

**TUGAS AKHIR**  
**BIDANG KONVERSI ENERGI**

**Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Minihidro (PLTM)  
Kerambil 2 X 1500 Kw di Sungai Batang Bayang, Desa Muara  
Air, Kec. Bayang Utara, Kab. Pesisir Selatan**

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Menyelesaikan  
Pendidikan Tahap Sarjana

Oleh:

**RESTIA KURNIAWATI**

**NIM : 1310911031**



**JURUSAN TEKNIK MESIN**

**FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS ANDALAS**

**PADANG, 2017**



### PENETAPAN TUGAS AKHIR

**Tugas Akhir ini diberikan kepada,**

**Nama : Restia Kurniawati**

**Nomor BP : 1310911031**

**Dosen Pembimbing : Ir. Adly Havendri, M.Sc**

**Jangka Waktu Penyelesaian : 10 Bulan**

**Judul Tugas Akhir : Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga  
Minihidro (PLTM) Kerambil 2 x 1500 Kw di  
Sungai Batang Bayang, Desa Muaro Air, Kec.  
Bayang Utara, Kab. Pesisir Selatan**

**Uraian Tugas Akhir : 1. Studi Literatur  
2. Survei Lokasi PLTM  
3. Pengambilan Data  
4. Perhitungan, Perancangan dan Pengolahan  
5. Penulisan Laporan**

**Data**

**Padang, Oktober 2017**

**Menyetujui,**

**Pembimbing,**

**Ir. Adly Havendri, M.Sc**

**NIP. 196008101988031001**

**Mahasiswa ybs,**

**Restia Kurniawati**

**NIM. 1310911031**

## LEMBAR PENGESAHAN

**“Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Minihidro (PLTM) Kerambil 2 X  
1500 Kw di Sungai Batang Bayang, Desa Muara Air, Kec. Bayang Utara,  
Kab. Pesisir Selatan”**

Oleh:

**RESTIA KURNIAWATI**

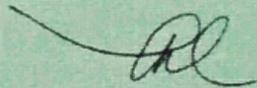
**NIM : 1310911031**

**Tugas Akhir ini diajukan untuk menyelesaikan  
Program Sarjana (S1) Teknik Mesin di Universitas Andalas**

Padang, 13 Oktober 2017

Menyetujui:

Pembimbing :



**Ir. Adly Havendri, M.Sc**  
**NIP. 196008101988031001**

Mengetahui:

Ketua Jurusan Teknik Mesin



**Dr. Eng. Eka Satria**  
**NIP. 197606122001121001**

Ketua Prodi S1 Teknik Mesin



**Ismet Hari Mulyadi, Ph.D**  
**NIP. 197009281999031002**

## PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Restia Kurniawati

No. BP : 1310911031

Judul Proposal :

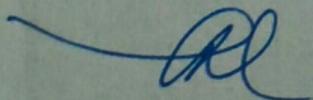
Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Minihidro (PLTM) Kerambil 2 x 1500 Kw di Sungai Batang Bayang, Desa Muaro Air, Kec. Bayang Utara, Kab. Pesisir Selatan

Nama Pembimbing : Ir. Adly Havendri, M.Sc

Dengan ini menyatakan dengan sebenarnya bahwa proposal yang saya ajukan sebagai bagian tugas akhir yang saya kerjakan benar terbebas dari plagiat. Apabila dikemudian hari terbukti tidak benar, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan aturan yang berlaku.

Demikianlah Pernyataan ini dibuat dengan sebenarnya dan untuk dapat dipergunakan sebagaimana mestinya.

