin

Untuk mendapatkan daya mekanik yang dihasilkan turbin, dibutuhkan nilai torsi turbin terlebih dahulu. Setelah mendapatkan nilai gaya yang dapat memutar turbin, proses selanjutnya adalah perhitungan torsi turbin angin. Mengacu pada parameter *wells-turbine* (tabel 2.3), maka data-data perhitungan meliputi:

- F (gaya) : 317,340 N
 Jari-jari turbin (I) : 1,3 meter
 Lebar kolom : 4 meter, 6 meter, dan 8 mete

Untuk mengetahui besarnya torsi turbin maka digunakan persamaan:

$$\begin{aligned}
 Q &= F \times I \\
 &= 317,340 \times 1,3 \\
 &= 412,542 \text{ Nm}
 \end{aligned}$$

Setelah didapatkan besar torsi turbin dan putaran nominal turbin sebesar 1050 rpm, maka selanjutnya mencari besarnya daya yang dihasilkan turbin, menggunakan persamaan:

$$\begin{aligned} P_t &= \omega Q = \frac{2\pi nQ}{60 \times 1000} \\ &= \frac{2 \times 3,14 \times 1050 \times 412,542}{60000} \\ &= 45,338 \text{ kW} \end{aligned}$$

Hasil perhitungan torsi turbin serta daya mekanik yang dihasilkan turbin angin di tunjukkan pada tabel:



Tabel 5.6 Hasil perhitungan torsi dan daya mekanik turbin pada saat gelombang signifikan

Bulan	Gaya (N) Signifikan 4x4 meter	Gaya (N) Signifikan 6x6 meter	Gaya (N) Signifikan 8x8 meter	n Turbin (rpm)	Torsi (Q) Signifikan			DAYA MEKANIK TURBIN (SIGNIFIKAN)		
					Torsi (Nm) 4x4 meter	Torsi (Nm) 6x6 meter	Torsi (Nm) 8x8 meter	Pt (kW) 4x4 meter	Pt (kW) 6x6 meter	Pt (kW) 8x8 meter
Januari	317,340	998,540	1029,740	1050	412,542	1298,102	1338,662	45,338	142,661	147,119
Februari	326,589	1007,789	1038,989	1050	424,565	1310,125	1350,685	46,659	143,982	148,440
Maret	265,113	946,313	977,513	1050	344,647	1230,207	1270,767	37,876	135,199	139,657
April	211,253	892,453	923,653	1050	274,629	1160,189	1200,749	30,181	127,504	131,962
Mei	281,900	963,100	994,300	1050	366,470	1252,030	1292,590	40,275	137,598	142,055
Juni	265,113	946,313	977,513	1050	344,647	1230,207	1270,767	37,876	135,199	139,657
Juli	290,527	971,727	1002,927	1050	377,685	1263,245	1303,805	41,507	138,830	143,288
Agustus	256,952	938,152	969,352	1050	334,038	1219,598	1260,158	36,710	134,033	138,491
September	233,403	914,603	945,803	1050	303,424	1188,984	1229,544	33,346	130,669	135,126
Oktober	225,864	907,064	938,264	1050	293,624	1179,184	1219,744	32,269	129,592	134,049
November	256,952	938,152	969,352	1050	334,038	1219,598	1260,158	36,710	134,033	138,491
Desember	241,097	922,297	953,497	1050	313,427	1198,987	1239,547	34,445	131,768	136,226

Sumber: Hasil perhitungan, 2015

Tabel 5.7 Hasil perhitungan torsi dan daya mekanik turbin pada saat gelombang maksimum

Bulan	Gaya (N) Maksimum 4x4 meter	Gaya (N) Maksimum 6x6 meter	Gaya (N) Maksimum 8x8 meter	n Turbin (rpm)	Torsi (Q) Maksimum			DAYA MEKANIK TURBIN (MAKSIMUM)		
					Torsi (Nm) 4x4 meter	Torsi (Nm) 6x6 meter	Torsi (Nm) 8x8 meter	Pt (kW) 4x4 meter	Pt (kW) 6x6 meter	Pt (kW) 8x8 meter
Januari	326,589	1007,789	1038,989	1050	424,565	1310,125	1350,685	46,659	143,982	148,440
Februari	335,993	1017,193	1048,393	1050	436,790	1322,350	1362,910	48,003	145,326	149,783
Maret	290,527	971,727	1002,927	1050	377,685	1263,245	1303,805	41,507	138,830	143,288
April	218,481	899,681	930,881	1050	284,026	1169,586	1210,146	31,214	128,537	132,995
Mei	345,552	1026,752	1057,952	1050	449,218	1334,778	1375,338	49,369	146,692	151,149
Juni	273,429	954,629	985,829	1050	355,457	1241,017	1281,577	39,064	136,387	140,845
Juli	317,340	998,540	1029,740	1050	412,542	1298,102	1338,662	45,338	142,661	147,119
Agustus	265,113	946,313	977,513	1050	344,647	1230,207	1270,767	37,876	135,199	139,657
September	248,947	930,147	961,347	1050	323,631	1209,191	1249,751	35,567	132,890	137,347
Oktober	233,403	914,603	945,803	1050	303,424	1188,984	1229,544	33,346	130,669	135,126
November	299,309	980,509	1011,709	1050	389,102	1274,662	1315,222	42,762	140,085	144,542
Desember	248,947	930,147	961,347	1050	323,631	1209,191	1249,751	35,567	132,890	137,347

Sumber : hasil perhitungan, 2015

Dilihat bahwa daya maksimum dan daya minimum yang dapat dibangkitkan oleh turbin angin pada PLTGL sistem OWC di perairan pantai Plengkung, Banyuwangi disetiap ukuran kolektornya berbeda-beda. Diketahui daya mekanik maksimum yang dihasilkan turbin terdapat pada kolektor dengan ukuran 8x8 meter. Pada kenyataannya daya efektif yang dapat diperoleh dari turbin angin hanya 20-30% dari daya total

Daya maksimum yang dihasilkan turbin angin adalah sebesar 151,149 kW dengan kolektor berukuran 8x8 meter, sedangkan daya minimum dengan kolektor dengan ukuran 8x8 meter adalah sebesar 132,995 kW, sehingga daya efektif maksimum yang dapat diperoleh adalah 45,344 kW dan daya efektif minimum sebesar 39,898 kW. Berikut hasil daya efektif maksimum dan minimum yang dapat diperoleh:

Tabel 5.8 Hasil perhitungan daya efektif yang dapat dihasilkan pada saat gelombang signifikan

Bulan	DAYA MEKANIK TURBIN (SIGNIFIKAN)			Daya yang dapat diserap generator	DAYA EFEKTIF		
	Pt (kW) 4x4 meter	Pt (kW) 6x6 meter	Pt (kW) 8x8 meter		Pt (kW) 4x4 meter	Pt (kW) 6x6 meter	Pt (kW) 8x8 meter
Januari	45,338	142,661	147,119	30%	13,601	42,798	44,135
Februari	46,659	143,982	148,440		13,997	43,194	44,532
Maret	37,876	135,199	139,657		11,363	40,559	41,897
April	30,181	127,504	131,962		9,054	38,251	39,588
Mei	40,275	137,598	142,055		12,082	41,279	42,616
Juni	37,876	135,199	139,657		11,363	40,559	41,897
Juli	41,507	138,830	143,288		12,452	41,649	42,986
Agustus	36,710	134,033	138,491		11,013	40,210	41,547
September	33,346	130,669	135,126		10,003	39,200	40,538
Oktober	32,269	129,592	134,049		9,680	38,877	40,214
November	36,710	134,033	138,491		11,013	40,210	41,547
Desember	34,445	131,768	136,226		10,333	39,530	40,867

Sumber: Hasil perhitungan, 2015

Tabel 5.9 Hasil perhitunga daya efektif yang dihasilkan pada saat gelombang maksimum

Bulan	DAYA MEKANIK TURBIN (MAKSIMUM)			Daya yang dapat diserap generator	DAYA EFEKTIF		
	Pt (kW) 4x4 meter	Pt (kW) 6x6 meter	Pt (kW) 8x8 meter		Pt (kW) 4x4 meter	Pt (kW) 6x6 meter	Pt (kW) 8x8 meter
Januari	46,659	143,982	148,440	30%	13,997	43,194	44,532
Februari	48,003	145,326	149,783		14,400	43,597	44,935
Maret	41,507	138,830	143,288		12,452	41,649	42,986
April	31,214	128,537	132,995		9,364	38,561	39,898
Mei	49,369	146,692	151,149		14,810	44,007	45,344
Juni	39,064	136,387	140,845		11,719	40,916	42,253
Juli	45,338	142,661	147,119		13,601	42,798	44,135
Agustus	37,876	135,199	139,657		11,363	40,559	41,897
September	35,567	132,890	137,347		10,670	39,867	41,204
Oktober	33,346	130,669	135,126		10,003	39,200	40,538
November	42,762	140,085	144,542		12,828	42,025	43,362
Desember	35,567	132,890	137,347		10,670	39,867	41,204

Sumber: Hasil perhitungan, 2015

5.4. Perhitungan Daya Listrik Yang Dapat Dibangkitkan PLTGL Sistem OWC

Setelah diketahui daya mekanik yang dihasilkan turbin angin, maka selanjutnya adalah menentukan spesifikasi generator yang digunakan sesuai dengan daya mekanik yang dapat disalurkan ke generator.

Berdasarkan data spesifikasi turbin angin yang digunakan, turbin ini beroperasi pada putaran nominal 1050 rpm, dengan ukuran kolektor PLTGL sebesar 8x8 meter didapatkan daya efektif maksimum 45,344 kW dan daya efektif minimum sebesar 39,898 kW, berdasarkan besarnya daya maka spesifikasi generator yang sesuai untuk PLTGL sistem *oscillating water column* di pantai Plengkung, Banyuwangi adalah sebagai berikut:

Tabel 5.10 Spesifikasi generator yang digunakan

Alternator brand	STAMFORD
Alternator type	UCM274/E
Number of pole	4
Rated power (kVA/kW)	56,3/45,0
Power factor (cos phi)	0,8
Speed (rpm)	1500
Frequency (Hz)	50
Efficiency:	84,4%

Sumber: <https://www.cumminsgeneratortechnologies.com>, 2015

Dari spesifikasi generator yang digunakan pada tabel 5.10 diketahui bahwa generator tersebut mempunyai efisiensi dalam keadaan beban penuh adalah 84,4%. Dari nilai efisiensi dapat diketahui perkiraan besarnya daya listrik yang dapat dihasilkan dari PLTGL. Dari perhitungan daya mekanik yang dihasilkan turbin dengan ukuran kolektor 8x8 meter didapatkan daya maksimum yang dapat dihasilkan turbin angin sebesar 45,344 kW dan daya minimum sebesar 39,898 kW.

