



SKRIPSI - ME 141501

**Perancangan Pembangkit Listrik Alternatif Menggunakan
Overtopping Tapered Channel di Pantai Utara Kabupaten
Sikka NTT Sebagai Upaya Pemenuhan Rasio Elektrifikasi di
Indonesia Timur**

Hilmi Yahya Herlambang
NRP 0421144000052

Dosen Pembimbing
Dr. Ir. A A Masroeri, M. Eng.

DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
2018

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

SKRIPSI - ME 141501

**DESIGN OF ALTERNATE POWERPLANT USING OVERTOPPING
TAPERED CHANNEL ON SIKKA RESIDENCE OF NTT NORTHERN
COAST AS AN ATTEMPT TO FULFILL THE ELECTRICITY RATIO
IN EASTERN INDONESIA**

Hilmi Yahya Herlambang
NRP 0421144000052

Supervisors
Dr. Ir. A A Masroeri, M. Eng.

DEPARTEMEN OF MARINE ENGINEERING
FACULTY OF MARITIME TECHNOLOGY
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
2018

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LEMBAR PENGESAHAN

Perancangan Pembangkit Listrik Alternatif Menggunakan Overtopping
Tapered Channel di Pantai Utara Kabupaten Sikka NTT Sebagai Upaya
Pemenuhan Rasio Elektrifikasi di Indonesia Timur

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik

pada

Bidang Studi *Marine Electric and Automation System (MEAS)*
Program Studi S-1 Departemen Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

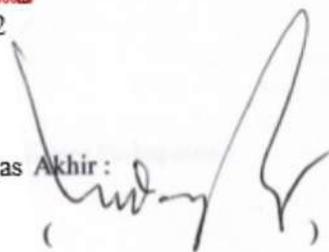
Oleh :

Hilmi Yahya Herlambang

NRP. 0421144000052

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir :

Dr. Ir. A. A Masroeri, M. Eng.



“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LEMBAR PENGESAHAN

Perancangan Pembangkit Listrik Alternatif Menggunakan *Overtopping Tapered Channel* di Pantai Utara Kabupaten Sikka NTT Sebagai Upaya Pemenuhan Rasio Elektrifikasi di Indonesia Timur

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada

Bidang Studi *Marine Electric and Automation System* (MEAS)
Program Studi S-1 Departemen Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

Hilmi Yahya Herlambang

NRP. 0421144000052

Disetujui oleh Kepala Departemen Teknik Sistem Perkapalan :



“Halaman ini sengaja dikosongkan”

Perancangan Pembangkit Listrik Alternatif Menggunakan *Overtopping Tapered Channel* di Pantai Utara Kabupaten Sikka NTT Sebagai Upaya Pemenuhan Rasio Elektrifikasi di Indonesia Timur

Nama Mahasiswa : Hilmi Yahya Herlambang
NRP : 0421144000052
Departemen : Teknik Sistem Perkapalan ITS
Dosen Pembimbing : Dr. Ir. A A Masroeri, M. Eng.

Abstrak

Gelombang laut merupakan energi alternatif yang bersih dan terbarukan serta memiliki potensi yang sangat besar untuk dapat dikonversikan menjadi energi listrik. Jika sepenuhnya dimanfaatkan, potensinya dapat memenuhi sekitar 40% kebutuhan listrik diseluruh dunia - ekuivalen dengan 800 pembangkit listrik tenaga nuklir. Sebagai Negara kepulauan, beberapa daerah akan sulit untuk dijangkau dan pastinya akan memiliki masalah berupa krisis kelistrikan, namun, jika melihat kondisi geografis di Indonesia yang dikelilingi laut, maka dapat dimanfaatkan salah 1 energi alternatif sebagai pembangkit listrik, yaitu gelombang. Pada skala kecil dengan kuantitas yang cukup tinggi, energi kinetik gelombang laut dapat dimanfaatkan untuk diubah menjadi energi potensial dengan menggunakan *Overtopping Tapered Channel* dimana pada daerah sekitar garis pantai akan dibuat saluran yang menyempit sehingga gelombang akan membawa air laut menuju *reservoir* pada ketinggian diatas permukaan air laut. Tujuannya adalah membuat air laut terkumpul pada suatu bendungan, lalu energi potensialnya dapat disalurkan menuju turbin untuk memutar generator dan membangkitkan listrik yang kemudian dapat disalurkan guna memenuhi kebutuhan listrik di masyarakat.

Kata kunci : Krisis Energi, Gelombang Laut, Energi Alternatif, Energi Kinetik, Energi Potensial.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

Design of Alternate Powerplant Using Overtopping Tapered Channel on Sikka Residence of NTT Northern Coast as an Attempt to Fulfill The Electricity Ratio in Eastern Indonesia

Name of Student : Hilmi Yahya Herlambang
NRP : 0421144000052
Department : Marine Engineering
Supervisor : Dr. Ir. A A Masroeri M.Eng

Abstract

Ocean wave is an alternate, clean and renewable energy that possess tremendous amount of potential that is very convenient to be converted into electricity. When fully utilized, it is capable of fulfilling around 40% of electricity demand in the world – it is believed to be equivalent to that of 800 nuclear power plants. As an archipelago country, there are many smaller region than others that are having hard times accessing centralized electricity, thus, they are tend to have lacked in many living aspect than other regions. But then, if we are to look out the surrounding geography condition in Indonesia which is surrounded by the ocean, it is very suitable to harness the bane into a boon, and that is the ocean wave energy. On a small scale, but with enough quantity, ocean wave kinetic energy is potentially converted into other form of useful energy, which is electricity, using the Overtopping Tapered Channel as a collector, where an area around the coast will be built a tapered channel that grow smaller as it ascend into an open reservoir above sea level. Seawater will then collected in an elevated reservoir. The potential energy from head difference can be channeled into canals that has turbines to make a good use of a generator to generate electricity. The generated electricity can be distributed to fulfill the demand of power for common people.

Keywords : Energy Crysis, Ocean Wave, Alternative Energy, Kinetic Energy, Potential Energy.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah Azza Wa Jalla, yang telah memberikan rahmat dan anugerah-Nya, sehingga penulis mampu menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul **Perancangan Pembangkit Listrik Alternatif Menggunakan *Overtopping Tapered Channel* di Pantai Utara Kabupaten Sikka NTT Sebagai Upaya Pemenuhan Rasio Elektrifikasi di Indonesia Timur** dengan baik dan tepat waktu. Tugas akhir tersebut diajukan sebagai salah satu persyaratan kelulusan program studi sarjana Departemen Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknologi kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Dalam proses penyelesaian Tugas Akhir dan keberhasilan menempuh program studi sarjana, tidak lepas dari bantuan dan dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu penulis menyampaikan rasa terima kasih kepada pihak-pihak di bawah ini, yaitu :

1. Kedua orang tua penulis, Ibu Dariaty Nuraida dan Bapak Mohammad Yahya yang selalu mendukung dan memberikan semangat kepada penulis setiap kegiatan dan aktivitas hingga saat ini serta mengingatkan untuk taat beribadah.
2. Saudara penulis, Redi Sukma Mandiri, Medika Obtetriana, dan Hilmaya Puspa Dania yang hanya ada 3 didunia ini
3. Bapak Raja Oloan Saut Gurning, S.T., M.Sc., Ph.D., selaku dosen wali yang telah banyak memberikan bimbingan dan pendidikan baik akademik maupun non akademik sehingga kami sebagai mahasiswa wali dapat belajar bekerja keras, pantang menyerah, dan bekerjasama.
4. Bapak Dr. Ir A A Masroeri M.Eng, selaku dosen pembimbing penulis dan dosen pengampu Laboratorium MEAS yang telah membimbing penulis dalam menyelesaikan penelitian Tugas Akhir dan memberikan motivasi untuk terus belajar dan mengembangkan diri.
5. Bapak Ir. Hari Prastowo M.Sc, Bapak Ir. Tony Bambang Musrijadi PGD, serta Bapak Dr. Eng. M. Badrus Zaman, S.T., M.T, yang telah membimbing penulis dalam mata kuliah Desain I, II, dan IV serta seluruh dosen, tenaga kependidikan serta manajemen Departemen Teknik Sistem Perkapalan FTK – ITS.
6. Kawan seperjuangan angkatan MERCUSUAR '14 yaitu Raka, Barok, Lele, Icol, Ikbar, Galih, Irul, Sabil, Pandu, Azizah, Mayong, Trisatya, Nicol, dan teman-teman angkatan yang telah menjadi teman dan bagian dari pengalaman penulis.
7. Seluruh member MEAS dan MMS yang telah menjadi keluarga penulis selama di Surabaya.
8. Seluruh kakak tingkat yang telah memberikan teladan dan bagian dari pengalaman penulis dalam belajar menjadi manusia yang termanusiakan.
9. Seluruh adik-adik angkatan SALVAGE'15, VOYAGE'16, dan teman-teman SAFARY ITS yang menjadi kawan selama menempuh pendidikan di ITS.

10. Seluruh teman-teman basket komplek SDR yang tanpa disadari telah mengikat silaturahmi dan menjadi bagian pengalaman perkuliahan penulis.
11. Kepada pihak yang tidak bisa disebutkan satu per satu, terima kasih atas segala bantuan dan dukungan yang telah diberikan kepada penulis.

Penulis menyadari bahwa penelitian yang dilakukan dalam tugas akhir ini jauh dari sebuah kesempurnaan, oleh karenanya kritik dan saran sangat terbuka untuk menjadikan karya yang lebih baik dan memberikan kebermanfaatan. Penulis berharap bahwa karya tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi penulis dan bagi seluruh pembaca di kemudian hari.

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	v
LEMBAR PENGESAHAN	vii
KATA PENGANTAR	xiii
DAFTAR ISI	xv
DAFTAR GAMBAR	xvii
DAFTAR TABEL	xix
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat	3
1.6 Sistematika Penulisan	5
BAB II STUDI LITERATUR	5
2.1 Landasan Teori	5
2.2 Gelombang Laut	5
2.2.1 Definisi Gelombang Laut	5
2.2.2 Pengaruh Gelombang Laut	6
2.2.3 Klasifikasi Gelombang Laut	7
2.3 Overtopping Wave Energy Converter	9
2.4 Tapered Channel Device	10
2.4.1 Reservoir	11
2.4.2 Tapered Channel	11
2.4.3 Canal	12
2.5 Turbin Kaplan	12
2.6 Generator Listrik	13
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	15
BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN	21
4.1 Gambaran Umum	21
4.2 Data	22
4.2.1 Data Profil Pantai	22
4.2.2 Data Gelombang	24
4.2.3 Data Pasang Surut	27
4.3 Perancangan Pembangkit	28
4.3.1 Perancangan Tapered Channel	28
4.3.2 Penentuan Ukuran Reservoir	39
4.3.3 Perancangan Canal	44
4.4 Analisis Perhitungan Simulasi Turbin	56
4.4.1 Analisis Desain Turbin Kaplan	56
4.4.2 Analisis Hasil Simulasi Turbin Kaplan	57
4.4.3 Perhitungan Hasil Simulasi Turbin Kaplan	64
4.5 Analisis Ekonomi Pembangkit	73
4.5.1 Biaya Pembangunan	73
4.5.2 Investasi	77
4.5.3 Gaji Pegawai	78
4.5.4 Biaya Survey	79

DAFTAR ISI

4.5.5 Pendapatan Per Tahun	79
BAB V PENUTUPAN	81
5.1 Kesimpulan	81
5.2 Saran	82
DAFTAR PUSTAKA	83
BIOGRAFI PENULIS	85
LAMPIRAN	87

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Rasio Elektrifikasi Nasional 2017	1
Gambar 1.2 Statistik Ketenagalistikan 2016	1
Gambar 2.1 pergerakan partikel zat cair pada gelombang	6
Gambar 2.2 Ilustrasi perubahan gelombang	7
Gambar 2.3 2 Tipe gelombang berdasarkan sifatnya	8
Gambar 2.4 Skema aliran teknologi <i>Wave</i>	9
Gambar 2.5 Konfigurasi <i>Tapered Channel Device</i>	10
Gambar 2.6 <i>Tapered Channel</i>	11
Gambar 2.7 Turbin Kaplan	13
Gambar 2.8 Generator Listrik	13
Gambar 3.1 Diagram Arus Metodologi Penelitian	15
Gambar 3.2 Timeline Penelitian	19
Gambar 4.1 Lokasi Pantai Sikka	21
Gambar 4.2 Lokasi Terpilih Menjorok Pantai	22
Gambar 4.3 Profil Melintang Kearah Pantai	22
Gambar 4.4 Lokasi Terpilih Searah Pantai	23
Gambar 4.5 Profil Melintang Searah Pantai	23
Gambar 4.6 Grafik Rataan Ketinggian Gelombang 2016	24
Gambar 4.7 Grafik Rataan Ketinggian Gelombang 2017	25
Gambar 4.8 Grafik Rataan Ketinggian Gelombang 2018	25
Gambar 4.9 Grafik Rataan Kecepatan Gelombang 2016	26
Gambar 4.9 Grafik Rataan Kecepatan Gelombang 2017	26
Gambar 4.9 Grafik Rataan Kecepatan Gelombang 2018	26
Gambar 4.12 Grafik Durasi Maksimal Surut Air Laut 2017	27
Gambar 4.13 Rancangan <i>Tapered Channel</i> intake 11 meter	28
Gambar 4.14 Grafik H Swell vs Intake	29
Gambar 4.15 <i>Tapered Channel</i> Intake 3 meter	31
Gambar 4.16 Dimensi <i>Tapered Channel</i> Intake 3 meter	32
Gambar 4.17 Dimensi <i>Tapered Channel</i> Intake 7 meter	32
Gambar 4.18 Dimensi <i>Tapered Channel</i> Intake 7 meter	33
Gambar 4.19 Dimensi <i>Tapered Channel</i> Intake 11 meter	34
Gambar 4.20 Dimensi <i>Tapered Channel</i> Intake 11 meter	35
Gambar 4.21 Simulasi <i>Tapered Channel</i> pada Ansys Fluent	36
Gambar 4.22 Hasil perhitungan efisiensi pada simulasi <i>Tapered Channel</i> 3 meter pada Ansys Fluent	37
Gambar 4.23 Hasil perhitungan efisiensi pada simulasi <i>Tapered Channel</i> 7 meter pada Ansys Fluent	37
Gambar 4.24 Hasil perhitungan efisiensi pada simulasi <i>Tapered Channel</i> 11 meter pada Ansys Fluent	38
Gambar 4.25 Penampang Kemiringan Reservoir	41
Gambar 4.26. Desain Canal	55
Gambar 4.27. Dimensi utama desain canal	55
Gambar 4.28. Desain Turbin Kaplan dengan 5 daun	56

DAFTAR GAMBAR

Gambar 4.29. Simulasi aliran pada Turbin Kaplan	58
Gambar 4.30. Hasil Simulasi Turbin Kaplan pada Head Reservoir 6 meter	59
Gambar 4.31. Hasil Simulasi Turbin Kaplan pada Head Reservoir 6 meter	59
Gambar 4.32. Hasil Simulasi Turbin Kaplan pada Head Reservoir 5 meter	60
Gambar 4.33. Hasil Simulasi Turbin Kaplan pada Head Reservoir 5 meter	60
Gambar 4.34. Hasil Simulasi Turbin Kaplan pada Head Reservoir 4 meter	61
Gambar 4.35. Hasil Simulasi Turbin Kaplan pada Head Reservoir 4 meter	61
Gambar 4.36. Hasil Simulasi Turbin Kaplan pada Head Reservoir 3 meter	62
Gambar 4.37. Hasil Simulasi Turbin Kaplan pada Head Reservoir 3 meter	62
Gambar 4.38. Hasil Simulasi Turbin Kaplan pada Head Reservoir 2 meter	63
Gambar 4.39. Hasil Simulasi Turbin Kaplan pada Head Reservoir 2 meter	63
Gambar 4.40. Hubungan antara gerak melingkar dengan RPM	64
Gambar 4.41. Spesifikasi generator untuk Turbin Kaplan	65
Gambar 4.42. Spesifikasi gearbox untuk generator	66
Gambar 4.43. Grafik perbandingan Torsi, RPM, dan Daya generator 800kw	70
Gambar 4.44. Grafik perbandingan Torsi, RPM, dan Daya generator 500kw	71
Gambar 4.45. Perhitungan <i>Capacity Factor</i>	73
Gambar 4.46. Tingkat elevasi tanah	76

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Tabel Dimensi Tapered Channel	30
Tabel 2. Tabel perhitungan debit channel penelitian historis	35
Tabel 3. tabel perhitungan debit channel simulasi	39
Tabel 4. Tabel Dimensi Reservoir 1 & 2	39
Tabel 5. Tabel Dimensi Reservoir 3 & 4	39
Tabel 6. Tabel Dimensi Reservoir 5 & 6	40
Tabel 7. Tabel Dimensi Reservoir 7 & 8	40
Tabel 8. Tabel Dimensi Reservoir 9 & 10	40
Tabel 9. Tabel Dimensi Reservoir 11	40
Tabel 10. Rasio Kemiringan Volume Reservoir	42
Tabel 11. Losses kapasitas akibat kemiringan - 1&2	42
Tabel 12. Losses kapasitas akibat kemiringan - 3&4	42
Tabel 13. Losses kapasitas akibat kemiringan - 5&6	42
Tabel 14. Losses kapasitas akibat kemiringan - 7&8	43
Tabel 15. Losses kapasitas akibat kemiringan - 9&10	43
Tabel 16. Losses kapasitas akibat kemiringan - 11	43
Tabel 17. Debit Discharge 1 - 4	44
Tabel 18. Debit Discharge 5 - 8	45
Tabel 19. Debit Discharge 9 - 11	46
Tabel 20. kecepatan pada perbedaan ketinggian	47
Tabel 21. kecepatan pada perbedaan ketinggian - 1	48
Tabel 22. kecepatan pada perbedaan ketinggian - 2	49
Tabel 23. Jumlah channel pada perbedaan lebar reservoir	50
Tabel 24. Debit pada jumlah channel maksimum	51
Tabel 25. Hubungan inlet – discharge 1	51
Tabel 26. Hubungan inlet – discharge 2	53
Tabel 27. Parameter pada canal	57
Tabel 28. Tabel Hasil Simulasi Aliran Turbin Kaplan	64
Tabel 29. Hubungan antara gerak lurus dan melingkar	64
Tabel 30. Hubungan antara gerak melingkar dengan RPM	65
Tabel 31. Tabel perhitungan output turbin dengan rasio gearbox	66
Tabel 32. Daya yang dihasilkan generator pada Turbin Kaplan dengan head 6 meter	67
Tabel 33. Daya yang dihasilkan generator pada Turbin Kaplan dengan head 5 meter	67
Tabel 34. Daya yang dihasilkan generator pada Turbin Kaplan dengan head 4 meter	68
Tabel 35. Daya yang dihasilkan generator pada Turbin Kaplan dengan head 3 meter	68
Tabel 36. Daya yang dihasilkan generator pada Turbin Kaplan dengan head 2 meter	69
Tabel 37. Hasil Keseluruhan Daya Pembangkit	72
Tabel 38. Harga Satuan Pokok Kegiatan 2017	74
Tabel 39. Volume pejal material struktur pembangkit	74
Tabel 40. Harga Struktur Pembangkit	75
Tabel 41. Gaji Pekerja Konstruksi	75
Tabel 42. Harga total investasi dredging	76
Tabel 43. Harga Material Turbin Kaplan	77
Tabel 44. Harga Generator dan Gearbox	77

DAFTAR TABEL

Tabel 45. Perhitungan Office dan Workshop	78
Tabel 46. Perhitungan Biaya Pembangunan Pembangkit	78
Tabel 47. Gaji pegawai per tahun	79
Tabel 48. Biaya Survey dan Perawatan	79
Tabel 49. Total Pendapatan Per Tahun	79

BAB I PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Di era modern ini, listrik seakan telah menduduki posisi teratas pada piramida kebutuhan manusia. Tidak terkecuali dengan Indonesia, khususnya di daerah daerah yang sedang berkembang, salah satunya adalah Nusa Tenggara Timur. Menurut data Perusahaan Listrik Negara tahun 2017 mengenai Rasio Elektrifikasi Nasional, didapat angka 59.17% untuk wilayah Nusa Tenggara Timur (gambar 1.1).



Gambar 1.1 Rasio Elektrifikasi Nasional 2017 (sumber: Kementerian ESDM)

25	Sulawesi Tengah	Central Sulawesi	-	-	-	-	130,99	-	9,61	-	-	-	-	140,60
26	Sulawesi Barat	West Sulawesi	-	-	-	-	3,46	-	-	-	-	-	-	3,46
27	Sulawesi Selatan	South Sulawesi	100,00	-	122,72	-	66,26	148,50	-	4,78	-	-	1,30	445,57
28	Sulawesi Tenggara	South East Sulawesi	34,00	-	-	-	96,85	1,60	-	2,56	-	-	0,85	137,65
29	Nusa Tenggara Barat	West Nusa Tenggara	60,00	-	-	-	110,26	-	4,46	0,10	-	-	1,67	166,62
30	Nusa Tenggara Timur	East Nusa Tenggara	47,00	-	-	-	153,82	-	3,91	-	10,00	0,09	1,98	216,79
31	Maluku	Maluku	-	-	-	-	156,12	-	-	-	-	-	0,86	156,01
32	Maluku Utara	North Maluku	7,00	-	-	-	51,00	-	-	-	-	-	-	58,00
33	Papua	Papua	-	-	-	-	86,65	23,94	-	-	-	-	0,30	113,89
34	Papua Barat	West Papua	-	-	-	-	57,00	2,00	2,50	-	-	-	-	62,40

Gambar 1.2 Statistik Ketenagalistikan 2016 (sumber: Kementerian ESDM)

Berdasarkan data statistik PLN 2016 (gambar 1.2) mengenai kapasitas terpasang tenaga listrik nasional, didapat angka 216 MW untuk provinsi Nusa Tenggara Timur. Dengan kalkulasi rasio elektrifikasi 59.17% dan kapasitas yang terpasang sebesar 216 MW, didapatkan kapasitas yang dibutuhkan yaitu sebesar 366 MW. Ini berarti masih dibutuhkan kapasitas sebesar 150 MW untuk pemenuhan rasio elektrifikasi di Provinsi Nusa Tenggara Timur. Sebagai upaya percepatan pemerataan produksi listrik di Provinsi Nusa Tenggara Timur, maka dilakukanlah penelitian terkait energi baru terbarukan

mengenai konversi energi gelombang laut menjadi listrik menggunakan konfigurasi *Overtopping Tapered Channel*.

Dalam sejarah manusia, sejauh ini telah ditemukan 3 sistem dasar dalam konversi pemanfaatan energi gelombang, yaitu:

- *Offshore*
- *Near Shore*
- *Embedded Devices*

Pada sistem *Offshore*, tipikal desain yang digunakan yaitu menangkap pergerakan atau perbedaan tekanan pada gelombang laut. Pada sistem *Near Shore*, gelombang memiliki amplitudo tertinggi, sehingga dapat diraih energi gelombang maksimal. Dan yang terakhir yaitu *embedded device*, dimana desain diletakan digaris pantai untuk menerima ombak yang pecah.

Pantai Utara Kabupaten Sikka memiliki ombak yang tinggi, dengan rata rata 2 – 3m (Badan Meteorologi Klimatologi & Geofisika 2018) hampir di sepanjang garis pantai, hal tersebut merupakan kondisi geografis yang sangat baik bagi kebutuhan operasional pembangkit listrik tenaga gelombang. Namun untuk penerapan *wave farm*, yaitu pemanfaatan energi gelombang secara massal di area yang luas, dirasa kurang cocok jika menerapkan sistem *Offshore* dan *Near Shore*, karena keduanya akan men *shut-down* kapabilitas pesisir sebagai lokasi rekreasi maupun lokasi produktif bagi nelayan untuk menangkap ikan. Maka dari itu, sistem yang sesuai untuk diimplementasikan dalam *energy harnessing* untuk mengkonversi energi gelombang menjadi energi baru terbarukan adalah sistem *Embedded Devices*.

Pada sistem *Embedded Devices*, aset akan dibangun digaris pantai. *Embedded Device* satau selama ini lebih dikenal sebagai *wave capture device*, akan mengubah energi gelombang dan menampungnya sebagai energi potensial. Salah 1 konfigurasi dari *wave capture device* adalah *overtopping tapered channel*, dimana akan dibuat saluran besar yang menyempit lalu fluida yang dibawa melalui energi gelombang akan memasuki suatu reservoir yang berada pada permukaan yang lebih tinggi dari permukaan laut. Sistem tersebut telah diterapkan di Toftestallen, Norwegia pada tahun 1985 dan efektif menghasilkan rated power sebesar 350 kW. Kelebihan sistem ini dibandingkan 2 sistem lain yaitu, sistem ini memanfaatkan konversi energi gelombang menjadi energi potensial, sehingga dapat ditampung dan dimanfaatkan kemudian. Sedangkan pada sistem *Offshore* dan *Near Shore* energi akan diubah secara spontan pada saat gelombang mengalami *impact* terhadap *device*. Keunggulan lain dari *wave capture device* adalah, aset dilapangan akan turut melindungi pantai dari abrasi, serta dapat mengubah energi yang

dinamis dan tidak stabil menjadi energi statis yang stabil dan lebih mudah untuk dikonversikan menjadi bentuk lain.

Pembangkit listrik tenaga gelombang dengan konfigurasi *overtopping tapered channel* adalah solusi untuk mengatasi permasalahan kelistrikan di Provinsi Nusa Tenggara Timur, karena yang seperti kita ketahui, listrik merupakan aspek yang sangat penting bagi kemajuan daerah yang sedang berkembang. Lalu diharapkan dengan terpenuhinya kebutuhan akan kelistrikan akan berdampak secara menyeluruh terhadap sektor lain di Provinsi Nusa Tenggara Timur. Pemilihan lokasi pembangunan pada pembangkit terkait juga diusahakan pada daerah yang cukup jauh pemukiman warga sehingga proses pembangunan serta operasi harian tidak akan mengganggu kegiatan warga. Serta diharapkan juga dengan penggunaan energi baru terbarukan akan dapat membantu dalam mengurangi emisi yang disebabkan oleh pembakaran bahan bakar fosil.

I.2 Perumusan Masalah

Rumusan masalah yang akan dibahas dalam penelitian ada 4, yaitu :

1. Bagaimana merancang dan mensimulasikan pembangkit listrik tenaga gelombang dengan konfigurasi *Overtopping Tapered Channel* di pantai utara Kabupaten Sikka Provinsi Nusa Tenggara Timur?
2. Bagaimana analisa biaya CAPEX dan OPEX terhadap pembangkit listrik tersebut?

I.3 Batasan Masalah

Batasan masalah dibuat agar lingkup penelitian ini menjadi lebih terpusat, yaitu :

1. Lokasi yang diamati adalah pantai utara Kabupaten Sikka Provinsi Nusa Tenggara Timur
2. Analisa kekuatan pada struktur model tidak dilakukan
3. Analisa tidak meliputi distribusi listrik dari garis pantai hingga pemukiman penduduk

I.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mendapat rancangan dan hasil simulasi berupa energi potensial dari pembangkit listrik tenaga gelombang dengan konfigurasi *Overtopping Tapered Channel* pada lokasi penelitian
2. Mengetahui analisa biaya CAPEX dan OPEX terhadap pembangkit listrik yang akan dibangun

I.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Secara Akademik

- Mendapatkan informasi tentang pembangkit listrik alternative sebagai solusi atas krisis energi di Nusa Tenggara Timur
 - Meneliti lebih lanjut tentang energi potensial gelombang
2. Untuk Masyarakat Pesisir Pantai
- Memberikan informasi terhadap masyarakat publik mengenai isu krisis energi
 - Memberikan solusi untuk mengatasi masalah lingkungan dengan adanya *prototype* energi baru terbarukan
3. Untuk Pemerintah
- Menyajikan solusi untuk permasalahan pemerataan distribusi energi didaerah terdepan, terluar, dan tertinggal serta pencegahan krisis energi dimasa mendatang menggunakan energi baru terbarukan (EBT)
 - Sebagai referensi atas implementasi program *Green Energy* di Indonesia

BAB II STUDI LITERATUR

Pada bagian ini penulis melakukan studi literatur dengan mencari buku referensi, jurnal, *working paper*, tesis dan internet untuk menyusun landasan teori serta penelitian terdahulu yang digunakan sebagai dasar dan acuan untuk menyelesaikan masalah yang ada pada penelitian ini.

2.1 Landasan Teori

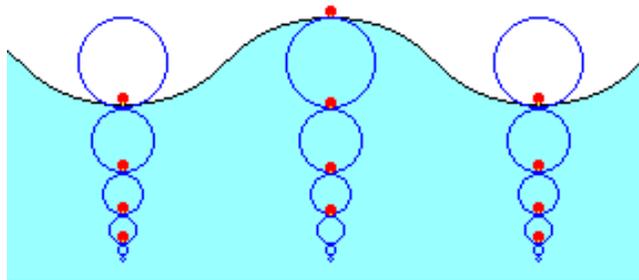
Landasan teori menguraikan dasar dari pengetahuan dan teori yang digunakan oleh penulis sebagai acuan dalam melaksanakan penelitian. Yang akan dibahas yaitu antara lain gelombang laut, *low head axial turbine*, generator listrik, *Overtopping Wave Energy Converter*, serta *Tapered Channel Device*.

2.2 Gelombang Laut

Gelombang/ombak yang terjadi di lautan dapat diklasifikasikan menjadi beberapa macam tergantung kepada gaya pembangkitnya. Pembangkit gelombang laut dapat disebabkan oleh: angin, gaya tarik menarik bumi-bulan-matahari atau gelombang pasang-surut, gempa vulkanik atau tektonik di dasar laut atau biasa disebut gelombang tsunami, maupun gelombang yang disebabkan oleh gerakan kapal. Energi gelombang akan membangkitkan arus dan mempengaruhi pergerakan sedimen dalam arah tegak lurus pantai (*cross-shore*), dan sejajar pantai (*long-shore*). Pada perencanaan teknis pembangunan *Wave Energy Converter* gelombang merupakan faktor utama yang diperhitungkan karena merupakan sumber energi kinetic yang kemudian akan diolah menjadi energi dalam bentuk lain. (Triatmojo, 1999)

2.2.1 Definisi Gelombang Laut

Gelombang adalah pergerakan naik dan turunnya air dengan arah tegak lurus permukaan air laut yang membentuk kurva/grafik sinusoidal. Gelombang laut disebabkan oleh angin. Angin di atas lautan mentransfer energinya ke perairan, menyebabkan riak-riak, alun/bukit, dan berubah menjadi apa yang kita sebut sebagai gelombang. Ketika dilakukan pengamatan spesifik terhadap gerakan gelombang laut, ternyata didapatkan bahwa air gelombang tidak bergerak maju, melainkan bergerak melingkar, sehingga air hanya bergerak naik turun ketika gelombang melintas (gambar 2.1). Gelombang dapat bergerak untuk jarak yang jauh, tetapi mediumnya yakni cair, padat atau gas hanya dapat bergerak terbatas.



Gambar 2.1 pergerakan partikel zat cair pada gelombang (sumber: Triatmojo, 1999)

Dalam usaha menjelaskan tentang gerakan gelombang laut, ada banyak teori yang diperkenalkan, tetapi hanya ada 2 teori yang dianggap paling tepat dan saling melengkapi, yaitu :

2.2.1.1. Teori oleh Phillips

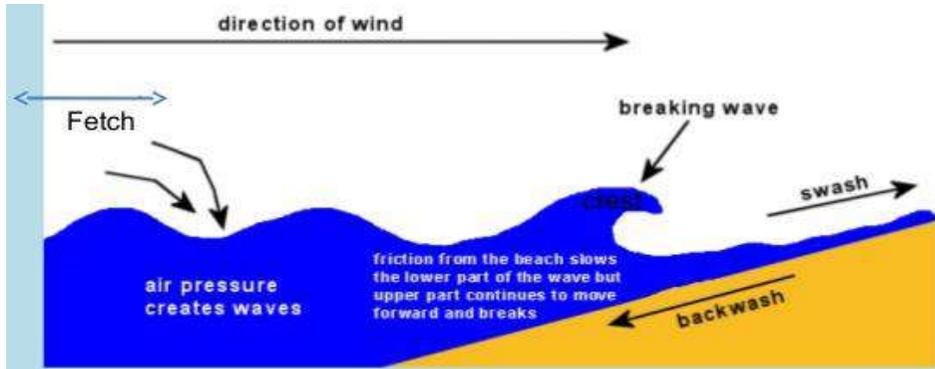
Turbulensi dalam angin menyebabkan fluktuasi acak permukaan laut sehingga menghasilkan gelombang-gelombang kecil dengan panjang gelombang beberapa sentimeter (cm). Gelombang-gelombang kecil ini kemudian tumbuh semakin besar melalui proses resonansi dengan fluktuasi tekanan turbulensi.