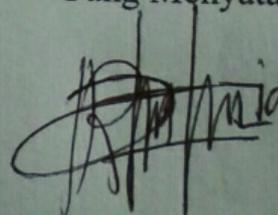
Mengetahui,  
Pembimbing Utama



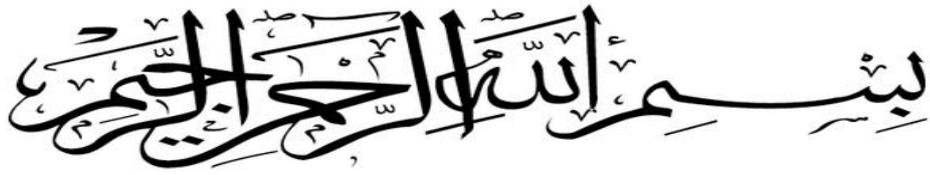
**Ir. Adly Havendri, M.Sc**  
**NIP. 196008101988031001**

Padang, 16 Oktober 2017

Yang Menyatakan,



**Restia Kurniawati**  
**No.BP 1310911031**



*Puji dan syukur atas kehadiran Allah SWT Atas semua nikmat yang dilimpahkan-Nya, Serta Salawat kepada Rasulullah SAW*

*Sesungguhnya bersama kesulitan ada kemudahan, maka apabila engkau telah selesai (dari sesuatu urusan), tetaplah bekerja keras (untuk urusan yang lain), dan hanya kepada Tuhan-mu lah engkau berharap. (Q.S Al Insyirah : 6-8)*

*Kepada Bapak Ir. Adly Hvendri M.Sc yang selalu memberikan waktu, dan telah membimbing selama pembuatan Tugas Akhir ini, saya do'akan semoga bapak selalu diberi kesehatan dan umur yang Kupersembahkan karya ini kepada Mama, Papa, Abgku, kuyuk si bungsu dan seluruh keluarga besar yang selalu memberikan do'a, motivasi, dorongan, semangat, kebahagiaan, kepercayaan, dan atas Cinta yang tumpah kepadaku selama ini.*

*Untuk seluruh teman-teman Teknik Mesin 2013 (M-26), besar harapan agar seluruh kawan-kawan agar cepat menjadi ST-ST selanjutnya yang akan membuat bangsa ini menjadi lebih besar dan lebih baik, dan semoga kita bisa menggapai cita-cita yang selalu kita dambakan. bukannya ambo kucai, tapi alah waktuyo kawan, Sumangaiik (Hidup Mesin)..Untuk Cemes tetap kompak untuk semua ya...*

*Untuk keluarga besar Teknik Mesin Universitas Andalas, yang telah memberikan pengalaman yang berarti selama perkuliahan dan organisasi.*

*Untuk seluruh asisten Laboratorium Konversi Energi (LKE), ibal lauk, egi ganteng, ridwan yang selalu perhatian, nanda lauk sok kece, oom adel (tetap kurus ya), cici yang cantik, resti yang selalu setia, asyad yang dulu-dulu se pai marantau, semangat buat kita semua ya semoga dimudahkan dengan impian kita masing-masing jodoh maupun pekerjaan AMIN, buat adek-adek (ojik kamek, revy gaul yang selalu bagaya, amike imut, teguh yang kalem, riki adiak sa SMA, aldo yang suko balap-balap, habib yang ibadahnya ok, uchi yang pintar, and rury sang bendahara chat se utang uni yo ry) semoga kalian dilancarkan tugas akhirnya, untuk adek-adek uni yang baru walaupun kita belum sering berinteraksi selalu berkarya di lab ya dengan cara kalian OK*

*untuk geng Minantu Idaman, untuk kuntet maksih ya printernya, diah capek dapek karajo jo jodoh, antik capek salasain apoteker nya ya.. buat udin gapuik makasih ya semuanya yang selalu membukaan pintu kosan selalu dan motivasi selama ini, ebing yang lah duluan se wisuda sukses buat karir kita ya*