Mengacu pada tabel 5.10 diketahui efisiensi generator pada beban penuh adalah sebesar 84,4 %, maka daya maksimum yang dapat dihasilkan dari PLTG sistem OWC ini dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$\begin{aligned}
 P_g \text{ max} &= P_t \text{ max} \times \eta_{\text{generator}} \\
 &= 45,344 \times 84,4 \% \\
 &= 38,271 \text{ kW} \\
 &= 47,838 \text{ kVA}
 \end{aligned}$$

Dan untuk daya minimum yang dihasilkan dari PLTGL sistem OWC di pantai Plengkung Banyuwangi sebesar:

$$\begin{aligned}
 P_g \text{ min} &= P_t \text{ min} \times \eta_{\text{generator}} \\
 &= 39,898 \times 84,4 \% \\
 &= 33,674 \text{ kW} \\
 &= 42,092 \text{ kVA}
 \end{aligned}$$

Dari perhitungan diatas, maka dapat diketahui besar perkiraan daya maksimum dan minimum yang dihasilkan generator dengan konstruksi PLTGL berukuran kolektor 8x8 meter dipantai Plengkung, Banyuwangi ini menghasilkan daya listrik maksimum sebesar 38,271 kW dan daya minimum yang dihasilkan sebesar 33,674 kW. Berikut hasil perhitungan daya yang dapat dihasilkan oleh generator:

Tabel 5.11 Hasil perhitungan daya yang dapat dihasilkan saat gelombang signifikan

Bulan	DAYA EFEKTIF (Signifikan)			Efisiensi generator load 100%	DAYA YANG DIHASILKAN		
	Pt (kW) 4x4 meter	Pt (kW) 6x6 meter	Pt (kW) 8x8 meter		Pg (kW) 4x4 meter	Pg (kW) 6x6 meter	Pg (kW) 8x8 meter
Januari	13,601	42,798	44,135	84,40%	11.479	36.121	37.250
Februari	13,997	43,194	44,532		11.814	36.456	37.585
Maret	11,363	40,559	41,897		9.590	34.232	35.361
April	9,054	38,251	39,588		7.642	32.284	33.412
Mei	12,082	41,279	42,616		10.197	34.839	35.968
Juni	11,363	40,559	41,897		9.590	34.232	35.361
Juli	12,452	41,649	42,986		10.509	35.151	36.280
Agustus	11,013	40,210	41,547		9.295	33.937	35.066
September	10,003	39,200	40,538		8.443	33.085	34.214
Oktober	9,680	38,877	40,214		8.170	32.812	33.941
November	11,013	40,210	41,547		9.295	33.937	35.066
Desember	10,333	39,530	40,867		8.721	33.363	34.492

Sumber: Hasil perhitungan, 201

Tabel 5.12 Hasil perhitungan daya yang dapat dihasilkan saat gelombang maksimum

Bulan	DAYA EFEKTIF (Maksimum)			Efisiensi generator load 100%	DAYA YANG DIHASILKAN		
	Pt (kW) 4x4 meter	Pt (kW) 6x6 meter	Pt (kW) 8x8 meter		Pg (kW) 4x4 meter	Pg (kW) 6x6 meter	Pg (kW) 8x8 meter
Januari	13,997	43,194	44,532	84,40%	11.814	36.456	37.585
Februari	14,400	43,597	44,935		12.154	36.796	37.925
Maret	12,452	41,649	42,986		10.509	35.151	36.280
April	9,364	38,561	39,898		7.903	32.545	33.674
Mei	14,810	44,007	45,344		12.500	37.142	38.271
Juni	11,719	40,916	42,253		9.891	34.533	35.662
Juli	13,601	42,798	44,135		11.479	36.121	37.250
Agustus	11,363	40,559	41,897		9.590	34.232	35.361
September	10,670	39,867	41,204		9.005	33.647	34.776
Oktober	10,003	39,200	40,538		8.443	33.085	34.214
November	12,828	42,025	43,362		10.827	35.469	36.598
Desember	10,670	39,867	41,204		9.005	33.647	34.776

Sumber: Hasil Perhitungan, 2015

Dari hasil perhitungan pada tabel 5.11 dan 5.12 dilihat bahwa daya yang dapat dihasilkan generator terdapat pada bulan Mei dengan ketinggian gelombang maksimum yaitu sebesar 38,271 kW dengan ukuran kolektor 8x8 meter dan daya minimum yang dapat dihasilkan generator terdapat pada bulan April dengan ketinggian gelombang signifikan yaitu sebesar 7,642 kW dengan ukuran kolektor 4x4 meter.

Untuk memaksimalkan potensi daya yang terbangkitkan pada PLTGL sistem *oscillating water column* di pantai Plengkung, Banyuwangi, maka digunakan dua turbin penggerak dan dua generator yang masing-masing menghasilkan daya maksimum sebesar 38,271 kW. Layout PLTG sistem *oscillating water column* ini dapat dilihat pada lampiran 6.



BAB VI PENUTUP

6.1. Kesimpulan

Dari hasil penelitian ini didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Berdasarkan hasil penelitian ini maka semakin besar tinggi gelombang, semakin besar panjang gelombang, dan semakin besar ukuran kolektor pada PLTGL sistem OWC ini, maka semakin besar potensi daya gelombang laut yang masuk kedalam pembangkit. Besar potensi maksimum daya gelombang laut yang dapat terjadi di pantai plengkung, Banyuwangi adalah sebesar 92617,041W yang terjadi pada bulan Juli dengan ukuran kolektor 8x8m dan besar potensi minimum daya gelombang laut sebesar 1098,29 W yang terjadi pada bulan November dengan ukuran kolektor 4x4m.
2. Berdasarkan analisis dan perhitungan penelitian ini PLTGL sistem *oscillating water column* di pantai Plengkung, Banyuwangi dapat menghasilkan daya listrik maksimum sebesar 38,271 kW dan daya listrik minimum sebesar 33,412 kW pada kolektor dengan ukuran 8x8 meter, sedangkan pada ukuran 6x6 dapat menghasilkan daya maksimum dan daya minimum sebesar 37,142 kW dan 32,284 kW. Untuk ukuran kolektor 4x4 dihasilkan daya maksimum dan minimum sebesar 12,500 kW dan 7,642 kW
3. Berdasarkan dari hasil penelitian ini, maka kolektor dengan ukuran 8x8 meter menjadi ukuran yang paling sesuai diterapkan untuk PLTGL sistem *oscillating water column* apabila dibangun di perairan pantai Plengkung, Banyuwangi karena memiliki daya keluaran yang paling besar dibandingkan dengan dua ukuran kolektor lainnya yaitu 4x4 dan 6x6 meter.

6.2. Saran

Dari hasil penelitian ini, disarankan untuk sekiranya dilakukan penelitian lebih lanjut, mengenai daerah-daerah yang memiliki potensi gelombang laut yang lebih baik dan karena penelitian ini merupakan energi baru dan terbarukan yang condong memiliki nilai efisiensi yang rendah, sehingga dibutuhkan penelitian lebih lanjut untuk mendapatkan nilai efisiensi yang lebih baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. 2002 “*Publish report Islay Limpet Wave Power Plant*”. Queen University of Belfast
- Anonim. 2009 “*oscillating water column, pembangkit listrik tenaga ombak*”, available at www.alpensteel.com.
- Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika, data perairan pantai plengkung, Banyuwangi pada tanggal 1 Januari – 31 Desember 2014
- Efendi, E. 2011, “Gelombang Laut”, Lampung
- Hasnan, A “Pengenalan Potensi Arus Laut Sebagai Energi Terbarukan Dan Berkelanjutan Di Indonesia”, *Open Knowledge And Education*, www.oke.or.id
- Istikomah, 2005, “*Wave Energy Conversion and Experimental Work Using Wells Turbine*”. Jurusan Teknik Sistem Perkapalan FTK-ITS, Surabaya
- Kadir, A.1997. Pembangkit Tenaga Listrik. Jakarta : Universitas Indonesia
- Murdani, B. 2008, “Analisa Rancang Bangun Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut Dengan Sistem *Oscillating Water Column* di Pantai Baron Yogyakarta, Jakarta
- Mackie, G. 2004 “*Wave Power an Operator Experience*”. Seatech Week. Wavegen
- Navarro, D. dkk. 2007. “*California Ocean Wave Assessment*”. California: Electric Power Research Institute
- Pudjanarsa, A. 2006. Mesin Konversi Energi. Yogyakarta
- Rahma Utami, S. 2010, “Studi Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut Dengan Menggunakan Sistem OWC Di Tiga Puluh Wilayah Kelautan Indonesia”, Teknik Elektro FT-UI, Depok
- Vining, J. 2005. “*Ocean Wave Energi Conversion*”. Madison: University of Wisconsin
- Waldopo, dkk. 2008. Perairan Darat dan Laut.
- Zakaria, A. 2009, “Dasar Teori dan Aplikasi Program Interaktif Berbasis Web Untuk Menghitung Panjang Gelombang dan Pasang Surut”, Magister Teknik Sipil Universitas Lampung, Bandar Lampung

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

LAMPIRAN 1
DATA TINGGI GELOMBANG, PERIODE GELOMBANG





BADAN METEOROLOGI KLIMATOLOGI DAN GEOFISIKA
STASIUN METEOROLOGI MARITIM PERAK SURABAYA
 Jalan Kalimas Baru 97 B TGM : KASMAR SURABAYA
 Surabaya - 60165 Email : meteo.maritimbsby@yahoo.co.id
 Telp/Fax : (031) 3291439
 Telp/Fax : (031) 3287123

DATA TINGGI GELOMBANG SIGNIFIKAN (114.343000 E, 8.733225 S) TAHUN 2014

TGL	Januari	Februari	Maret	April	Mei	Juni	Juli	Agustus	September	Oktober	November	Desember
1	1.2	2.0	0.7	0.6	0.9	1.0	1.4	1.1	0.8	0.6	0.7	0.9
2	1.1	1.7	0.6	0.5	0.8	1.1	1.4	1.1	0.8	0.7	0.9	0.9
3	1.0	1.3	0.5	0.6	0.7	1.3	1.4	1.2	0.8	0.7	0.9	0.9
4	0.9	1.3	0.4	0.5	0.7	1.4	1.3	1.3	0.8	0.9	0.9	0.8
5	1.0	1.3	0.4	0.5	0.8	1.7	1.6	1.6	0.6	0.9	1.0	0.6
6	0.9	1.0	0.6	0.5	0.8	1.5	1.4	1.6	0.5	0.9	1.0	0.6
7	0.9	1.0	0.8	0.6	0.7	1.5	1.2	1.5	0.6	1.0	0.9	0.6
8	0.7	0.9	0.8	0.6	0.9	1.4	1.3	1.3	0.8	1.0	0.7	1.0
9	0.7	1.0	0.8	0.5	0.8	1.3	1.8	1.2	1.0	1.0	0.7	1.2
10	0.8	1.1	0.7	0.5	0.8	1.1	2.1	1.4	0.9	1.0	0.8	1.2
11	1.0	1.6	0.8	0.5	0.8	1.0	2.0	1.3	0.9	1.0	0.7	1.3
12	1.1	1.5	0.8	0.4	0.9	1.0	2.0	1.4	0.9	1.0	0.6	1.2
13	1.0	1.3	0.8	0.3	1.0	1.5	1.9	1.7	0.8	1.0	0.6	0.9
14	1.3	1.1	0.5	0.4	1.0	1.8	1.9	1.7	0.7	0.9	1.0	0.8
15	1.8	1.0	0.5	0.4	1.0	1.7	1.8	1.6	0.7	0.9	1.4	0.8
16	1.9	1.1	0.5	0.6	1.1	1.6	1.8	1.5	0.8	0.9	1.2	0.9
17	1.9	0.9	0.6	0.7	1.0	1.4	1.8	1.4	0.9	0.9	0.9	1.0
18	1.5	0.9	0.7	0.9	0.8	1.4	1.7	1.2	0.9	0.9	0.8	1.0
19	1.5	1.1	1.1	0.9	0.8	1.3	1.7	1.1	0.9	0.9	0.7	0.8
20	1.6	1.2	1.2	0.8	0.8	1.3	1.7	1.0	1.0	0.9	0.7	0.8
21	1.9	0.6	0.8	0.6	0.9	0.9	1.6	0.8	0.8	0.8	0.7	0.7
22	1.6	0.5	0.6	0.6	1.2	0.7	1.5	1.0	0.9	0.8	0.7	0.7
23	1.4	0.5	0.6	0.5	1.2	0.8	1.5	1.3	1.3	0.8	0.7	0.8
24	1.3	0.6	0.6	0.5	1.1	1.2	1.4	1.3	1.5	0.8	0.7	0.7
25	1.2	0.6	0.4	0.4	1.0	1.7	1.4	1.2	1.2	0.8	0.7	0.7
26	1.0	0.5	0.3	0.2	1.1	1.6	1.4	1.1	1.1	0.8	0.8	0.8
27	1.0	0.6	0.3	0.1	1.1	1.4	1.3	1.0	0.9	0.8	0.7	0.8
28	0.9	0.7	0.4	0.1	1.2	1.1	1.3	1.0	0.7	0.7	0.7	0.9
29	1.2		0.5	0.2	1.2	1.1	1.2	0.9	0.5	0.7	0.7	1.0
30	1.7		0.5	0.5	1.0	1.2	1.2	0.8	0.4	0.7	0.8	0.8
31	1.9		0.5		0.9	1.2	1.1	0.8		0.7		0.7

Catatan : Satuan dalam meter

Surabaya, 8 Juni 2015

Pelugas

Ahmad Bahliar

NIP. 198201232008121002





BADAN METEOROLOGI KLIMATOLOGI DAN GEOFISIKA
STASIUN METEOROLOGI MARITIM PERAK SURABAYA
 Jalan Kalimas Baru 97 B TGM : KASMAR SURABAYA
 Surabaya - 60165 Email : meteonmaritimsv@yahoo.co.id
 Telp/Fax : (031) 3291439
 Telp/Fax : (031) 3287123