2.2.1.2. Teori oleh Miles

Teori ini dikenal dengan teori ketidakstabilan atau teori mekanisme arus balik (feed-back mechanisme) yang menyatakan bahwa : Ketika ukuran gelombang-gelombang kecil yang sedang tumbuh mulai mengganggu aliran udara di atasnya, angin yang bertiup akan memberikan tekanan yang semakin kuat seiring dengan meningkatnya ukuran gelombang, sehingga gelombang semakin besar. Proses pemindahan energi ini berlangsung secara tidak stabil, semakin besar ukuran gelombangnya, ketidakstabilan menyebabkan gelombang tumbuh secara eksponensial.

2.2.2 Pengaruh Gelombang Laut

Pada kondisi sesungguhnya di alam, pergerakan orbital di perairan dangkal (*shallow water*) dekat dengan kawasan pantai dapat dilihat pada gambar dibawah ini (gambar 2.2). Pada gambar tersebut, dapat kita bayangkan bagaimana energi gelombang mampu mempengaruhi kondisi pantai.



Gambar 2.2 Ilustrasi perubahan gelombang (sumber: Triatmojo, 1999)

Ketinggian dan periode gelombang tergantung kepada panjang fetch pembangkitannya. Fetch adalah jarak perjalanan tempuh gelombang dari awal pembangkitannya. Fetch ini dibatasi oleh bentuk daratan yang mengelilingi laut. Semakin panjang jarak fetchnya, ketinggian gelombangnya akan semakin besar. Angin juga mempunyai pengaruh yang penting pada ketinggian gelombang. Angin yang lebih kuat akan menghasilkan gelombang yang lebih besar.

Gelombang yang menjalar dari laut dalam (deep water) menuju ke pantai akan mengalami perubahan bentuk karena adanya perubahan kedalaman laut. Apabila gelombang bergerak mendekati pantai, pergerakan gelombang di bagian bawah yang berbatasan dengan dasar laut akan melambat. Ini adalah akibat dari friksi/gesekan antara air dan dasar pantai. Sementara itu, bagian atas gelombang di permukaan air akan terus melaju. Semakin menuju ke pantai, puncak gelombang akan semakin tajam dan lembahnya akan semakin datar. Fenomena ini yang menyebabkan gelombang tersebut kemudian pecah.

2.2.3 Klasifikasi Gelombang Laut

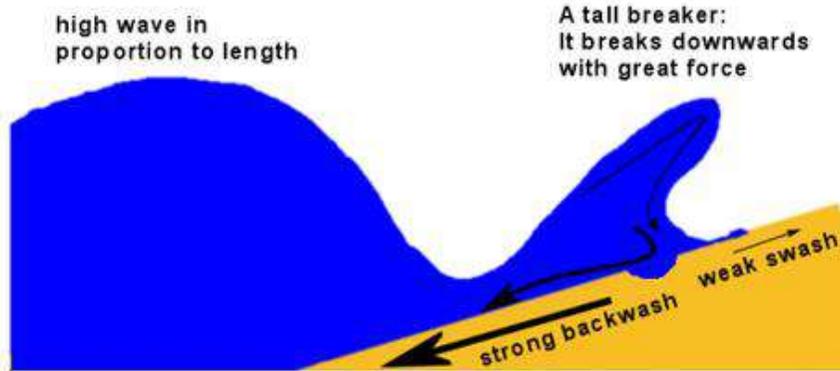
Berdasarkan sifatnya, ada dua macam gelombang (Triatmojo 1999) yaitu:

- Gelombang pembentuk pantai (*Constructive wave*).
- Gelombang perusak pantai (*Destructive wave*).

Constructive Waves



Destructive Waves



Gambar 2.3 2 Tipe gelombang berdasarkan sifatnya (sumber: Triatmojo, 1999)

Yang termasuk gelombang pembentuk pantai, bercirikan mempunyai ketinggian kecil dan kecepatan rambatnya rendah. Sehingga saat gelombang tersebut pecah di pantai akan mengangkut sedimen (material pantai). Material pantai akan tertinggal di pantai (deposit) ketika aliran balik dari gelombang pecah meresap ke dalam pasir atau pelan-pelan mengalir kembali ke laut. Sedangkan gelombang perusak pantai biasanya mempunyai ketinggian dan kecepatan rambat yang besar (sangat tinggi). Air yang kembali berputar mempunyai lebih sedikit waktu untuk meresap ke dalam pasir. Ketika gelombang datang kembali menghantam pantai akan ada banyak volume air yang terkumpul dan mengangkut material pantai menuju ke tengah laut atau ke tempat lain.

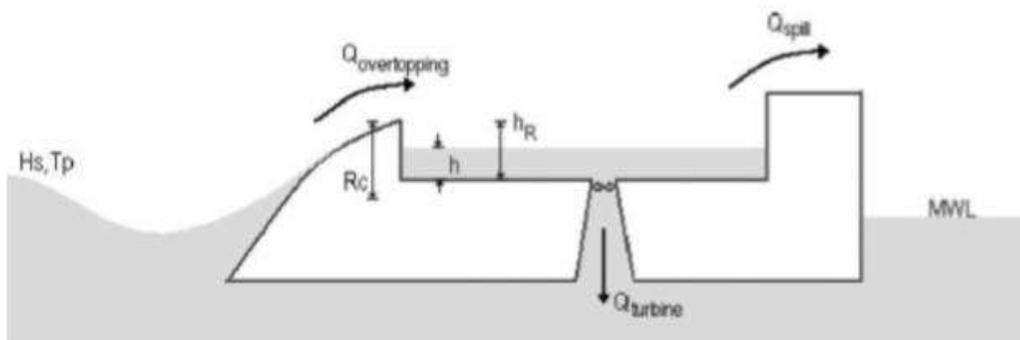
Sedangkan berdasarkan ukuran dan penyebabnya dibagi menjadi 4 (Triatmojo, 1999) yaitu:

- Gelombang kapiler (*capillary wave*), gelombang kapiler ini adalah gelombang yang biasa kita sebut dengan riak, gelombang kapiler memiliki panjang

- gelombang sekitar 1,7 meter, periode kurang dari 0,2 detik dan disebabkan karena tegangan permukaan dan tiupan angin yang tidak terlalu kuat.
- Gelombang angin (*wind wave*), merupakan gelombang dengan panjang gelombang mencapai 130 meter, periode 0,2-0,9 detik, dan disebabkan oleh angin kencang.
 - Gelombang Alun (*Swell wave*), merupakan gelombang yang panjang gelombangnya dapat mencapai ratusan meter, periodenya sekitar 0,9 – 15 detik, dan disebabkan oleh angin yang bertiup lama.
 - Gelombang Pasang Surut (*Tidal Wave*), merupakan gelombang yang panjang gelombangnya dapat mencapai beberapa kilometer, periodenya antara 5 – 25 jam, dan disebabkan oleh fluktuasi gaya gravitasi matahari dan bulan.

2.3 Overtopping Wave Energy Converter

Teori untuk pemodelan *Overtopping Device* sangat bervariasi dari pendekatan sistem linier tradisional yang digunakan oleh kebanyakan *Wave Energy Converter* lainnya. Pendekatan sistem linier dapat digunakan untuk *Overtopping Device*. Pendekatan ini menganggap fluida beresilasi keatas dan kebawah lalu *wave crest* akan naik ke platform dan mendaki dengan sisa energi kinetic dari pecahan ombak. Namun karena sifatnya non linier, pendekatan tersebut sangat memerlukan data komputasi sesuai agar hasil sesuai dengan model yang diinginkan. Oleh karena itu dilakukan pendekatan yang lebih fisik. Rangkaian waktu dari *Overtopping Wave* akan dimodelkan, sehingga bergantung pada data empiris. Gambar 2.4 menunjukkan skema aliran untuk teknologi *Wave Dragon*.



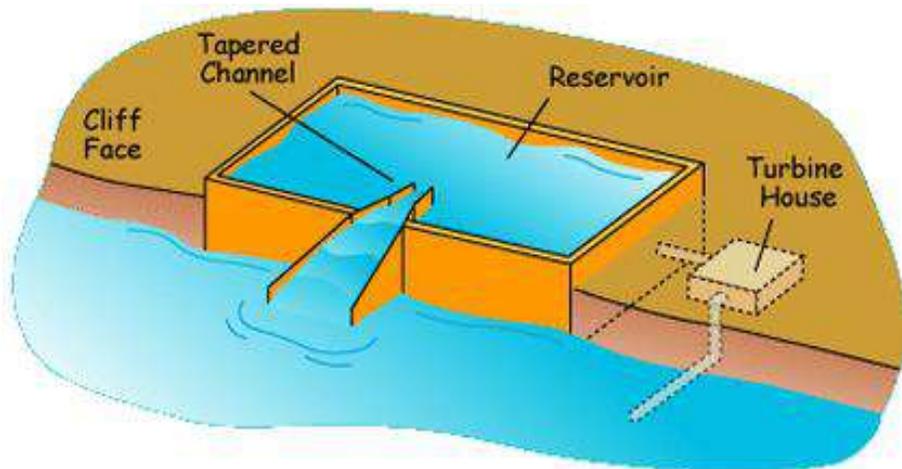
Gambar 2.4 Skema aliran teknologi *Wave Dragon* (sumber: Giovanna, 2015)

Bergantung pada keadaan gelombang yang datang (H_s , T_p) dan perangkat platform R_c (tinggi puncak di atas permukaan air rata-rata), air akan masuk ke reservoir. Kekuatan yang dikumpulkan pada reservoir adalah produk dari aliran lonjakan ini, yaitu puncak freeboard dan gravitasi. Jika reservoir terisi penuh dan aliran gelombang selanjutnya datang, maka akan terjadi kerugian dimana air yang tidak tertampung akan tumpah dari

reservoir. Untuk meminimalisir hal ini, maka tingkat ketinggian reservoir harus dijaga di bawah ketinggian maksimumnya (hR). Secara mudah, selagi menjaga ketinggian permukaan didalam reservoir, disinilah terjadi perubahan energi potensial menjadi kinetik. Daya hidrolik hasil penampungan di reservoir merupakan produk dari aliran turbin, *Head*, kerapatan air dan gravitasi yang kemudian akan menggerakkan generator listrik. (Giovanna, 2015)

2.4 *Tapered Channel Device*

Sejak diaplikasikan di Norwegia pada tahun 1985, perangkat ini merupakan awal mula perkembangan konversi energi gelombang didunia. Sistem pada perangkat ini sangat sederhana, suatu reservoir akan dibuat digaris pantai pada ketinggian diatas permukaan laut, kemudian dibuat saluran menyempit dari arah laut menuju reservoir. Beriringan dengan permukaan gelombang yang menyempit, maka amplitudonya akan naik, memungkinkan gelombang untuk melewati saluran yang menanjak.



Gambar 2.5 Konfigurasi *Tapered Channel Device* (sumber: Boyle, 1996)

Dengan bentuk saluran yang menyempit dari luar, maka air yang telah tertampung didalam reservoir tidak akan keluar karena adanya susulan gelombang yang memiliki energi lebih besar dan mencoba untuk masuk. Air yang terkumpul akan memiliki densitas, *head*, dan pengaruh dari gravitasi sehingga secara natural akan berusaha untuk bergerak kearah bawah yaitu saluran yang telah dilengkapi dengan turbin yang kemudian akan memutar generator listrik. Setelah melewati turbin, air akan kembali ke laut dan siklus akan terulang kembali. (boyle, 1996)

2.4.1 Reservoir

Pada proses merancang konfigurasi Overtopping Tapered Channel, akan dibangun atau dicari secara natural kolam dengan suatu ketinggian tertentu. Ketinggian dari kolam tersebut sangat dipengaruhi oleh kondisi alam berupa data gelombang dan kondisi pasang surut. Kolam akan dirancang sedemikian rupa agar dapat terus menerus beroperasi tanpa terpengaruh oleh kondisi surutnya pantai. Data perolehan serta statistik yang valid sangat dibutuhkan untuk mendesain secara optimum antara kebutuhan operasi serta daya mampu potensial yang dapat ditampung (Rachel & Jason 2010).

2.4.2 Tapered Channel

Benda merupakan komponen yang unik dari pembangkit listrik yang akan didesain, dimana Tapered Channel merupakan suatu profil yang semakin menyempit sesuai dengan naiknya ketinggian mulai dari permukaan laut menuju ketinggian maksimal pada kolam. Gelombang akan memasuki bagian intake yang lebar didasar struktur lalu seiring dengan refleksi yang ditimbulkan karena menabrak dinding yang menyempit, amplitude gelombang akan naik dan mampu untuk menanjak menuju permukaan yang lebih tinggi. Sehingga energi gelombang yang dinamis, diubah menjadi energi potensial statis yang mana tidak terpengaruh oleh sensitivitas frekuensi dan fluktuasi tinggi gelombang. Menurut buku *Energy for Rural and Island Community, Scotland 1985* Tapered Channel memiliki efisiensi 65 – 75% untuk mengkonversi gelombang dinamis menjadi energi potensial statis. Losses yang ditimbulkan merupakan kehilangan volume aliran yang disebabkan oleh refleksi fluida yang menabrak suatu permukaan menyempit sehingga terpantul keluar (Fredriksen, 1986).



Gambar 2.6 *Tapered Channel* (sumber: Fredriksen, 1986)

2.4.3 Canal

Canal atau conduit berperan sebagai penghubung antara rumah turbin dan reservoir. canal pada PLTA pada umumnya menggunakan pipa penstock untuk membuat aliran fluidanya tidak terinterupsi oleh factor luar yang dapat menyebabkan aliran menjadi turbulen. Ukuran canal pada reservoir didesain sedemikian rupa agar mencapai dimensi yang dapat menghasilkan suatu debit pada kecepatan tertentu sehingga nantinya akan bersinergi dengan turbin dan mampu mengintegrasikan keseluruhan system pada pembangkit. (Donald Langmead, 2013)

2.5 Turbin Kaplan

Turbin Kaplan adalah jenis turbin air jenis berbentuk *propeller* yang memiliki daun yang dapat disesuaikan. Pertama kali dikembangkan pada tahun 1913 oleh seorang professor asal Austria, Viktor Kaplan, yang menggabungkan *propeller* dengan gerbang masuknya air yang disesuaikan secara otomatis untuk mencapai efisiensi dalam berbagai aliran dan tingkat ketinggian air. Turbin Kaplan merupakan evolusi dari turbin Francis. Penemuannya memungkinkan produksi daya yang efisien pada aplikasi *low-head* yang tidak memungkinkan dengan turbin Francis. *Head* berkisar antara 10-70 meter dan outputnya berkisar antara 5 sampai 200 MW. Dengan diameter daun adalah antara 2 dan 11 meter. Turbin berputar pada tingkat konstan, yang bervariasi dari tiap rancangan. putaran tersebut berkisar dari 69,2 rpm (Bonneville North Powerhouse, Washington A.S.) sampai dengan 429 rpm. Instalasi turbin Kaplan yang diyakini menghasilkan tenaga paling besar dari *head* 34,65 m adalah pada tahun 2013, pada pembangkit listrik tenaga air Tocoma Dam (Venezuela) menghasilkan 230 MW (kapasitas Turbin, 257MVA untuk generator) dengan masing-masing daun berdiameter 8,6 m . Turbin Kaplan sekarang banyak digunakan di seluruh dunia dalam pembangkit listrik tenaga air, arus atau gelombang, dengan laju aliran tinggi dan *head* rendah.



Gambar 2.7 Turbin Kaplan (sumber: Erik Sofge, 2007)

Turbin Kaplan akan bersinergi dengan baik saat digunakan bersama *Overtopping Wave Energy Converter* karena pada karakteristiknya, Turbin Kaplan mampu untuk beroperasi pada kondisi *head* yang rendah pada reservoir pada perangkat yang akan dirancang.

2.6 Generator Listrik

Generator listrik merupakan alat yang mampu memproduksi energi listrik yang berasal dari energi mekanik yang dapat berupa turbin gas, turbin uap, turbin air, pembakaran dalam, bahkan digerakan secara manual oleh manusia, yang kemudian akan menghasilkan induksi elektromagnetik. Generator listrik pertama, *The Faraday Disk* dibuat pada tahun 1831 oleh ilmuwan Inggris Michael Faraday.



Gambar 2.8 Generator Listrik (sumber: Enerset, 2017)

Secara umum, generator dibagi menjadi 2 menurut arus yang dihasilkan, yaitu generator AC dan generator DC. Yang akan digunakan dalam perancangan sistem ini adalah generator AC. Sesuai dengan aliran listrik yang dibutuhkan oleh pemukiman penduduk dan pelaku industry, setiap generator memiliki kapasitas masing masing yang akan diatur sesuai dengan jumlah perangkat yang akan dirancang. Kemampuan generator dalam menghasilkan aliran listrik dapat disebut dalam satuan Volt Ampere (VA) (Beauchamp, 1997)

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Pada bagian metodologi penelitian ini akan dijelaskan tentang langkah-langkah penelitian mulai dari persiapan, pengumpulan data, perancangan, pengolahan data, analisis dan diskusi sampai dengan simpulan dan saran yang digambarkan dengan menggunakan diagram arus dan lokasi serta waktu penelitian.

3.1 Diagram Arus



Gambar 3.1 Diagram Arus Metodologi Penelitian

Berdasarkan gambar 3.1 , terdapat beberapa langkah dalam penelitian yang akan dijelaskan pada poin poin berikut:

1. Analisis Permasalahan

Pada tahapan ini, penulis merancang tugas akhir ini dilatar belakangi oleh krisis energi di Indonesia timur, khususnya pada Provinsi Nusa Tenggara Timur. Jika ditinjau dari aspek geografisnya, Indonesia memiliki kondisi yang ideal untuk penerapan konversi energi yang belum lazim digunakan namun sangat berpotensi untuk menjadi *benchmark* saat penelitian ini berhasil dilaksanakan. Berangkat dari rasio elektrifikasi yang masih rendah, penulis berharap dilakukannya penelitian tentang energi baru terbarukan yaitu pembangkit listrik tenaga gelombang dengan metode *Overtopping Tapered Channel* dapat memberikan manfaat bagi segenap pihak diantaranya para akademisi, masyarakat publik, pemerintah, serta penulis sendiri.

2. Studi Literatur

Pada tahapan ini, penulis mencari semua sumber informasi yang akan berkaitan dan akan digunakan dalam penelitian ini. Studi literatur ini berencana untuk mencari dasaran teori tentang gelombang laut, turbin dan teknologi konversi gelombang laut yang cocok untuk diterapkan pada lokasi penelitian. Sumber sumber akan diambil dari jurnal ilmiah, buku buku, serta sumber lain yang validasinya telah terbukti.

3. Pengumpulan Data

Disini penulis akan mulai mencari data yang relevan meliputi kondisi topografi dan geografis lokasi penelitian, referensi penelitian, kebutuhan *input* data, serta data penunjang lainnya. Data akan diperoleh melalui berbagai buku, internet, jurnal ilmiah, dan Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika.

Sejauh ini data yang telah dikumpulkan adalah data topografi melalui Software Google Earth, dilihat bentuk pantai serta kondisi tampak melintang tegak lurus dan searah dengan pantai untuk melihat profil kemiringan dari pantai tersebut. Lalu telah didapat juga data gelombang dari BMKG tahun 2016, 2017, dan 2018, namun terdapat data yang hilang pada database yakni 7 bulan kosong pada tahun 2016, dan 2 bulan kosong pada tahun 2017, pada tahun 2018 didapat data Januari hingga Maret. Data gelombang tersebut meliputi data arah angin, kecepatan angin, arah gelombang, periode gelombang, panjang gelombang, serta tinggi gelombang. Dari data tersebut yang diolah merupakan data periode gelombang, panjang gelombang, serta tinggi gelombang, data arah dan kecepatan angin tidak diolah karena data tersebut merupakan parameter perhitungan yang telah disajikan menjadi data gelombang. Selanjutnya didapatkan data pasang surut air laut pada tahun 2017, yang mana nantinya akan diolah untuk melihat durasi surut paling panjang serta rata ratanya sepanjang tahun. Data teknis untuk perancangan Tapered Channel didapat melalui referensi berupa eksperimen.

4. Pengolahan Data

Setelah data didapatkan, data diolah sedemikian rupa agar didapatkan parameter yang sesuai untuk mendesain reservoir. Data tinggi gelombang setiap jam selama 3 tahun disederhanakan dan dirata-ratakan sebanyak 2 kali dalam 1 bulan, dari hasil pengolahan tersebut didapatkan tinggi gelombang maksimum, minimum, dan rata rata. Data tinggi gelombang minimum akan menjadi acuan dalam mendesain tinggi minimum reservoir. Data panjang dan periode gelombang akan diolah menjadi

kecepatan arus menuju pantai, yang mana kecepatan tersebut akan menjadi dasar debit utama yang dapat disalurkan menuju kolam. Data pasang surut setiap jam selama 1 tahun akan disederhanakan dan dirata-ratakan menjadi setiap minggu, lalu akan diperoleh durasi maksimal dari kondisi surut yang mana akan mempengaruhi desain luas penampang dari reservoir menuju turbin didalam kanal sehingga diperoleh debit maksimal untuk menguras kolam tersebut agar tidak habis selama surut maksimal terjadi.

5. Perancangan Reservoir

Dari data yang telah didapatkan dan diproses, terdapat beberapa parameter yang harus dipenuhi dalam mendesain kolam. Ketinggian reservoir ditentukan dari tinggi minimum gelombang rata-rata, sedangkan debit intake dan output yang direncanakan berasal dari data surut maksimum serta scenario perancangan ukuran optimum Tapered Channel. Akan dibuat 11 skenario reservoir pada berbagai level head dan area luasan untuk melihat kesesuaian antara debit intake dan discharge serta upaya penyelesaian masalah perbedaan operasi pasang dan surut.

6. Perancangan Pembangkit Daya

Setelah mendapatkan data geografis dan topografis tentang lokasi penelitian dan spesifikasi turbin yang cocok untuk diterapkan, akan dimulai perancangan sistem pembangkit listrik serta sistem penunjangnya yang mana diantaranya adalah tapered channel dengan 3 variasi serta canal menuju turbin dari reservoir. Perancangan akan dilakukan dengan software Autodesk Inventor.

7. Percobaan dengan Simulasi

Setelah ditemukan kesesuaian antara lokasi dengan desain pembangkit, maka akan dilakukan eksperimen dengan menggunakan simulasi. Simulasi akan dilakukan menggunakan software *Ansys Fluent*, dan *Autodesk CFD*.

Akan dilakukan 2 jenis simulasi untuk mendapatkan 2 jenis data. Yang pertama adalah simulasi laju pengisian reservoir, dan yang kedua adalah simulasi untuk mendapatkan nilai torsi yang dihasilkan turbin yang nantinya akan disalurkan untuk memutar generator.

8. Perhitungan Energi Potensial

Pada tahapan ini, telah didapatkan hasil simulasi yang kemudian akan diolah menjadi perhitungan energi potensial yang dibangkitkan oleh generator. Jika hasil simulasi tersebut sesuai dengan data yang diharapkan saat mendesain kolam dan sistem pembangkit, maka akan dilakukan penarikan kesimpulan, jika hasil simulasi tidak sesuai dengan data yang diharapkan, maka akan dilakukan peninjauan kembali terhadap parameter desain dan dilakukan simulasi ulang setelah parameter yang bersangkutan disesuaikan.

9. Analisis Biaya CAPEX dan OPEX

Tujuan dari analisis ini yaitu mengetahui Capital Expenditure dan Operational Expenditure dari pembangunan pembangkit ini sehingga didapatkan suatu nominal investasi yang dapat dijadikan referensi untuk pembangunan skala penuh.

10. Kesimpulan

Setelah didapatkan hasil simulasi yang sesuai dengan data yang diharapkan, akan ditarik beberapa kesimpulan mengenai perancangan pembangkit alternative dengan menggunakan konfigurasi *Overtopping Tapered Channel* ini.

11. Selesai

Disini penulis akan mulai mempersiapkan untuk menulis laporan akhir dari tugas akhir mengenai energi baru terbarukan ini.

JADWAL PELAKSANAAN

No	Rencana Kegiatan	Bulan 1				Bulan 2				Bulan 3				Bulan 4			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1	Identifikasi & Perumusan Masalah	■	■														
2	Studi Literatur			■	■												
3	Pengumpulan Data					■	■										
4	Pengolahan Data							■	■	■	■						
5	Perancangan Kolam									■	■	■					
6	Perancangan Pembangkit Daya											■	■				
7	Simulasi													■			
8	Perhitungan Energi Potensial															■	
9	Kesimpulan															■	
10	Analisa Biaya CAPEX & OPEX															■	
11	Penulisan Laporan									■	■	■	■	■	■	■	■

Gambar 3.2 Timeline Penelitian

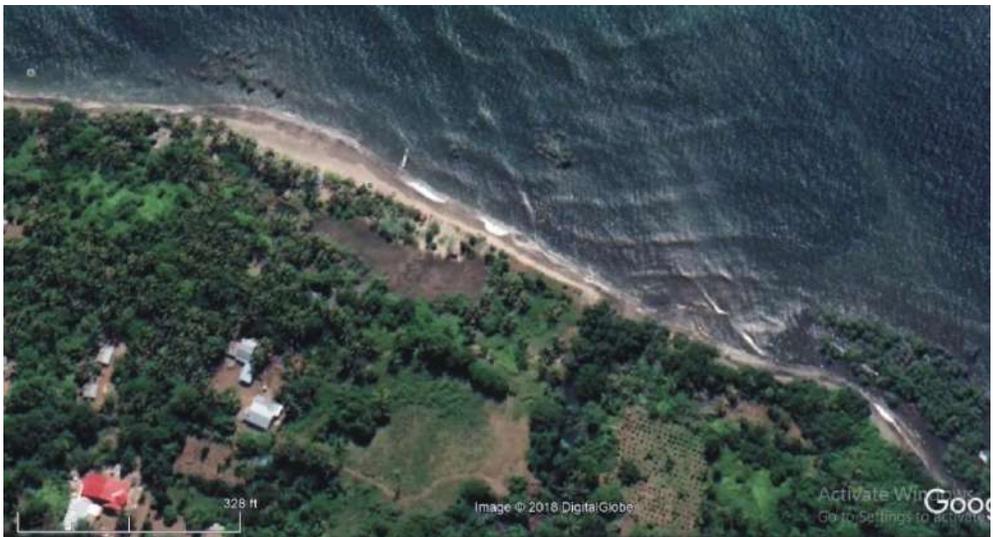
“halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB IV

ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.1 Gambaran Umum

Pantai utara Kabupaten Sikka Nusa Tenggara Barat memiliki statistik ketinggian gelombang yang cukup menjanjikan sebagai lokasi instalasi pembangkit listrik energi gelombang. Poin lokasi penelitian yaitu Pantai Utara Kabupaten Sikka tepatnya pada kecamatan Maumere yang dipilih untuk melakukan penelitian dan terletak pada titik koordinat 112.1885 Longitude dan 8.5682 Latitude. Berikut merupakan tampak satelit dari lokasi penelitian.



Gambar 4.1 Lokasi Pantai Sikka (sumber: GoogleEarth)

Pada lokasi tersebut akan ditentukan kontur tanah yang landai menuju laut, dan tidak bertebing batu, serta memiliki sedikit kemiringan secara horizontal. Kemudian akan dilakukan pengecekan kondisi topografinya menggunakan Software Google Earth untuk melihat profil melintang yang menjorok tegak lurus dengan pantai dan profil melintang searah pantai dengan tujuan melihat tingkat kelandaian dan kemiringan dari pantai tersebut. Kemudian akan dilakukan pengambilan data gelombang dari titik yang secara topografi telah memiliki kecocokan dengan kriteria yang telah disebutkan diatas.

4.2 Data

4.2.1 Data Profil Pantai

Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya pada gambaran umum, akan dilakukan pencarian profil pantai dengan kriteria memiliki kemiringan horizontal, tidak bertebing, dan memiliki kelandaian yang menjorok ke pantai. Setelah dilakukan beberapa peninjauan menggunakan Software Google Earth, didapat profil sebagai berikut.



Gambar 4.2 Lokasi TerpilihMenjorok Pantai (sumber: GoogleEarth)

Yang ditunjukkan oleh panah merah merupakan lokasi terpilih untuk pengambilan data gelombang, pada gambar selanjutnya akan ditunjukkan profil melintang yang menjorok kearah pantai dari lokasi yang telah ditandai.



Gambar 4.3 Profil Melintang Kearah Pantai (sumber: GoogleEarth)

Pada profil melintang diatas tertulis 9ft atau ketinggian sekitar 3 meter dari permukaan laut, namun secara visual pada titik tersebut masih terlihat sebagai laut yang artinya gelombang mencapai daratan cukup jauh dan jelas landai dan tidak bertebing.



Gambar 4.4 Lokasi Terpilih Searah Pantai (sumber: GoogleEarth)

Pada gambar diatas merupakan lokasi melebar searah pantai yang akan dilihat profil melintangnya untuk menentukan kemiringan secara horizontal.



Gambar 4.5 Profil Melintang Searah Pantai (sumber: GoogleEarth)

Profil melintang searah pantai ini merupakan pembacaan dari peta digambar 4.4, secara horizontal, penampangnya memperlihatkan sedikit kemiringan, masih sangat landai namun kemiringan tersebut akan memiliki efek pada panjang yang cukup signifikan, dimana perbedaan ketinggian dapat menjadi potensi energi.

4.2.2 Data Gelombang

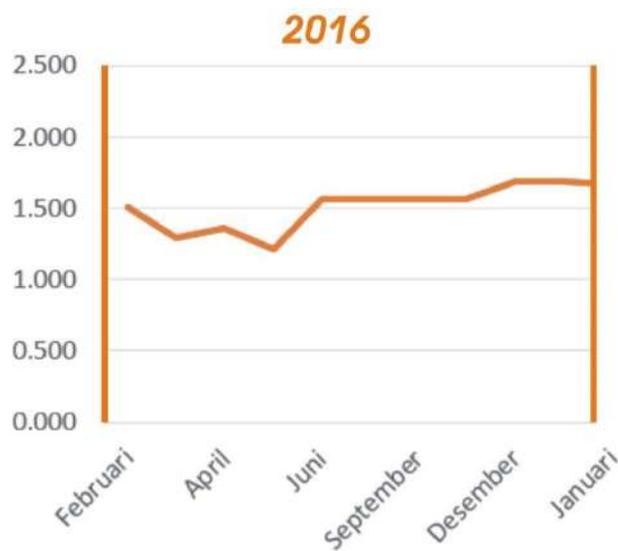
Setelah dilakukan pemilihan lokasi untuk pengambilan data, maka dilakukanlah perolehan data melalui Stasiun Meteorologi Maritim Perak II (SMMPII). Diantara data tersebut beberapa kategori yang didapatkan yakni:

- Kecepatan Angin
- Arah Angin
- Arah Gelombang
- Periode Gelombang
- Panjang Gelombang
- Ketinggian Gelombang *Swell*

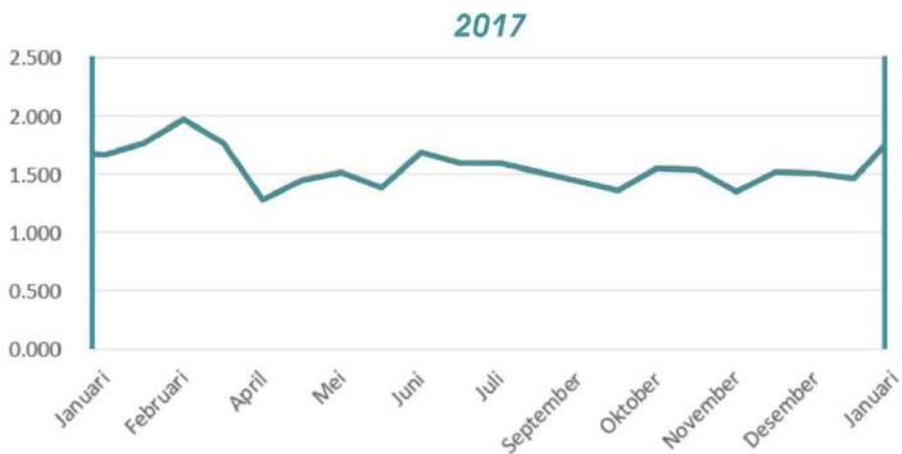
Namun dari ke 6 kategori yang didapatkan, hanya data periode, panjang, serta tinggi gelombang yang nantinya akan diolah, dikarenakan kecepatan dan arah angin merupakan

parameter dasar untuk pencarian data gelombang, sehingga jika telah didapatkan data gelombang, maka data angin menjadi tidak diperlukan lagi. Arah gelombang juga tidak dimasukkan sebagai parameter karena dapat diasumsikan arah gelombang selalu dari dan menuju daratan sehingga data arah gelombang tidak diperlukan lagi.