Untuk keluarga besar **paitua** Mapala Teknik Unand yang selalu mendukung kapanpun dan dimanapun, yang bisa membuat saya bangkit kembali ketika jatuh dan gagal terimakasih banyak buat semuanya, untuk daibil makasih ya semuanya dan maaf kalau buek uda kesal, dareza orang selalu sabar dan dewasa, daryan gamer ancak buek TA lai da dari pado main game, da eko tetap semangat untuak uda(segerakan sarjana uda-uda lai yo da) maafan ya duluan yo da... ndak baa kan da... untuk teman-teman seperjuanganku bebeb wiwikku kamek semangat taruih wisuda periode bisuak pasti bisa, udin boco fokus lai jan dikos-kosan se taruih, meran galau se, cukil yang karajonyo lalok se capek-capek salasaian kuliah dan urusan kalian, untuk cukil yang alun KP urus lah KP tu lai, udin jo meran seminar KP lah lai.. semangat tuak awak yo.. buat rekan saya tiara dan nanda Arundaya tetap kompak buat kalian ya, nanda jan tinggaan tiara ndak jan tamat-tamat duluan, saling support yo (uni sayang kalian), buat adek-adek uni malam jan acok na lalok di kursi sakik pinggang kayak uni beko lalok di satu satengah, merigo rajin-rajin kalapangan dih adek RG uni yang cew satu-satunya bisuak ko kawanun uni kalau taragak mandaki yo, ambo ketekan suaro mbo tu saketek Taranga lo sa entero sekre kalau mbo ngecek awak padusi jan suko mangambok ka uni, untuak prau ciek kurangi kareh kapalo, jan tokok-tokok juo urang prau awak padusi (baraja kalau itu alun tabiaso) pasti bisa mah. Prau,ambo,malam rajin-rajin boulderan dibalakang ajak-ajak yang lain gai yo, kalian pasti bisa bawok piala climbing tuak **paitua** mah, untuak dira yang super sibuk semangat taruih yo salam buat mama dira ya hehe jan sampai muak-muak ndak dir.. untuk adek-adek uni yang sok ganteng sadolahnyo sikembar bro yan (turam) dan bro yon (pion) selalu berkarya buat **paitua** ya ditunggu kreatifitas kalian, untuk brad aidil lauk brad emil sang ketua rajin-rajin lah kuliah tu beko tatingga jo kawan-kawan, untuk arya rege ingekan kawan-kawan ya kuliah... untuk adek-adek uni sibungsu AM (aa, ulva, cici, ade, riki, fadel, delvin, aceng, modi, yo jago bungo-bungo uni yo, dul, rasyid ) disekre selah tingga lai yang cowok-cowok manga juo ngekos hemat kan, yang cew-cew berangan cowok tu kalau ngumuhan sekre jago bungo-bungo uni yo, capek jadi Anggota Biasa kalian yo, uni tunggu haaa.... Semangat semua .. Sayang Kalian Semua

MOKASIH BANYAK

## Symbol

H	Head	$m$
Q	Debit	$m^3/s$
P	Massa Jenis	$kg/m^3$
g	Grafitasi	$m/s^2$
$\eta_t$	Efisiensi Turbin	
$\eta_g$	Efisiensi Generator	
$N_s$	Kecepatan Spesifik	$rpm$
P	Daya	$Kw$
$d_1$	Diameter Dalam <i>Runner</i>	$m$
$d_2$	Diameter Luar <i>Runner</i>	$m$
f	Fekuensi	$Hz$
$C_1$	Kecepatan Absolut	$m/s$
$U_1$	Kecepatan Tangensial	$m/s$
$W_1$	Kecepatan Relatif Air Terhadap Sudu	$m/s$
$W_2$	Kecepatan Relatif Bagian Dalam Sudu	$m/s$
$U_2$	Kecepatan Tangensial	$m/s$
$C_2$	Kecepatan Absolut	$m/s$
$\beta$	Sudut	$^\circ$
$C_2$	Kecepatan Absolut	$m/s$
$\alpha_2$	Sudut Buang Air Bagian Dalam Sudu	$^\circ$
$r_b$	Jari-Jari Kelengkungan Sudu	$m$
$r_p$	Jari-jari Lingkaran Pitch	$m$
$\delta$	Sudut Kelengkungan Sudu	$^\circ$
d	Jarak Antara Titik Masuk Dan Titik Keluar	$m$
$r_p$	Jari-Jari Lingkaran <i>Pitch</i>	$m$
t	Jarak Antar Sudu	$m$
Z	Jumlah Sudu	
$D_s$	Diameter Draft Tube	$m$