DATA TINGGI GELOMBANG MAKSIMUM (114.34300 E, 8.733225 S) TAHUN 2014

TGL	Januari	Februari	Maret	April	Mei	Juni	Juli	Agustus	September	Oktober	November	Desember
1	2.0	3.4	1.1	1.0	1.5	1.6	2.3	1.8	1.4	1.0	1.1	1.4
2	1.9	2.8	1.0	0.9	1.3	1.8	2.4	1.8	1.3	1.1	1.5	1.4
3	1.7	2.2	0.9	1.0	1.2	2.1	2.3	2.1	1.4	1.2	1.5	1.4
4	1.6	2.2	0.7	0.9	1.2	2.3	2.2	2.2	1.3	1.5	1.5	1.4
5	1.6	2.1	0.7	0.8	1.3	2.8	2.6	2.7	1.0	1.4	1.8	1.1
6	1.6	1.6	1.0	0.9	1.3	2.6	2.3	2.7	0.8	1.6	1.7	1.0
7	1.5	1.6	1.3	0.9	1.2	2.6	1.9	2.4	1.0	1.7	1.5	1.1
8	1.2	1.6	1.4	0.9	1.5	2.3	2.1	2.1	1.3	1.7	1.2	1.6
9	1.2	1.6	1.3	0.8	1.3	2.2	2.9	1.9	1.6	1.6	1.2	2.0
10	1.3	1.8	1.1	0.9	1.4	1.9	3.5	2.3	1.5	1.7	1.3	2.1
11	1.6	2.6	1.3	0.9	1.3	1.6	3.4	2.2	1.6	1.6	1.1	2.2
12	1.8	2.6	1.4	0.8	1.4	1.7	3.3	2.3	1.5	1.6	1.1	2.0
13	1.7	2.2	1.4	0.5	1.7	2.6	3.2	2.8	1.3	1.6	1.0	1.6
14	2.1	1.9	0.9	0.7	1.7	2.9	3.2	2.8	1.2	1.6	1.6	1.4
15	3.0	1.7	0.8	0.7	1.6	2.9	3.1	2.7	1.2	1.5	2.3	1.3
16	3.2	1.8	0.8	1.0	1.9	2.7	3.0	2.5	1.3	1.5	2.0	1.5
17	3.1	1.5	1.1	1.2	1.6	2.4	2.9	2.3	1.5	1.5	1.5	1.6
18	2.6	1.6	1.2	1.5	1.3	2.3	2.9	2.0	1.5	1.5	1.3	1.6
19	2.5	1.9	1.2	1.4	1.4	2.2	2.8	1.8	1.6	1.4	1.2	1.4
20	2.6	2.0	2.1	1.4	1.4	2.2	2.8	1.7	1.6	1.4	1.2	1.4
21	3.2	1.1	1.3	1.0	1.6	1.5	2.6	1.4	1.4	1.4	1.1	1.1
22	2.7	0.8	1.0	1.0	1.9	1.2	2.6	1.7	1.5	1.4	1.2	1.3
23	2.3	0.8	1.1	0.9	2.0	1.3	2.5	2.2	2.2	1.4	1.2	1.3
24	2.1	1.0	1.1	0.8	1.9	2.0	2.4	2.2	2.5	1.4	1.2	1.2
25	2.0	1.0	0.7	0.6	1.6	2.8	2.3	2.0	2.1	1.3	1.3	1.2
26	1.7	0.8	0.5	0.4	1.8	2.7	2.3	1.8	1.8	1.3	1.3	1.3
27	1.6	0.9	0.6	0.2	1.9	2.4	2.2	1.7	1.4	1.3	1.2	1.3
28	1.4	1.2	0.6	0.1	2.0	1.9	2.1	1.7	1.1	1.2	1.3	1.6
29	1.9		0.8	0.3	1.9	1.8	2.0	1.5	0.8	1.2	1.3	1.6
30	2.8		0.9	0.8	1.7	2.0	2.0	1.4	0.7	1.2	1.3	1.3
31	3.1		0.9		1.6	2.0	1.9	1.3		1.2	1.3	1.1

Catatan : Satuan dalam meter

Surabaya, 8 Juni 2015

Petugas

Ahmad Bahliar

NIP. 198201232008121002





BADAN METEOROLOGI KLIMATOLOGI DAN GEOFISIKA
STASIUN METEOROLOGI MARITIM PERAK SURABAYA
 Jalan Kalimas Baru 97 B TGM : KASMAR SURABAYA
 Surabaya - 60165 Email : meteo.maritimby@yahoo.co.id
 Telp/Fax : (031) 3291439
 Telp/Fax : (031) 3287123

DATA PERIODE GELOMBANG (114,343000 E, 8.733225 S) TAHUN 2014

TGL	Januari	Februari	Maret	April	Mei	Juni	Juli	Agustus	September	Oktober	November	Desember
1	5,9	6,1	5,6	4,6	6,2	5,3	5,8	5,3	4,9	4,9	4,6	5,0
2	5,9	6,1	5,6	4,6	6,1	5,3	5,8	5,3	4,9	4,9	4,6	5,0
3	5,9	6,1	5,6	4,6	6,1	5,3	5,8	5,3	4,9	4,9	4,6	5,0
4	5,9	6,1	5,6	4,6	6,0	5,3	5,8	5,3	4,9	4,9	4,7	5,0
5	5,9	6,1	5,6	4,6	6,0	5,3	5,8	5,2	4,9	4,9	4,7	5,0
6	5,9	6,1	5,6	4,6	6,0	5,3	5,8	5,2	4,9	4,9	4,8	5,0
7	5,9	6,1	5,5	4,6	5,9	5,3	5,8	5,2	4,9	4,9	4,8	5,0
8	5,9	6,1	5,5	4,6	5,9	5,4	5,8	5,2	4,9	4,9	4,8	5,0
9	5,9	6,0	5,5	4,6	5,9	5,4	5,9	5,2	4,9	4,9	4,9	5,0
10	5,9	6,0	5,5	4,6	5,8	5,4	5,9	5,2	4,9	4,9	5,0	5,0
11	6,0	6,0	5,5	4,7	5,8	5,4	5,9	5,2	5,0	4,9	5,0	5,0
12	6,0	6,0	5,5	4,7	5,8	5,4	5,9	5,2	5,0	4,9	5,1	5,0
13	6,0	6,0	5,5	4,7	5,7	5,4	5,9	5,2	5,0	4,9	5,1	5,0
14	6,0	6,0	5,5	4,7	5,7	5,4	5,8	5,2	5,0	4,9	5,2	5,0
15	6,0	6,0	5,5	4,7	5,7	5,4	5,8	5,2	5,0	4,9	5,3	5,0
16	6,0	6,0	5,5	4,7	5,6	5,4	5,8	5,2	5,0	4,9	5,3	5,0
17	6,0	6,0	5,5	4,7	5,6	5,4	5,8	5,2	5,0	4,9	5,3	5,0
18	6,0	6,0	5,5	4,7	5,6	5,4	5,8	5,2	5,0	4,9	5,4	5,0
19	6,0	5,9	5,4	4,7	5,6	5,4	5,8	5,2	5,0	4,8	5,4	5,1
20	6,0	5,9	5,4	4,7	5,6	5,4	5,8	5,2	5,0	4,8	5,4	5,1
21	6,0	5,9	5,4	4,7	5,6	5,4	5,8	5,2	5,0	4,8	5,5	5,1
22	6,0	5,9	5,4	4,7	5,6	5,4	5,7	5,2	5,1	4,8	5,5	5,1
23	6,0	5,9	5,4	4,7	5,5	5,4	5,7	5,2	5,1	4,8	5,6	5,1
24	6,0	5,9	5,4	4,7	5,5	5,4	5,7	5,2	5,1	4,8	5,6	5,1
25	6,0	5,9	5,4	4,7	5,5	5,4	5,7	5,2	5,1	4,8	5,6	5,1
26	6,0	5,9	5,4	4,7	5,5	5,4	5,7	5,2	5,1	4,8	5,6	5,1
27	6,0	5,9	5,4	4,7	5,5	5,4	5,7	5,2	5,1	4,8	5,7	5,1
28	6,0	5,9	5,4	4,7	5,5	5,4	5,6	5,2	5,1	4,8	5,7	5,1
29	6,0		5,3	4,7	5,5	5,4	5,6	5,2	5,1	4,8	5,7	5,1
30	6,0		5,3	4,7	5,5	5,4	5,6	5,2	5,1	4,8	5,7	5,1
31	6,0		5,3	4,7	5,5	5,4	5,6	5,2	5,1	4,8	5,7	5,1

Catatan : Satuan dalam Second

Surabaya, 8 Juni 2015
 Petugas
 Ahmad Bahhar
 NIP. 198201232008121002



UNIVERSITAS BRAWIJAYA

LAMPIRAN 2

HASIL PERHITUNGAN POTENSI DAYA GELOMBANG



Perhitungan Daya Gelombang Dengan Kolom 4x4

Bulan	Tinggi Signifikan (m)	Periode (s)	Gelombang yang masuk kedalam kolektor (m ²)	a (meter)	Pw (W/m ²)
Januari	1,25	5,9	16	0,625	5351,85381
Februari	1,03	6,0	16	0,515	3573,21729
Maret	0,64	5,3	16	0,320	1561,78161
April	0,50	4,6	16	0,250	1098,29347
Mei	0,95	5,5	16	0,475	3316,04754
Juni	1,30	5,3	16	0,650	6443,87434
Juli	1,55	5,6	16	0,775	8669,85026
Agustus	1,24	5,2	16	0,620	5975,52756
September	0,82	4,9	16	0,410	2773,11482
Oktober	0,85	4,8	16	0,425	3041,81531
November	0,82	5,2	16	0,410	2613,12743
Desember	0,87	5,0	16	0,435	3059,17786

Sumber : Hasil perhitungan, 2015

Perhitungan Daya Gelombang Dengan Kolom 6x6

Bulan	Tinggi Signifikan (m)	Periode (s)	Gelombang yang masuk kedalam kolektor (m ²)	a (meter)	Pw (W/m ²)
Januari	1,25	5,9	36	0,625	12041,6710
Februari	1,03	6,0	36	0,515	8039,7389
Maret	0,64	5,3	36	0,320	3514,0086
April	0,50	4,6	36	0,250	2471,1603
Mei	0,95	5,5	36	0,475	7461,1069
Juni	1,30	5,3	36	0,650	14498,7172
Juli	1,55	5,6	36	0,775	19507,1631
Agustus	1,24	5,2	36	0,620	13444,9370
September	0,82	4,9	36	0,410	6239,5083
Oktober	0,85	4,8	36	0,425	6844,0844
November	0,82	5,2	36	0,410	5879,5367
Desember	0,87	5,0	36	0,435	6883,1502

Sumber : Hasil perhitungan, 2015

Perhitungan Daya Gelombang Dengan Kolom 8x8					
Bulan	Tinggi Signifikan (m)	Periode (s)	Gelombang yang masuk kedalam kolektor (m ²)	a (meter)	Pw (W/m ²)
Januari	1,25	5,9	64	0,625	21407,4152
Februari	1,03	6,0	64	0,515	14292,8691
Maret	0,64	5,3	64	0,320	6247,1264
April	0,50	4,6	64	0,250	4393,1739
Mei	0,95	5,5	64	0,475	13264,1901
Juni	1,30	5,3	64	0,650	25775,4973
Juli	1,55	5,6	64	0,775	34679,4010
Agustus	1,24	5,2	64	0,620	23902,1102
September	0,82	4,9	64	0,410	11092,4593
Oktober	0,85	4,8	64	0,425	12167,2612
November	0,82	5,2	64	0,410	10452,5097
Desember	0,87	5,0	64	0,435	12236,7114

Sumber : Hasil perhitungan, 2015

Perhitungan Daya Gelombang Dengan Kolom 4x4					
Bulan	Tinggi Maksimum (m)	Periode (s)	Gelombang yang masuk kedalam kolektor (m ²)	a (meter)	Pw (W/m ²)
Januari	2,10	6,0	16	1,050	14853,3210
Februari	1,75	6,1	16	0,875	10145,7110
Maret	1,05	5,6	16	0,525	3978,5681
April	0,85	4,7	16	0,425	3106,5347
Mei	1,57	6,2	16	0,785	8034,2222
Juni	2,18	5,4	16	1,090	17785,0649
Juli	2,60	5,9	16	1,300	23154,2603
Agustus	2,06	5,3	16	1,030	16180,6066
September	1,50	5,1	16	0,750	8915,5588
Oktober	1,52	4,9	16	0,760	9528,5611
November	1,37	5,7	16	0,685	6654,3019
Desember	1,50	5,1	16	0,750	8915,5588