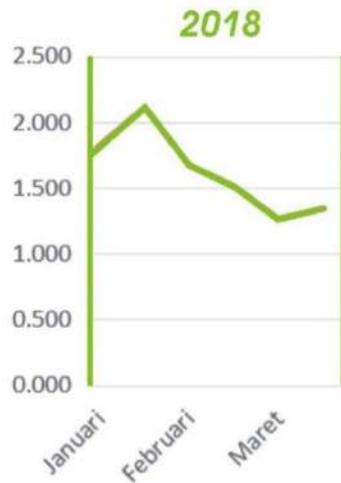
Akuisisi data dilakukan pada rentang 2016 hingga 2018 namun terdapat data yang tidak tersedia sebanyak 7 bulan pada 2016 dan 2 bulan pada tahun 2017, sedangkan pada tahun 2018 hanya tersedia data mulai dari Januari hingga Maret. Akuisisi data dilakukan setiap jam dalam rentang waktu 2016 hingga 2018 sehingga data perlu disederhanakan lagi dengan cara merata-ratakan data tersebut sebanyak 2 kali setiap bulannya. Berikut merupakan grafik ketinggian setiap setengah bulan dalam rentang 2016 hingga 2018.



Gambar 4.6 Grafik Rataan Ketinggian Gelombang 2016 (sumber: SMMPII)

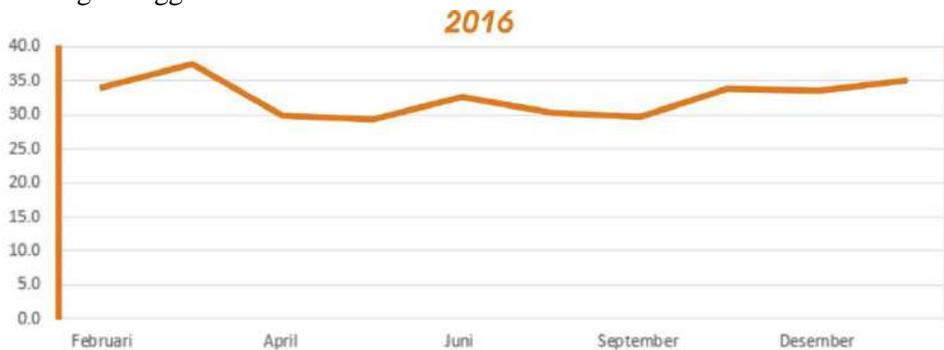


Gambar 4.7 Grafik Rataan Ketinggian Gelombang 2017 (sumber: SMMPII)

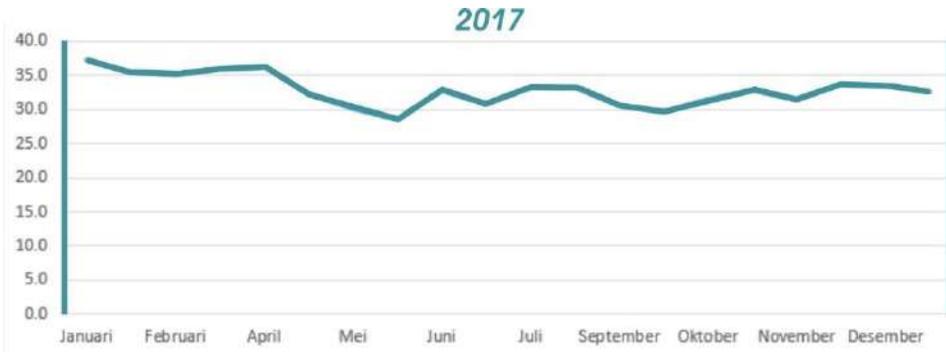


Gambar 4.8 Grafik Rataan Ketinggian Gelombang 2018 (sumber: SMMPII)

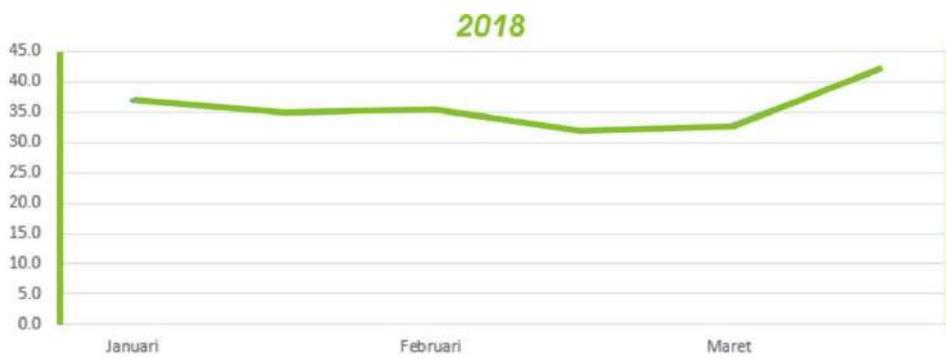
Pada gambar 4.6, 4.7, dan 4.8 berurutan merupakan grafik rata-rata ketinggian gelombang 2016, 2017, dan 2018. Pada grafik tersebut pengukuran dinyatakan dalam satuan meter (m). Kemudian selanjutnya terdapat grafik kecepatan gelombang yang merupakan panjang gelombang dibagi dengan periodenya. Dari hasil perolehan tersebut, terdapat hasil ketinggian rata-rata sebesar 1.5 meter, serta ketinggian minimum gelombang setinggi 1.2 meter.



Gambar 4.9 Grafik Rataan Kecepatan Gelombang 2016 (sumber: SMMPII)



Gambar 4.10 Grafik Rataan Kecepatan Gelombang 2017 (sumber: SMMPII)

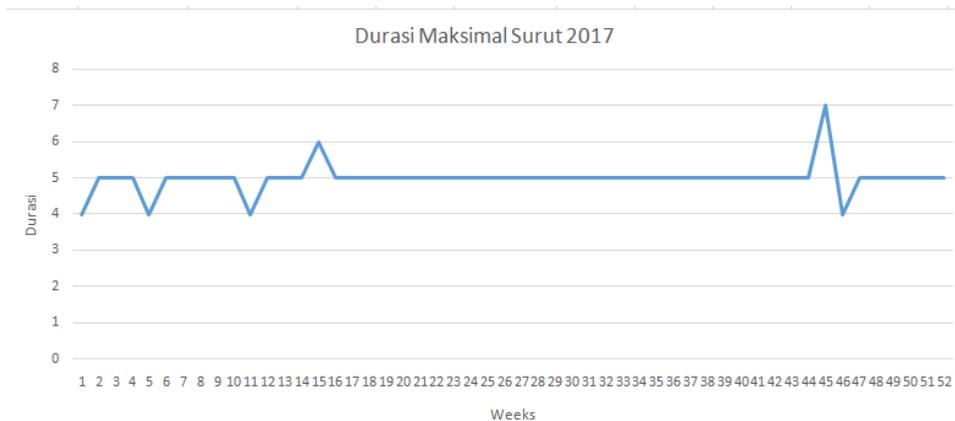


Gambar 4.11 Grafik Rataan Kecepatan Gelombang 2018 (sumber: SMMPII)

Pada gambar 4.9, 4.10, dan 4.11 berturut turut merupakan grafik rata-rata kecepatan gelombang 2016, 2017, dan 2018. Pada grafik tersebut pengukuran dinyatakan dalam satuan meter km/jam. Seluruh data tersebut dirata-ratakan lalu diambil nilai tengahnya yaitu sebesar 33.2 km/jam, kemudian nilai tersebut akan menjadi salah 1 parameter dalam perhitungan debit pengisian kolam.

4.2.3 Data Pasang Surut

Pada perencanaan rancangan pembangkit tenaga gelombang yang berlokasi ditepi pantai, selain profil pantai dan data gelombang, 1 lagi parameter yang penting untuk diperoleh yaitu data pasang surut. Data yang diperoleh juga berasal dari Stasiun Meteorologi Maritim Perak II, data yang boleh diakuisisi adalah data pasang surut selama tahun 2017. Data berupa ketinggian permukaan laut setiap jam dalam kurun waktu 1 tahun sehingga data perlu disederhanakan menjadi rata-rata setiap minggu dalam 1 tahun. Pada perolehan data pasang surut ini, yang akan diolah merupakan durasi maksimal dari waktu surut air laut. Berikut merupakan grafik durasi maksimal surut air laut setiap minggu dalam 1 tahun.



Gambar 4.12 Grafik Durasi Maksimal Surut Air Laut 2017 (sumber: SMMPII)

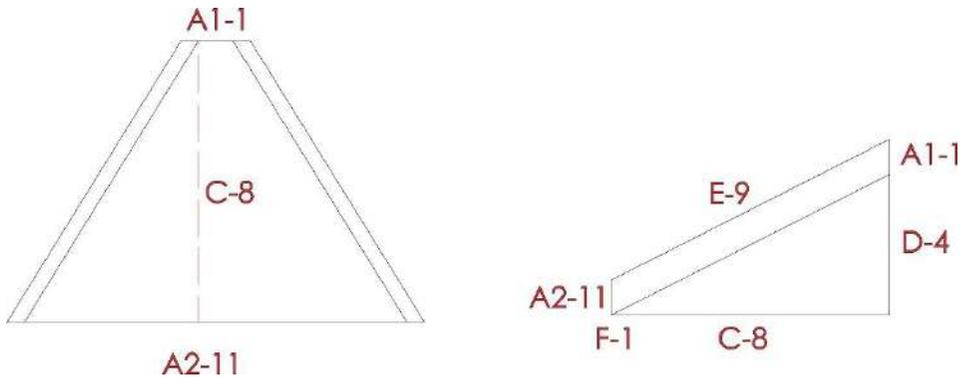
Karena tidak terdapat data batimetri untuk pengolahan hubungan jauhnya permukaan laut berbanding ketinggian pasang surut, maka dapat diasumsikan saat kondisi surut, gelombang tidak dapat mencapai pantai sampai laut kembali dalam keadaan pasang. Pada kondisi tersebut maka air laut tidak dapat memasuki reservoir, maka durasi surut maksimal akan menjadi parameter dalam menentukan debit maksimal pengurasan reservoir. Menurut hasil yang diperoleh setelah pengolahan data, selama 1 tahun terdapat rata-rata sebesar 4.9 jam atau dapat dibulatkan menjadi 5 jam. Maka desain luasan melintang output dari reservoir menuju kanal turbin haruslah dirancang agar dapat bertahan untuk melaju selama 5 jam tanpa berhenti saat air laut dalam kondisi surut.

4.3 Perancangan Pembangkit

Pembangkit akan dirancang sesuai dengan data kondisi alam yang telah diolah. Setelah ditentukan lokasi instalasinya, didalam perhitungannya terdapat 3 parameter penting yaitu ketinggian gelombang, durasi pasang surut, dan kecepatan aliran gelombang. Dalam melakukan perancangan, dibuat 10 skenario ketinggian reservoir yang akan mempengaruhi dimensi dan banyaknya channel yang akan dibuat, pintu air terhadap kanal, serta debit air yang masuk dan diolah menuju turbin. Selain ke 3 parameter tersebut, yang menjadi perhatian utama adalah konfigurasi Tapered Channel, perancangan dimensi reservoir, serta canal atau *artificial waterways* yang masing masing akan menjalankan peran vital dalam proses perancangan pembangkit listrik tenaga gelombang ini.

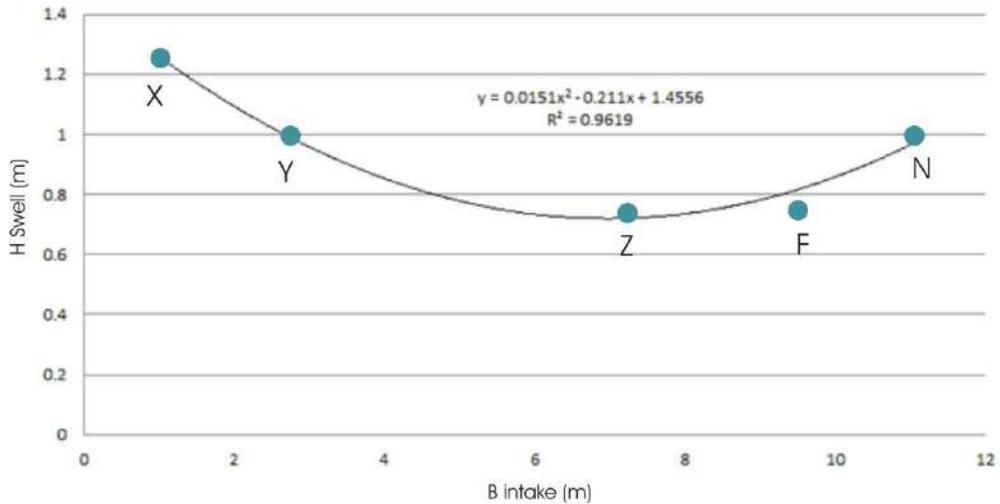
4.3.1 Perancangan Tapered Channel

Pada tahun 2010, dilakukan suatu percobaan dalam pembuatan tapered channel dengan ukuran utama sebagai berikut.



Gambar 4.13 Rancangan Tapered Channel intake 11 meter (sumber: Rachel & Jason, 2010)

Gambar 4.13 merupakan rancangan Tapered Channel dengan ukuran intake 11 meter, terdapat 2 sudut pandang dalam rancangan tersebut yaitu tampak samping dan tampak atas. Konfigurasi tersebut memiliki rasio tetap kecuali A1 berbanding A2 yaitu 1 : 3, 1 : 7, dan 1 : 11 pada desain yang akan dirancang nanti dimana A2 merupakan intake laju aliran fluida yang berada dipermukaan air laut, sedangkan A merupakan output dari channel tersebut yang menanjak dan mengarah kedalam reservoir. Pada tampak samping, C merupakan panjang terdekat dari ujung lereng menuju reservoir, sedangkan E merupakan panjang dari channel tersebut yaitu sepanjang permukaan laut menuju ujung atas reservoir. F merupakan tinggi dinding pada channel setinggi 1 meter dan merupakan pembatas kanan dan kiri dari channel dan D merupakan tinggi channel yang sekaligus merepresentasikan ketinggian reservoir. Jika rasio geometri pada konfigurasi tersebut berhasil dirancang dengan benar maka akan terdapat hasil perbandingan antara tinggi gelombang minimum dan besaran nilai A2 selaku intake laju aliran fluida kedalam reservoir.



Gambar 4.14 Grafik H Swell vs Intake (sumber: Rachel & Jason, 2010)

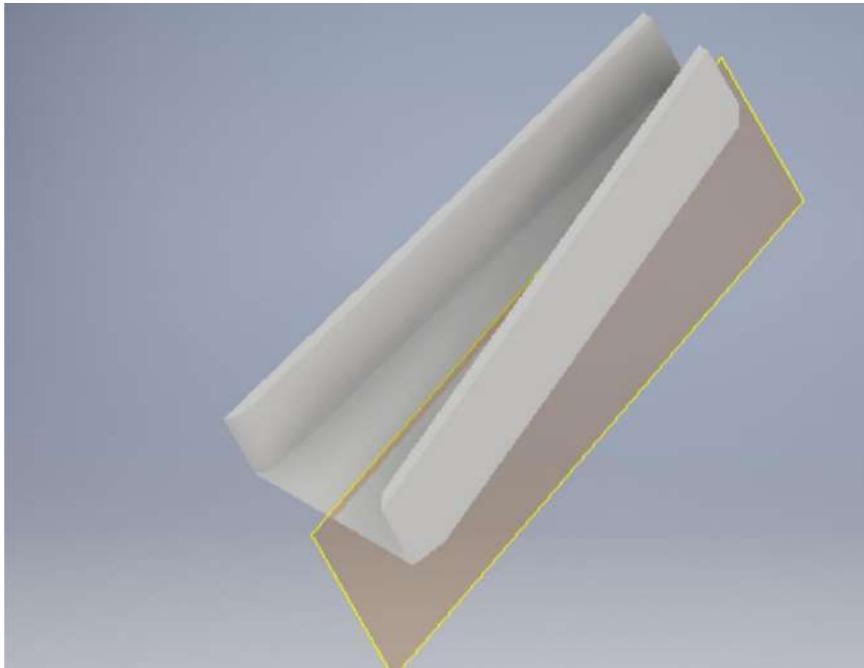
Grafik 4.14 merupakan hasil dari 5 pengujian yang berbeda. Pada pengujian tersebut, ke 5 titik rasio A1 – C – D – E – F merupakan konstan sedangkan variable A2 yang akan dilakukan perubahan. Berdasarkan grafik hasil percobaan diatas, dapat dilihat 5 titik yang berbeda yaitu X, Y, Z, F, dan N. Jika dilihat berdasarkan gelombang kerja untuk pengujian yang memiliki rentang dari 0.7 hingga 1.3 meter, yang mana tidak begitu signifikan jika dibandingkan dengan mulut intake yang memiliki rentang antara 1 hingga 11 meter, maka dapat disimpulkan bahwa F, dan N tidak efektif, karena meskipun memiliki gelombang kerja yang relative rendah, namun mulut intake terlalu besar jika dibandingkan dengan Y yang memiliki tinggi gelombang kerja yang sedikit lebih tinggi namun lebih relevan untuk diimplementasikan. Sedangkan pada titik X, gelombang kerja terlalu tinggi hingga mencapai lebih dari 1.2 meter. Jika ditinjau kembali pada subbab sebelumnya, gelombang kerja terendah yang diperoleh dari kondisi alam lokasi penelitian adalah sebesar 1.2 meter. Jika desain ketinggian reservoir melebihi batasan minimum dari kondisi alam lokasi penelitian, maka terdapat kemungkinan terjadinya gelombang yang tidak mampu menanjak channel dan energinya akan terpantul dan terbuang sia sia. Pada percobaan tersebut, amplifikasi ketinggian gelombang mencapai 4x namun terdapat kehilangan volume aliran sebanyak 72% yang diakibatkan oleh adanya refleksi dari dinding channel yang menyempit sehingga saat gelombang terfokus kearah output dipuncak channel, amplitudonya meningkat sehingga gelombang tersebut dapat menanjak namun pada celah yang menyempit, tidak semua aliran dapat dipampatkan karena aliran gelombang laut tidak memiliki tekanan untuk melakukan hal tersebut, maka dari itu terjadilah refleksi yang menyebabkan loses sebesar 72% (Rachel & Jason, 2010).

Pada perancangan ini, dibuat 3 dimensi yang berbeda yang mana akan mempengaruhi input dan output serta kontinuitas operasi dari reservoir. Berikut merupakan tabel dimensi Tapered Channel sesuai dengan rasio geometri yang diperoleh dari referensi.

Tabel 1. Tabel Dimensi Tapered Channel

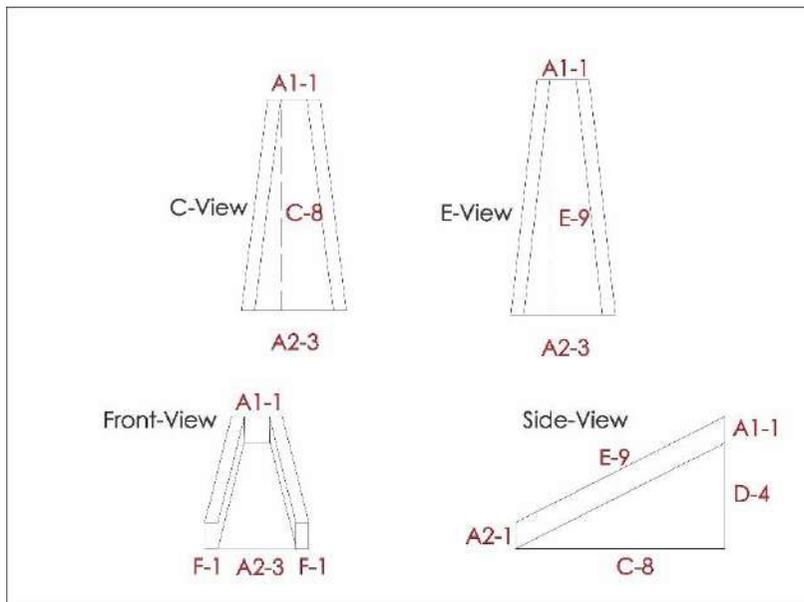
no	F	D	A1	A2	C	E	Luas In
1	1	4	1	3	8	9	3
2	1	4	1	7	8	9	7
3	1	4	1	11	8	9	11

Tabel 1 merupakan variasi dimensi taper berdasarkan lebar mulut intake. Dengan amplifikasi 4 kali, tinggi dinding F pada channel memiliki ukuran 1.5 meter, ketinggian tersebut merupakan ketinggian yang sama dengan ketinggian rata rata pada gelombang kerja berdasarkan hasil pembacaan data dari Stasiun Meteorologi Maritim Perak II, meskipun ketinggian minimum dari hasil pembacaan data ketinggian gelombang adalah setinggi 1.2 meter, namun tinggi dinding dapat didesain lebih tinggi dari ketinggian minimum gelombang kerja sehingga luas penampang pada channel bertambah dan berpotensi untuk menghasilkan debit yang lebih besar. Pada dasarnya ketinggian minimum gelombang kerja tersebut digunakan untuk menaiki channel sehingga jika diasumsikan kondisi alam stabil dan ketinggian minimum terpenuhi, maka dengan amplifikasi 4x pada desain channel tersebut akan cukup untuk menaiki reservoir.



Gambar 4.15 Tapered Channel Intake 3 meter

Gambar 4.15 merupakan implementasi dari rancangan tapered channel berupa desain 3d menggunakan software Autodesk Inventor. Menurut KP1-7 mengenai kriteria perencanaan bangunan air, struktur tersebut direkomendasikan untuk menggunakan material concrete atau beton. Tapered channel diatas memiliki ukuran sesuai dengan rasio yang telah dijelaskan pada subbab sebelumnya yaitu 1meter untuk lebar mulut discharge, 4 meter untuk tinggi struktur keseluruhan, 8 meter untuk jarak terdekat dari reservoir keujung channel yang menghadap kearah laut, tinggi dinding 1.5 meter, 9 meter untuk panjang penampang horizontal channel, namun mulut inlet yang merupakan parameter bebas dalam rasio divariasikan menjadi 3 meter. Dengan mulut inlet selebar 3 meter, ukuran inlet dan discharge pada channel diatas memiliki perbandingan 3:1, perbandingan tersebut nantinya akan mempengaruhi debit inlet terhadap reservoir yang akan dibahas pada bagian berikutnya.



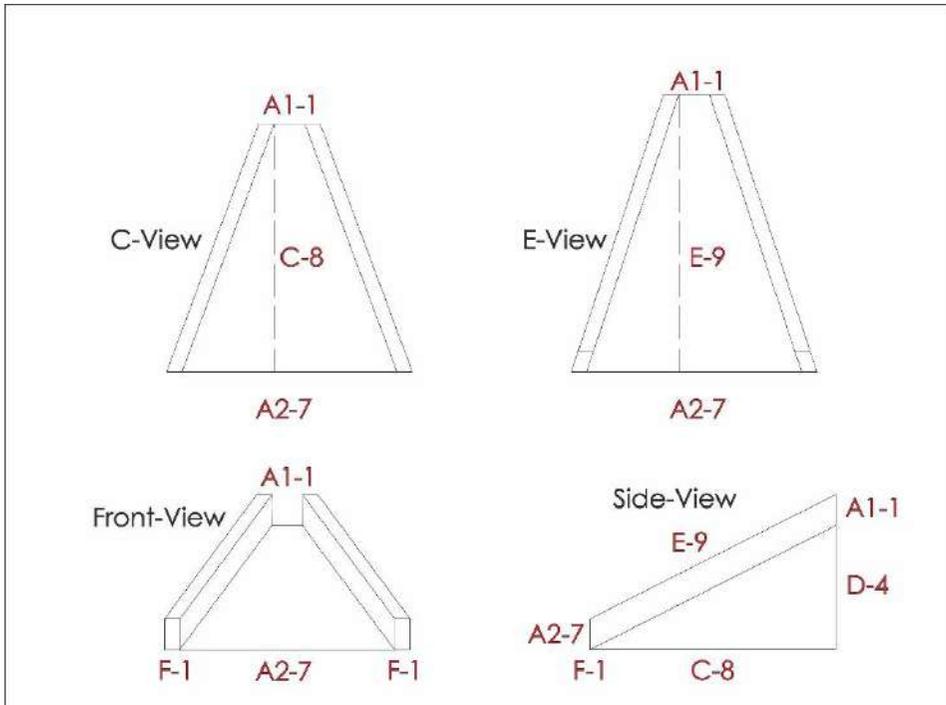
Gambar 4.16 Dimensi Tapered Channel Intake 3 meter

Gambar 4.16 merupakan dimensi utama dari gambar 4.15. Gambar tersebut memiliki 4 sudut pandang yaitu tampak samping, tampak depan, tampak atas, dan tegak lurus terhadap penampang horizontal channel.



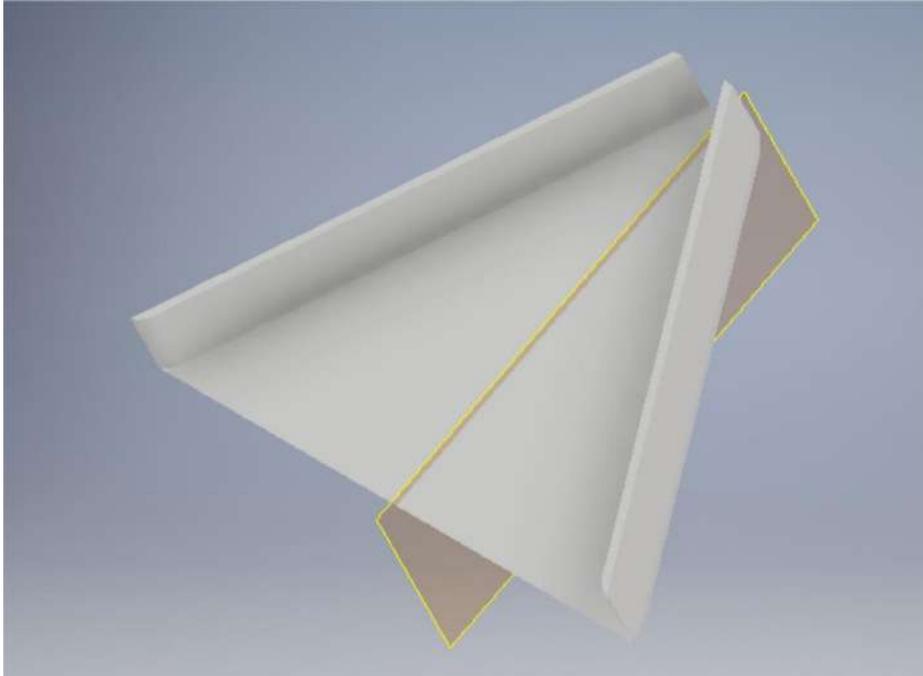
Gambar 4.17 Dimensi Tapered Channel Intake 7 meter

Gambar 4.17 merupakan implementasi dari rancangan tapered channel berupa desain 3d menggunakan software Autodesk Inventor. Menurut KP1-7 mengenai kriteria perencanaan bangunan air, struktur tersebut direkomendasikan untuk menggunakan material concrete atau beton. Tapered channel diatas memiliki ukuran sesuai dengan rasio yang telah dijelaskan pada subbab sebelumnya yaitu 1meter untuk lebar mulut discharge, 4 meter untuk tinggi struktur keseluruhan, 8 meter untuk jarak terdekat dari reservoir keujung channel yang menghadap kearah laut, tinggi dinding 1.5 meter, 9 meter untuk panjang penampang horizontal channel, namun mulut inlet yang merupakan parameter bebas dalam rasio divariasikan menjadi 7 meter. Dengan mulut inlet selebar 7 meter, ukuran inlet dan discharge pada channel diatas memiliki perbandingan 7:1, perbandingan tersebut nantinya akan mempengaruhi debit inlet terhadap reservoir yang akan dibahas pada bagian berikutnya.



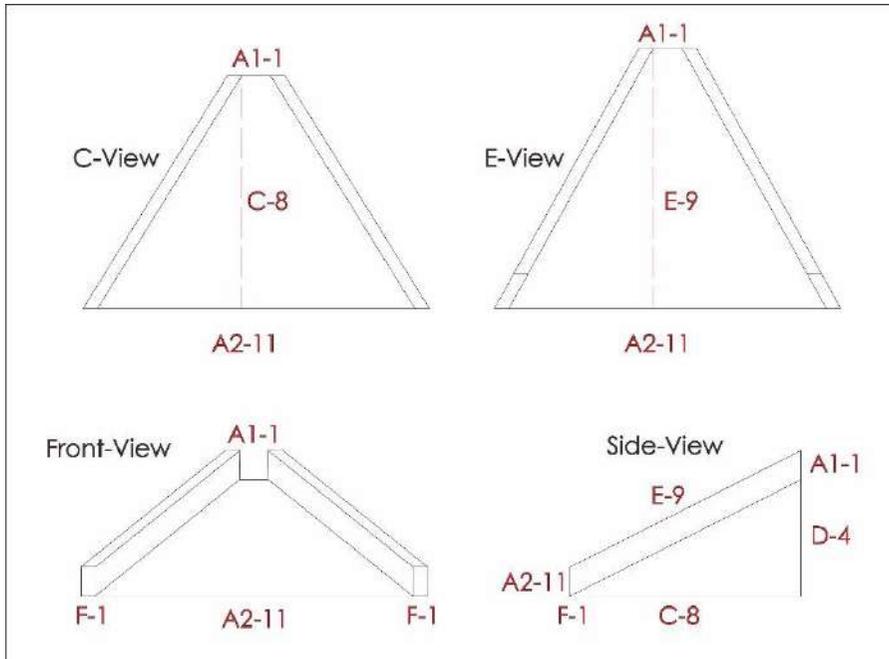
Gambar 4.18 Dimensi Tapered Channel Intake 7 meter

Gambar 4.18 merupakan dimensi utama dari gambar 4.17. Gambar tersebut memiliki 4 sudut pandang yaitu tampak samping, tampak depan, tampak atas, dan tegak lurus terhadap penampang horizontal channel.



Gambar 4.19 Dimensi Tapered Channel Intake 11 meter

Gambar 4.19 merupakan implementasi dari rancangan tapered channel berupa desain 3d menggunakan software Autodesk Inventor. Menurut KP1-7 mengenai kriteria perencanaan bangunan air, struktur tersebut direkomendasikan untuk menggunakan material concrete atau beton. Tapered channel diatas memiliki ukuran sesuai dengan rasio yang telah dijelaskan pada subbab sebelumnya yaitu 1meter untuk lebar mulut discharge, 4 meter untuk tinggi struktur keseluruhan, 8 meter untuk jarak terdekat dari reservoir keujung channel yang menghadap kearah laut, tinggi dinding 1.5 meter, 9 meter untuk panjang penampang horizontal channel, namun mulut inlet yang merupakan parameter bebas dalam rasio divariasikan menjadi 11 meter. Dengan mulut inlet selebar 11 meter, ukuran inlet dan discharge pada channel diatas memiliki perbandingan 11:1, perbandingan tersebut nantinya akan mempengaruhi debit inlet terhadap reservoir yang akan dibahas pada bagian berikutnya.



Gambar 4.20 Dimensi Tapered Channel Intake 11 meter

Gambar 4.20 merupakan dimensi utama dari gambar 4.19. Gambar tersebut memiliki 4 sudut pandang yaitu tampak samping, tampak depan, tampak atas, dan tegak lurus terhadap penampang horizontal channel.