## ABSTRAK

*Listrik merupakan salah satu kebutuhan manusia yang semakin hari terus bertambah seiring semakin padatnya populasi. Namun karena keterbatasan suplai tenaga listrik, saat ini belum semua wilayah di Indonesia teraliri arus listrik, terutama di daerah-daerah pedalaman, khususnya Kab. Pesisir Selatan.*

*Permasalahan ini diatasi dengan membangun pembangkit listrik tenaga minihidro, mengingat daerah ini cukup banyak aliran sungai yang berpotensi didirikan pembangkit listrik. Sehingga dipilih daerah aliran di Sungai Batang Bayang, Desa Muara Air, Kec. Bayang Utara, Kab. Pesisir Selatan untuk pembangunan pembangkit listrik tenaga air. Berdasarkan hasil survei yang dilakukan di lokasi tersebut, didapatkan data awal berupa debit andalan ( $Q$ ) sebesar  $12 \text{ m}^3/\text{s}$  dari Dinas Pengelolaan Sumber Daya Air (PSDA) Kab. Pesisir Selatan. Kemudian pengukuran tinggi jatuh air ( $H$ ) yaitu  $30,8 \text{ m}$ . Nilai tersebut menunjukkan bahwa daerah ini berpotensi untuk dibangun sebuah pembangkit listrik tenaga minihidro.*

*Untuk mengoptimalkan kinerja pembangkit dari segi mekanikal dan elektrikal, pemilihan turbin yang sesuai dari data daerah tersebut yaitu turbin francis. Perancangan turbin francis memiliki kecepatan spesifik  $66,8 \text{ rpm}$  dan menghasilkan daya  $1603 \text{ kW}$  dipasang 2 unit turbin. Untuk diameter dalam runner  $1,774 \text{ m}$  dan diameter luar runner  $2,534 \text{ m}$  serta jumlah blade 33 buah.*

*Mengenai kelayakan ekonomi pembangunan PLTM yang berumur ekonomis 20th didapatkan nilai NPV (Net Present Value) yaitu Rp 202.008.474.156,00. Kemudian nilai BCR (Benefit Cost Ratio) sebesar 2,385, nilai IRR (Internal Rate of Return) yaitu 37,94 % dan payback period (balik modal) pada tahun ke 5,8. Berdasarkan parameter kelayakan diatas dari segi debit, head dan analisis ekonomi, maka proyek pembangkit listrik tenaga minihidro layak untuk dijalankan.*

## KATA PENGANTAR



Assalamu'alaikum Wr. Wb.

Puji syukur kehadiran Allah SWT yang telah memberikan kesempatan, kekuatan, kesehatan, serta petunjuk sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan judul **“Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Minihidro (PLTM) Kerambil 2 X 1500 Kw Di Sungai Batang Bayang, Desa Muara Air, Kec. Bayang Utara, Kab. Pesisir Selatan”**. Tugas akhir ini merupakan salah satu tahap yang harus dipenuhi dalam menyelesaikan studi di Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Andalas.

Pelaksanaan tugas akhir ini tidak mungkin dapat terlaksana dan dapat terlaksana tanpa adanya bantuan dan dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Ir. Adly Havendri, M.Sc selaku Dosen Pembimbing tugas akhir yang telah memberikan bimbingan, diskusi-diskusi, dan masukan-masukan yang bermanfaat selama proses pengerjaan proposal tugas akhir ini.
2. Bapak Dr. Eng. Eka Satria selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik, Universitas Andalas.
3. Bapak Ismet H. Mulyadi, Ph.D selaku Koordinator Akademik Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Andalas.
4. Semua pihak yang telah membantu penulis baik itu secara langsung ataupun tidak langsung.

Semoga tugas akhir ini dapat bermanfaat sebagaimana mestinya. Penulis menyadari masih banyak kekurangan dalam penulisan tugas akhir ini karena keterbatasan kemampuan dari penulis sendiri. Oleh karena itu, penulis mengharapkan saran dan kritikan demi kesempurnaan dari tugas akhir ini.