Sumber : Hasil perhitungan, 2015

Perhitungan Daya Gelombang Dengan Kolom 6x6					
Bulan	Tinggi Maksimum (m)	Periode (s)	Gelombang yang masuk kedalam kolektor (m ²)	a (meter)	Pw (W/m ²)
Januari	2,10	6,0	36	1,050	33419,9722
Februari	1,75	6,1	36	0,875	22827,8499
Maret	1,05	5,6	36	0,525	8951,7782
April	0,85	4,7	36	0,425	6989,7032
Mei	1,57	6,2	36	0,785	18077,0001
Juni	2,18	5,4	36	1,090	40016,3961
Juli	2,60	5,9	36	1,300	52097,0857
Agustus	2,06	5,3	36	1,030	36406,3648
September	1,50	5,1	36	0,750	20060,0073
Oktober	1,52	4,9	36	0,760	21439,2625
November	1,37	5,7	36	0,685	14972,1794
Desember	1,50	5,1	36	0,750	20060,0073

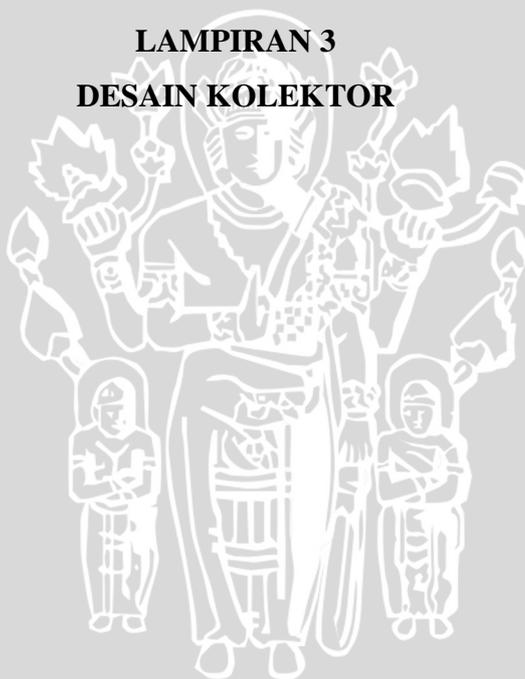
Sumber : Hasil perhitungan, 2015

Perhitungan Daya Gelombang Dengan Kolom 8x8					
Bulan	Tinggi Maksimum (m)	Periode (s)	Gelombang yang masuk kedalam kolektor (m ²)	a (meter)	Pw (W/m ²)
Januari	2,10	6,0	64	1,050	59413,2840
Februari	1,75	6,1	64	0,875	40582,8442
Maret	1,05	5,6	64	0,525	15914,2725
April	0,85	4,7	64	0,425	12426,1391
Mei	1,57	6,2	64	0,785	32136,8891
Juni	2,18	5,4	64	1,090	71140,2597
Juli	2,60	5,9	64	1,300	92617,0413
Agustus	2,06	5,3	64	1,030	64722,4263
September	1,50	5,1	64	0,750	35662,2352
Oktober	1,52	4,9	64	0,760	38114,2444
November	1,37	5,7	64	0,685	26617,2079
Desember	1,50	5,1	64	0,750	35662,2352

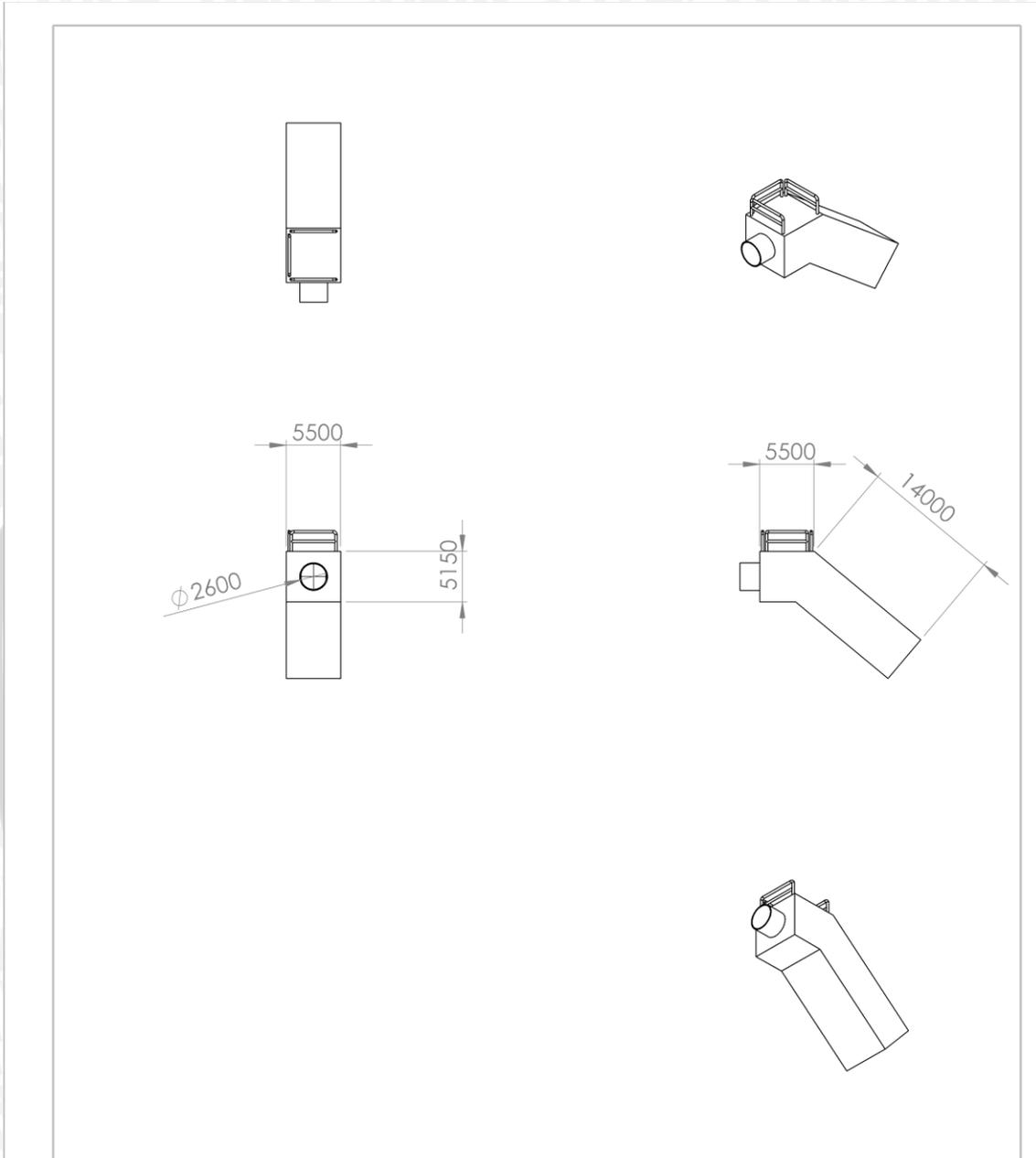
Sumber : Hasil perhitungan, 2015

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

**LAMPIRAN 3
DESAIN KOLEKTOR**



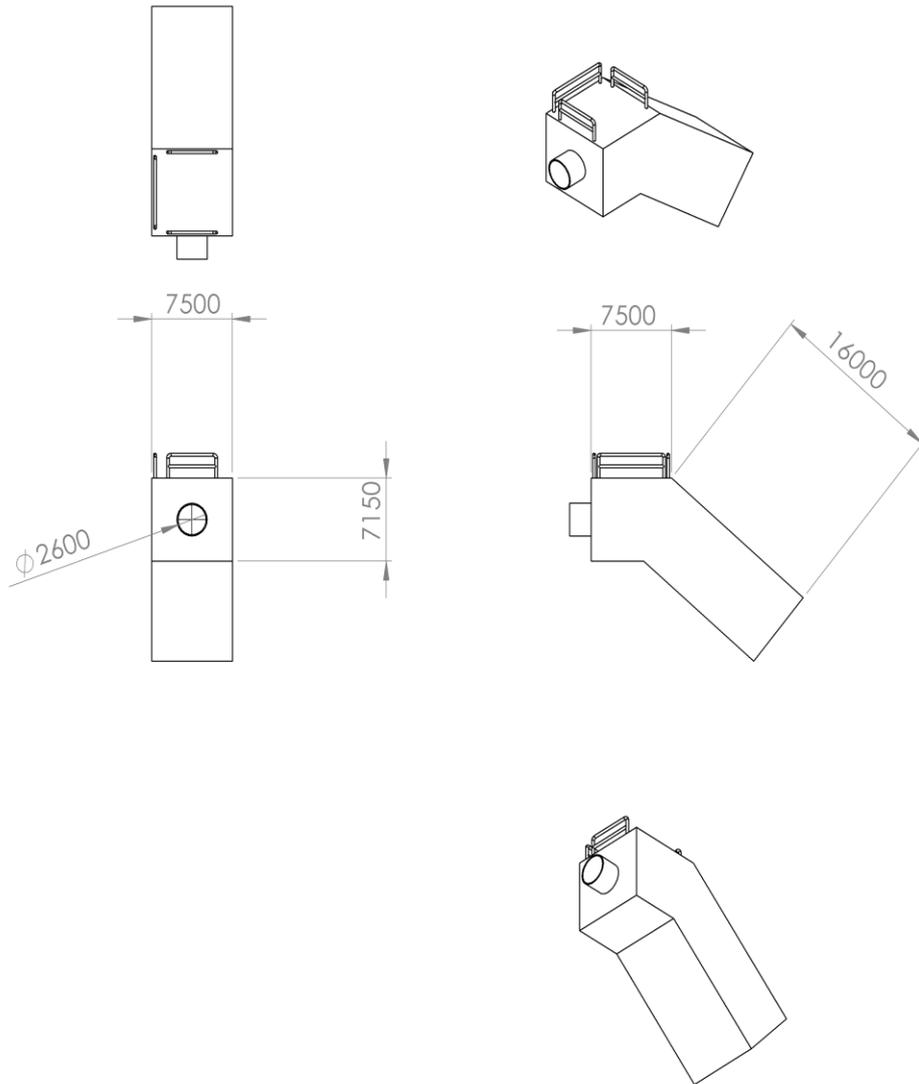
Desain kolektor 4x4



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS		FINISH:		DEBUR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION	
SURFACE FINISH:									
TOLERANCES:									
LINEAR:									
ANGULAR:									
NAME		SIGNATURE		DATE		TITLE:			
DRAWN						Kolektor 4x4			
CHK'D									
APPV'D									
MFG									
Q.A									
				MATERIAL:		DWG. NO.		A4	
				WBIGHT:		SCALE:1:500		SHEET 1 OF 1	



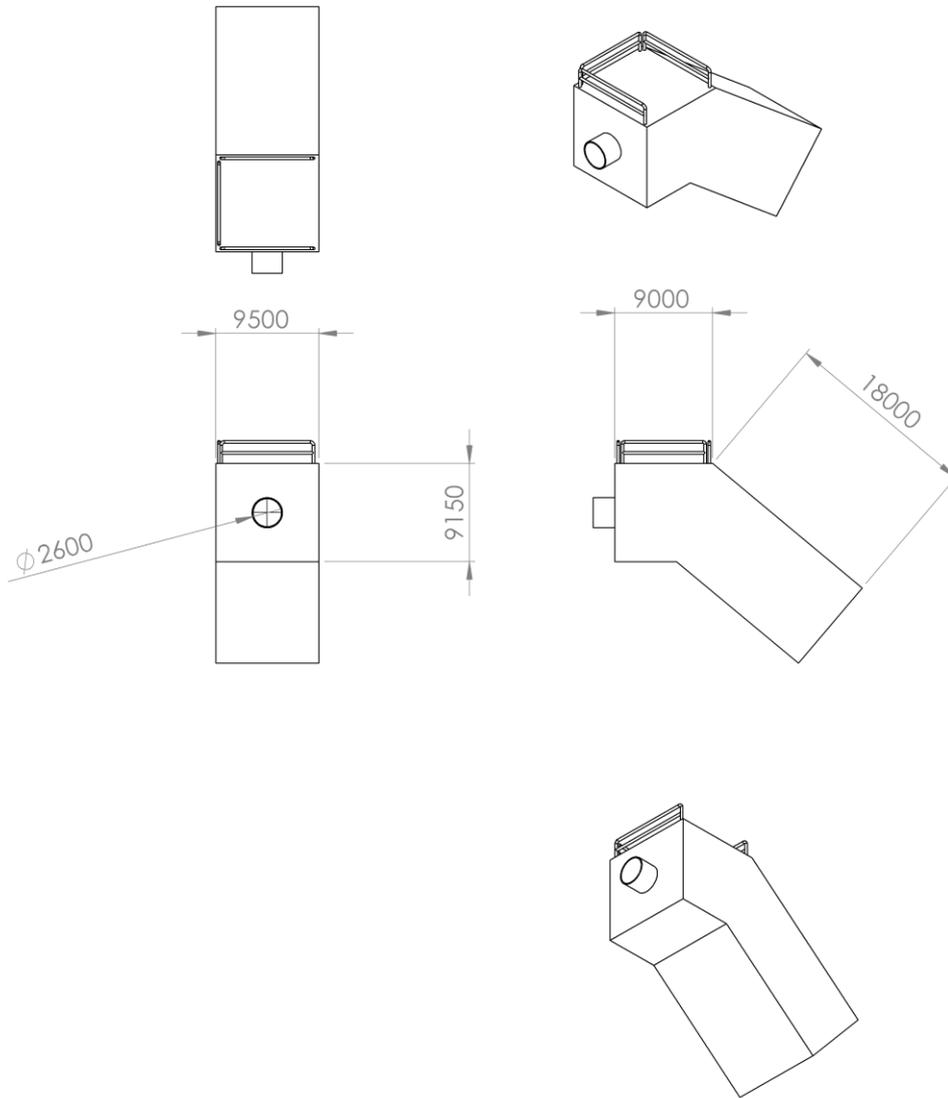
Desain kolektor 6x6



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS		FINISH:		DEBUR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION	
SURFACE FINISH:									
TOLERANCES:									
LINEAR:									
ANGULAR:									
NAME		SIGNATURE		DATE		TITLE:			
DRAWN						kolektor 6x6			
CHK'D									
APP'VD									
MFG									
Q.A									
				MATERIAL:		DWG NO.		A4	
				WEIGHT:		SCALE:1:500		SHEET 1 OF 1	