Berikut merupakan tabel perhitungan debit pada masing masing desain tapered channel dengan mengasumsikan gelombang kerja selalu memenuhi kondisi ketinggian minimum.

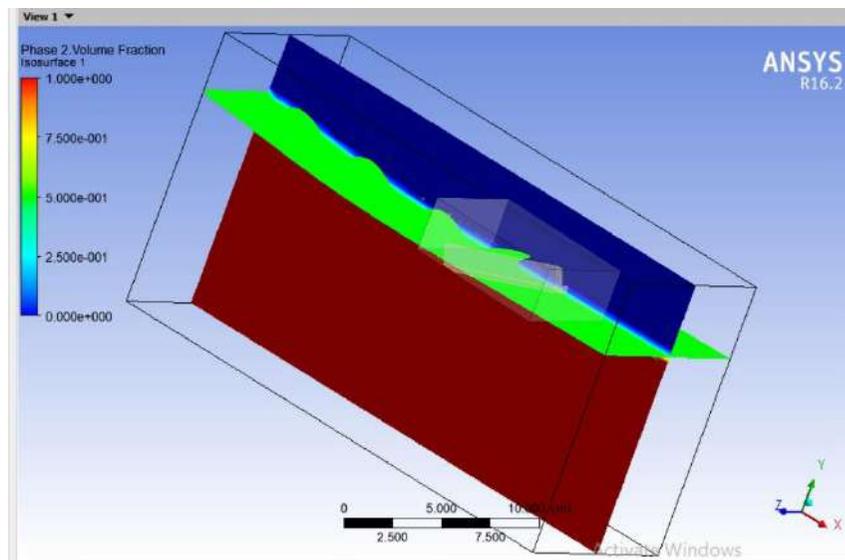
Tabel 2. Tabel perhitungan debit channel penelitian historis

no	Luas In	Debit Before Loss	Debit After Loss	
1	3	13.8333	3.87333	M3/sec
2	7	32.2778	9.03778	
3	11	50.7222	14.2022	

No 1, 2, dan 3 berturut turut merupakan luasan penampang intake pada channel dengan lebar 3, 7, dan 11 meter. Luasan tersebut didapatkan dari perkalian antara tinggi dinding dengan lebar inlet. Debit before loss merupakan perkalian antara kecepatan gelombang kerja dengan luas penampang, dan besaran tersebut merupakan besaran konstan yang belum terpengaruh oleh geometri channel. Kecepatan gelombang yang

masuk akan dibagi dengan 2, dengan mengasumsikan gelombang kearah pantai datang dan pergi, sehingga periodenya dikalikan dengan 2 yaitu periode datang dan periode pergi sehingga resultannya kemudian akan berkurang separuh. Debit after loss merupakan debit channel setelah dikurangi dengan pengaruh geometri pada channel, yang mana kemudian menurut hasil penelitian Rachel & Jason pada tahun 2010 akan terdapat hasil efisiensi 28%. Jadi dapat diperoleh debit masing masing dari channel dengan lebar inlet 3, 7, dan 11 meter masing masing adalah 3.87 m³/sec, 9.03 m³/sec, dan 14.2 m³/sec. Data tersebut nantinya akan digunakan sebagai laju pengisian reservoir serta perbandingan terhadap kecepatan discharge pada canal.

Data tersebut merupakan hasil perhitungan dari implementasi desain Rachel & Jason pada tahun 2010 menggunakan asumsi gelombang kerja konstan dan memiliki karakteristik yang sesuai dengan data Stasiun Meteorologi Maritim Perak II. Hasil penelitian historis tersebut menyatakan bahwa desain yang bersangkutan memiliki efisiensi 28% per unit. Maka dari itu dilakukanlah analisa komparasi menggunakan software Ansys Fluent.



Gambar 4.21 Simulasi Tapered Channel pada Ansys Fluent

Pada gambar 4.21 terlihat hasil simulasi menggunakan software Ansys Fluent. Pada simulasi tersebut digunakan sebuah *open flow chamber* sebagai area percobaan. Sebelum melakukan simulasi, dilakukan penentuan parameter apa saja yang akan diinputkan kedalam area percobaan tersebut. Pertama, area percobaan tersebut memiliki 2 fase yaitu air dan gas, lalu gaya yang bekerja pada area percobaan tersebut adalah gaya gravitasi searah dengan sumbu -Y. selanjutnya dilakukan pengaturan atmosfer dan

pemisahan fase antara air dan gas. Kemudian setelah fase terpisah, ditentukan fase mana yang akan bekerja, yaitu fase fluida, kemudian diberikan input untuk gaya yang bekerja pada fase fluida tersebut. Input untuk gaya yang bekerja antara lain adalah panjang gelombang, amplitude gelombang, serta periode gelombang sesuai dengan pengolahan data yang didapatkan melalui Stasiun Meteorologi Maritim Perak II. Setelah perancangan atmosfer lingkungan, dilakukan peletakan objek berupa channel pada ketinggian sesuai dengan amplitudo rata rata di perencanaan atmosfer.

Berikut merupakan hasil simulasi untuk penentuan efisiensi channel dengan menggunakan rasio dimensi yang sama dengan penelitian historis oleh Rachel dan Jason pada tahun 2010.

```

Forces - Direction Vector (1 0 0)
                                volume displacement (m3)
Zone                             Flow          Viscous          Total          Fl
wall-14                          0          3.2324117e-06   3.2324117e-06
wall-13                          0          -6.7579851e-05  -6.7579851e-05
Channel In                        3063.42857   0.0052196179    2116.8507
Channel out                       453.1714     -83.529037      35377.045
-----
Net                               18720.44     -83.523882      37493.896

```

Gambar 4.22 Hasil perhitungan efisiensi pada simulasi Tapered Channel 3 meter pada Ansys Fluent

Gambar 4.22 merupakan hasil output dari perhitungan efisiensi pada simulasi channel 3 meter pada Ansys Fluent. Didalam kotak merah terdapat parameter Channel In dan Channel Out dengan hasil dalam besaran m³. Channel In merupakan *Plane* yang diletakan pada mulut intake channel, sedangkan Channel Out adalah *Plane* yang diletakan pada output channel. Hasil yang diperoleh didalam kotak merah merupakan fluida kerja yang melewati *plane* Channel In dan Channel Out. Dari hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa efisiensi channel adalah keluaran dibagi oleh masukan yaitu sebesar 14.7%.

```

Forces - Direction Vector (1 0 0)
                                volume displacement (m3)
Zone                             Flow          Viscous          Total          Fl
wall-14                          0          3.2324117e-06   3.2324117e-06
wall-13                          0          -6.7579851e-05  -6.7579851e-05
Channel In                        7148.71521   0.0052196179    2116.8507
Channel out                       2408.876     -83.529037      35377.045
-----
Net                               37577.42     -83.523882      37493.896

```

Gambar 4.23 Hasil perhitungan efisiensi pada simulasi Tapered Channel 7 meter pada Ansys Fluent

Gambar 4.23 merupakan hasil output dari perhitungan efisiensi pada simulasi channel 7 meter pada Ansys Fluent. Didalam kotak merah terdapat parameter Channel In dan Channel Out dengan hasil dalam besaran m³. Channel In merupakan *Plane* yang diletakan pada mulut intake channel, sedangkan Channel Out adalah *Plane* yang diletakan pada output channel. Hasil yang diperoleh didalam kotak merah merupakan fluida kerja yang melewati *plane* Channel In dan Channel Out. Dari hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa efisiensi channel adalah keluaran dibagi oleh masukan yaitu sebesar 33.7%.

Forces - Direction Vector (1 0 0)				
Zone	volume displacement (m3)			
	Flow	Viscous	Total	Fl
wall-14	0	3.2324117e-06	3.2324117e-06	
wall-13	0	-6.7579851e-05	-6.7579851e-05	
Channel In	10091.325	0.0052196179	2116.8507	
Channel out	2309.411	-83.529037	35377.045	
Net	41990.51	-83.523882	37493.896	

Gambar 4.24 Hasil perhitungan efisiensi pada simulasi Tapered Channel 11 meter pada Ansys Fluent

Gambar 4.24 merupakan hasil output dari perhitungan efisiensi pada simulasi channel 11 meter pada Ansys Fluent. Didalam kotak merah terdapat parameter Channel In dan Channel Out dengan hasil dalam besaran m³. Channel In merupakan *Plane* yang diletakan pada mulut intake channel, sedangkan Channel Out adalah *Plane* yang diletakan pada output channel. Hasil yang diperoleh didalam kotak merah merupakan fluida kerja yang melewati *plane* Channel In dan Channel Out. Dari hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa efisiensi channel adalah keluaran dibagi oleh masukan yaitu sebesar 22.8%.

Setelah dilakukan simulasi menggunakan software Ansys Fluent, didapatkan perbedaan saat melakukan komparasi efisiensi penelitian historis dengan hasil simulasi software. Pada hasil penelitian historis, efisiensi seluruh channel dinyatakan sebesar 28%, namun pada hasil simulasi software channel 3 meter memiliki efisiensi sebesar 14.7%, channel 7 meter memiliki efisiensi sebesar 33.7% dan channel 11 meter memiliki efisiensi sebesar 22.8%. Dalam hal ini, dapat dinyatakan bahwa channel 3 meter dan channel 11 meter memiliki efisiensi yang lebih kecil daripada hasil penelitian historis sehingga kedua channel tersebut dapat dieliminasi dari pemilihan channel. Hasil simulasi pada channel 7 meter lebih besar dari hasil penelitian historis sehingga data efisiensi yang akan dipakai adalah data hasil simulasi software yaitu sebesar 33.7%.

Tabel 3. tabel perhitungan debit channel simulasi

no	luas int	debit before loss		debit after loss	
1	3	13.833333	M3/sec	2.0335	M3/sec
2	7	32.277778		10.8776	
3	11	50.722222		11.5647	

Tabel 3 merupakan perhitungan debit channel dengan efisiensi yang didapatkan dari hasil simulasi. Pada no 1, 2, dan 3 berturut turut memiliki efisiensi yaitu 14.7%, 33.7%, dan 22.8%, sehingga channel no 2 dengan ukuran lebar intake 7 meter dan memiliki debit sebesar 10.87m³/s adalah channel yang dipilih sebagai parameter rancang pembangkit.

4.3.2 Penentuan Ukuran Reservoir

Penentuan ukuran reservoir merupakan salah 1 pokok bahasan dari penelitian ini. Dari hasil pengolahan data di subbab sebelumnya, akan dibuat 11 variasi kolam dengan ketinggian yang berbeda sesuai dengan data kondisi alam dan desain Tappered Channel.

Tabel 4. Tabel Dimensi Reservoir 1 & 2

no	H (m)	L1 (m)	B1 (m)	V (m3)	no	H (m)	L2 (m)	B2 (m)	V (m3)
1	4	100	50	20000	1	4	150	75	45000
2	4.5	100	50	22500	2	4.5	150	75	50625
3	5	100	50	25000	3	5	150	75	56250
4	5.5	100	50	27500	4	5.5	150	75	61875
5	6	100	50	30000	5	6	150	75	67500

Tabel 5. Tabel Dimensi Reservoir 3 & 4

no	H (m)	L3 (m)	B3 (m)	V (m3)	no	H (m)	L4 (m)	B4 (m)	V (m3)
1	4	200	100	80000	1	4	250	125	125000
2	4.5	200	100	90000	2	4.5	250	125	140625
3	5	200	100	100000	3	5	250	125	156250
4	5.5	200	100	110000	4	5.5	250	125	171875
5	6	200	100	120000	5	6	250	125	187500

Tabel 6. Tabel Dimensi Reservoir 5 & 6

no	H (m)	L5 (m)	B5 (m)	V (m3)	no	H (m)	L6 (m)	B6 (m)	V (m3)
1	4	300	150	180000	1	4	350	175	245000
2	4.5	300	150	202500	2	4.5	350	175	275625
3	5	300	150	225000	3	5	350	175	306250
4	5.5	300	150	247500	4	5.5	350	175	336875
5	6	300	150	270000	5	6	350	175	367500

Tabel 7. Tabel Dimensi Reservoir 7 & 8

no	H (m)	L7 (m)	B7 (m)	V (m3)	no	H (m)	L8 (m)	B8 (m)	V (m3)
1	4	400	200	320000	1	4	450	225	405000
2	4.5	400	200	360000	2	4.5	450	225	455625
3	5	400	200	400000	3	5	450	225	506250
4	5.5	400	200	440000	4	5.5	450	225	556875
5	6	400	200	480000	5	6	450	225	607500

Tabel 8. Tabel Dimensi Reservoir 9 & 10

no	H (m)	L9 (m)	B9 (m)	V (m3)	no	H (m)	L10 (m)	B10 (m)	V (m3)
1	4	500	250	500000	1	4	550	275	605000
2	4.5	500	250	562500	2	4.5	550	275	680625
3	5	500	250	625000	3	5	550	275	756250
4	5.5	500	250	687500	4	5.5	550	275	831875
5	6	500	250	750000	5	6	550	275	907500

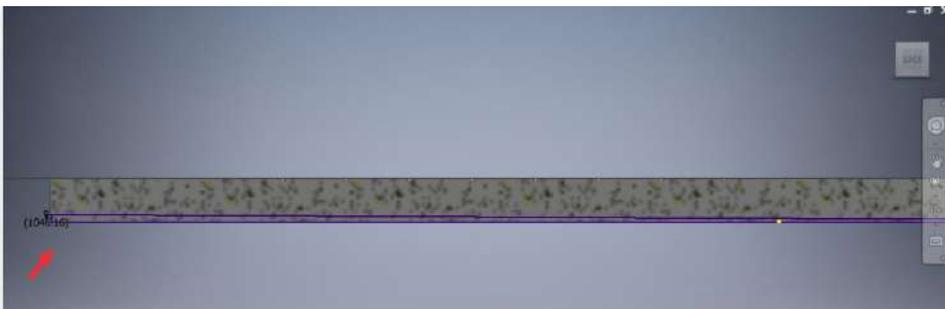
Tabel 9. Tabel Dimensi Reservoir 11

no	H (m)	L11 (m)	B11 (m)	V (m3)
1	4	600	300	720000
2	4.5	600	300	810000
3	5	600	300	900000
4	5.5	600	300	990000
5	6	600	300	1080000

Tabel 4 hingga 9 merupakan variasi dimensi kolam yang memiliki perbedaan ketinggian, luasan, serta volume. Masing masing dari besaran ukuran tersebut merepresentasikan parameter yang berbeda pada faktor penunjang yang lainnya. Ketinggian reservoir akan mempengaruhi secara langsung head static atau dapat juga dikalkulasikan sebagai kecepatan discharge pada canal. Pada table diatas dibuat 5 perbedaan ketinggian yaitu 4, 4.5, 5, 5.5, dan 6 meter. Karena amplifikasi maksimal pada channel adalah 4x, dan ketinggian gelombang kerja minimum adalah 1.2 meter, maka ditetapkan ketinggian minimal reservoir adalah 4 meter. Ketinggian tersebut lebih rendah dari hasil perkalian antara ketinggian gelombang kerja minimum dan amplifikasi channel. Namun lebih baik dibuat pendekatan kebawah untuk menjaga kontinuitas debit

inlet pada reservoir, karena data yang didapat melalui Stasiun Meteorologi Maritim Perak II merupakan data statistik, maka tidak dapat dilakukan *forecasting*, namun jika akurasi data tersebut sudah cukup mumpuni, maka hampir dapat dipastikan ketinggian gelombang kerja minimum akan diatas 1 meter. Pada ketinggian diatas 4 meter akan dilakukan *dredging* untuk menciptakan perbedaan ketinggian.

Dimensi L merupakan lebar dari reservoir yang mana akan mempengaruhi banyaknya unit channel yang dapat di *install*. Semakin lebar reservoir, maka akan semakin banyak juga channel yang dapat dipasang, maka dengan asumsi gelombang kerja memiliki kecepatan dan ketinggian konstan, aliran debit pada inlet juga semakin besar. Hal tersebut akan berpengaruh pada durasi pengisian reservoir. Dimensi B merupakan panjang reservoir kearah daratan, semakin panjang reservoir kearah daratan, maka semakin banyak canal atau pintu air yang dapat dipasang. Berkebalikan dengan banyaknya channel, jika jumlah canal semakin banyak, maka discharge reservoir semakin besar. Hal tersebut sangat mempengaruhi kondisi turbin dimana pada turbin kaplan, semakin besar debit maka semakin baik performa turbin tersebut. Namun mengingat adanya kondisi pasang dan surut, maka harus dilakukan beberapa penilaian antara kondisi inlet dan discharge pada reservoir sedemikian rupa agar terjadi keseimbangan sehingga pembangkit dapat selalu beroperasi pada kondisi pasang maupun surut. Bagian dasar reservoir akan didesain untuk memiliki kemiringan sebesar 0.3 derajat. Kemiringan tersebut cukup untuk membuat perbedaan ketinggian sebesar 1 meter sehingga air dapat selalu mengalir menuju area yang lebih rendah, dengan begitu pembuatan canal dapat dilakukan pada area yang dasarnya lebih rendah. Karena kemiringan ditarik dari ujung ketinggian menuju bagian dasar, maka bentuk penampangnya adalah segitiga, sehingga volumenya dapat dicari dengan mengalikan panjang, lebar, dan tinggi dibagi dengan 2. Besar kemiringan tersebut akan berpengaruh pada kapasitas reservoir karena terdapat volume kosong pada reservoir yang berkurang. Penampang kemiringan dasar reservoir tersebut dapat dilihat pada gambar 4.25



Gambar 4.25 Penampang Kemiringan Reservoir

Pada gambar 4.25 terlihat penampang kemiringan reservoir sebesar 0.3 derajat. Dengan perbedaan ketinggian 1 meter antara 1 sisi dengan ujung yang lain, maka volume yang berkurang pada berbagai tingkat ketinggian dapat dilihat pada table berikut ini.

Tabel 10 Rasio Kemiringan Volume Reservoir

H	X	rasio	rasio/2	
4	1	0.25	0.125	1/8
4.5	1	0.222222	0.111111	1/9
5	1	0.2	0.1	1/10
5.5	1	0.181818	0.090909	1/11
6	1	0.166667	0.083333	1/12

Pada table 10 terlihat H yaitu perbedaan ketinggian reservoir, X yaitu perbedaan yang dihasilkan oleh kemiringan dari 1 sisi dengan ujung yang lain pada reservoir, sedangkan rasio adalah perbandingan antara X dengan H, lalu rasio dibagi dengan 2 karena bentuk penampangnya merupakan segitiga. Sehingga dapat dihitung kapasitas yang hilang karena kemiringan tersebut pada tabel berikut.

Tabel 11 Losses kapasitas akibat kemiringan - 1&2

no	H (m)	L1 (m)	B1 (m)	V (m3)	loss	Total	no	H (m)	L2 (m)	B2 (m)	V (m3)	loss	Total
1	4	100	50	20000	2500	17500	1	4	150	75	45000	5625	39375
2	4.5	100	50	22500	2497.5	20002.5	2	4.5	150	75	50625	5619.375	45005.63
3	5	100	50	25000	2500	22500	3	5	150	75	56250	5625	50625
4	5.5	100	50	27500	2475	25025	4	5.5	150	75	61875	5568.75	56306.25
5	6	100	50	30000	2400	27600	5	6	150	75	67500	5400	62100

Tabel 12 Losses kapasitas akibat kemiringan - 3&4

no	H (m)	L3 (m)	B3 (m)	V (m3)	loss	Total	no	H (m)	L4 (m)	B4 (m)	V (m3)	loss	Total
1	4	200	100	80000	10000	70000	1	4	250	125	125000	15625	109375
2	4.5	200	100	90000	9990	80010	2	4.5	250	125	140625	15609.38	125015.6
3	5	200	100	100000	10000	90000	3	5	250	125	156250	15625	140625
4	5.5	200	100	110000	9900	100100	4	5.5	250	125	171875	15468.75	156406.3
5	6	200	100	120000	9600	110400	5	6	250	125	187500	15000	172500

Tabel 13 Losses kapasitas akibat kemiringan - 5&6

no	H (m)	L5 (m)	B5 (m)	V (m3)	loss	Total	no	H (m)	L6 (m)	B6 (m)	V (m3)	loss	Total
1	4	300	150	180000	22500	157500	1	4	350	175	245000	30625	214375
2	4.5	300	150	202500	22477.5	180022.5	2	4.5	350	175	275625	30594.38	245030.6
3	5	300	150	225000	22500	202500	3	5	350	175	306250	30625	275625
4	5.5	300	150	247500	22275	225225	4	5.5	350	175	336875	30318.75	306556.3
5	6	300	150	270000	21600	248400	5	6	350	175	367500	29400	338100

Tabel 14 Losses kapasitas akibat kemiringan - 7&8

no	H (m)	L7 (m)	B7 (m)	V (m3)	loss	Total	no	H (m)	L8 (m)	B8 (m)	V (m3)	loss	Total
1	4	400	200	320000	40000	280000	1	4	450	225	405000	50625	354375
2	4.5	400	200	360000	39960	320040	2	4.5	450	225	455625	50574.38	405050.6
3	5	400	200	400000	40000	360000	3	5	450	225	506250	50625	455625
4	5.5	400	200	440000	39600	400400	4	5.5	450	225	556875	50118.75	506756.3
5	6	400	200	480000	38400	441600	5	6	450	225	607500	48600	558900

Tabel 15 Losses kapasitas akibat kemiringan - 9&10

no	H (m)	L9 (m)	B9 (m)	V (m3)	loss	Total	no	H (m)	L10 (m)	B10 (m)	V (m3)	loss	Total
1	4	500	250	500000	62500	437500	1	4	550	275	605000	75625	529375
2	4.5	500	250	562500	62437.5	500062.5	2	4.5	550	275	680625	75549.38	605075.6
3	5	500	250	625000	62500	562500	3	5	550	275	756250	75625	680625
4	5.5	500	250	687500	61875	625625	4	5.5	550	275	831875	74868.75	757006.3
5	6	500	250	750000	60000	690000	5	6	550	275	907500	72600	834900

Tabel 16 Losses kapasitas akibat kemiringan - 11

no	H (m)	L11 (m)	B11 (m)	V (m3)	loss	Total
1	4	600	300	720000	90000	630000
2	4.5	600	300	810000	89910	720090
3	5	600	300	900000	90000	810000
4	5.5	600	300	990000	89100	900900
5	6	600	300	1080000	86400	993600

Table 11 hingga 16 merupakan losses kapasitas yang diakibatkan oleh kemiringan dasar reservoir. Loss merupakan perkalian antara volume dengan rasio pada table 2, sedangkan total merupakan kapasitas total reservoir setelah dikurangi oleh losses yang diakibatkan oleh kemiringan dasar reservoir.

4.3.3 Perancangan Canal

Perancangan dimensi canal dan luas penampang bukaan pintu air harus disesuaikan dengan berbagai aspek lainnya yaitu durasi surut maksimal, debit inlet channel terhadap reservoir, dan volume reservoir. Yang pertama kali ditinjau dalam hal ini adalah durasi surut maksimal yaitu 5 jam. Durasi tersebut merupakan acuan debit terbesar yang dapat diterapkan pada reservoir melalui canal sebelum persediaannya habis. Tabel berikut merupakan perhitungan durasi discharge pada reservoir dengan asumsi pintu air memiliki kapasitas discharge untuk 5 jam.

Tabel 17. Debit Discharge 1 - 4

H	L	B	Total V	durasi (s)	debit (m ³ /s)
4	100	50	17500	18000	0.49
4.5	100	50	20002.5	18000	0.56
5	100	50	22500	18000	0.63
5.5	100	50	25025	18000	0.70
6	100	50	27600	18000	0.77
4	150	75	39375	18000	1.09
4.5	150	75	45005.625	18000	1.25
5	150	75	50625	18000	1.41
5.5	150	75	56306.25	18000	1.56
6	150	75	62100	18000	1.73
4	200	100	70000	18000	1.94
4.5	200	100	80010	18000	2.22
5	200	100	90000	18000	2.50
5.5	200	100	100100	18000	2.78
6	200	100	110400	18000	3.07
4	250	125	109375	18000	3.04
4.5	250	125	125015.625	18000	3.47
5	250	125	140625	18000	3.91
5.5	250	125	156406.25	18000	4.34
6	250	125	172500	18000	4.79

Tabel 18 Debit Discharge 5 - 8

H	L	B	Total V	durasi (s)	debit (m3/s)
4	300	150	157500	18000	4.38
4.5	300	150	180022.5	18000	5.00
5	300	150	202500	18000	5.63
5.5	300	150	225225	18000	6.26
6	300	150	248400	18000	6.90
4	350	175	214375	18000	5.95
4.5	350	175	245030.6	18000	6.81
5	350	175	275625	18000	7.66
5.5	350	175	306556.3	18000	8.52
6	350	175	338100	18000	9.39
4	400	200	280000	18000	7.78
4.5	400	200	320040	18000	8.89
5	400	200	360000	18000	10.00
5.5	400	200	400400	18000	11.12
6	400	200	441600	18000	12.27
4	450	225	354375	18000	9.84
4.5	450	225	405050.6	18000	11.25
5	450	225	455625	18000	12.66
5.5	450	225	506756.3	18000	14.08
6	450	225	558900	18000	15.53

Tabel 19 Debit Discharge 9 - 11

H	L	B	Total V	durasi (s)	debit (m3/s)
4	500	250	437500	18000	12.15
4.5	500	250	500062.5	18000	13.89
5	500	250	562500	18000	15.63
5.5	500	250	625625	18000	17.38
6	500	250	690000	18000	19.17
4	550	275	529375	18000	14.70
4.5	550	275	605075.6	18000	16.81
5	550	275	680625	18000	18.91
5.5	550	275	757006.3	18000	21.03
6	550	275	834900	18000	23.19
4	600	300	630000	18000	17.50
4.5	600	300	720090	18000	20.00
5	600	300	810000	18000	22.50
5.5	600	300	900900	18000	25.03
6	600	300	993600	18000	27.60

Tabel 17, 18, dan 19 menunjukkan hubungan antara volume reservoir dengan durasi discharge pada kondisi surut maksimal yaitu 5 jam, atau jika diubah kedalam satuan detik yaitu menjadi 18000 detik. Debit berbeda pada setiap ukuran kolam mulai dari yang terkecil pada 0.97m3/s hingga yang terbesar 9.2 m3/s. Selanjutnya debit tersebut akan dijadikan acuan dalam menentukan dimensi pintu air.

$$\begin{aligned}
 Q &= A \times v \\
 Q &= \text{Debit} \\
 A &= \text{Luas penampang} \\
 v &= \text{kecepatan} \dots\dots\dots (1)
 \end{aligned}$$

Pada persamaan 1, debit merupakan hasil perkalian dari luas penampang dan kecepatan. Salah 1 dari ke 2 parameter tersebut harus dapat ditentukan, dan dari keduanya hanya kecepatanlah yang dapat dicari menggunakan aplikasi asas Bernoulli yaitu.

$$v = \sqrt{2gh} \dots\dots\dots (2)$$

Pada persamaan 2, kecepatan dapat dihitung dengan mengakarkan 2 kali gravitasi yang dikalikan dengan ketinggian. Maka, jika ketinggian h adalah perbedaan

ketinggian pada reservoir dan gravitasi adalah 9.81 m/s^2 , maka perhitungan kecepatan pada masing masing perbedaan dapat dihitung pada tabel 12.

Tabel 20. kecepatan pada perbedaan ketinggian

H (m)	g (m/s ²)	v (m/s)
4	9.81	8.86
4.5	9.81	9.40
5	9.81	9.90
5.5	9.81	10.39
6	9.81	10.85

Setelah didapatkan hasil persamaan kecepatan untuk masing masing tingkatan perbedaan ketinggian pada tabel 20, maka dilakukan perhitungan luasan penampang pintu air sesuai dengan persamaan 1. Jika perhitungan debit adalah sama dengan perkalian antara luas penampang dan kecepatan, maka perhitungan luas penampang adalah hasil pembagian pada debit oleh kecepatan. Maka, dengan menggunakan data debit discharge reservoir dan kecepatan pada tabel 12, dapat ditentukan dimensi area penampang pintu air. Penentuan dimensi canal ini akan mempengaruhi seberapa besar turbin yang dapat diletakan pada aliran air yang dilaluinya, sehingga, jika ukuran turbin terpengaruh, maka juga akan mempengaruhi generator serta listrik yang nantinya dapat dibangkitkan. Perhitungan luasan area penampang pintu air dapat dilihat pada tabel 21.

Tabel 21. kecepatan pada perbedaan ketinggian - 1

debit (m3/s)	v (m/s)	A (m2)	debit (m3/s)	v (m/s)	A (m2)
0.49	8.86	0.05	4.38	8.86	0.49
0.56	9.40	0.06	5.00	9.40	0.53
0.63	9.90	0.06	5.63	9.90	0.57
0.70	10.39	0.07	6.26	10.39	0.60
0.77	10.85	0.07	6.90	10.85	0.64
1.09	8.86	0.12	5.95	8.86	0.67
1.25	9.40	0.13	6.81	9.40	0.72
1.41	9.90	0.14	7.66	9.90	0.77
1.56	10.39	0.15	8.52	10.39	0.82
1.73	10.85	0.16	9.39	10.85	0.87
1.94	8.86	0.22	7.78	8.86	0.88
2.22	9.40	0.24	8.89	9.40	0.95
2.50	9.90	0.25	10.00	9.90	1.01
2.78	10.39	0.27	11.12	10.39	1.07
3.07	10.85	0.28	12.27	10.85	1.13
3.04	8.86	0.34	9.84	8.86	1.11
3.47	9.40	0.37	11.25	9.40	1.20
3.91	9.90	0.39	12.66	9.90	1.28
4.34	10.39	0.42	14.08	10.39	1.36
4.79	10.85	0.44	15.53	10.85	1.43

Tabel 22. kecepatan pada perbedaan ketinggian - 2

debit (m ³ /s)	v (m/s)	A (m ²)
12.15	8.86	1.37
13.89	9.40	1.48
15.63	9.90	1.58
17.38	10.39	1.67
19.17	10.85	1.77
14.70	8.86	1.66
16.81	9.40	1.79
18.91	9.90	1.91
21.03	10.39	2.02
23.19	10.85	2.14
17.50	8.86	1.98
20.00	9.40	2.13
22.50	9.90	2.27
25.03	10.39	2.41
27.60	10.85	2.54

Setelah didapatkan luasan pintu air seperti yang terlihat pada tabel 21 dan tabel 22, lalu ditentukan dimensi tinggi dan lebarnya. Dikarenakan tidak ada 1 pun dari luasan tersebut yang lebih besar dari 1m², maka diasumsikan lebar pintu air adalah 1 meter, dan ketinggiannya merupakan angka luasan tersebut dibagi oleh 1 sehingga menjadi angka itu sendiri namun dalam satuan meter.

Ketinggian pada pintu air merupakan ketinggian pembukaan pintu air secara vertikal, ketinggian tersebut merupakan dimensi pengoperasian pembangkit disaat kondisi surut maksimal yang mana diasumsikan gelombang tidak bisa mencapai channel sehingga tidak terdapat inlet debit pada reservoir. Sedangkan pada saat kondisi pasang, dengan asumsi gelombang tetap berjalan secara regular dan memiliki karakteristik yang sesuai dengan data Stasiun Meteorologi Maritim Perak II, maka inlet debit pada reservoir terus berlangsung. Pada kondisi pasang, discharge reservoir harus dimaksimalkan sedemikian rupa, karena tidak terdapat batasan 5 jam seperti pada saat kondisi surut. Maka akan dilakukan perbandingan antara debit inlet reservoir oleh channel, dan debit discharge reservoir oleh canal. Namun harus tetap diketahui bahwa debit discharge pada canal tidak boleh sama dengan debit inlet reservoir, karena jika hal tersebut terjadi, maka pada saat kondisi transisi surut menuju pasang, debit inlet pada reservoir oleh channel tidak memiliki cukup waktu untuk mengisi reservoir hingga penuh, sehingga tidak

terdapatnya perbedaan ketinggian air, dan jika tidak terdapat perbedaan ketinggian air antara canal dan reservoir, maka head statisnya akan terlalu kecil untuk mengalirkan air dari canal menuju turbin.