Padang, September 2017

Penulis



# DAFTAR ISI

## LEMBAR PENGESAHAN

## KATA PENGANTAR

DAFTAR ISI.....	i
-----------------	---

DAFTAR GAMBAR.....	iv
--------------------	----

DAFTAR TABEL.....	v
-------------------	---

## BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Tujuan.....	2
1.3 Manfaat.....	2
1.4 Batasan Masalah.....	2
1.5 Sistematika Penulisan.....	2

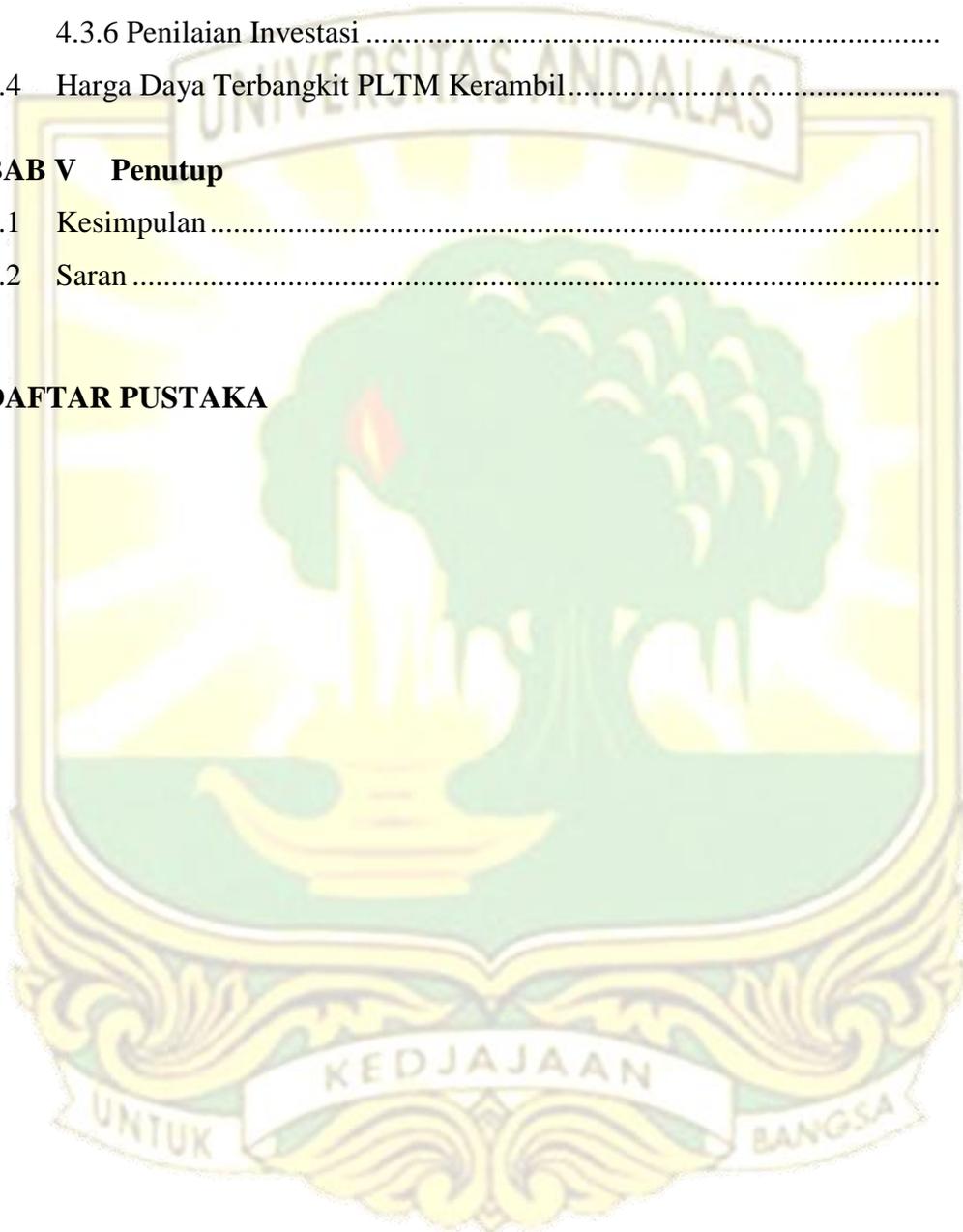
## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pembangkit Energi Listrik.....	4
2.1.1 Sumber Pembangkit yang ada.....	4
2.1.1.1 Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA).....	4
2.1.1.2 Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU).....	6
2.1.1.3 Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP).....	6
2.1.1.4 Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG).....	6
2.1.1.5 Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD).....	6
2.1.1.6 Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN).....	7
2.1.1.7 Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB).....	7
2.1.1.8 Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS).....	7
2.2 Tenaga air.....	8
2.3 Pembangkit Listrik Tenaga Minihidro (PLTM).....	8
2.3.1 Konsep PLTM.....	8
2.3.1 Konversi Energi dan Prinsip Dasar pembangkit Listrik Tenaga Air .....	9
2.3.1 Skema dan Komponen Sipil PLTM.....	10