Desain kolektor 8x8

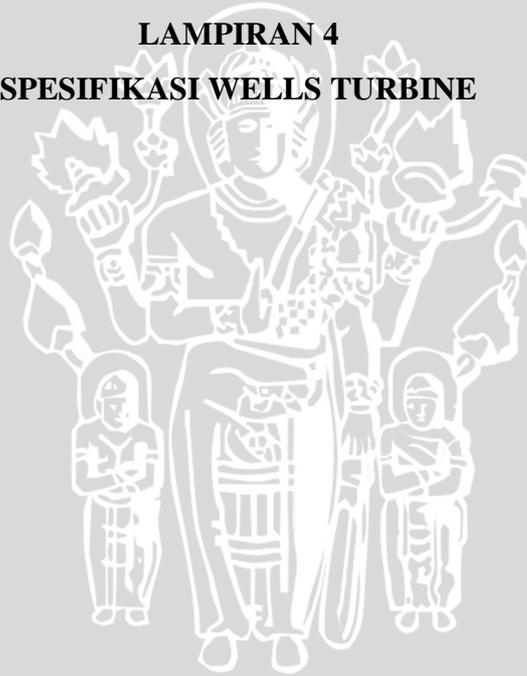


UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS		FINISH:		DEBUR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION	
SURFACE FINISH:									
TOLERANCES:									
LINEAR:									
ANGULAR:									
DRAWN		NAME	SIGNATURE	DATE	TITLE:				
CHK'D									
APP'VD									
MFG									
Q.A					MATERIAL:	DWG NO.			A4
						kolektor 8x8			
					WEIGHT:	SCALE:1:500	SHEET 1 OF 1		



UNIVERSITAS BRAWIJAYA

**LAMPIRAN 4
SPESIFIKASI WELLS TURBINE**



SPEKIFIKASI WELLS TURBINE

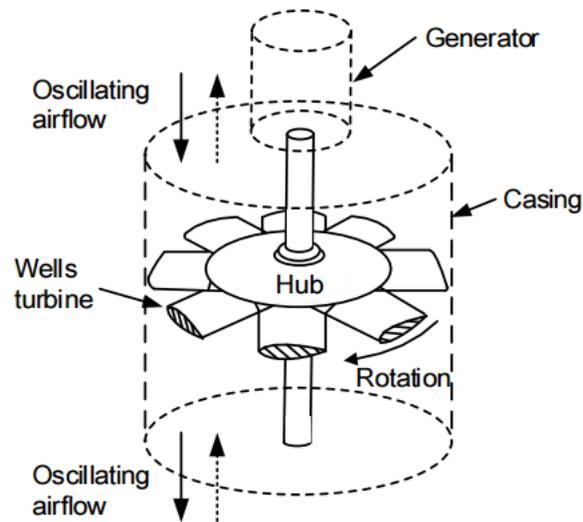


Figure 1. Outline of wells turbine.

Turbine Diameter	2.6 m
Nominal Operating Speed	1050 rpm
Number of Turbines	2
Arrangement	In Line Contra-rotating
Blade Form	NACA0012
Number of Blades	7
Blade Chord	320mm
Hub to Tip Ratio	0.62

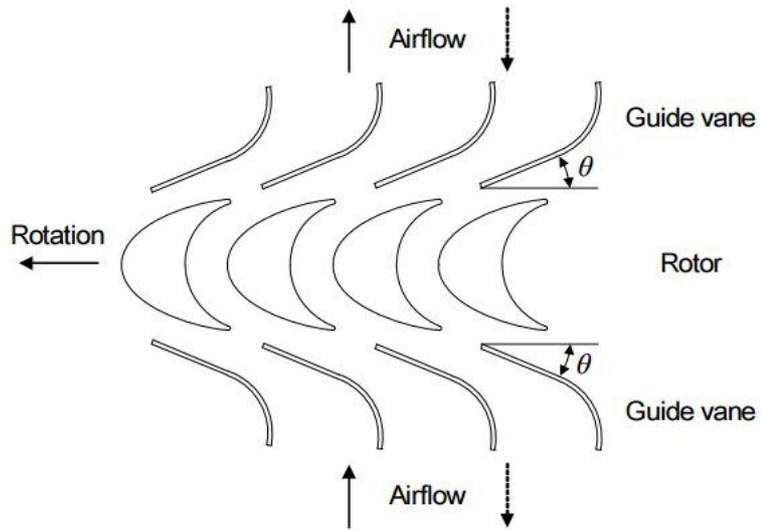
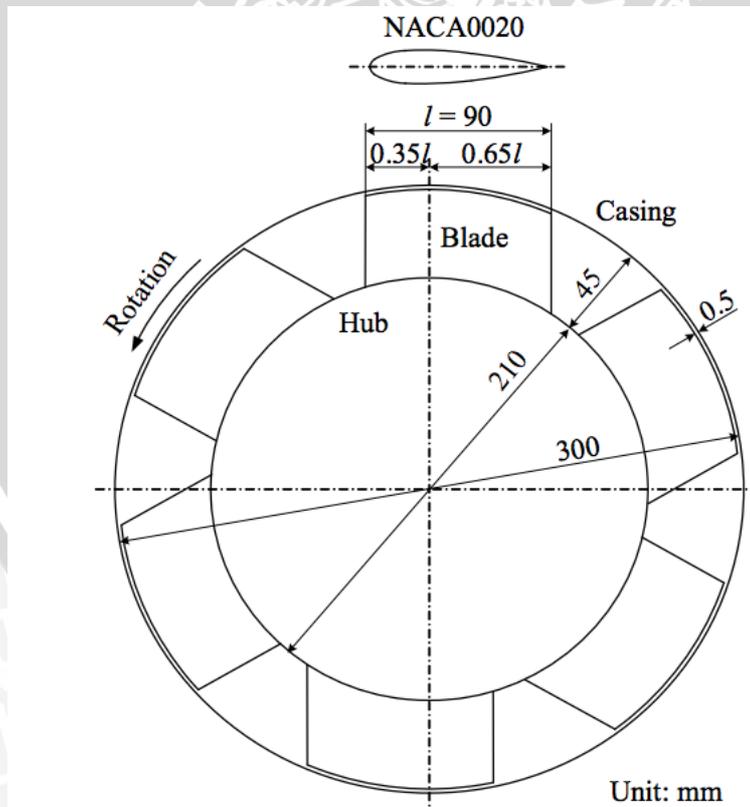
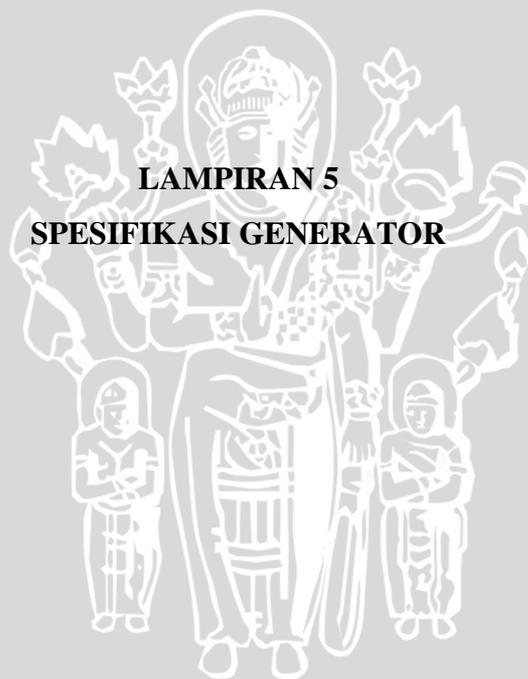


Figure 2. Outline of impulse turbine for wave energy conversion.



UNIVERSITAS BRAWIJAYA

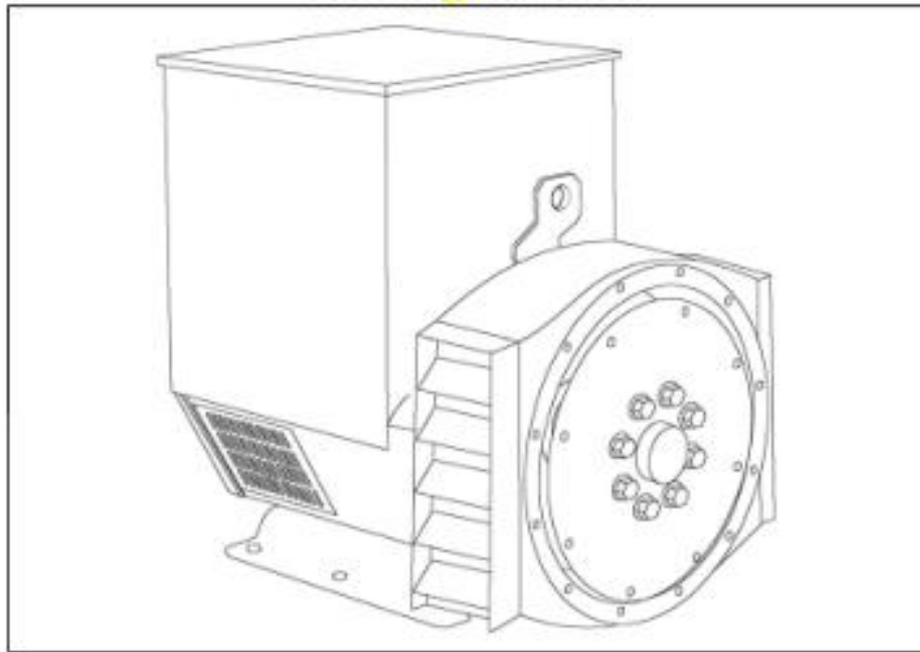


LAMPIRAN 5
SPEKIFIKASI GENERATOR

STAMFORD®

UCM274E - Winding 311 Single Phase

Technical Data Sheet



UCM274E**STAMFORD****SPECIFICATIONS & OPTIONS****STANDARDS**

Marine generators may be certified to Lloyds, DnV, Bureau Veritas, ABS, Germanischer-Lloyd or RINA. Other standards and certifications can be considered on request.

VOLTAGE REGULATORS**MX341 AVR - STANDARD**

This sophisticated Automatic Voltage Regulator (AVR) is incorporated into the Stamford Permanent Magnet Generator (PMG) control system, and is standard on marine generators of this type.

The PMG provides power via the AVR to the main exciter, giving a source of constant excitation power independent of generator output. The main exciter output is then fed to the main rotor, through a full wave bridge, protected by a surge suppressor. The AVR has in-built protection against sustained over-excitation, caused by internal or external faults. This de-excites the machine after a minimum of 5 seconds.

An engine relief load acceptance feature can enable full load to be applied to the generator in a single step.

If three-phase sensing is required with the PMG system the MX321 AVR must be used.