Sebelum dilakukan perbandingan antara debit inlet melalui channel dan discharge melalui canal, akan dilakukan perhitungan mengenai banyaknya unit channel yang dapat dipasang pada reservoir pada masing masing perbedaan dimensi.

Tabel 23. Jumlah channel pada perbedaan lebar reservoir

no	L	lebar	jumlah	gap	wall
1	100	8.9	11	1.5	0.4
2	150	8.9	17	1.5	0.4
3	200	8.9	22	1.5	0.4
4	250	8.9	28	1.5	0.4
5	300	8.9	34	1.5	0.4
6	350	8.9	39	1.5	0.4
7	400	8.9	45	1.5	0.4
8	450	8.9	51	1.5	0.4
9	500	8.9	56	1.5	0.4
10	550	8.9	62	1.5	0.4
11	600	8.9	67	1.5	0.4

Pada tabel 23 terlihat perhitungan jumlah channel pada setiap perbedaan lebar pada reservoir. Didalamnya terlihat *gap* dan *wall*, *gap* adalah jarak antara 1 channel dengan channel yang lain, sedangkan *wall* adalah lebar dinding yaitu 0.2 meter lalu dikalikan 2 dan menjadi 0.4 meter. Lebar yaitu lebar pada channel setelah ditambahkan *gap* dan *wall*. Jumlah adalah kuantitas channel dengan rasio sesuai dengan lebar reservoir. Jumlah channel didapatkan dengan membagi lebar reservoir dengan lebar channel. Setelah dilakukan pembagian antara lebar reservoir dengan lebar channel yang telah ditambahkan *gap* dan *wall*, maka hasilnya akan dilakukan pembulatan karena channel merupakan suatu perangkat yang tidak bisa dinyatakan dalam bilangan selain bilangan bulat. Untuk hasil dengan akhiran 0.1 hingga 0.4 dilakukan pembulatan kebawah, sedangkan hasil dengan akhiran 0.5 hingga 0.9 dilakukan pembulatan keatas.

Setelah didapatkan jumlah channel pada masing masing perbedaan lebar reservoir, maka didapatkan potensi debit maksimal yang dapat di implementasikan pada reservoir dengan asumsi gelombang kerja selalu konstan dan memiliki karakteristik yang sesuai dengan data Stasiun Meteorologi Maritim Perak II.

Tabel 24. Debit pada jumlah channel maksimum

no	L	debit ch	jumlah	max db
1	100	10.87m ³ /s	11	122.1
2	150		17	183.2
3	200		22	244.3
4	250		28	305.3
5	300		34	366.4
6	350		39	427.5
7	400		45	488.5
8	450		51	549.6
9	500		56	610.7
10	550		62	671.7
11	600		67	732.8

Setelah ditetapkan jarak maksimal pada setiap unit channel dengan channel lainnya, maka didapatkan jumlah channel maksimal, sehingga, seperti yang telah dikalkulasikan pada tabel 15, terdapat debit inlet maksimal pada masing masing perbedaan lebar reservoir. Pada tabel 15, debit ch yaitu debit inlet channel pada satuan meter kubik per detik, jumlah adalah kuantitas maksimum channel pada setiap reservoir dengan perbedaan lebar. Max db yaitu perkalian antara debit ch dengan jumlah channel pada masing masing reservoir.

Setelah menentukan konfigurasi channel yang akan dipakai serta debit maksimal pada setiap reservoir pada masing masing perbedaan lebar, akan dilakukan perbandingan antara debit inlet melalui channel dengan debit discharge melalui canal.

Tabel 25. Hubungan inlet – discharge 1

no	L	In (m ³ /s)	out min	min H	mult	eff min	min dis m ³ /s	rec max m ³ /s	second	m ³	minute	hour
1	100	122.1	0.97	0.80%	3	2.39%	2.9	119.2	232	27600	3.9	0.064
2	150	183.2	1.28	0.70%	3	2.10%	3.9	179.4	346	62100	5.8	0.096
3	200	244.3	1.87	0.76%	3	2.29%	5.6	238.7	463	110400	7.7	0.128
4	250	305.3	2.02	0.66%	3	1.99%	6.1	299.3	576	172500	9.6	0.160
5	300	366.4	2.45	0.67%	3	2.01%	7.4	359.1	692	248400	11.5	0.192
6	350	427.5	2.92	0.68%	3	2.05%	8.8	418.7	807	338100	13.5	0.224
7	400	488.5	3.42	0.70%	3	2.10%	10.3	478.3	923	441600	15.4	0.256
8	450	549.6	3.97	0.72%	3	2.17%	11.9	537.7	1039	558900	17.3	0.289
9	500	610.7	4.55	0.75%	3	2.24%	13.7	597.0	1156	690000	19.3	0.321
10	550	671.7	5.17	0.77%	3	2.31%	15.5	656.2	1272	834900	21.2	0.353
11	600	732.8	5.83	0.80%	3	2.39%	17.5	715.3	1389	993600	23.2	0.386

Tabel 25 berisikan tentang hubungan antara debit inlet reservoir melalui seluruh channel yang terpasang pada masing masing ukuran reservoir dan discharge reservoir menuju turbin melalui seluruh pintu canal. L adalah lebar reservoir, In (m³/s) adalah debit maksimum inlet pada reservoir setelah dikalikan dengan seluruh jumlah channel. Out min adalah adalah debit discharge reservoir menuju canal pada kondisi ketinggian 4 meter sebagai head terendah, Out min merupakan debit pengoperasian pembangkit pada kondisi surut maksimal. Min H adalah perbandingan antara out min dengan In (m³/s). Mult atau *multiplier* merupakan banyaknya canal yang terpasang pada panjang reservoir menuju daratan, canal dibuat memiliki jarak 10 meter antara 1 dengan yang lainnya. Eff min adalah hasil perkalian dari banyaknya canal dengan debit operasi masing masing canal, Eff min dapat juga disebut sebagai efisiensi operasi pada saat kondisi pasang, karena berbeda dengan kondisi surut dimana tidak terdapat gelombang dan hanya mengoperasikan 1 canal, kondisi pasang akan mengoperasikan seluruh canal. Min Dis (m³/s) atau minimum discharge merupakan hasil perkalian antara debit operasi masing masing canal dengan banyaknya jumlah canal, sehingga minimum discharge juga dapat dikatakan sebagai kapasitas maksimum discharge reservoir menuju turbin, dikatakan minimum karena debit tersebut didapat dari head reservoir terendah yaitu 4 meter. Yang terakhir merupakan rec max (m³/s) atau *maximum recovery time*. *Recovery Time* merupakan waktu pengisian reservoir pada saat seluruh volume telah terpakai pada kondisi surut dan kondisi laut baru mencapai pasang kembali dengan asumsi kondisi lingkungan sesuai dengan karakteristik data yang diperoleh melalui Stasiun Meteorologi

Maritim Perak II. *Recovery Time* didapatkan dengan membagi volume reservoir dengan debit inlet reservoir melalui seluruh channel. Dikatakan maksimum karena pada head terendah, volume berada pada titik terendah sehingga pengisian menjadi semakin cepat. Sedangkan debit untuk *recovery* didapatkan dengan cara mengurangi debit inlet reservoir melalui seluruh channel dengan debit discharge pada seluruh canal. Pada kondisi yang ideal dan sesuai dengan data lingkungan yang ada, reservoir dapat penuh kembali dalam waktu 2.5 hingga 10 menit pada kondisi head terendah.

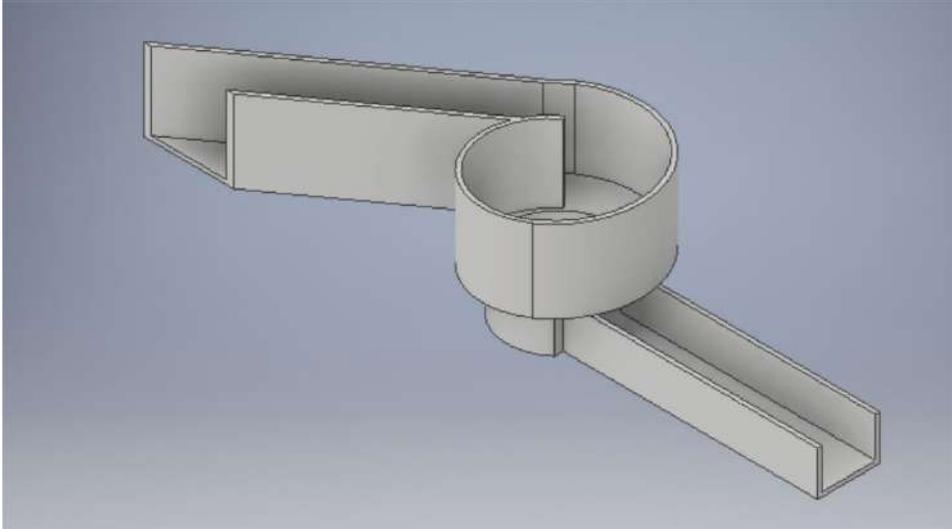
Tabel 26. Hubungan inlet – discharge 2

no	L	In (m ³ /s)	out max	max H	mult	eff max	max dis m ³ /s	rec min m ³ /s	second	m ³	minute	hour
1	100	122.1	1.5	1.26%	3	3.77%	4.6	117.5	235	27600	3.9	0.065
2	150	183.2	2.0	1.10%	3	3.31%	6.1	177.1	351	62100	5.8	0.097
3	200	244.3	2.8	1.15%	3	3.44%	8.4	235.9	468	110400	7.8	0.130
4	250	305.3	3.2	1.04%	3	3.13%	9.6	295.8	583	172500	9.7	0.162
5	300	366.4	3.9	1.05%	3	3.16%	11.6	354.8	700	248400	11.7	0.194
6	350	427.5	4.6	1.08%	3	3.23%	13.8	413.7	817	338100	13.6	0.227
7	400	488.5	5.4	1.10%	3	3.31%	16.2	472.3	935	441600	15.6	0.260
8	450	549.6	6.3	1.14%	3	3.41%	18.8	530.8	1053	558900	17.5	0.292
9	500	610.7	7.2	1.18%	3	3.53%	21.5	589.1	1171	690000	19.5	0.325
10	550	671.7	8.2	1.21%	3	3.64%	24.5	647.3	1290	834900	21.5	0.358
11	600	732.8	9.2	1.26%	3	3.77%	27.6	705.2	1409	993600	23.5	0.391

Tabel 26 berisikan tentang hubungan antara debit inlet reservoir melalui seluruh channel yang terpasang pada masing masing ukuran reservoir dan discharge reservoir menuju turbin melalui seluruh pintu canal. L adalah lebar reservoir, In (m³/s) adalah debit maksimum inlet pada reservoir setelah dikalikan dengan seluruh jumlah channel. Out ax adalah adalah debit discharge reservoir menuju canal pada kondisi ketinggian 6 meter sebagai head tertinggi, Out max merupakan debit pengoperasian pembangkit pada kondisi pasang. Max H adalah perbandingan antara out max dengan In (m³/s). Mult atau *multiplier* merupakan banyaknya canal yang terpasang pada panjang reservoir menuju daratan, canal dibuat memiliki jarak 10 meter antara 1 dengan yang lainnya. Eff max adalah hasil perkalian dari banyaknya canal dengan debit operasi masing masing canal, Eff max dapat juga disebut sebagai efisiensi operasi pada saat kondisi pasang, karena berbeda dengan kondisi surut dimana tidak terdapat gelombang dan hanya mengoperasikan 1 canal, kondisi pasang akan mengoperasikan seluruh canal. Max Dis (m³/s) atau maksimum discharge merupakan hasil perkalian antara debit operasi masing masing canal dengan banyaknya jumlah canal, sehingga maksimum discharge juga dapat dikatakan sebagai kapasitas maksimum discharge reservoir menuju turbin, dikatakan

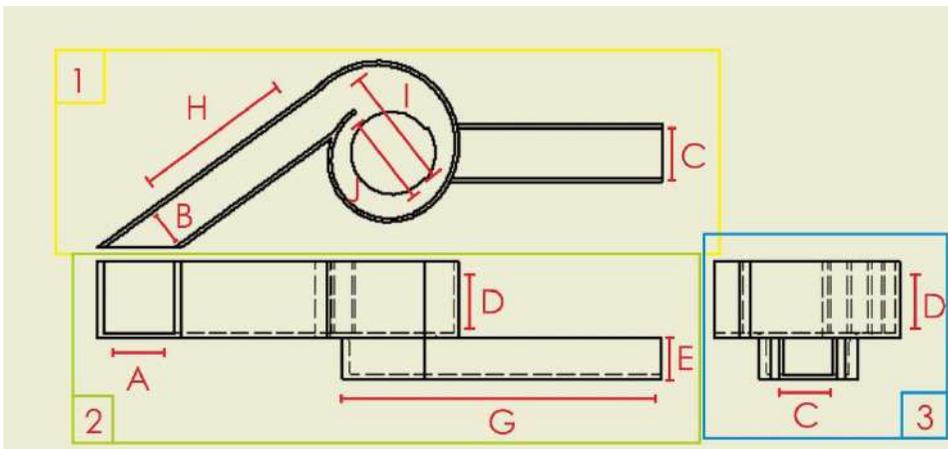
maksimum karena debit tersebut didapat dari head reservoir tertinggi yaitu 6 meter. Yang terakhir merupakan *rec min* (m^3/s) atau *minimum recovery time*. *Recovery Time* merupakan waktu pengisian reservoir pada saat seluruh volume telah terpakai pada kondisi surut dan kondisi laut baru mencapai pasang kembali dengan asumsi kondisi lingkungan sesuai dengan karakteristik data yang diperoleh melalui Stasiun Meteorologi Maritim Perak II. *Recovery Time* didapatkan dengan membagi volume reservoir dengan debit inlet reservoir melalui seluruh channel. Dikatakan minimum karena pada head tertinggi, volume berada pada titik tertinggi sehingga pengisian menjadi semakin cepat. Sedangkan debit untuk *recovery* didapatkan dengan cara mengurangi debit inlet reservoir melalui seluruh channel dengan debit discharge pada seluruh canal. Pada kondisi yang ideal dan sesuai dengan data lingkungan yang ada, reservoir dapat penuh kembali dalam waktu 4 hingga 20 menit pada kondisi head tertinggi.

Dapat disimpulkan bahwa pengaruh perbedaan head pada reservoir akan mempengaruhi jumlah debit yang akan dialirkan menuju turbin. Seperti yang terlihat dalam tabel 26 tepatnya didalam kotak merah, pada kondisi head dan volume tertinggi, reservoir memiliki efisiensi, volume, dan debit discharge yang lebih besar namun memiliki *recovery time* yang lebih panjang. Sedangkan kelebihan pada head dan volume yang lebih rendah adalah kebalikan dari kondisi tertinggi, yaitu memiliki *recovery time* yang lebih cepat. Dengan membandingkan kelebihan dan kekurangan dari parameter tersebut, head dan volume tertinggi memiliki keunggulan 3 dibanding 1, maka dari itu opsi untuk menggunakan head dan volume yang lebih rendah dapat diterminasi. Kemungkinan penggunaan reservoir pada ukuran perbedaan head 4.5, 5, dan 5.5 juga dapat diterminasi karena parameter tersebut bersifat linier dan hasilnya akan sama dengan kondisi head dan volume terendah dan kalah unggul dari head tertinggi.



Gambar 4.26. Desain Canal (sumber: Turbulent.be)

Pada gambar 4.26 terlihat pandangan isometrik desain canal sebagai discharge dari reservoir menuju turbin. Canal tersebut akan dipasang secara parallel pada dasar reservoir. Ditengahnya memiliki spiral yang terdiri atas 2 lingkaran yang mengecil menuju tengah lalu turun menuju canal pada level dibawahnya. Didalam spiral tersebut terdapat turbin yang kemudian akan digerakan oleh air yang mengalir dari reservoir. Pada gambar 4.27 akan ditunjukkan dimensi utama pada canal.



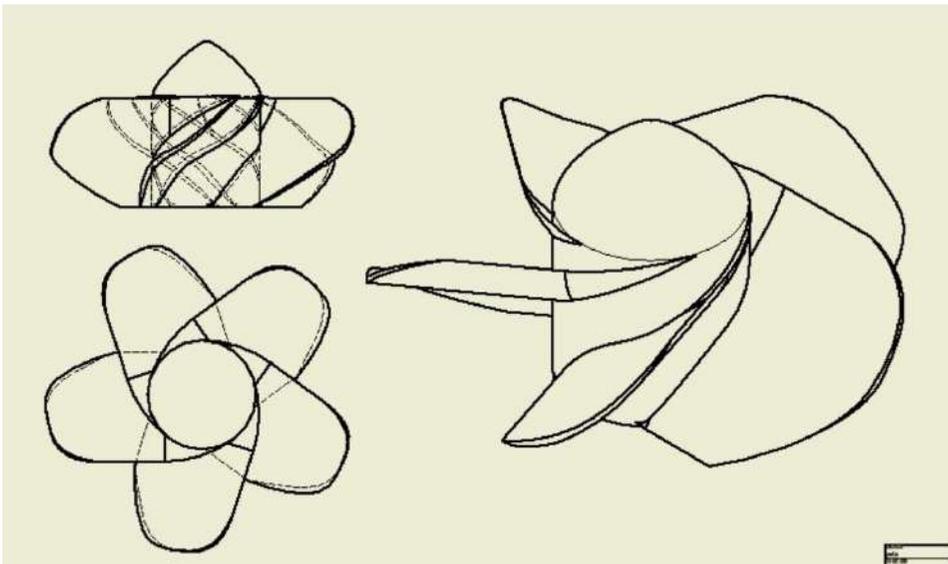
Gambar 4.27. Dimensi utama desain canal (sumber: Turbulent.be)

Kotak no 1 merupakan tampak atas dari canal, lalu kotak no 2 merupakan tampak samping dari canal, sedangkan kotak no 3 adalah tampak depan dari canal. Pada kotak

no 1 terdapat 5 dimensi yaitu dimensi B, H, I, J, dan C. B merupakan lebar penampang secara tegak lurus dari arah reservoir dengan dimensi 1 meter. H sebagai panjang canal dari reservoir menuju spiral sepanjang 6 meter. I dan J merupakan 2 separuh lingkaran yang membentuk spiral pada canal, I memiliki diameter 4 meter sedangkan J memiliki diameter 3 meter, dipusatnya terdapat ruang kosong sebagai jalur air dan sebagai daerah penempatan turbin. C merupakan lebar penampang output canal menuju laut sebesar 1.2 meter. Pada kotak nomor 2, terdapat 4 dimensi yaitu A, D, E, dan G. A merupakan bukaan pintu kanal selebar 1.7 meter. D adalah tinggi canal setinggi 1.75 meter, D dibuat lebih tinggi daripada level air untuk mencegah aliran air terbuang keluar dari canal. E adalah tinggi dari output canal menuju laut, E memiliki tinggi 1 meter. G adalah panjang output canal terhitung dari spiral canal, G memiliki dimensi sepanjang 7.75 meter. Yang terakhir adalah kotak nomor 3 sebagai tampak depan dari canal. Terdapat dimensi C dan D yang telah terwakilkan oleh tampak atas dan samping dari canal.

4.4 Analisis Perhitungan Simulasi Turbin

4.4.1 Analisis Desain Turbin Kaplan



Gambar 4.28. Desain Turbin Kaplan dengan 5 daun (sumber: Chamil Abeykoon, Tobi Hantsch)

Turbin Kaplan merupakan turbin air jenis propeller dengan daun yang dapat disesuaikan dengan arah sudut datang aliran. Turbin ini memiliki karakteristik untuk bekerja pada kondisi head yang paling rendah dibandingkan kedua jenis lainnya yaitu

Turbin Pelton dan Francis. Turbin kaplan sanggup bekerja dengan perbedaan head walau hanya setinggi 1.5 meter. Turbin Kaplan adalah turbin reaksi aliran ke dalam, yang berarti bahwa fluida perubahan tekanan bekerja ketika bergerak melalui turbin dan memberikan energinya. Power dipulihkan dari kedua kepala hidrostatis dan dari energi kinetik dari air yang mengalir. Pernah dilakukan penelitian tentang efisiensi pada turbin kaplan dengan jumlah 3, 4, dan 5 daun. Hasilnya menunjukkan bahwa jumlah daun sangat mempengaruhi efisiensi turbin. Turbin dengan jumlah 3 daun memiliki efisiensi terkecil yaitu 31.84%, 4 daun dengan efisiensi 50.98%, dan 5 daun dengan efisiensi 62.53%. Maka dari itu, turbin dengan 5 blade memiliki efisiensi tertinggi dan akan digunakan sebagai pengubah daya dalam pembangkit listrik tenaga gelombang dengan konfigurasi overtopping tapered channel.

4.4.2 Analisis Hasil Simulasi Turbin Kaplan

Untuk mendapatkan nilai torsi dari turbin yang dibutuhkan oleh generator, maka dibutuhkan hasil berupa simulasi aliran menuju turbin. Dimensi turbin yang dibutuhkan adalah sesuai dengan ukuran canal yang telah didesain, serta parameter untuk simulasi aliran pada turbin juga harus sesuai dengan desain aliran canal dari reservoir.

Tabel 27. Parameter pada canal

no	parameter	besaran
1	diameter spiral dalam	2 m
2	luas penampang canal	0.85 m ²
3	Kecepatan Head 6m	10.85 m/s
4	Kecepatan Head 5m	9.9 m/s
5	Kecepatan Head 4m	8.86 m/s
6	Kecepatan Head 3m	7.67 m/s
7	Kecepatan Head 2m	6.26 m/s

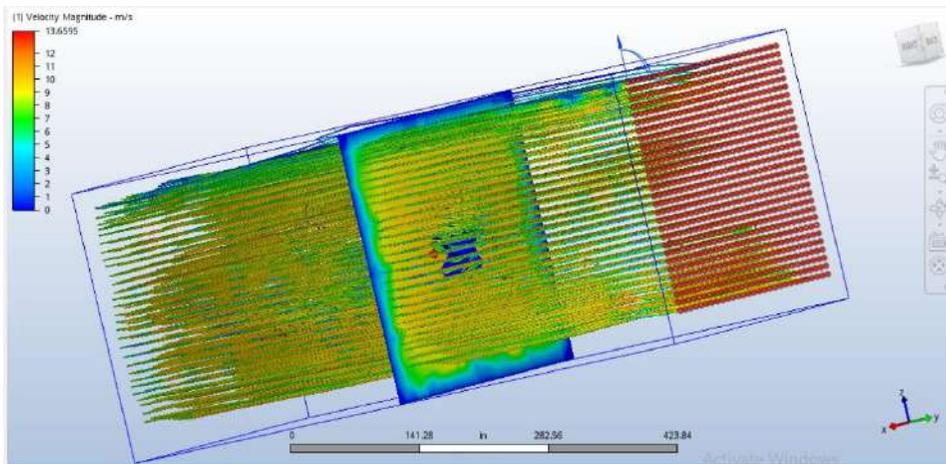
Parameter pada canal menunjukkan 7 besaran yaitu diameter spiral dalam canal yaitu sebesar 2 meter, luas penampang canal sebesar 0.85 m², kecepatan aliran pada head setinggi 6 meter sebesar 10.85 m/s, kecepatan aliran pada head setinggi 5 meter sebesar 9.9 m/s, kecepatan aliran pada head setinggi 4 meter sebesar 8.86 m/s, kecepatan aliran pada head setinggi 3 meter sebesar 7.67 m/s, kecepatan aliran pada head setinggi 2 meter sebesar 6.26 m/s, Diameter spiral dalam merupakan area yang akan ditempati oleh turbin, sedangkan aliran fluida pada canal akan menjadi parameter utama dalam input simulasi aliran. Pelaksanaan simulasi aliran terhadap turbin kaplan akan dilakukan

sebanyak 5 kali pada keadaan ketinggian head yang berbeda. Hal ini dilakukan untuk melihat performa turbin pada keadaan surut maksimal yaitu selama 5 jam sehingga pengujian pada perbedaan head diambil dalam kurun waktu 1 jam.

Pelaksanaan simulasi dilakukan dengan cara membuat suatu ruangan dengan keadaan lingkungan yang telah dikondisikan sedemikian rupa agar aliran fluida dapat menabrak turbin sehingga nantinya turbin bergerak dan menghasilkan torsi yang sesuai dengan kebutuhan pada generator. Terdapat berbagai besaran yang dapat didapatkan pada hasil simulasi diantaranya adalah:

- Tekanan
- Temperature
- Kekentalan
- Torsi
- Kecepatan
- Massa fluida
- Reynold number

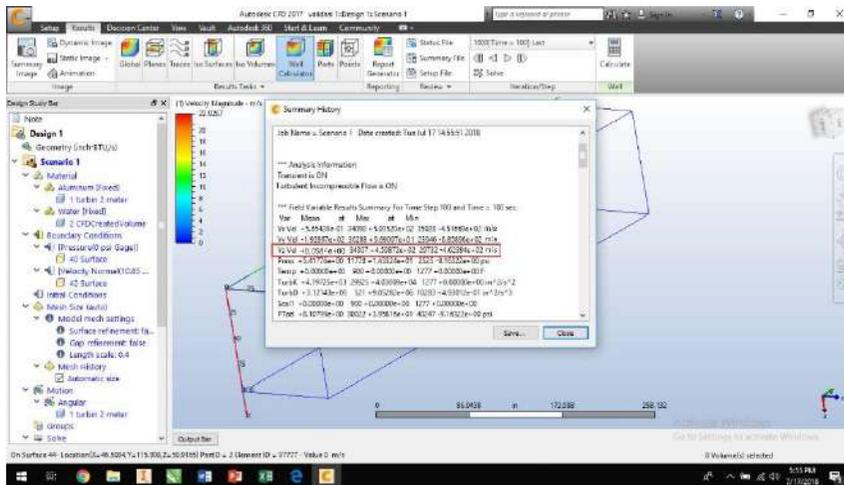
Namun output yang dibutuhkan oleh generator hanya 2 yaitu torsi dan kecepatan. Seperti yang telah dikalkulasikan pada desain canal, kecepatan aliran merupakan 10.85 m/s pada head 6 meter, 9.9 m/s pada head 5 meter, 8.87 pada head 4 meter, 7.67 m/s pada head 3 meter, dan 6.26 m/s pada head 2 meter, sehingga untuk penyesuaian kondisi lingkungan pada simulasi digunakan kecepatan sesuai dengan desain canal tersebut.



Gambar 4.29. Simulasi aliran pada Turbin Kaplan

Gambar 4.29 berisikan tentang hasil *trace* aliran pada simulasi, dapat dilihat objek berwarna biru yang merupakan turbin dikelilingi oleh sekumpulan garis yang mana merupakan aliran air.

A. Hasil Simulasi Turbin Kaplan pada Head Reservoir 6 meter



Gambar 4.30. Hasil Simulasi Turbin Kaplan pada Head Reservoir 6 meter

Setelah dilakukan penyesuaian kondisi lingkungan dan simulasi aliran pada turbin, didapatkan beberapa hasil yaitu massa aliran, volume aliran, Reynold number, tekanan, temperature, Mach number, torsi, total aliran massa, serta total aliran volume. Dari ke 9 hasil tersebut akan diambil output berupa torsi yang dibutuhkan oleh generator yaitu sebesar 7103 Nm.

```

*** CFD Summary File Output ***
CFD 2017 (Raven SP2) [20170227]

Job Name = Scenario 1 Date created: Wed Jul 11 20:09:54 2018

*** Analysis Information
Transient is ON
Turbulent Incompressible Flow is ON

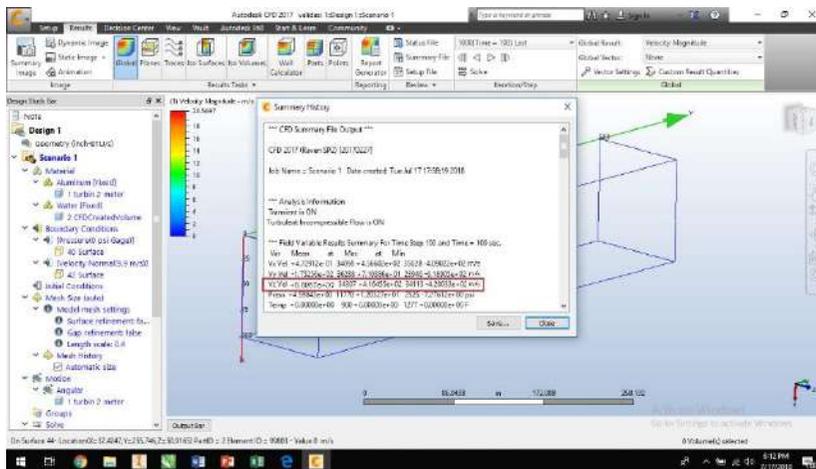
*** Field Variable Results Summary For Time Step 100 and Time = 100 sec.
Var      Mean      at      Max      at      Min
-----
V avg Vel -6.61736e-02 33851 +6.20821e+02 13487 -6.34015e+02 m/s
Press +1.37866e+00 1294 +9.88881e+00 3893 -7.29352e+00 psi
Temp +0.00000e+00 4997 +0.00000e+00 678 +0.00000e+00 F
TurbK +8.61828e+03 33953 +6.50037e+04 678 +0.00000e+00 in^2/s^2
TurbD +3.60332e+05 33953 +7.29088e+06 1291 +6.65750e-01 in^2/s^3
Sca11 +0.00000e+00 4997 +0.00000e+00 678 +0.00000e+00
PTot1 +3.44630e+00 7094 +1.36707e+01 39550 -7.29352e+00 psi
EVisc +4.50145e-03 35741 +8.14073e-03 35743 +0.00000e+00 lbf-s/in^2

```

Gambar 4.31. Hasil Simulasi Turbin Kaplan pada Head Reservoir 6 meter

Sedangkan pada gambar 4.31 merupakan hasil simulasi yang sama dengan gambar 4.30 namun berada pada panel yang lain. Dari hasil tersebut didapatkan kecepatan rata rata pergerakan objek yang mana merupakan kecepatan linear dari daun turbin yaitu sebesar 0.0662 m/s

B. Hasil Simulasi Turbin Kaplan pada Head Reservoir 5 meter



Gambar 4.32. Hasil Simulasi Turbin Kaplan pada Head Reservoir 5 meter

Setelah dilakukan penyesuaian kondisi lingkungan dan simulasi aliran pada turbin, didapatkan beberapa hasil yaitu massa aliran, volume aliran, Reynold number, tekanan, temperature, Mach number, torsi, total aliran massa, serta total aliran volume. Dari ke 9 hasil tersebut akan diambil output berupa torsi yang dibutuhkan oleh generator yaitu sebesar 6154 Nm.

```

*** CFD Summary File Output ***
CFD 2017 (Raven SP2) [20170227]
Job Name = Scenario 1 Date created: Thu Jul 12 17:19:30 2018

*** Analysis Information
Transient is ON
Turbulent Incompressible Flow is ON

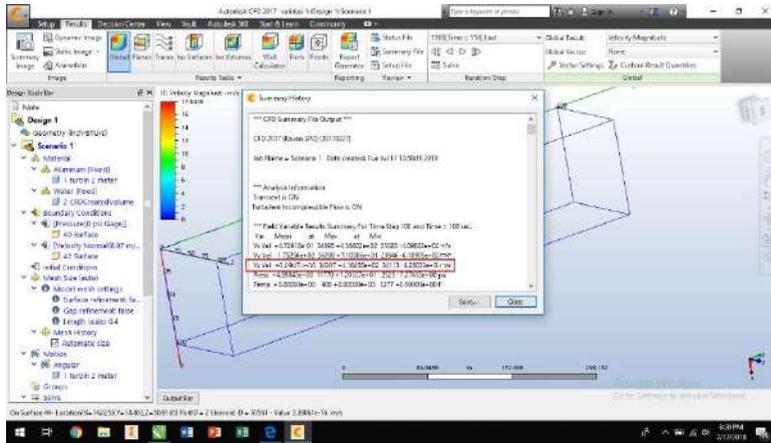
*** Field Variable Results Summary For Time Step 100 and Time = 100 sec.
Var      Mean      at      Max      at      Min
-----
V avg Vel -6.21806e-02  15073 +7.95740e+02  13523 -8.10096e+02 m/s
Press +1.05481e+00  1030 +8.03035e+00  3092 -5.77812e+00 psi
Temp +0.00000e+00  3941 +0.00000e+00  832 +0.00000e+00 F
TurbK +6.92508e+03  19394 +5.06119e+04  832 +0.00000e+00 in^2/s^2
TurbD +2.56246e+05  29498 +4.80112e+06  63 +3.12300e-01 in^2/s^3
Scall +0.00000e+00  3941 +0.00000e+00  832 +0.00000e+00
PTotl +2.74686e+00  7039 +1.10952e+01  39987 -5.77812e+00 psi
EVisc +4.10271e-03  1346 +7.38920e-03  36245 +0.00000e+00 lbf-s/in^2