2.4	Klasifikasi Turbin Air .....	13
2.4.1	Turbin Implus .....	14
2.4.1.1	Turbin Pelton.....	14
2.4.1.2	Turbin Turgo .....	15
2.4.1.3	Turbin <i>Crossflow</i> .....	15
2.4.2	Turbin Reaksi .....	16
2.4.2.1	Turbin Francis .....	17
2.4.2.2	Turbin Kaplan .....	17
2.4.3	Turbin Permukaan.....	18
2.4.3.1	<i>Undershot Waterwheel</i> .....	19
2.4.3.2	<i>Overshot Waterwheel</i> .....	19
2.4.3.3	<i>Pitchback Waterwheel</i> .....	19
2.4.3.4	<i>Breastshot Waterwheel</i> .....	20
2.5	Kriteria Pemilihan Jenis Turbin .....	20
2.6	Kecepatan Spesifik dan Kecepatan Putaran dari Turbin .....	21
2.7	Perhitungan Analisis Ekonomi teknik .....	23
 <b>BAB III METODOLOGI</b>		
3.1	Pendahuluan.....	25
3.1.1	Diagram Alir ( <i>Flowchart</i> ) Perencanaan .....	25
3.2	Dasar-dasar Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Minihidro .....	27
3.2.1	Data Perancangan .....	27
3.2.2	Metode Pemilihan Turbin.....	27
3.2.3	Perancangan Geometri Sudu.....	28
3.3	Perhitungan Analisis Ekonomi Teknik .....	30
 <b>BAB IV Data dan Pembahasan</b>		
4.1	Data Potensi.....	31
4.2	Perencanaan Mekanil dan Elektrikal .....	31
4.2.1	Kapasitas Pembangkit.....	31
4.2.2	Pemilihan Turbin .....	32
4.2.3	Pemilihan generator .....	34
4.3	Analisis Ekonomi PLTM Kerambil.....	35

4.3.1 Performa Cash Flow .....	35
4.3.2 Investasi Awal .....	35
4.3.3 Pengeluaran .....	36
4.3.4 Penerimaan .....	36
4.3.5 Nilai Residu dan Penyusutan .....	38
4.3.6 Penilaian Investasi .....	39
4.4 Harga Daya Terbangkit PLTM Kerambil .....	42
<b>BAB V Penutup</b>	
5.1 Kesimpulan .....	43
5.2 Saran .....	43