We recommend three-phase sensing for applications with greatly unbalanced or highly non-linear loads.

MX321 AVR

The most sophisticated of all our AVRs combines all the features of the MX341 with, additionally, three-phase rms sensing, for improved regulation and performance.

Over voltage protection is built-in and short circuit current level adjustments is an optional facility.

WINDINGS & ELECTRICAL PERFORMANCE

All generator stators are wound to 2/3 pitch. This eliminates triplen (3rd, 9th, 15th ...) harmonics on the voltage waveform and is found to be the optimum design for trouble-free supply of non-linear loads. The 2/3 pitch design avoids excessive neutral currents sometimes seen with higher winding pitches, when in parallel with the mains. A fully connected damper winding reduces oscillations during paralleling. This winding, with the 2/3 pitch and carefully selected pole and tooth designs, ensures very low waveform distortion.

TERMINALS & TERMINAL BOX

Standard generators are 3-phase reconnectable with 12 ends brought out to the terminals, which are mounted on a cover at the non-drive end of the generator. A sheet steel terminal box contains the AVR and provides ample space for the customers' wiring and gland arrangements. It has removable panels for easy access.

SHAFT & KEYS

All generator rotors are dynamically balanced to better than BS6861:Part 1 Grade 2.5 for minimum vibration in operation. Two bearing generators are balanced with a half key.

INSULATION/IMPREGNATION

The insulation system is class 'H'.

All wound components are impregnated with materials and processes designed specifically to provide the high build required for static windings and the high mechanical strength required for rotating components.

QUALITY ASSURANCE

Generators are manufactured using production procedures having a quality assurance level to BS EN ISO 9001.

The stated voltage regulation may not be maintained in the presence of certain radio transmitted signals. Any change in performance will fall within the limits of Criteria 'B' of EN 61000-6-2:2001. At no time will the steady-state voltage regulation exceed 2%.

DE RATES

All values tabulated on page 8 are subject to the following reductions

5% when air inlet filters are fitted.

3% for every 500 metres by which the operating altitude exceeds 1000 metres above mean sea level.

3% for every 5 C by which the operational ambient temperature exceeds 40 C.

Note: Requirement for operating in an ambient exceeding 60 C must be referred to the factory.

NB Continuous development of our products entitles us to change specification details without notice, therefore they must not be regarded as binding.

Front cover drawing typical of product range.

UCM274E**STAMFORD****WINDING 311 Single Phase**

CONTROL SYSTEM	SEPARATELY EXCITED BY P.M.G.					
A.V.R.	MX321	MX341				
VOLTAGE REGULATION	± 0.5 %	± 1.0 %	With 4% ENGINE GOVERNING			
SUSTAINED SHORT CIRCUIT	REFER TO SHORT CIRCUIT DECREMENT CURVES (page 7)					
INSULATION SYSTEM	CLASS H					
PROTECTION	IP23					
RATED POWER FACTOR	0.8					
STATOR WINDING	DOUBLE LAYER CONCENTRIC					
WINDING PITCH	TWO THIRDS					
WINDING LEADS	12					
STATOR WDG. RESISTANCE	0.0211 Ohms AT 22°C DOUBLE DELTA CONNECTED					
ROTOR WDG. RESISTANCE	1.34 Ohms at 22°C					
EXCITER STATOR RESISTANCE	20 Ohms at 22°C					
EXCITER ROTOR RESISTANCE	0.091 Ohms PER PHASE AT 22°C					
R.F.I. SUPPRESSION	BS EN 61000-6-2 & BS EN 61000-6-4, VDE 0875G, VDE 0875N, refer to factory for others					
WAVEFORM DISTORTION	NO LOAD < 1.5% NON-DISTORTING BALANCED LINEAR LOAD < 5.0%					
MAXIMUM OVERSPEED	2250 Rev/Min					
BEARING DRIVE END	BALL, 6315-2RS (ISO)					
BEARING NON-DRIVE END	BALL, 6310-2RS (ISO)					
	1 BEARING		2 BEARING			
WEIGHT COMP. GENERATOR	402 kg		511 kg			
WEIGHT WOUND STATOR	180 kg		180 kg			
WEIGHT WOUND ROTOR	167.5 kg		156.6 kg			
WR ² INERTIA	1.3271 kgm ²		1.2765 kgm ²			
SHIPPING WEIGHTS in a crate	525 kg		539 kg			
PACKING CRATE SIZE	123 x 67 x 103 (cm)		123 x 67 x 103 (cm)			
	50 Hz		60 Hz			
TELEPHONE INTERFERENCE	THF<2%		TIF<50			
COOLING AIR	0.514 m ³ /sec 1090 cfm		0.617 m ³ /sec 1308 cfm			
VOLTAGE DOUBLE DELTA	220/110	230/115	240/120	220/110	230/115	240/120
VOLTAGE PARALLEL DELTA	110	115	120	110	115	120
KVA BASE RATING FOR REACTANCE VALUES	72.5	72.5	72.5	73.8	77.6	81.3
X _d DIR. AXIS SYNCHRONOUS	1.81	1.65	1.52	2.20	2.11	2.03
X _d ' DIR. AXIS TRANSIENT	0.16	0.15	0.14	0.20	0.19	0.19
X _d ' DIR. AXIS SUBTRANSIENT	0.11	0.10	0.09	0.14	0.13	0.13
X _q QUAD. AXIS REACTANCE	1.18	1.08	0.99	1.43	1.37	1.32
X _q ' QUAD. AXIS SUBTRANSIENT	0.14	0.13	0.12	0.18	0.18	0.17
X _L LEAKAGE REACTANCE	0.06	0.06	0.05	0.07	0.07	0.07
X ₂ NEGATIVE SEQUENCE	0.12	0.11	0.10	0.16	0.15	0.14
X ₀ ZERO SEQUENCE	0.07	0.07	0.06	0.09	0.09	0.08
REACTANCES ARE SATURATED			VALUES ARE PER UNIT AT RATING AND VOLTAGE INDICATED			
T _d ' TRANSIENT TIME CONST.	0.032 s					
T _d ' SUB-TRANSTIME CONST.	0.01 s					
T _{do} D.C. FIELD TIME CONST.	0.85 s					
T _a ARMATURE TIME CONST.	0.007 s					
SHORT CIRCUIT RATIO	1/X _d					

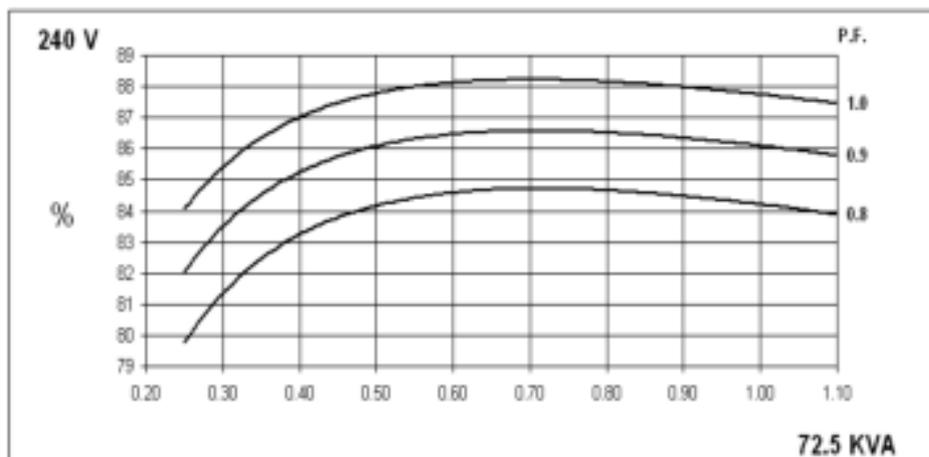
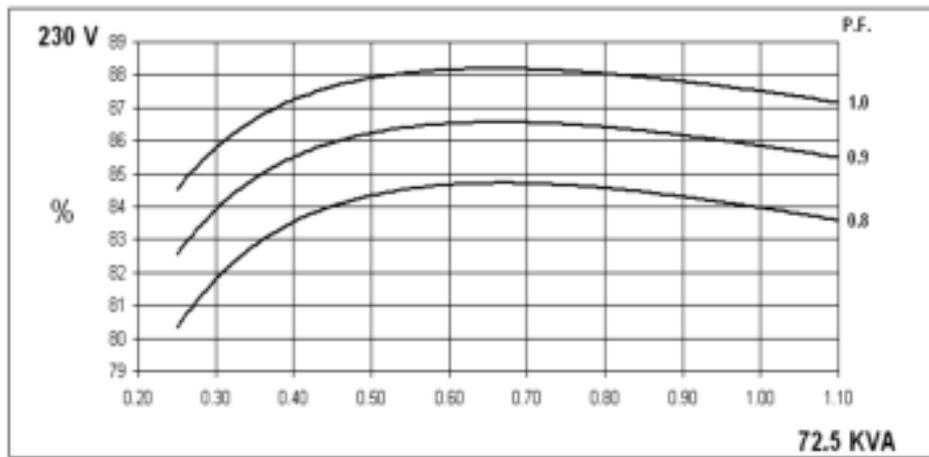
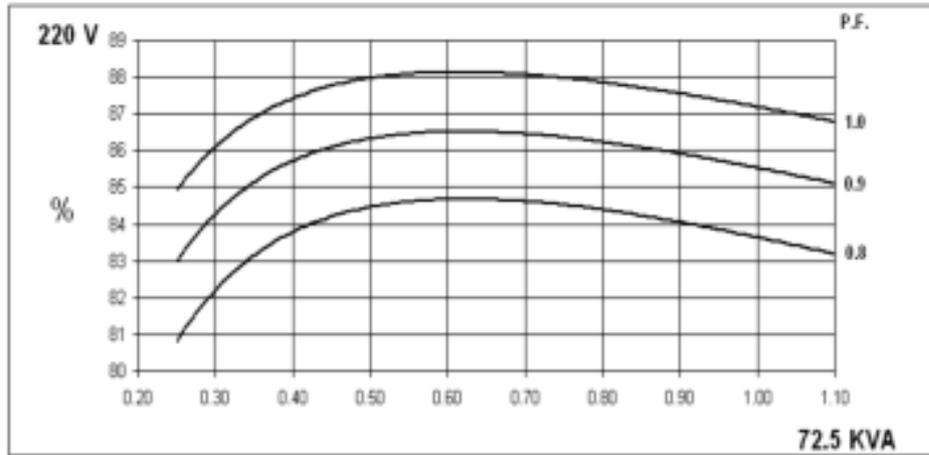
**50
Hz**