```

Gambar 4.33. Hasil Simulasi Turbin Kaplan pada Head Reservoir 5 meter

Sedangkan pada gambar 4.33 merupakan hasil simulasi yang sama dengan gambar 4.32 namun berada pada panel yang lain. Dari hasil tersebut didapatkan kecepatan rata rata pergerakan objek yang mana merupakan kecepatan linear dari daun turbin yaitu sebesar 0.0621 m/s

C. Hasil Simulasi Turbin Kaplan pada Head Reservoir 4 meter



Gambar 4.34. Hasil Simulasi Turbin Kaplan pada Head Reservoir 4 meter

Setelah dilakukan penyesuaian kondisi lingkungan dan simulasi aliran pada turbin, didapatkan beberapa hasil yaitu massa aliran, volume aliran, Reynold number, tekanan, temperature, Mach number, torsi, total aliran massa, serta total aliran volume. Dari ke 9 hasil tersebut akan diambil output berupa torsi yang dibutuhkan oleh generator yaitu sebesar 4921 Nm.

```

*** CFD Summary File Output ***
CFD 2017 (Raven SP2) [20170227]

Job Name = Scenario 1   Date created: Thu Jul 12 17:11:04 2018

*** Analysis Information
Transient is ON
Turbulent Incompressible Flow is ON

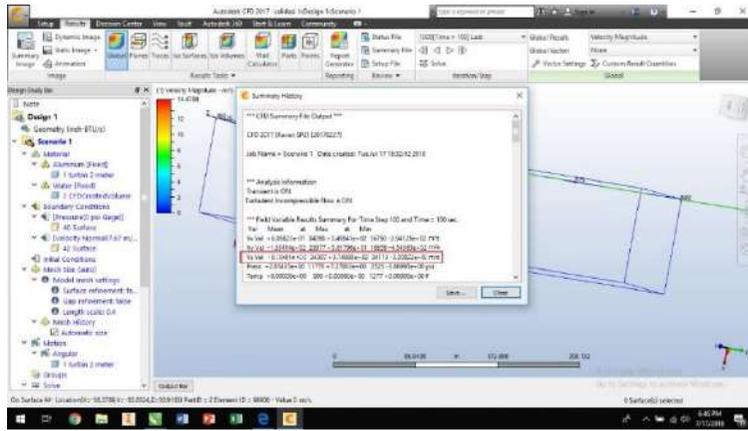
*** Field Variable Results Summary For Time Step 100 and Time = 100 sec.
Var      Mean      at      Max      at      Min
-----
V avg Vel -6.30822e-02  15073 +7.59330e+02  13523 -9.74184e+02 m/s
Press +9.40299e-01  1289 +6.57855e+00  3092 -4.37097e+00 psi
Temp +0.00000e+00  3941 +0.00000e+00  832 +0.00000e+00 F
TurbK +5.44717e+03  19394 +3.96480e+04  832 +0.00000e+00 in^2/s^2
TurbD +1.75769e+05  29498 +3.29537e+06  63 +2.25603e-01 in^2/s^3
Scall +0.00000e+00  3941 +0.00000e+00  832 +0.00000e+00
PItotl +2.27907e+00  7039 +9.04035e+00  39987 -4.37097e+00 psi
EVisc +3.68950e-03  17526 +6.64499e-03  36245 +0.00000e+00 lbf-s/in^2

```

Gambar 4.35. Hasil Simulasi Turbin Kaplan pada Head Reservoir 4 meter

Sedangkan pada gambar 4.35 merupakan hasil simulasi yang sama dengan gambar 4.34 namun berada pada panel yang lain. Dari hasil tersebut didapatkan kecepatan rata rata pergerakan objek yang mana merupakan kecepatan linear dari daun turbin yaitu sebesar 0.06308 m/s

D. Hasil Simulasi Turbin Kaplan pada Head Reservoir 3 meter



Gambar 4.36. Hasil Simulasi Turbin Kaplan pada Head Reservoir 3 meter

Setelah dilakukan penyesuaian kondisi lingkungan dan simulasi aliran pada turbin, didapatkan beberapa hasil yaitu massa aliran, volume aliran, Reynold number, tekanan, temperature, Mach number, torsi, total aliran massa, serta total aliran volume. Dari ke 9 hasil tersebut akan diambil output berupa torsi yang dibutuhkan oleh generator yaitu sebesar 3218 Nm.

```

*** CFD Summary File Output ***
CFD 2017 (Raven SP2) [20170227]

Job Name = Scenario 1 Date created: Thu Jul 12 16:45:30 2018

*** Analysis Information
Transient is ON
Turbulent Incompressible Flow is ON

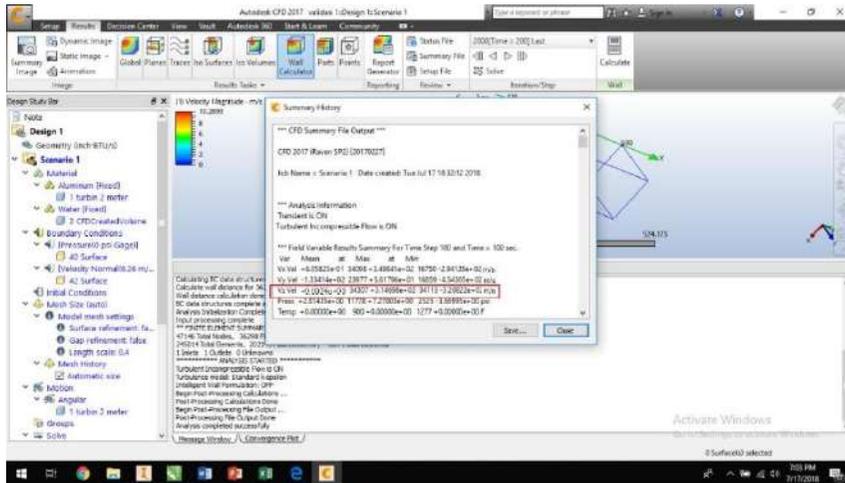
*** Field Variable Results Summary For Time Step 100 and Time = 100 sec.
Var      Mean      at      Max      at      Min
-----
V avg Vel -6.71707e-02 15073 +7.24424e+02 13523 -9.38643e+02 m/s
P Press +7.83351e-01 1289 +5.25583e+00 3092 -3.20930e+00 psi
Temp +0.00000e+00 3941 +0.00000e+00 832 +0.00000e+00 F
TurbK +4.17175e+03 16901 +3.02114e+04 832 +0.00000e+00 in^2/s^2
TurbD +1.15771e+05 29498 +2.10152e+06 1286 +1.61235e-01 in^2/s^3
Sca11 +0.00000e+00 3941 +0.00000e+00 832 +0.00000e+00
P Totl +1.82058e+00 7039 +7.18647e+00 40004 -3.20930e+00 psi
EVisc +3.28119e-03 17526 +5.90959e-03 36245 +0.00000e+00 lbf-s/in^2

```

Gambar 4.37. Hasil Simulasi Turbin Kaplan pada Head Reservoir 3 meter

Sedangkan pada gambar 4.37 merupakan hasil simulasi yang sama dengan gambar 4.36 namun berada pada panel yang lain. Dari hasil tersebut didapatkan kecepatan rata rata pergerakan objek yang mana merupakan kecepatan linear dari daun turbin yaitu sebesar 0.06717 m/s

E. Hasil Simulasi Turbin Kaplan pada Head Reservoir 2 meter



Gambar 4.38. Hasil Simulasi Turbin Kaplan pada Head Reservoir 2 meter

Setelah dilakukan penyesuaian kondisi lingkungan dan simulasi aliran pada turbin, didapatkan beberapa hasil yaitu massa aliran, volume aliran, Reynold number, tekanan, temperature, Mach number, torsi, total aliran massa, serta total aliran volume. Dari ke 9 hasil tersebut akan diambil output berupa torsi yang dibutuhkan oleh generator yaitu sebesar 2309 Nm.

```

*** CFD Summary File Output ***
CFD 2017 (Raven SP2) [20170227]

Job Name = Scenario 1   Date created: Thu Jul 12 17:01:55 2018

*** Analysis Information
Transient is ON
Turbulent Incompressible Flow is ON

*** Field Variable Results Summary For Time Step 100 and Time = 100 sec.
Var      Mean      at      Max      at      Min
-----
V avg Vel -6.29176e-02  15073 +8.89237e+02  13523 -7.02356e+02 m/s
Press +6.12541e-01  1289 +4.05400e+00  3092 -2.21326e+00 psi
Temp +0.00000e+00  3941 +0.00000e+00  832 +0.00000e+00 F
TurbK +3.04246e+03  16981 +2.23309e+04  832 +0.00000e+00 in^2/s^2
TurbD +7.00940e+04  29498 +1.24171e+06  1286 +1.02527e-01 in^2/s^3
Scall +0.00000e+00  3941 +0.00000e+00  832 +0.00000e+00
PTot1 +1.38496e+00  7039 +5.51266e+00  39151 -2.21326e+00 psi
EVisc +2.86798e-03  17526 +5.16537e-03  36245 +0.00000e+00 lbf-s/in^2

```

Gambar 4.39. Hasil Simulasi Turbin Kaplan pada Head Reservoir 2 meter

Sedangkan pada gambar 4.39 merupakan hasil simulasi yang sama dengan gambar 4.38 namun berada pada panel yang lain. Dari hasil tersebut didapatkan kecepatan rata rata pergerakan objek yang mana merupakan kecepatan linear dari daun turbin yaitu sebesar 0.062917 m/s

Tabel 28. Tabel Hasil Simulasi Aliran Turbin Kaplan

torsi	v	rad/s
2309	0.0924	0.0462
3218	0.0941	0.0470
4921	0.0947	0.0473
6154	0.0957	0.0478
7103	0.0984	0.0492

Selesainya pelaksanaan simulasi aliran turbin kaplan pada 5 kondisi head reservoir menghasilkan 10 output yang mana 5 diantaranya merupakan torsi dan 5 lainnya merupakan kecepatan. Ke 5 kondisi tersebut merupakan hasil dari kondisi surut. Pada saat kondisi pasang, dapat diasumsikan reservoir pada keadaan penuh dan dapat digunakan torsi tertinggi pada head 6 meter.

4.4.3 Perhitungan Hasil Simulasi Turbin Kaplan

Tabel 29. Hubungan antara gerak lurus dan melingkar

Gerak Lurus	Unit	Gerak Melingkar	Unit
X - Jarak	m	Θ	Rad
V - Kecepatan	m/s	ω	Rad/s
A - Percepatan	m/s ²	α	Rad/s ²

Pada tabel 29, kecepatan gerak lurus akan diubah menjadi gerak melingkar seperti yang terlihat pada gambar 21.

$$v = r \times \omega$$

$$\text{RPS} = \omega \times 9.55$$

$$\text{RPM} = \omega \times 9.55 \times 60$$

v = kecepatan gerak lurus dalam m/s
 r = radius dalam meter
 ω = kecepatan gerak melingkar dalam rad/s
 1 rad/s = 9.55 rpm

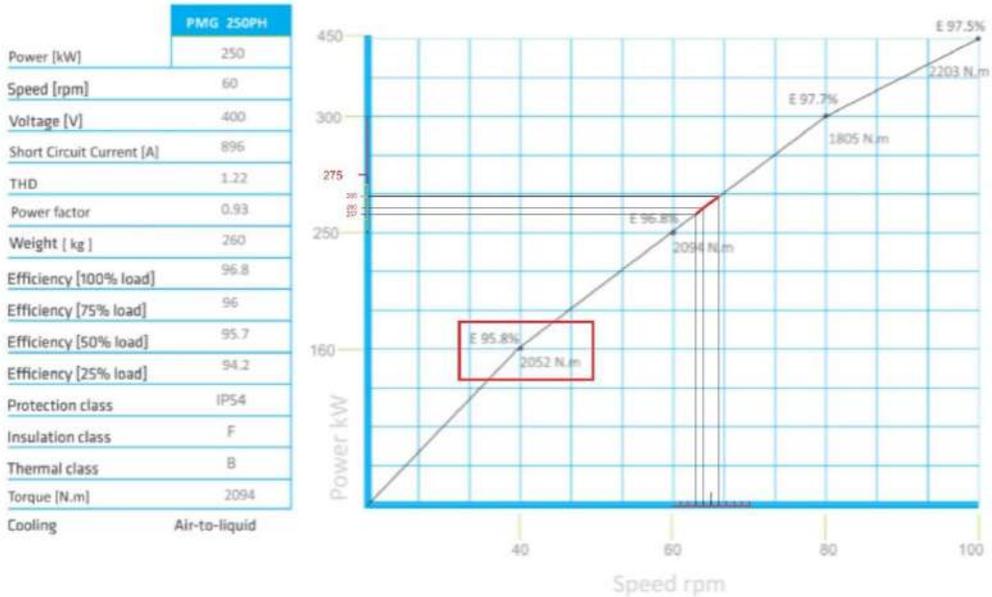
Gambar 4.40. Hubungan antara gerak melingkar dengan RPM

Dari gambar 4.40 dapat dilihat bahwa kecepatan gerak lurus dapat diubah menjadi kecepatan putaran perdetik dan permenit. Data yang dibutuhkan oleh generator adalah torsi dan RPM atau *Round per Minute*, maka data tersebut telah didapatkan dan dapat dilakukan pemilihan generator yang cocok untuk menyalurkan energi dari turbin.

Tabel 30. Hubungan antara gerak melingkar dengan RPM

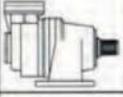
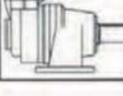
torsi	v	rad/s	rps	rpm
2309	0.0924	0.0462	0.4412	26.47
3218	0.0941	0.0470	0.4492	26.95
4921	0.0947	0.0473	0.4520	27.12
6154	0.0957	0.0478	0.4569	27.41
7103	0.0984	0.0492	0.4698	28.19

Pada kotak merah dalam tabel 30 dipilih no 5 yaitu hasil output pada simulasi aliran turbin pada head 6 meter. Dipilih output tertinggi karena pengoperasian pembangkit sebagian besar berjalan pada kondisi pasang sehingga reservoir akan cenderung untuk tetap terpenuhi dan dapat menjaga kondisi head pada kapasitas maksimum. Setelah didapatkan besaran rpm dan torsi, maka selanjutnya akan dilakukan pemilihan generator.



Gambar 4.41. Spesifikasi generator untuk Turbin Kaplan (sumber: enerset, 2017)

Spesifikasi generator yang dipilih seperti terlihat pada gambar 4.41, memiliki input torsi sebesar 2094 Nm dan RPM sebesar 60 untuk bekerja secara optimum. Jika melihat data pada tabel 21, maka torsi yang tersedia jauh melampaui apa yang dibutuhkan dan akan menjadi sia sia, lalu RPM turbin juga belum mencapai kebutuhan RPM minimum yang harus diterapkan pada generator. Maka dari itu akan dibutuhkan suatu gearbox yang dapat menurunkan torsi serta menaikkan RPM.

4000P1X	6000P1X	8000P1X	10000P1X	15000P1X		2
4000P2X	6000P2X	8000P2X	10000P2X	15000P2X		3
4000P3X	6000P3X	8000P3X	10000P3X	15000P3X		4
4000P4X	6000P4X	8000P4X	10000P4X	15000P4X		
4000P1C	6000P1C	8000P1C	10000P1C	15000P1C		2
4000P2C	6000P2C	8000P2C	10000P2C	15000P2C		3
4000P3C	6000P3C	8000P3C	10000P3C	15000P3C		4
4000P4C	6000P4C	8000P4C	10000P4C	15000P4C		
3.4..6.2	3.2..6.2	3.4..6.2	4.1..5.3	4.1..6.2		2
12..39	11..39	11..39	14..33	13..39		3
41..282	43..232	40..242	48..204	46..241		4
205..2403	193..1684	201..1754	201..1478	178..1448		

Gambar 4.42. Spesifikasi gearbox untuk generator (sumber: JBJ, 2018)

Spesifikasi gearbox seperti yang terlihat pada gambar 4.42 memiliki rasio 11/39 artinya gearbox tersebut dapat menginputkan RPM sebesar 11 lalu mengamplifikasikan putaran tersebut untuk menghasilkan output sebesar 39 RPM. Gearbox tersebut juga memiliki nilai output torsi maksimal sebesar 3000 Nm.

Tabel 31. Tabel perhitungan output turbin dengan rasio gearbox

Torque In		RPM in	GB Ratio	RPM out	Torque out
2309	Nm	26.47	2.35	62.20	983
3218		26.95	2.35	63.33	1369
4921		27.12	2.35	63.73	2094
6154		27.41	2.35	64.42	2619
7103		28.19	2.35	66.25	3023

Dengan rasio 39/11 atau sebesar 3.55, gearbox mampu menaikkan RPM turbin yang semula tidak mencukupi kebutuhan RPM generator serta menurunkan torsi yang semula terlalu besar menjadi mendekati kebutuhan generator. Setelah didapatkan perhitungan yang sesuai antara RPM dan torsi turbin untuk memenuhi kebutuhan generator, maka perhitungan daya untuk generator adalah.

Tabel 32. Daya yang dihasilkan generator pada Turbin Kaplan dengan head 6 meter

Turbin Kaplan Head 6m			
Generator	=	Enerset PMG 250 PH	
Daya	=	250	Kw
Kecepatan	=	60	RPM
Berat	=	468	Kg
Torsi	=	2094	Nm
Torsi input dari Turbin Kaplan	=	7103	Nm
RPM input dari Turbin Kaplan	=	28.19	RPM
Gearbox	=	JBJ	
Rasio gearbox	=	3.55x	
Torsi maksimum gearbox	=	3000	Nm
Daya dihasilkan	=	265	Kw

Daya yang dihasilkan oleh generator dapat dihitung dengan melihat torsi dan RPM. Input torsi dan RPM dari turbin kaplan berturut turut akan dibagi dan dikalikan oleh rasio gearbox, sehingga RPM outputnya adalah 67.3 sedangkan torsi outputnya adalah 3023. Daya yang dihasilkan dapat dilihat dengan memproyeksikan garis RPM dan torsi kearah power (Kw) lalu dikalikan dengan effisiensinya yaitu sebesar 98.2%. Maka dari itu, dapat diketahui bahwa daya yang dihasilkan dari 1 unit canal dengan 1 turbin

kaplan yang mana memiliki ketinggian head pada reservoir setinggi 6 meter adalah 265 Kw.

Tabel 33. Daya yang dihasilkan generator pada Turbin Kaplan dengan head 5 meter

Turbin Kaplan Head 5m			
Generator	=	Enerset PMG 250 PH	
Daya	=	250	Kw
Kecepatan	=	60	RPM
Berat	=	468	Kg
Torsi	=	2094	Nm
Torsi input dari Turbin Kaplan	=	6154	Nm
RPM input dari Turbin Kaplan	=	27.41	RPM
Gearbox	=	JBJ	
Rasio gearbox	=	3.55x	
Torsi maksimum gearbox	=	3000	Nm
Daya dihasilkan	=	265	Kw

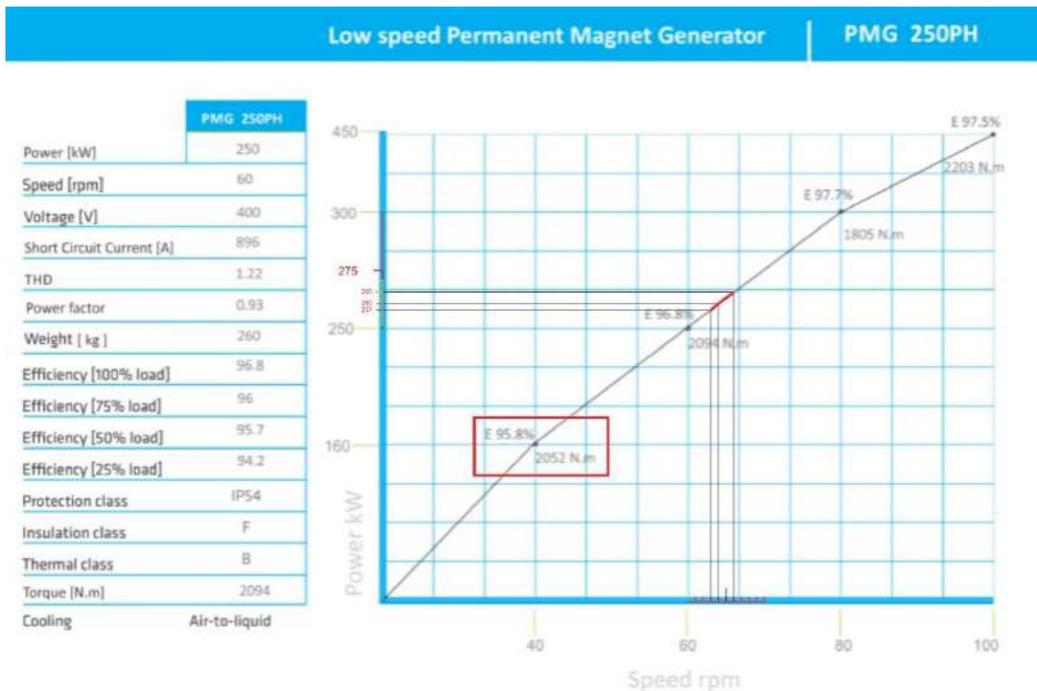
Daya yang dihasilkan oleh generator dapat dihitung dengan melihat torsi dan RPM. Input torsi dan RPM dari turbin kaplan berturut turut akan dibagi dan dikalikan oleh rasio gearbox, sehingga RPM outputnya adalah 63.17 sedangkan torsi outputnya adalah 6154. Daya yang dihasilkan dapat dilihat dengan memproyeksikan garis RPM dan torsi kearah power (Kw) lalu dikalikan dengan effisiensinya yaitu sebesar 98.2%. Maka dari itu, dapat diketahui bahwa daya yang dihasilkan dari 1 unit canal dengan 1 turbin kaplan yang mana memiliki ketinggian head pada reservoir setinggi 5 meter adalah 265 Kw.

Tabel 34. Daya yang dihasilkan generator pada Turbin Kaplan dengan head 4 meter

Turbin Kaplan Head 4m			
Generator	=	Enerset PMG 250 PH	
Daya	=	250	Kw
Kecepatan	=	60	RPM
Berat	=	468	Kg
Torsi	=	2094	Nm
Torsi input dari Turbin Kaplan	=	4921	Nm
RPM input dari Turbin Kaplan	=	27.12	RPM
Gearbox	=	JBJ	
Rasio gearbox	=	3.55x	
Torsi maksimum gearbox	=	3000	Nm
Daya dihasilkan	=	265	Kw

Daya yang dihasilkan oleh generator dapat dihitung dengan melihat torsi dan RPM. Input torsi dan RPM dari turbin kaplan berturut turut akan dibagi dan dikalikan oleh rasio gearbox, sehingga RPM outputnya adalah 64.08 sedangkan torsi outputnya adalah 4921. Daya yang dihasilkan dapat dilihat dengan memproyeksikan garis RPM dan torsi ke arah power (Kw) lalu dikalikan dengan effisiensinya yaitu sebesar 98.2%. Maka dari itu, dapat diketahui bahwa daya yang dihasilkan dari 1 unit canal dengan 1 turbin kaplan yang mana memiliki ketinggian head pada reservoir setinggi 4 meter adalah 265 Kw.

Performa generator pada kondisi surut maksimal memiliki grafik yang k, karena seiring dengan menurunnya head maka kecepatan aliran pada canal juga menurun, maka torsi pada turbin juga menurun sehingga performa generator akhirnya juga menurun selama durasi surut maksimal berlangsung seperti yang terlihat pada gambar 4.43.



Gambar 4.43. Grafik perbandingan Torsi, RPM, dan Daya generator 250 kw

Penurunan performa pada gambar 4.43 dinilai konstan dan dapat merepresentasikan seluruh hasil daya yang dibangkitkan oleh turbin selama kondisi apapun.. Maka akan dipilih generator dengan kapasitas yang sesuai yaitu Eneraset PMG 250.

Dengan menggunakan data pada tabel 31 tentang perhitungan output turbin dengan rasio gearbox, dilakukan plotting terhadap grafik perbandingan torsi, RPM, dan daya generator dengan kapasitas 250kw. Kemudian didapatkan hasil sebagai berikut.

Tabel 37. Hasil Keseluruhan Daya Pembangkit

Total Daya yang Dibangkitkan				
Nama	Generator	daya	jumlah	subtotal
Turbin Kaplan	Enerset PMG 250	265	3	795
			total	795

Dengan menggunakan 3 unit Turbin Kaplan pada 3 canal, maka didapat total daya terpasang sebesar 795 Kilowatt atau sebesar 0.795 Megawatt. Maka, dengan asumsi setiap rumah membutuhkan listrik sebesar 900 watt, daya dari pembangkit listrik tenaga gelombang dengan konfigurasi overtopping tapered channel ini secara ideal dapat disalurkan kepada sebanyak 850 rumah di Kabupaten Sikka NTT.

4.5 Analisis Ekonomi Pembangkit

Selanjutnya, akan dilakukan analisis ekonomi terkait pembangkit energy alternatif tenaga gelombang dengan konfigurasi overtopping tapered channel yang akan meliputi:

- Biaya pembangunan
- Investasi
- Gaji pegawai
- Biaya survey dan perawatan
- Total pendapatan

4.5.1 Biaya pembangunan

Yang termasuk dalam struktur pada pembangkit listrik alternative tenaga gelombang dengan konfigurasi overtopping tapered channel yaitu:

1. Reservoir
2. Tapered Channel
3. Canal

Seluruh komponen struktur pembangkit akan dibuat dari material concrete yaitu campuran semen PC, pasir, batu pecah, dan air. Maka dari itu pertama tama akan ditentukan harga concrete per m³. Untuk hal itu maka harga material akan dirujuk sumber dari Harga Satuan Pokok Pekerjaan 2017 (HSPK 2017).

Tabel 38. Harga Satuan Pokok Kegiatan 2017 (Sumber: HSPK 2017)

No	Nama	Satuan	koefisien	Harga Satuan	Total
1	Semen PC	40kg	1	61300	61300
2	Pasir cor	M3	0.45	260000	117000
3	Batu Pecah	M3	0.54	395000	213300
4	Air	liter	15	215	3225
				394825	/m3
1	Mandor	orang hari	0.083	163000	13529
2	Kepala Tukang	orang hari	0.028	153000	4284
3	Tukang	orang hari	0.275	126000	34650
8	Pembantu	orang hari	1.65	115000	189750
				242213	/hari

Setelah mendapatkan harga per satuan, akan dihitung harga per volume material yang dibutuhkan. Berikut merupakan volume material yang dihitung secara otomatis pada desain 3d berdasarkan software Autodesk Inventor.

Tabel 39. Volume pejal material struktur pembangkit

No	Nama	Dimensi (m3)	Kuantitas
1	Reservoir	943.7	1
2	Channel	10.16	23
3	Canal 1	8.32	1
4	Canal 2	12.54	1
5	Canal 3	16.851	1
6	Canal 4	21	1
7	Canal 5	25.227	1
8	Canal 6	29.47	1
9	Canal 7	33.71	1
10	Canal 8	37.94	1
11	Canal 9	42.56	1
12	Canal 10	46.38	1
13	Canal 11	50.55	1
14	Canal 12	54.84	1
15	Canal 13	58.069	1
16	Canal 14	63.29	1

Tabel 40. Harga Struktur Pembangkit

No	Nama	Dimensi	Kuantitas	Harga satuan	Harga total
1	Reservoir	943.7	1	394825	Rp 372,596,353
2	Channel	10.16	23	394825	Rp 92,262,706
3	Canal 1	8.32	1	394825	Rp 3,284,944
4	Canal 2	12.54	1	394825	Rp 4,951,106
5	Canal 3	16.851	1	394825	Rp 6,653,196
6	Canal 4	21	1	394825	Rp 8,291,325
7	Canal 5	25.227	1	394825	Rp 9,960,250
8	Canal 6	29.47	1	394825	Rp 11,635,493
9	Canal 7	33.71	1	394825	Rp 13,309,551
10	Canal 8	37.94	1	394825	Rp 14,979,661
11	Canal 9	42.56	1	394825	Rp 16,803,752
12	Canal 10	46.38	1	394825	Rp 18,311,984
13	Canal 11	50.55	1	394825	Rp 19,958,404
14	Canal 12	54.84	1	394825	Rp 21,652,203
15	Canal 13	58.069	1	394825	Rp 22,927,093
16	Canal 14	63.29	1	394825	Rp 24,988,474
					Rp 662,566,493

Sesuai dengan perhitungan volume dan penentuan harga per satuan sebelumnya, maka volume objek terkait akan dikalikan dengan harga concrete per satuan yaitu dalam m³, kemudian harga tersebut dikalikan dengan kuantitas objek. Selanjutnya didapatkan harga total keseluruhan material yang dibutuhkan sesuai dengan volume struktur pembangkit. Jadi biaya keseluruhan struktur pada pembangkit adalah sebesar Rp. 662.556.493.

Tabel 41. Gaji Pekerja Konstruksi

No	Nama	Satuan	koefisien	Harga Satuan	Total
1	Mandor	orang hari	0.083	163000	13529
2	Kepala Tukang	orang hari	0.028	153000	4284
3	Tukang	orang hari	0.275	126000	34650
8	Pembantu	orang hari	1.65	115000	189750
				242213	/hari
				484426000	/2000 hari

Dengan merujuk pada data harga satuan pokok kegiatan, didapatkan 1 tim pekerja konstruksi dengan bayaran Rp. 242213 per hari. Dengan mengasumsikan pekerjaan akan selesai selama 2000 hari atau sekitar 5 tahun waktu kerja, maka biaya keseluruhan gaji pekerja konstruksi adalah sebesar Rp. 484.426.000.

Untuk pengerukan tanah, harga satuan dapat diperoleh melalui SNI 2835:2008. Harga dredging per M3 menurut referensi tersebut adalah Rp. 57600 per m³, maka untuk mendapatkan harga total dari proses dredging yaitu dengan melihat tingkat kemiringan

tanah yang akan dikeruk, lalu mencari volume tanah yang akan dihilangkan kemudian dikalikan dengan harga per satuan.



Gambar 4.46. Tingkat elevasi tanah (sumber: google earth)

Berdasarkan visualisasi yang didapat dari google earth. Pada jarak 492 kaki atau sekitar 150 meter dari laut, dengan dimensi yang sesuai dengan reservoir, tanah tersebut memiliki ketinggian 23.622 kaki atau kurang lebih setinggi 7 meter. Maka dengan mengasumsikan dataran lurus dengan kemiringan konstan, volume dapat diperoleh dengan mengalikan lebar, panjang, dan tinggi dibagi dengan 2 sesuai dengan rumus segi 3, sehingga diperoleh volume tanah yang akan dikeruk sejumlah 105000 m³.

Tabel 42. Harga total investasi dredging (sumber: Permenhub, KM 70, 2010)

no	nama	satuan	koefisien	harga satuan	total
1	dredging	m3	105000	28000	2940000000

Maka investasi untuk pengerukan yaitu senilai Rp. 2940000000.

Selanjutnya adalah perhitungan untuk material turbin kaplan, generator, dan gearbox.

Tabel 43. Harga Material Turbin Kaplan (sumber: Aliexpress)

Turbin Kaplan						
Nama	kuantitas	ukuran	area	total	harga/satuan	total
Hub	1	68 cm	3.422 m ²	2.32 m ³	20000/cm	IDR 1,360,000.00
Blade	5	8mm	1.269 m ²	6.345 m ²	Rp. 470.088/m ²	IDR 2,982,708.36
						IDR 4,342,708.36
					assembly 300%	IDR 13,028,125.08
						IDR 17,370,833.44
					x14	IDR 243,191,668.16

Turbin kaplan dengan diameter 2 meter memiliki hub berdiameter 68 centimeter dengan material perunggu pejal, sedangkan bladanya terdapat 5 buah yang masing masing memiliki luasan 1.269 m² dan ketebalan 8mm. Harga total material tersebut berdasarkan situs jual beli online adalah 4.35 juta rupiah dengan rincian aluminum pejal dengan diameter 68 cm dengan harga 20000 rupiah per cm dan pelat untuk blade seharga 470000 rupiah per meter persegi. Ditambah dengan biaya assembly per unit sebesar 300% harga material sehingga harga per unitnya sebesar 17.37 juta rupiah kemudian diperbanyak sejumlah 14 unit dan didapatkan harga total sebesar 243.191.668 rupiah.

Tabel 44. Harga Generator dan Gearbox (sumber: Aliexpress)

Generator dan Gearbox					
No	Nama	Tipe	Kuantitas	Harga	Total
1	Generator	Enerset PMG 800	13	IDR 110,000,000.00	IDR 1,430,000,000.00
2	Generator	Enerset PMG 500	1	IDR 70,000,000.00	IDR 70,000,000.00
3	Gearbox	JBJ	14	IDR 65,000,000.00	IDR 910,000,000.00
					IDR 2,410,000,000.00

Pembangkit memiliki 14 unit canal dengan 14 turbin dan 14 generator sehingga setiap turbin memiliki generator masing masing serta setiap generator juga memiliki gearbox masing masing. Nilai investasi 14 unit gearbox dan generator adalah sebesar 2.410.000.000 rupiah.

4.5.2 Investasi

Investasi keuangan pada suatu perusahaan atau sebuah proyek selalu bertujuan untuk mendapatkan keuntungan di kemudian hari. Investasi untuk kebutuhan manufaktur pada pembangkit ini seperti kantor dan workshop serta biaya pembangunan pembangkit dapat dilihat pada tabel 20an.

Tabel 45. Perhitungan Office dan Workshop

no	deskripsi	unit	harga	total
1	office (sewa)	1	IDR 50,000,000.00	IDR 50,000,000.00
2	workshop (sewa)	1	IDR 50,000,000.00	IDR 50,000,000.00
3	computer	6	IDR 6,000,000.00	IDR 36,000,000.00
4	printer	6	IDR 500,000.00	IDR 3,000,000.00
5	air conditioner	8	IDR 2,500,000.00	IDR 20,000,000.00
6	meja	10	IDR 500,000.00	IDR 5,000,000.00
7	kursi	20	IDR 200,000.00	IDR 4,000,000.00
8	telepon	4	IDR 1,000,000.00	IDR 4,000,000.00
9	kulkas	2	IDR 1,500,000.00	IDR 3,000,000.00
10	kendaraan	2	IDR 15,000,000.00	IDR 30,000,000.00
Total				IDR 205,000,000.00

Tabel 46. Perhitungan Biaya Pembangunan Pembangkit

Total			
No	Nama	Harga	
1	Struktur Pembangkit	IDR	662,566,493
2	Pekerja Konstruksi	IDR	484,426,000
3	Dredging	IDR	2,940,000,000
4	Turbin Kaplan	IDR	243,191,668
5	Gearbox dan Generator	IDR	2,410,000,000
Total		IDR	6,740,184,161

Dari tabel 20 dan 21 didapatkan total investasi dari pembangkit. Untuk biaya pembangunan pembangkit yaitu sebesar Rp. 9.848.184.161 sedangkan untuk investasi workshop dan office yaitu sebesar Rp. 205.000.000. Maka nilai investasi dari pembangkit ini adalah sebesar Rp. 10.028.184.161.

4.5.3 Gaji Pegawai

Operasional pembangkit tidak berjalan sendiri melainkan dibutuhkan juga pegawai yang turut mengoperasikan serta melakukan kegiatan yang diperlukan agar pembangkit beroperasi secara optimal.

Tabel 47. Gaji pegawai per tahun

No	Posisi	Gaji		kuantitas	Total
		/bulan	/tahun		pengeluaran per tahun
1	Kepala cabang	5000000	60000000	1	IDR 60,000,000.00
2	kadin personalia	4000000	48000000	1	IDR 48,000,000.00
3	kepala teknik	4000000	48000000	1	IDR 48,000,000.00
4	departemen turis	4000000	48000000	1	IDR 48,000,000.00
5	personalia dan keuangan	3000000	36000000	2	IDR 72,000,000.00
6	staf teknik	3000000	36000000	4	IDR 144,000,000.00
7	keamanan	3000000	36000000	2	IDR 72,000,000.00
8	supir	2500000	30000000	2	IDR 60,000,000.00
9	pekerja lapangan	1500000	18000000	5	IDR 90,000,000.00
	total gaji	IDR 30,000,000.00	IDR 360,000,000.00	19	IDR 642,000,000.00

4.5.4 Biaya Survey dan Perawatan

Pembangkit dengan kapasitas terpasang 13.23 Mw tidak dapat berjalan terus menerus tanpa pengawasan dan perawatan, sehingga diperlukan pengeluaran untuk survey setiap tahun dan setiap 5 tahun.

Tabel 48. Biaya Survey dan Perawatan

Maintenance Pembangkit Kapasitas 13.23 Mw		
No	Maintenance	Harga
1	Tahunan (1.5%)	IDR 101,102,762
2	Spesial (3%)	IDR 202,205,524.83

Survey tahunan memiliki biaya sebesar 1.5% dari harga investasi pembangkit yaitu sebesar Rp. 101.102.762, sedangkan survey special atau setiap 5 tahun memiliki biaya sebesar 3% dari harga investasi pembangkit yaitu sebesar Rp. 202.205.524.

4.5.5 Pendapatan per Tahun

Tabel 49. Total Pendapatan per Tahun

Total Pendapatan per Tahun				
no	kapasitas	harga/kwh	capacity factor	total
1	12808 kw	1350	0.74	IDR 4,670,245,080.00

Dengan kapasitas 12.8 Mw, dan capacity factor sebesar 0.74 pembangkit ini memiliki pendapatan sebesar Rp. 4.67 milyar dalam 1 tahun dengan penjualan listrik seharga Rp. 1350/kwh dengan asumsi seluruh daya terdistribusi dan dikonsumsi oleh masyarakat sekitar.

BAB V PENUTUPAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan rumusan masalah dan tujuan dalam penelitian ini, telah didapatkan beberapa kesimpulan untuk menjawab masalah didalam penelitian terkait yaitu:

1. didapatkannya suatu rancangan pembangkit listrik alternative tenaga gelombang dengan konfigurasi overtopping tapered channel yang memiliki 11 variasi luasan reservoir dengan rentang 100m x 50m hingga 600m x 300m, 5 variasi ketinggian reservoir dengan rentang 4 hingga 6 meter, serta 3 variasi tapered channel dengan lebar mulut intake 3, 7 dan 11 meter. Setelah dilakukan pengkajian lebih lanjut, didapatkan dimensi optimal dimana pembangkit dapat selalu beroperasi pada keadaan laut pasang maupun surut yaitu pada ketinggian 6 meter dan luasan reservoir pada 600m x 300m. Untuk unit pembangkit daya, Terdapat 3 unit canal dengan 3 turbin kaplan yang masing masing diantaranya terhubung dengan sebuah generator. Kapasitas terpasang yang merupakan potensi pada pembangkit yaitu sebesar 0.795 Mw
2. Dari hasil perhitungan ekonomi pembangkit didapatkan total biaya investasi yang dikeluarkan untuk membangun seluruh unit pembangkit dan operasionalnya. Nilai investasi seluruh unit pembangkit yaitu sebesar Rp.6.945.184.161 sedangkan untuk biaya operasi tahunan termasuk survey dan maintenance yaitu sebesar Rp. 743.102.762. Dengan kapasitas 0.795 Mw pembangkit ini memiliki pendapatan sebesar Rp. 6.57 milyar dalam 1 tahun dengan penjualan listrik seharga Rp. 1350/kwh dengan asumsi seluruh daya terdistribusi dan dikonsumsi oleh masyarakat sekitar.

5.2 Saran

Potensi dari energy terbarukan di Indonesia sangatlah besar, potensi yang dimiliki tersebut tersebar dalam bentuk energy, termasuk energy arus, energy gelombang, dan energy angin. Terlepas dari itu, pemanfaatan potensi tersebut masih sangat minim dan masyarakat secara luas masih sangat bergantung pada bahan bakar minyak karena potensi energy yang seharusnya dapat disalurkan dan dimanfaatkan itu belum terintegrasikan dengan baik khususnya pada daerah dengan rasio elektrifikasi yang belum sepenuhnya terpenuhi seperti Kabupaten Sikka di NTT. Maka dari itu, aplikasi dari penelitian ini sangatlah berguna untuk memenuhi kebutuhan masyarakat secara umum. Dengan terpenuhinya kebutuhan masyarakat akan energy, maka perkembangan Indonesia untuk menjadi lebih maju dapat tercapai.

Daftar Pustaka

- <http://geometocean.co.id/2014/05/gelombang-laut.html>
- <http://www.ilmudasar.com/2017/07/Pengertian-Teori-Penyebab-Klasifikasi-dan-Pergerakan-Gelombang-Laut-adalah.html>
- <http://alpensteel.com/article/119-106-energi-laut-ombakgelombangarus/2174--definisi-gelombang-laut>
- <http://www.alpensteel.com/article/119-106-energilaut-ombakgelombangarus/3562--potensi-laut-sebagai-energi-gelombang>
- <https://www.scribd.com/document/263943138/Langkah-Langkah-Pembuatan-Kontur-Topografi-Dengan-Menggunakan-Software-Surpac-6>
- http://maritim.bmkg.go.id/prakiraan/satu_minggu_kedepan/?hari=7
- <http://www.satuenergi.com/2015/03/prinsip-kerja-turbin-kaplan.html>
- Beauchamp, K G (1997). Exhibiting Electricity. IET. p. 90. ISBN 9780852968956.
- <https://www.esdm.go.id/assets/media/content/content-rasio-elektifikasi-indonesia-status-juni-2017.pdf>
- <https://taperedchannelwaveenergy.weebly.com/how-does-it-work.html>
- Kumar D., Sangal S., Saini R.P. ; Flow Analysis of Kaplan Hydraulic Turbine by Computational Fluid Dynamics; International Journal of Applied Engineering Research; 2013; 8 : 61-65.
- Sangal S., Garg A., Kumar D.; Review of Optimal Selection of Turbines for Hydroelectric Projects; International Journal of Emerging Technology and Advance Engineering; 2013; 3- 3.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

Biografi Penulis

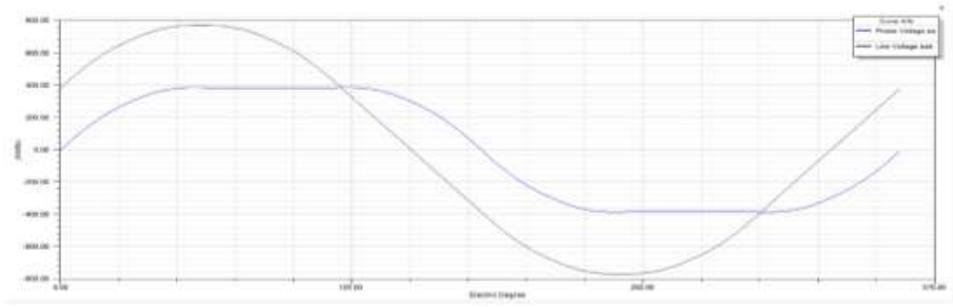
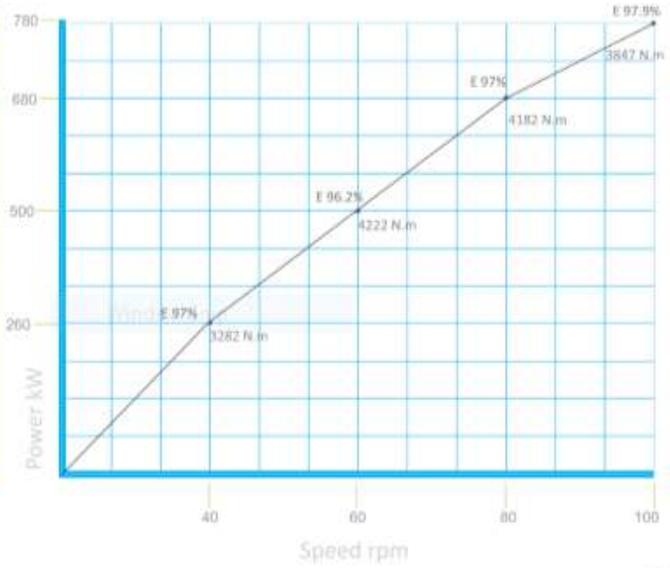


Hilmi Yahya Herlambang, lahir di Bogor, Jawa Barat pada 9 Desember 1995. Anak ke 3 dari 4 bersaudara. Memiliki bapak asal Bogor bernama Mohammad Yahya dan ibu asal Pati bernama Dariaty Nuraida. Memulai pendidikan formal di SDN Polisi 4 Bogor, dilanjutkan menuju SMPN 4 Bogor, kemudian bersekolah di SMAN 1 Bogor. Dimasa kecil penulis bercita cita menjadi seorang musisi dan suatu hari pernah bercita cita menjadi seorang atlet, namun, menyadari bahwa bakatnya tidak ada yang spesial, penulis memutuskan untuk melanjutkan pendidikannya di jalur formal menuju Departemen Teknik Sistem Perkapalan FTK ITS. Tidak ada yang istimewa dari penulis selama kuliah. Seperti mahasiswa lainnya, penulis pernah mengikuti berbagai organisasi dan kegiatan kemahasiswaan diantaranya adalah HIMASISKAL, dan Marine Icon. Disela perkuliahannya, penulis mengembangkan kemampuan berwirausahanya. Meski tidak begitu intuitif, namun penulis menyadari bahwa berwirausaha diturunkan dari kedua orangtuanya. Saat ini penulis berencana untuk mengembangkan usaha kedua orang tuanya yaitu PT. Mitra Innova yang bergerak pada bidang percetakan, general supply, dan ATK. Tidak menutup kemungkinan bahwa penulis akan melanjutkan pendidikan dibidang manajemen bisnis atau rekayasa rantai pasok.

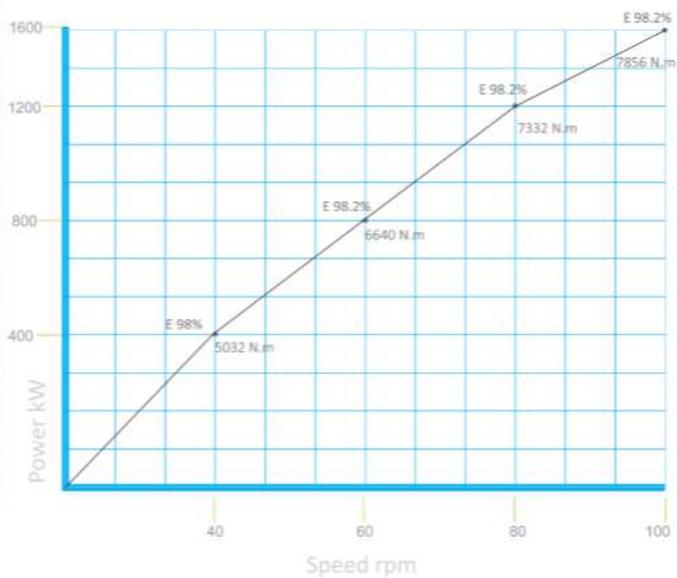
LAMPIRAN

LAMPIRAN
SPESIFIKASI GENERATOR

	PMG 500PH
Power [kW]	500
Speed [rpm]	60
Voltage [V]	400
Short Circuit Current [A]	1405
THD	1.22
Power factor	0.93
Weight [kg]	390
Efficiency [100% load]	96.2
Efficiency [75% load]	95.6
Efficiency [50% load]	95.8
Efficiency [25% load]	95
Protection class	IP54
Insulation class	F
Thermal class	B
Torque [N.m]	4222
Cooling	Air-to-liquid



PMG 800PH	
Power [kW]	800
Speed [rpm]	60
Voltage [V]	400
Short Circuit Current [A]	3700
THD	2.9
Power factor	0.93
Weight [kg]	468
Efficiency [100% load]	98.2
Efficiency [75% load]	97.6
Efficiency [50% load]	96.8
Efficiency [25% load]	96
Protection class	IP54
Insulation class	F
Thermal class	B
Torque [N.m]	6640
Cooling	Air-to-liquid



A
G

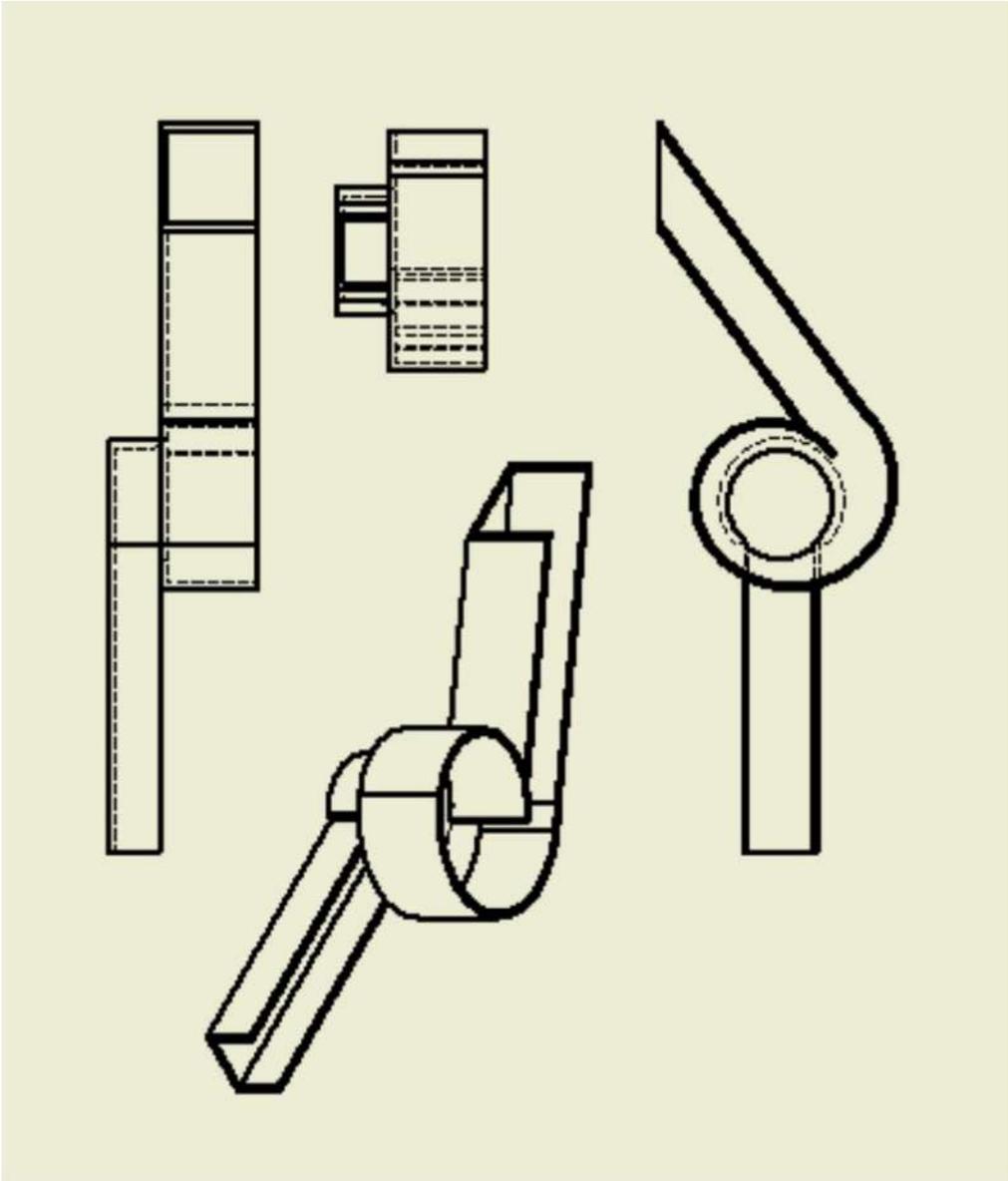
LAMPIRAN
SPESIFIKASI GEARBOX

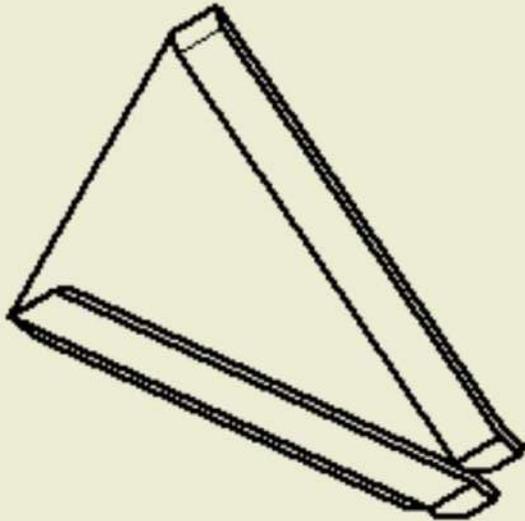
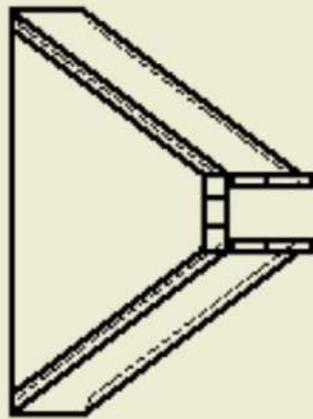
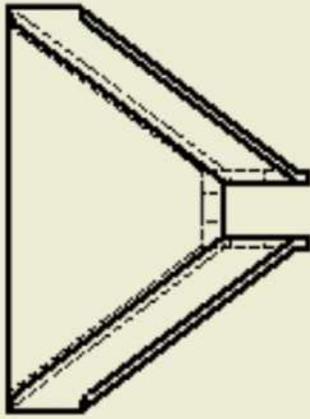
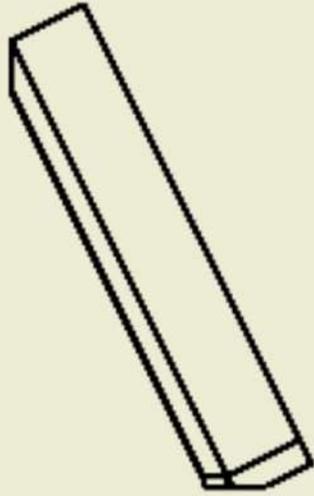
4000	6000	8000	10000	15000
4000M1X	6000M1X	8000M1X	10000M1X	15000M1X
4000M2X	6000M2X	8000M2X	10000M2X	15000M2X
4000M3X	6000M3X	8000M3X	10000M3X	15000M3X
4000M4X	6000M4X	8000M4X	10000M4X	15000M4X
4000M1C	6000M1C	8000M1C	10000M1C	15000M1C
4000M2C	6000M2C	8000M2C	10000M2C	15000M2C
4000M3C	6000M3C	8000M3C	10000M3C	15000M3C
4000M4C	6000M4C	8000M4C	10000M4C	15000M4C
4000F1	6000F1	8000F1	10000F1	15000F1
4000F2	6000F2	8000F2	10000F2	15000F2
4000F3	6000F3	8000F3	10000F3	15000F3
4000F4	6000F4	8000F4	10000F4	15000F4
4000F1P	6000F1P	8000F1P	10000F1P	15000F1P
4000F2P	6000F2P	8000F2P	10000F2P	15000F2P
4000F3P	6000F3P	8000F3P	10000F3P	15000F3P
4000F4P	6000F4P	8000F4P	10000F4P	15000F4P
4000P1X	6000P1X	8000P1X	10000P1X	15000P1X
4000P2X	6000P2X	8000P2X	10000P2X	15000P2X
4000P3X	6000P3X	8000P3X	10000P3X	15000P3X
4000P4X	6000P4X	8000P4X	10000P4X	15000P4X
4000P1C	6000P1C	8000P1C	10000P1C	15000P1C
4000P2C	6000P2C	8000P2C	10000P2C	15000P2C
4000P3C	6000P3C	8000P3C	10000P3C	15000P3C
4000P4C	6000P4C	8000P4C	10000P4C	15000P4C

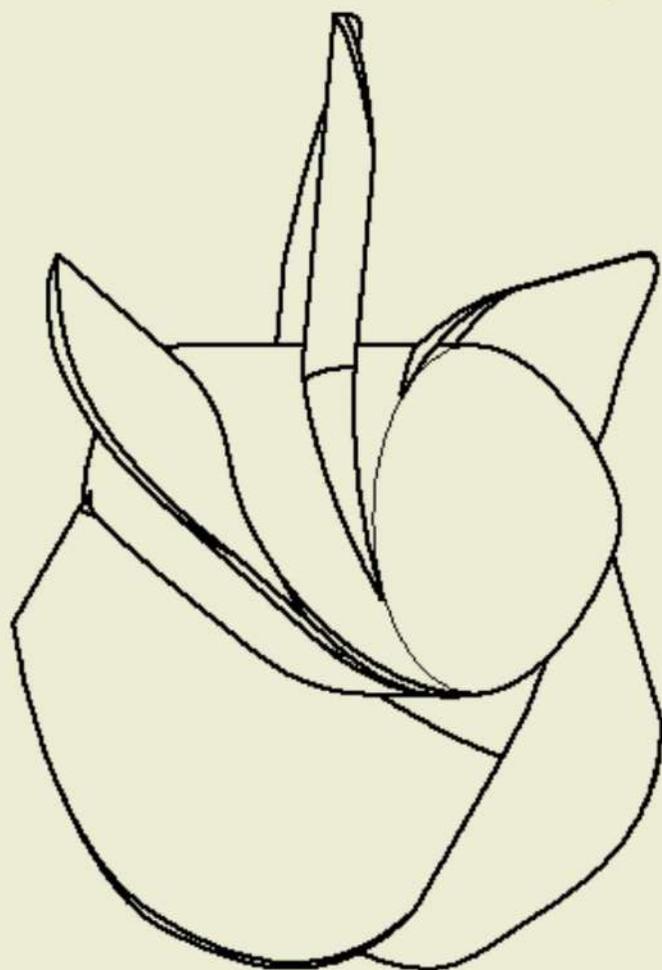
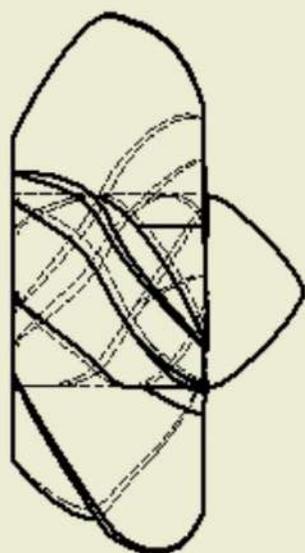
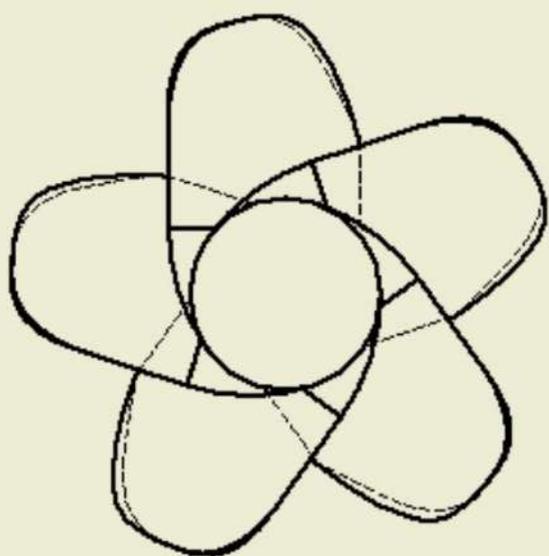
Output shaft	Shaft	300	500	800	1300	1800	2000	3000	4000	6000	8000	10000
flange spind	2	300F2A	500F2A	800F2A	1300F2A	1800F2A	2000F2A	3000F2A	4000F2A	6000F2A	8000F2A	10000F2A
	3	300F3A	500F3A	800F3A	1300F3A	1800F3A	2000F3A	3000F3A	4000F3A	6000F3A	8000F3A	10000F3A
	4	300F4A	500F4A	800F4A	1300F4A	1800F4A	2000F4A	3000F4A	4000F4A	6000F4A	8000F4A	10000F4A
	2	300F2AP	500F2AP	800F2AP	1300F2AP							
flange spind	3	300F3AP	500F3AP	800F3AP	1300F3AP	1800F3AP	2000F3AP	3000F3AP	4000F3AP			
	4	300F4AP	500F4AP	800F4AP	1300F4AP	1800F4AP	2000F4AP	3000F4AP	4000F4AP	6000F4AP	8000F4AP	10000F4AP
	2	300P2AX	500P2AX									
	3	300P3AX	500P3AX	800P3AX	1300P3AX							
flange spind	4	300P4AX	500P4AX	800P4AX	1300P4AX							
	2	300P2AC	500P2AC									
	3	300P3AC	500P3AC	800P3AC	1300P3AC							
	4	300P4AC	500P4AC	800P4AC	1300P4AC							



LAMPIRAN
DESAIN





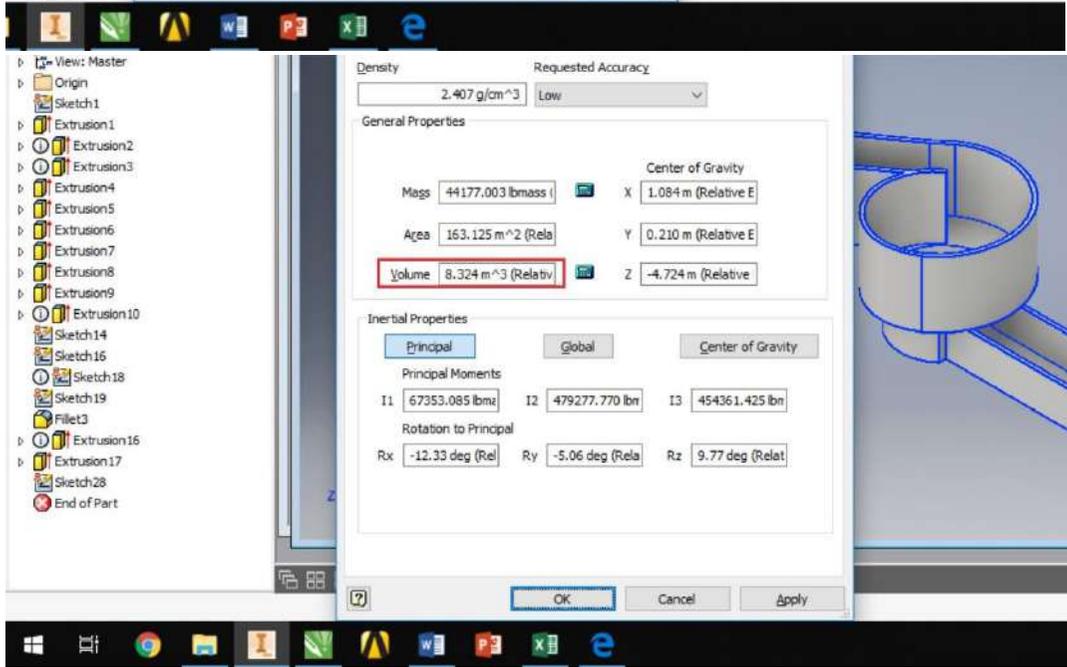
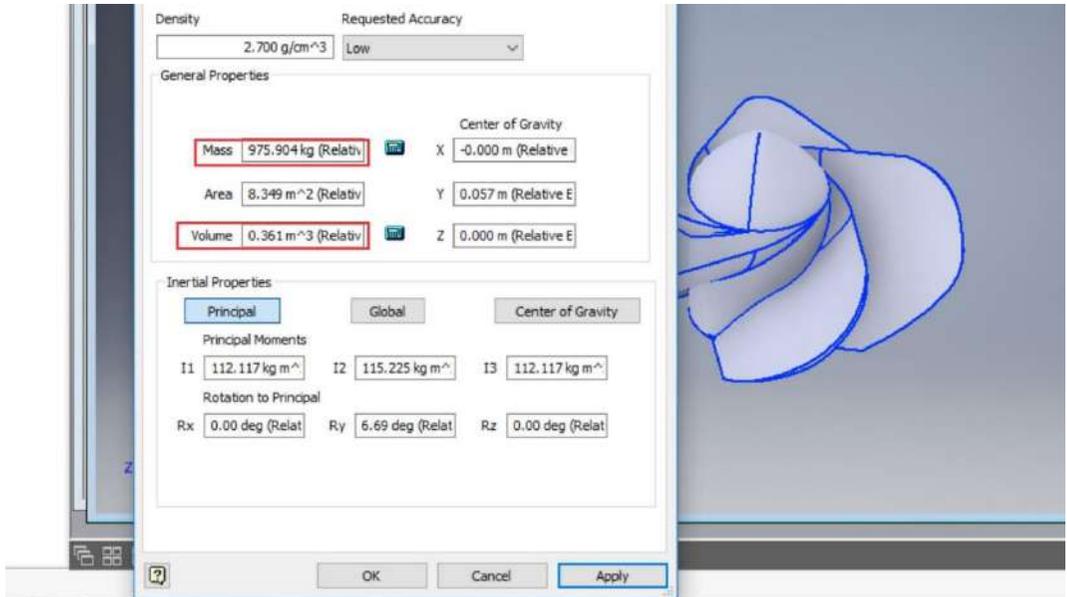