UCM274E

STAMFORD

Winding 311 Single Phase

SINGLE PHASE EFFICIENCY CURVES



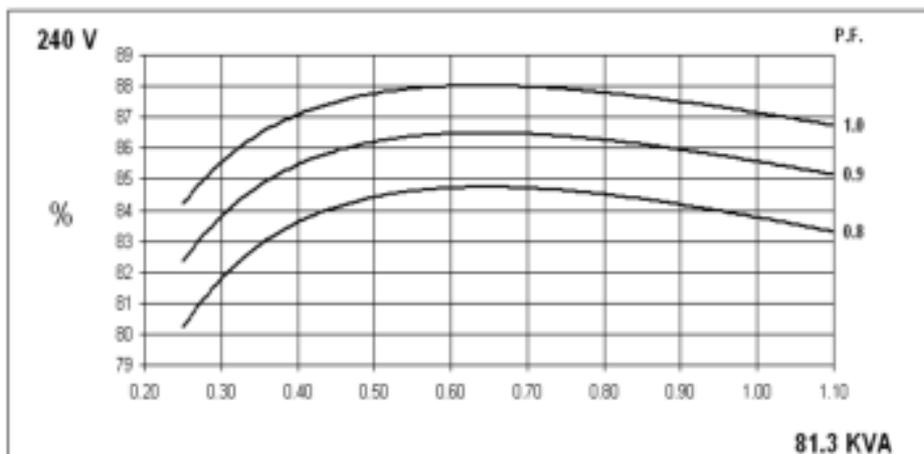
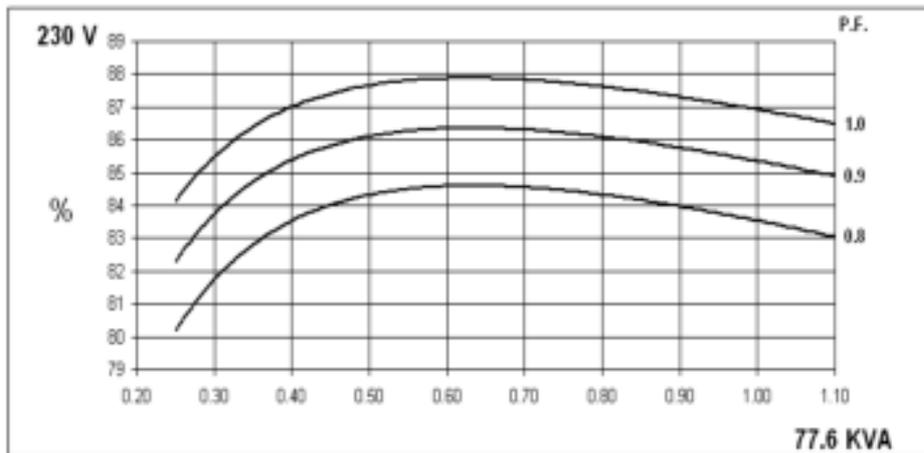
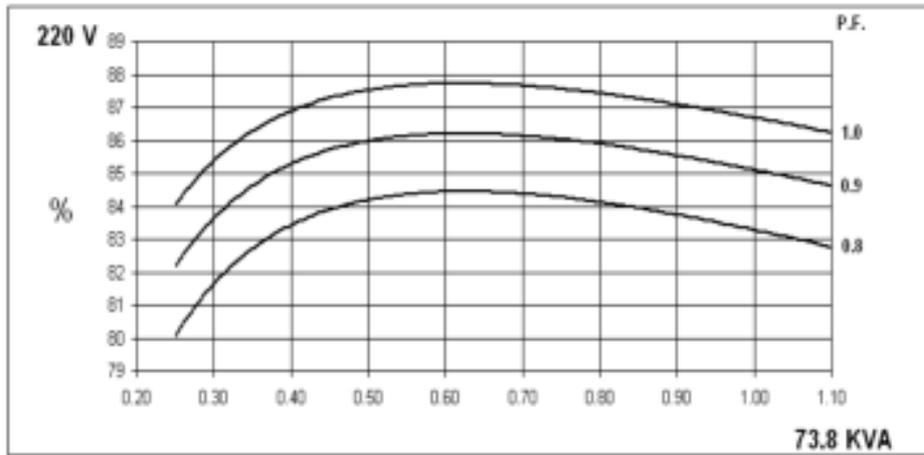
**60
Hz**

UCM274E

STAMFORD

Winding 311 Single Phase

SINGLE PHASE EFFICIENCY CURVES

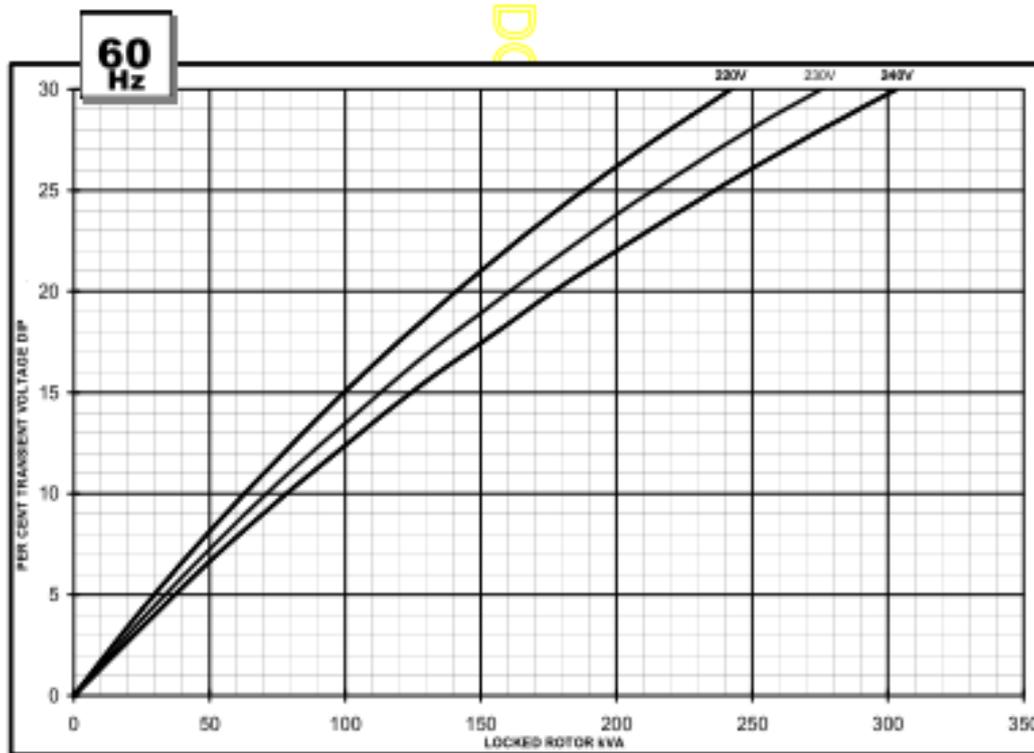
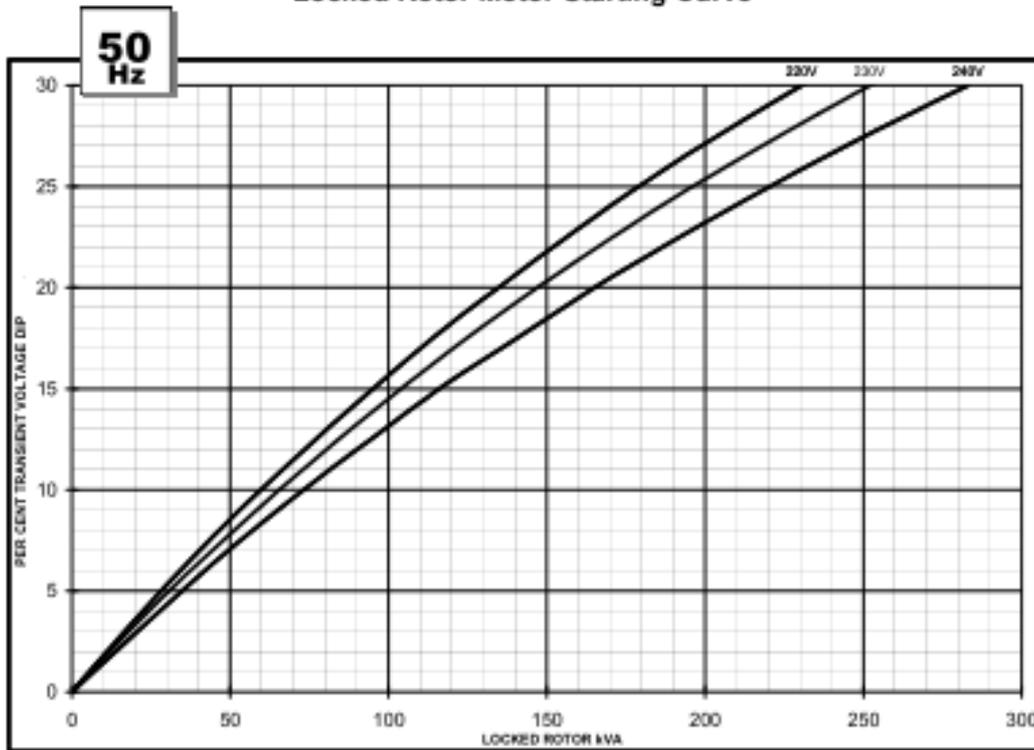


UCM274E

STAMFORD

Winding 311 Single Phase

Locked Rotor Motor Starting Curve



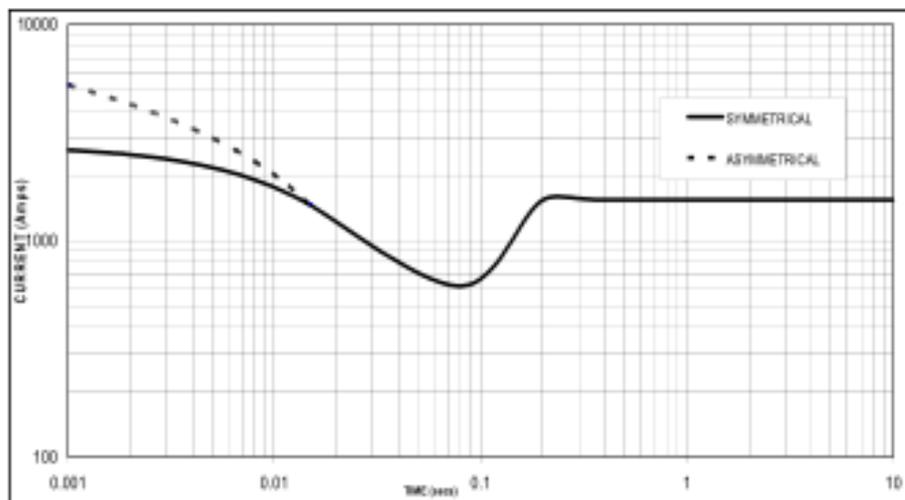
UCM274E

STAMFORD

Winding 311 Single Phase

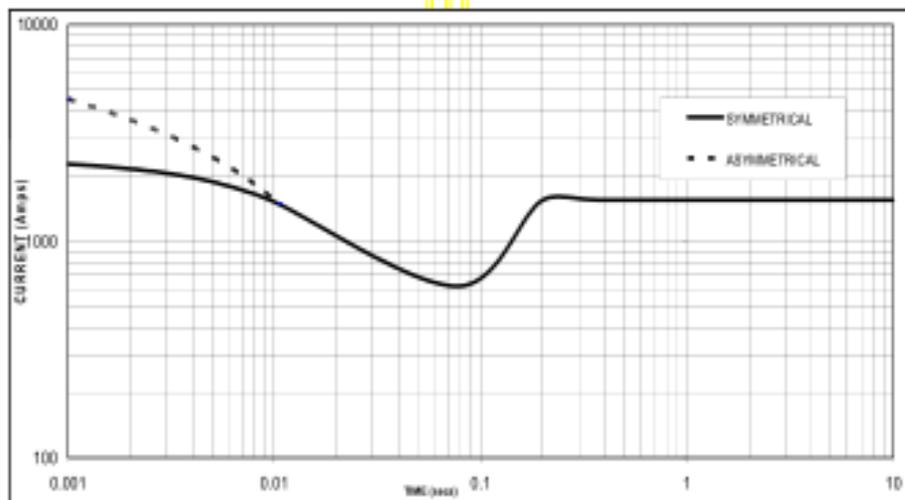
**Single Phase Short Circuit Decrement Curve. No-load Excitation at Rated Speed
Based on Double Delta connection.**

**50
Hz**



Sustained Short Circuit = 1545 Amps

**60
Hz**



Sustained Short Circuit = 1550 Amps

Note

The following multiplication factors should be used to adjust the values from curve between time 0.001 seconds and the minimum current point in respect of nominal operating voltage :

Voltage	Factor
220V	X 1.00
230V	X 1.05
240V	X 1.09

The sustained current value is constant irrespective of voltage level



UCM274E
Winding 311 Single Phase

STAMFORD

RATINGS

50Hz

Class - Temp Rise	Cont. E - 65/50°C 0.8pf			Cont. B - 70/50°C 0.8pf			Cont. F - 90/50°C 0.8pf			Cont. H - 110/50°C 0.8pf		
Double Delta (V)	220	230	240	220	230	240	220	230	240	220	230	240
Parallel Delta (V)	110	115	120	110	115	120	110	115	120	110	115	120
kVA	56.3	56.3	56.3	60.0	60.0	60.0	67.5	67.5	67.5	72.5	72.5	72.5
kW	45.0	45.0	45.0	48.0	48.0	48.0	54.0	54.0	54.0	58.0	58.0	58.0
Efficiency (%)	84.4	84.6	84.7	84.3	84.5	84.6	83.9	84.2	84.4	83.6	84.0	84.2
kW Input	53.3	53.2	53.1	56.9	56.8	56.7	64.4	64.1	64.0	69.4	69.0	68.9

Class - Temp Rise	Cont. E - 65/50°C 1.0pf			Cont. B - 70/50°C 1.0pf			Cont. F - 90/50°C 1.0pf			Cont. H - 110/50°C 1.0pf		
Double Delta (V)	220	230	240	220	230	240	220	230	240	220	230	240
Parallel Delta (V)	110	115	120	110	115	120	110	115	120	110	115	120
kVA	56.3	56.3	56.3	60.0	60.0	60.0	67.5	67.5	67.5	72.5	72.5	72.5
kW	56.3	56.3	56.3	60.0	60.0	60.0	67.5	67.5	67.5	72.5	72.5	72.5
Efficiency (%)	87.9	88.1	88.2	87.8	88.0	88.1	87.4	87.7	87.9	87.2	87.5	87.7
kW Input	64.1	63.9	63.8	68.3	68.2	68.1	77.2	77.0	76.8	83.1	82.9	82.7