LAMPIRAN
HSPK

**DAFTAR HARGA SATUAN POKOK KEGIATAN
(HSPK)**

NOMOR	URAIAN KEGIATAN	Koef.	SATUAN	HARGA SATUAN	HARGA
C	STRUKTUR UTAMA				
24.03.01	Beton				
24.03.01.01	Pekerjaan Beton K-100		m3	SNI 7394:2008 (6.1)	
	Upah:				
23.02.04.01.01.F	Mandor	0,0830	Orang Hari	163.000	13.529
23.02.04.01.02.F	Kepala Tukang	0,0280	Orang Hari	153.000	4.284
23.02.04.01.03.F	Tukang	0,2750	Orang Hari	126.000	34.650
23.02.04.01.04.F	Pembantu Tukang	1,6500	Orang Hari	115.000	189.750
	Jumlah:				242.213
	Bahan:				
20.01.01.02.01.F	Semen PC 40 Kg	6,1750	Zak	61.300	378.528
20.01.01.04.04.F	Pasir Cor	0,5431	M3	260.000	141.213
20.01.01.05.04.01.F	Batu Pecah Mesin 1/2 cm	0,5258	M3	395.200	207.792
23.02.02.02.01.F	Biaya Air	215,0000	Liter	6	1.290
	Jumlah:				728.822
	Nilai HSPK :				971.035
24.03.01.02	Pekerjaan Beton K-125		m3	SNI 7394:2008 (6.2)	
	Upah:				
23.02.04.01.01.F	Mandor	0,0830	Orang Hari	163.000	13.529
23.02.04.01.02.F	Kepala Tukang	0,0280	Orang Hari	153.000	4.284
23.02.04.01.03.F	Tukang	0,2750	Orang Hari	126.000	34.650
23.02.04.01.04.F	Pembantu Tukang	1,6500	Orang Hari	115.000	189.750
	Jumlah:				242.213
	Bahan:				
20.01.01.02.01.F	Semen PC 40 Kg	6,9000	Zak	61.300	422.970
20.01.01.04.04.F	Pasir Cor	0,5175	M3	260.000	134.550
20.01.01.05.04.01.F	Batu Pecah Mesin 1/2 cm	0,5326	M3	395.200	210.496
23.02.02.02.01.F	Biaya Air	215,0000	Liter	6	1.290
	Jumlah:				769.306
	Nilai HSPK :				1.011.519
24.03.01.03	Pekerjaan Beton K-150		m3	SNI 7394:2008 (6.3)	

LAMPIRAN
AUTODESK INVENTOR



Density: 1.000 g/cm³ Requested Accuracy: Low

General Properties

Center of Gravity

Mass	27662.082 lbmass	X	1.298 m (Relative E)
Area	249.733 m ² (Rela)	Y	0.167 m (Relative E)
Volume	12.547 m ³ (Relati)	Z	-4.088 m (Relative)

Inertial Properties

Principal Global Center of Gravity

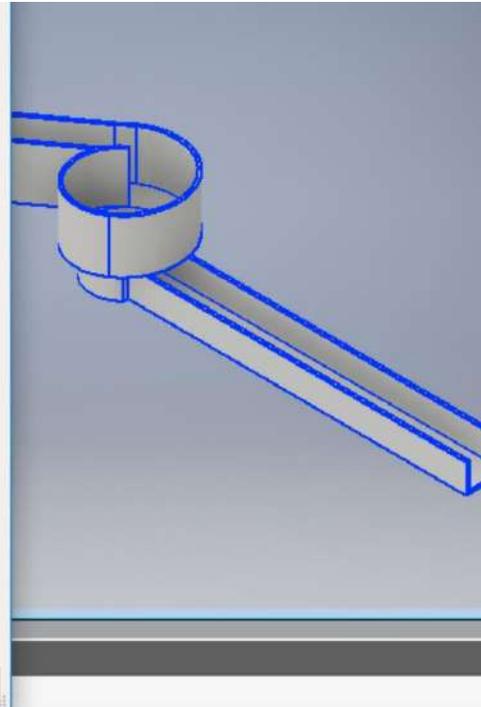
Principal Moments

I1	59754.482 lbm ²	I2	1014477.847 lb	I3	978538.792 lbn
----	----------------------------	----	----------------	----	----------------

Rotation to Principal

Rx	-7.06 deg (Rela)	Ry	-10.08 deg (Rel)	Rz	6.35 deg (Relat)
----	------------------	----	------------------	----	------------------

Buttons: Close, Cancel, Apply



Density: 1.000 g/cm³ Requested Accuracy: Low

General Properties

Center of Gravity

Mass	37150.801 lbmass	X	1.705 m (Relative E)
Area	338.007 m ² (Rela)	Y	0.142 m (Relative E)
Volume	16.851 m ³ (Relati)	Z	-3.404 m (Relative)

Inertial Properties

Principal Global Center of Gravity

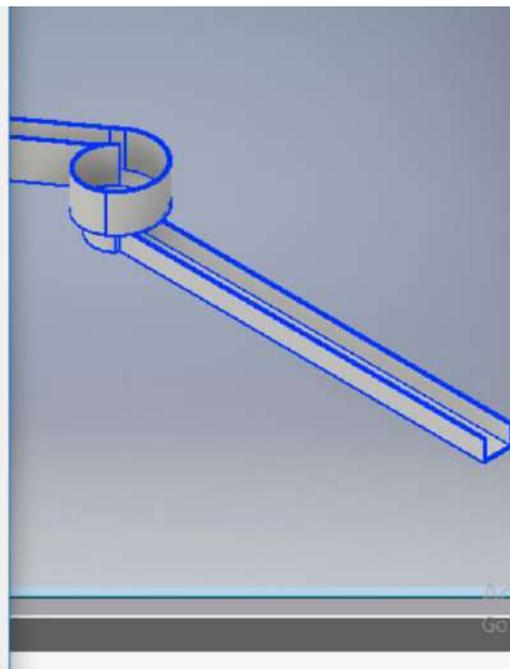
Principal Moments

I1	129344.531 lbn	I2	3052846.492 lb	I3	2954192.412 lb
----	----------------	----	----------------	----	----------------

Rotation to Principal

Rx	-3.68 deg (Rela)	Ry	-11.70 deg (Rel)	Rz	4.29 deg (Relat)
----	------------------	----	------------------	----	------------------

Buttons: Close, Cancel, Apply



Density: 1.000 g/cm³ Requested Accuracy: Low

General Properties

Mass: 46294.796 lbmass |

Area: 423.053 m² (Rela) |

Volume: 20.999 m³ (Rela) |

Center of Gravity

X: 1.944 m (Relative E)

Y: 0.133 m (Relative E)

Z: -2.679 m (Relative)

Inertial Properties

Principal Global Center of Gravity

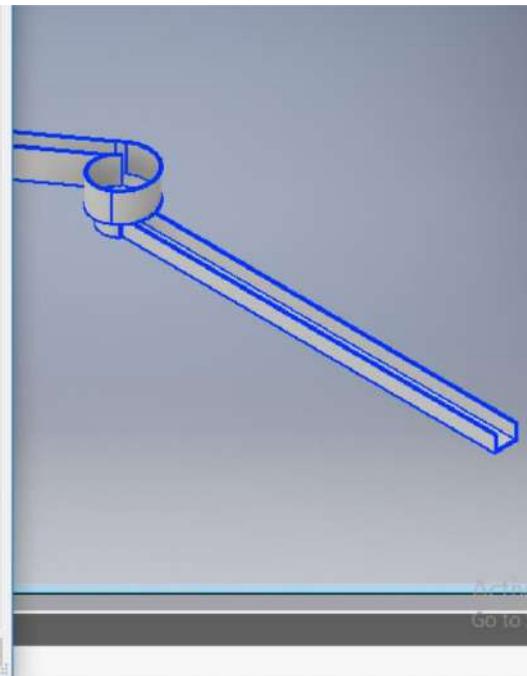
Principal Moments

I1: 246519.025 lbn I2: 6638800.159 lb I3: 6429636.599 lb

Rotation to Principal

Rx: -2.34 deg (Rela) Ry: -12.76 deg (Rel) Rz: 3.25 deg (Relat)

Buttons: Close, Cancel, Apply



Density: 1.000 g/cm³ Requested Accuracy: Low

General Properties

Mass: 55616.073 lbmass |

Area: 509.757 m² (Rela) |

Volume: 25.227 m³ (Rela) |

Center of Gravity

X: 2.288 m (Relative E)

Y: 0.125 m (Relative E)

Z: -1.948 m (Relative)

Inertial Properties

Principal Global Center of Gravity

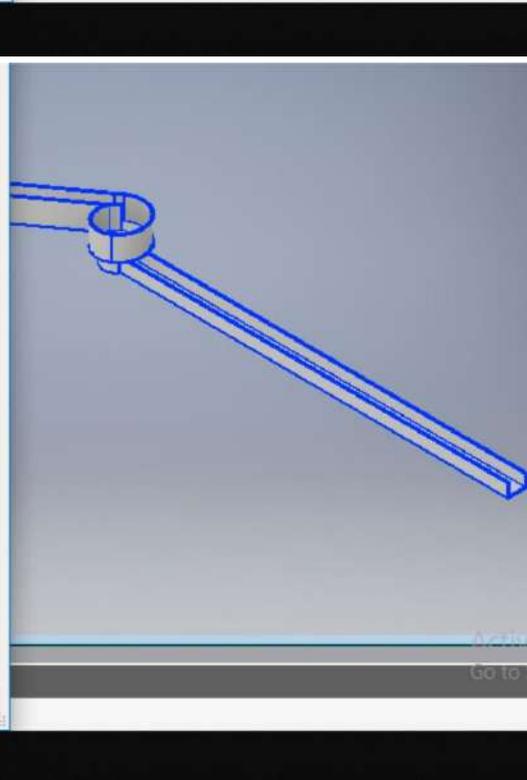
Principal Moments

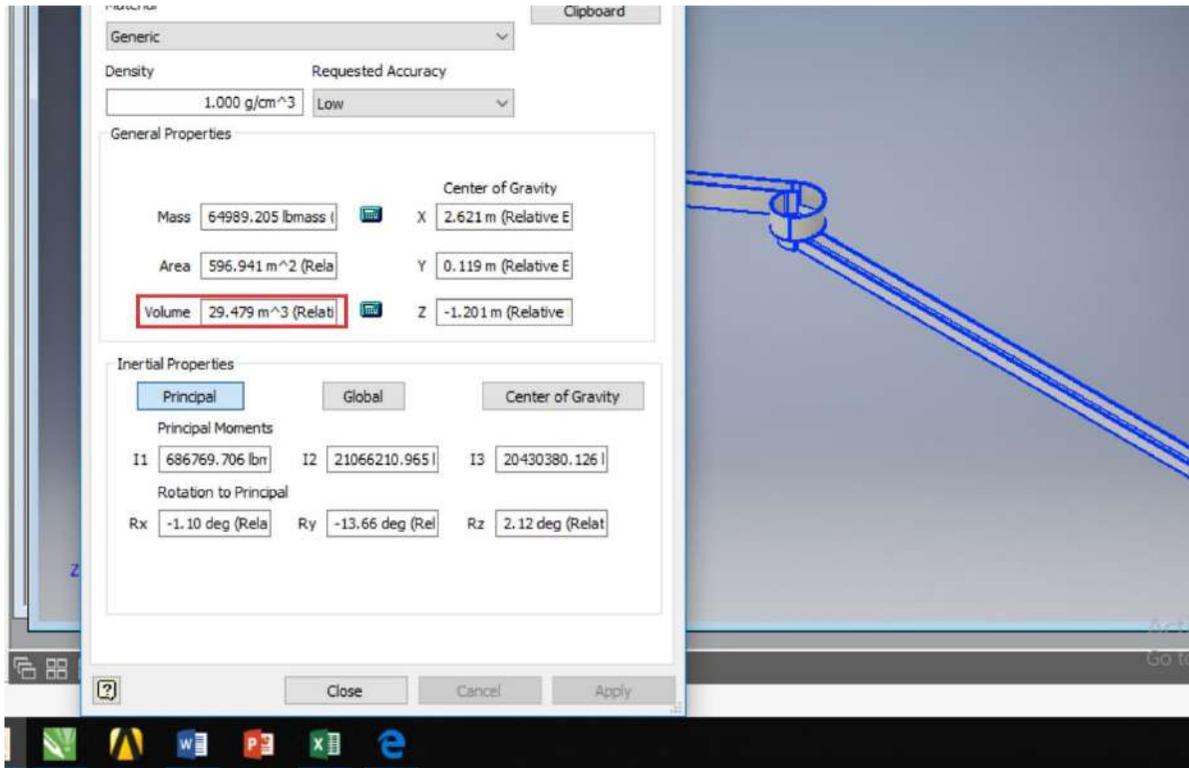
I1: 427821.912 lbn I2: 12477696.366 lb I3: 12094009.009 lb

Rotation to Principal

Rx: -1.55 deg (Rela) Ry: -13.28 deg (Rel) Rz: 2.57 deg (Relat)

Buttons: Close, Cancel, Apply





Density: 1.000 g/cm³ Requested Accuracy: Low

General Properties

Mass: 74328.475 lbmass | Center of Gravity

X: 3.000 m (Relative E)

Area: 683.815 m² (Rela) Y: 0.115 m (Relative E)

Volume: 33.715 m³ (Relati) Z: -0.463 m (Relative)

Inertial Properties

Principal Global Center of Gravity

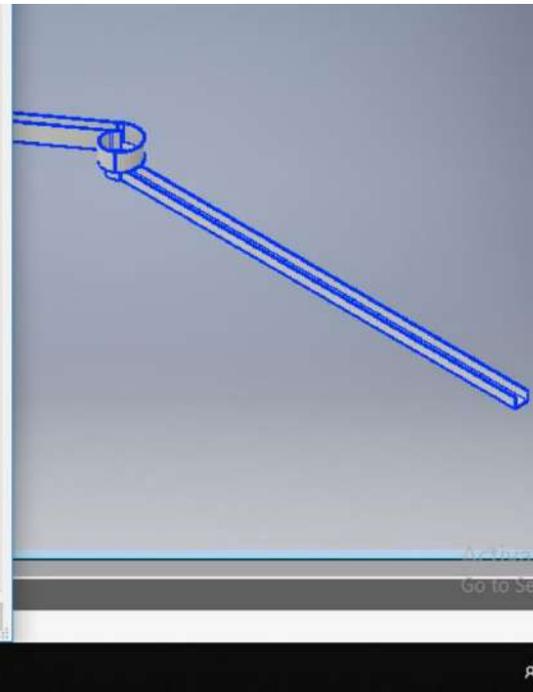
Principal Moments

I1: 1033339.440 lb I2: 32881824.926 | I3: 31906184.649 |

Rotation to Principal

Rx: -0.80 deg (Rela) Ry: -13.89 deg (Rel) Rz: 1.80 deg (Relat)

Close Cancel Apply



Density: 1.000 g/cm³ Requested Accuracy: Low

General Properties

Mass: 83649.752 lbmass | Center of Gravity

X: 3.364 m (Relative E)

Area: 770.519 m² (Rela) Y: 0.111 m (Relative E)

Volume: 37.943 m³ (Relati) Z: 0.281 m (Relative E)

Inertial Properties

Principal Global Center of Gravity

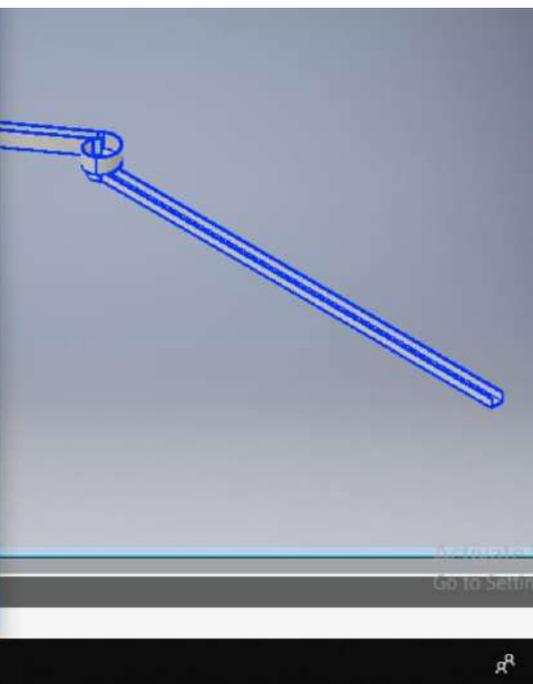
Principal Moments

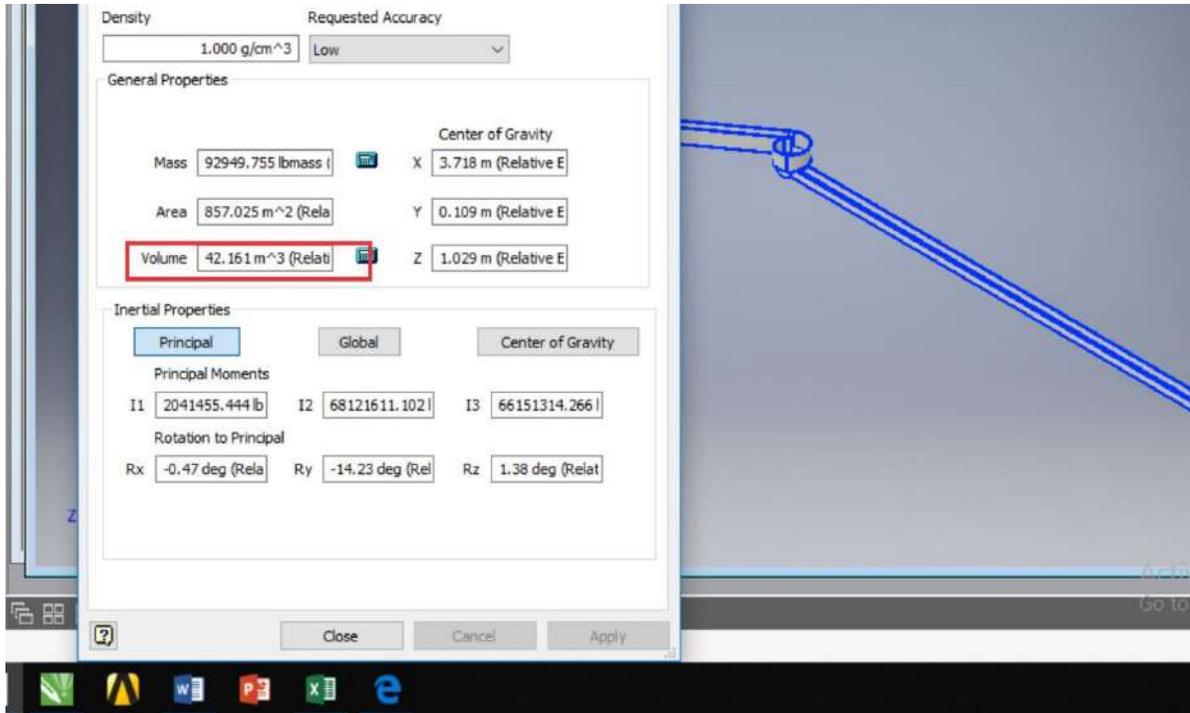
I1: 1480928.298 lb I2: 48406419.517 | I3: 46989930.474 |

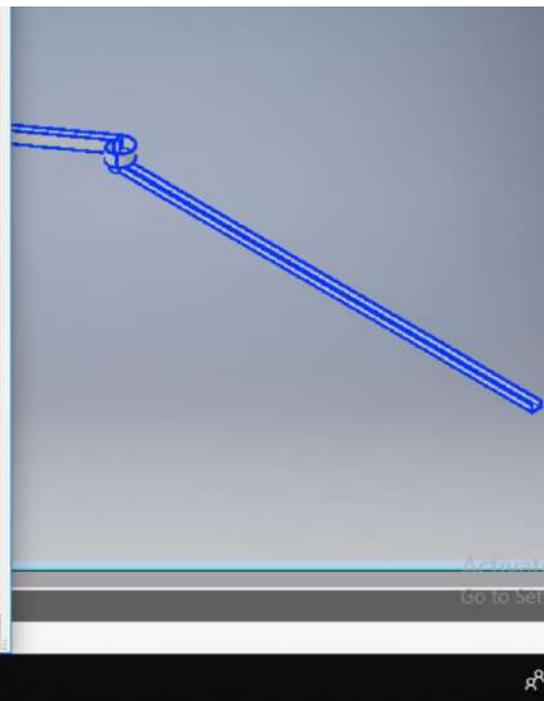
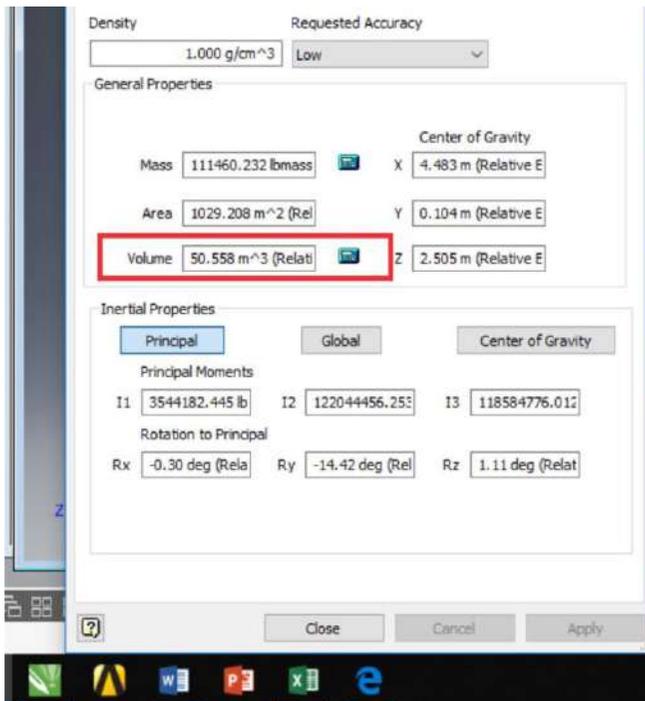
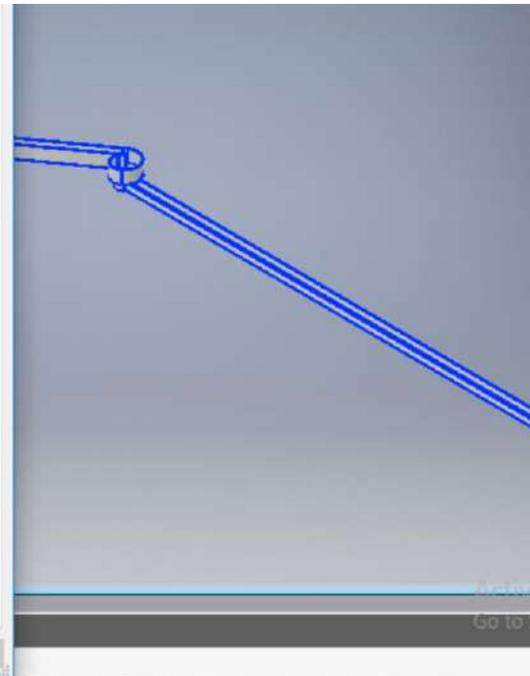
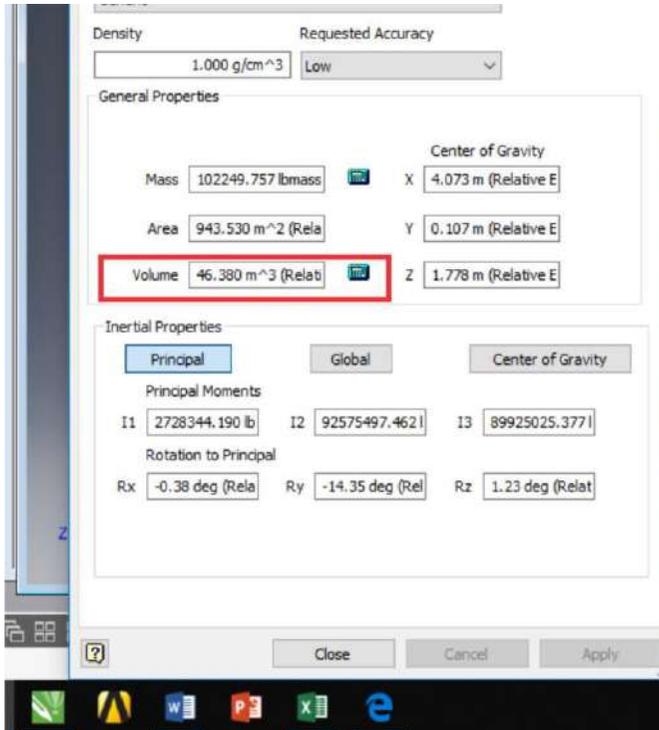
Rotation to Principal

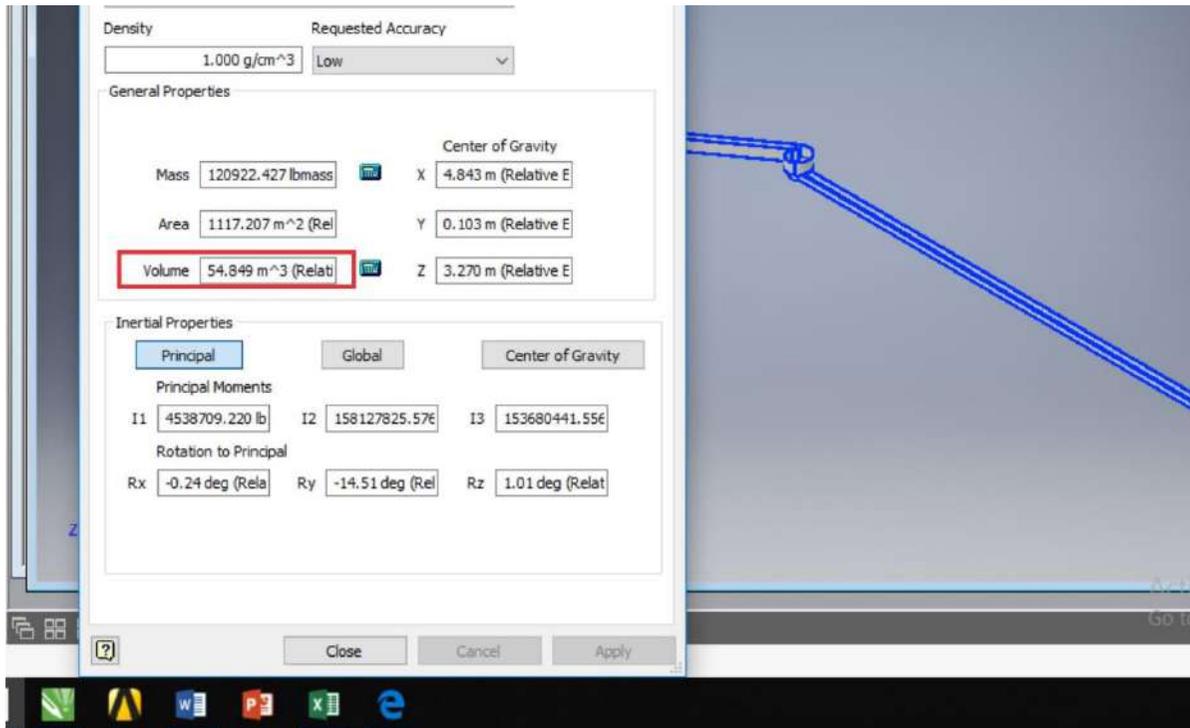
Rx: -0.61 deg (Rela) Ry: -14.08 deg (Rel) Rz: 1.56 deg (Relat)

Close Cancel Apply









Density: 1.000 g/cm³ Requested Accuracy: Low

General Properties

Center of Gravity

Mass: 130224.490 lbmass X: 5.202 m (Relative E)

Area: 1203.746 m² (Rel) Y: 0.102 m (Relative E)

Volume: 59.069 m³ (Relat) Z: 4.022 m (Relative E)

Inertial Properties

Principal Global Center of Gravity

Principal Moments

I1: 5682209.478 lb I2: 199933790.86C I3: 194349608.82S

Rotation to Principal

Rx: -0.20 deg (Rela) Ry: -14.59 deg (Rel) Rz: 0.93 deg (Relat)

Close Cancel Apply

Density: 1.000 g/cm³ Requested Accuracy: Low

General Properties

Center of Gravity

Mass: 139536.286 lbmass X: 5.578 m (Relative E)

Area: 1290.369 m² (Rel) Y: 0.100 m (Relative E)

Volume: 63.293 m³ (Relat) Z: 4.771 m (Relative E)

Inertial Properties

Principal Global Center of Gravity

Principal Moments

I1: 7003837.926 lb I2: 248619936.29E I3: 241720828.08Z

Rotation to Principal

Rx: -0.16 deg (Rela) Ry: -14.64 deg (Rel) Rz: 0.86 deg (Relat)

Close Cancel Apply

Density: 1.000 g/cm³ Requested Accuracy: Low

General Properties

Mass: 44449.343 lbmass | Center of Gravity*

X: -4.467 m (Relative)

Area: 146.889 m² (Rela) | Y: 1.841 m (Relative E)

Volume: 10.162 m³ (Rela) | Z: -0.017 m (Relative)

Inertial Properties*

Principal | Global | Center of Gravity

Principal Moments

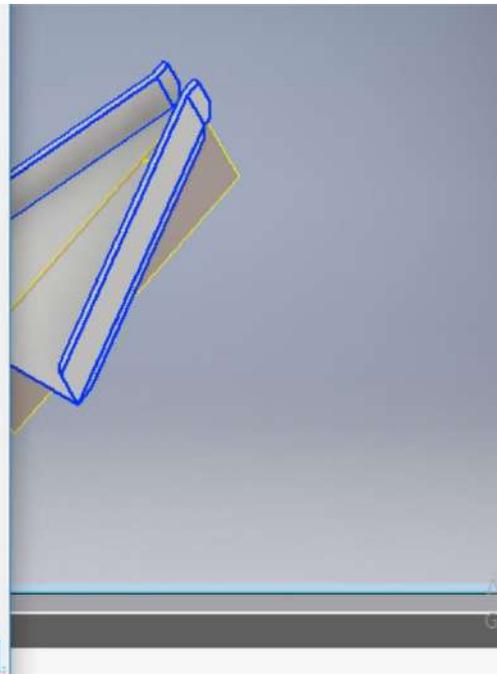
I1: 139781.754 lbn | I2: 394152.690 lbn | I3: 275360.175 lbn

Rotation to Principal

Rx: -0.05 deg (Rela) | Ry: 0.43 deg (Relat) | Rz: -28.48 deg (Rela)

*Values do not reflect user-overridden mass or volume

OK Cancel Apply



Density: 1.000 g/cm³ Requested Accuracy: Low

General Properties

Mass: 18549907.571 kg (0) Center of Gravity*
X: -22.031 m (Relative)

Area: 68482.553 m² (R) Y: 0.463 m (Relative E)

Volume: 943.719 m³ (Rela) Z: 1 m (Relative|Error)

Inertial Properties*

Principal Global Center of Gravity

Principal Moments
I1: 3.6622794847E I2: 9.1778658408E I3: 5.5174121257E

Rotation to Principal
Rx: 0.00 deg (Relat) Ry: 0.02 deg (Relat) Rz: (Relative Error)

*Values do not reflect user-overridden mass or volume

OK Cancel Apply