60Hz

Class - Temp Rise	Cont. E - 65/50°C 0.8pf			Cont. B - 70/50°C 0.8pf			Cont. F - 90/50°C 0.8pf			Cont. H - 110/50°C 0.8pf		
Double Delta (V)	220	230	240	220	230	240	220	230	240	220	230	240
Parallel Delta (V)	110	115	120	110	115	120	110	115	120	110	115	120
kVA	57.6	60.1	62.5	60.0	62.5	65.0	68.4	71.7	75.0	73.8	77.6	81.3
kW	46.1	48.1	50.0	48.0	50.0	52.0	54.7	57.4	60.0	59.0	62.1	65.0
Efficiency (%)	84.1	84.3	84.5	84.0	84.3	84.5	83.6	83.9	84.1	83.3	83.5	83.8
kW Input	54.8	57.1	59.2	57.1	59.3	61.5	65.4	68.4	71.3	70.8	74.4	77.6

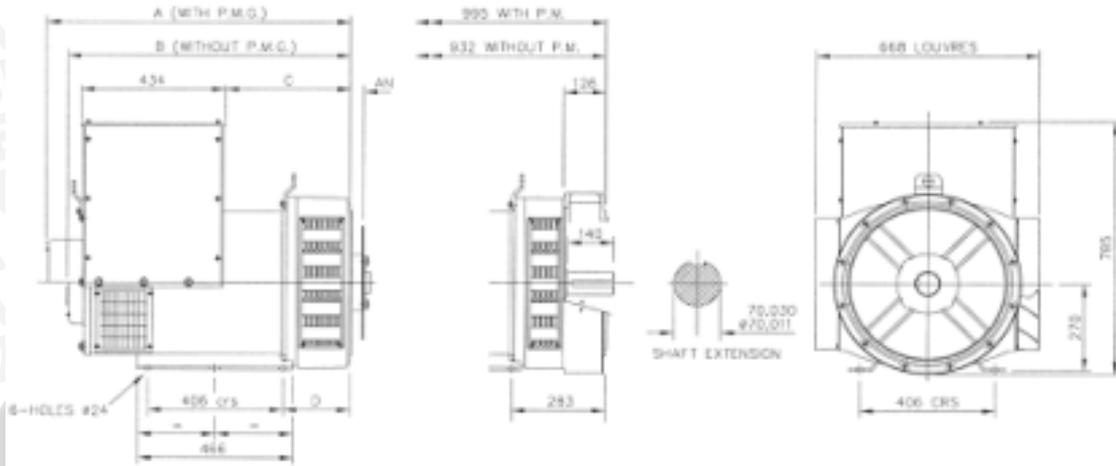
Class - Temp Rise	Cont. E - 65/50°C 1.0pf			Cont. B - 70/50°C 1.0pf			Cont. F - 90/50°C 1.0pf			Cont. H - 110/50°C 1.0pf		
Double Delta (V)	220	230	240	220	230	240	220	230	240	220	230	240
Parallel Delta (V)	110	115	120	110	115	120	110	115	120	110	115	120
kVA	57.6	60.1	62.5	60.0	62.5	65.0	68.4	71.7	75.0	73.8	77.6	81.3
kW	57.6	60.1	62.5	60.0	62.5	65.0	68.4	71.7	75.0	73.8	77.6	81.3
Efficiency (%)	87.4	87.6	87.8	87.3	87.6	87.8	87.0	87.2	87.4	86.7	86.9	87.1
kW Input	65.9	68.6	71.2	68.7	71.3	74.0	78.6	82.2	85.8	85.1	89.3	93.3



UCM274E

STAMFORD

DIMENSIONS



SINGLE BEARING ADAPTORS				
ADAPTOR	A	B	C	D
SAE 1	928.3	865.3	389.3	216.3
SAE 2	874	801	375	202
SAE 3	874	801	375	202

COUPLING DISCS	
DISC	AW
SAE 10	53.98
SAE 11.0	39.68
SAE 14	25.42

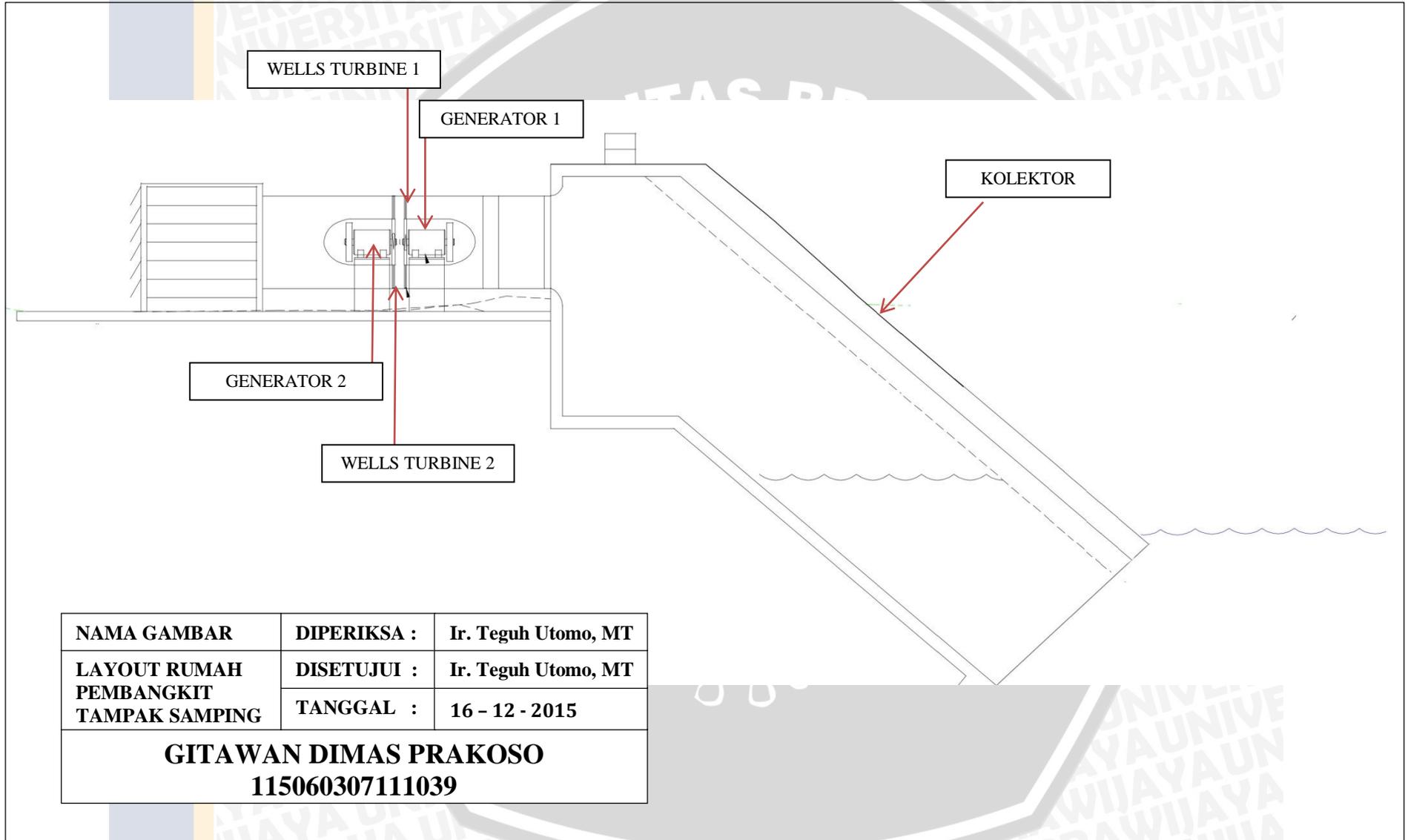
DOCUMENT



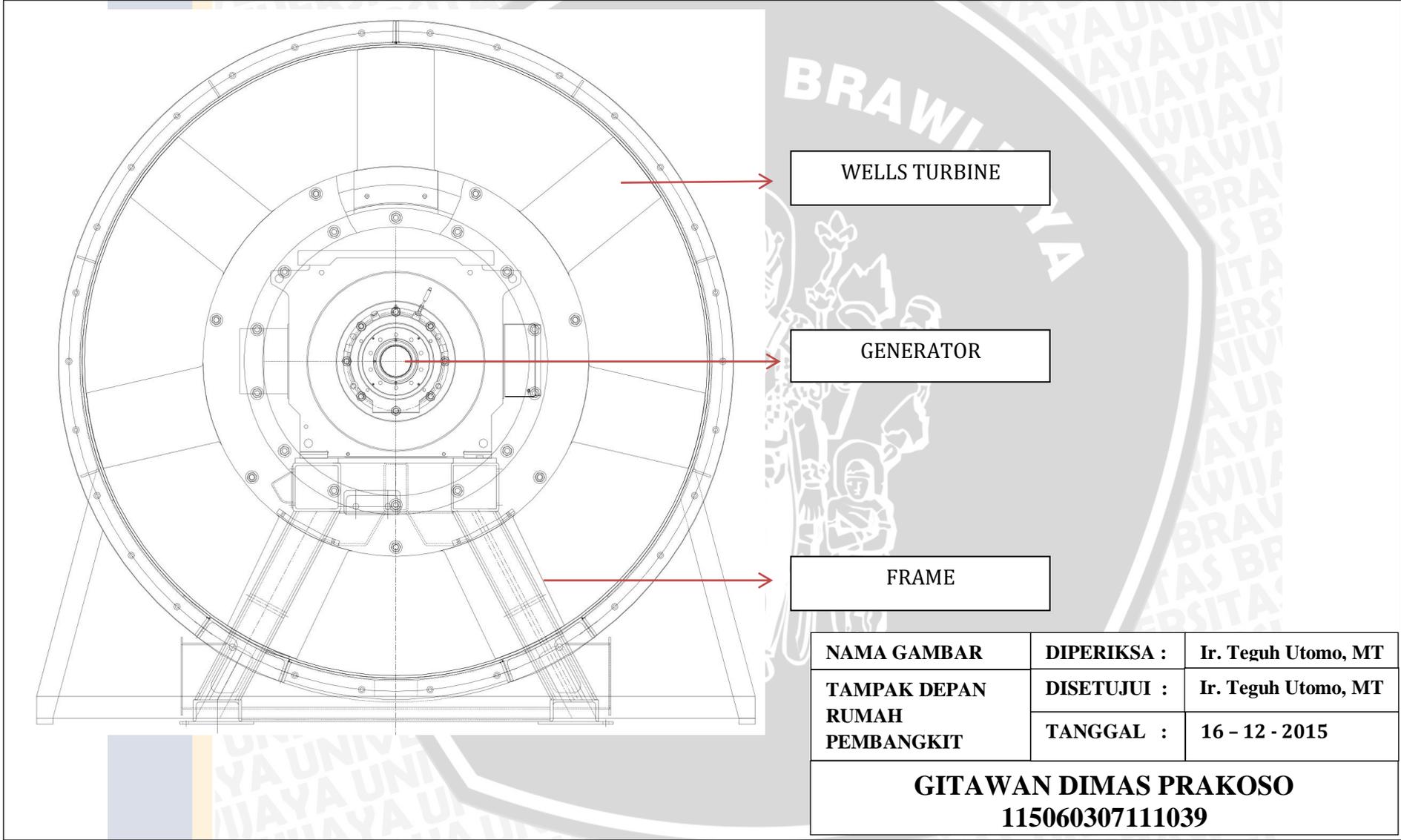
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

**LAMPIRAN 6
LAYOUT PLTGL SISTEM OWC**





NAMA GAMBAR	DIPERIKSA :	Ir. Teguh Utomo, MT
LAYOUT RUMAH PEMBANGKIT TAMPAK SAMPING	DISETUJUI :	Ir. Teguh Utomo, MT
	TANGGAL :	16 - 12 - 2015
GITAWAN DIMAS PRAKOSO 115060307111039		



WELLS TURBINE

GENERATOR

FRAME

NAMA GAMBAR	DIPERIKSA :	Ir. Teguh Utomo, MT
TAMPAK DEPAN RUMAH PEMBANGKIT	DISETUJUI :	Ir. Teguh Utomo, MT
	TANGGAL :	16 - 12 - 2015

**GITAWAN DIMAS PRAKOSO
115060307111039**