**DAFTAR PUSTAKA**

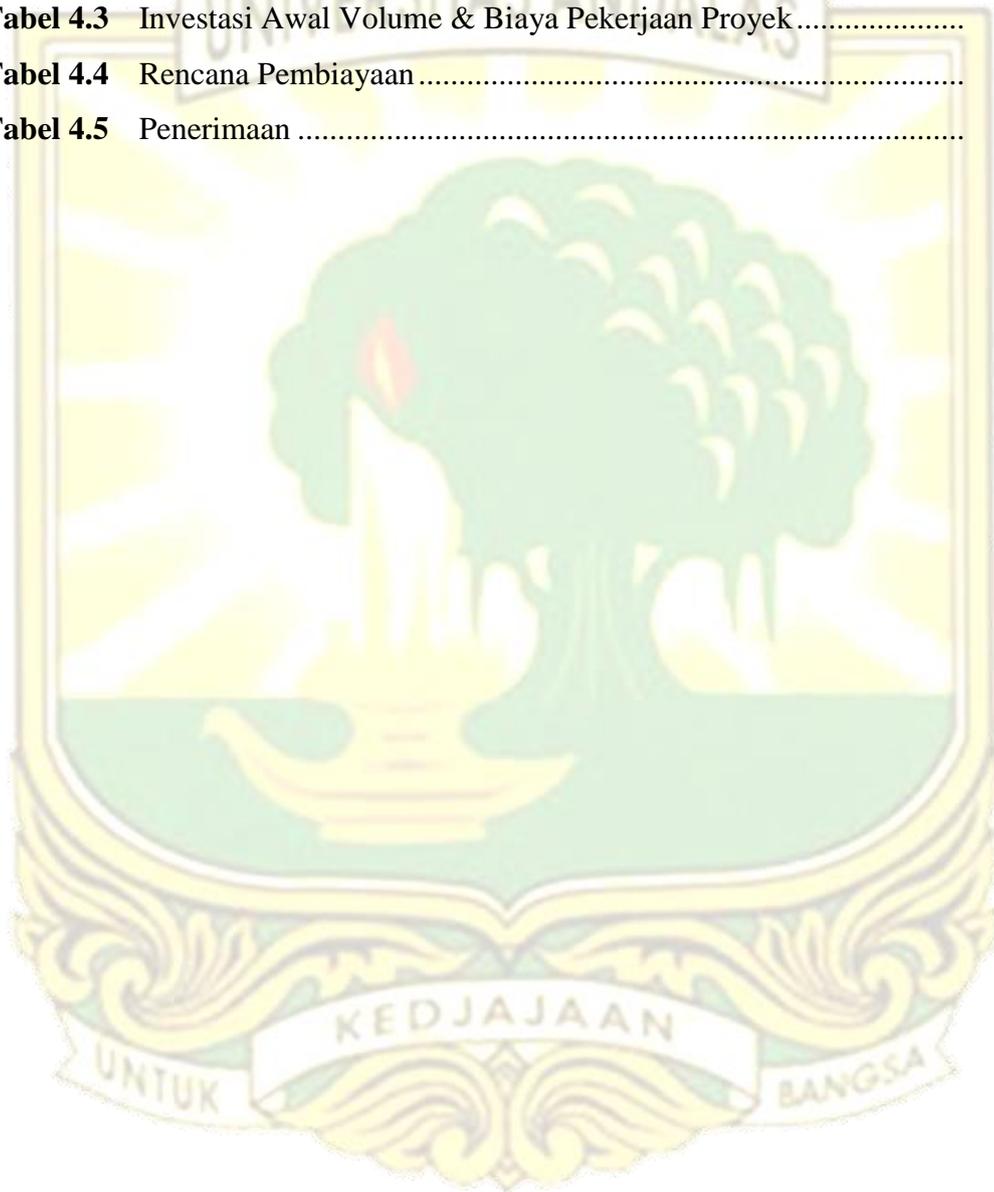


## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2.1</b>	Susunan Konfigurasi PLTM.....	10
<b>Gambar 2.2</b>	Dam dan <i>Intake</i> .....	11
<b>Gambar 2.3</b>	Bak Pengendap .....	11
<b>Gambar 2.4</b>	Saluran Pembawa .....	12
<b>Gambar 2.5</b>	Bak Penenang .....	12
<b>Gambar 2.6</b>	Pipa Pesat .....	13
<b>Gambar 2.8</b>	Pelton Turbin.....	15
<b>Gambar 2.9</b>	Turbin Turgo .....	15
<b>Gambar 2.10</b>	Turbin <i>Crossflow</i> .....	16
<b>Gambar 2.11</b>	Turbin Francis.....	17
<b>Gambar 2.12</b>	Turbin Kaplan.....	18
<b>Gambar 2.13</b>	<i>Undershot Waterwheel</i> .....	19
<b>Gambar 2.14</b>	<i>Overshot Waterwheel</i> .....	19
<b>Gambar 2.15</b>	<i>Pitchback Waterwheel</i> .....	20
<b>Gambar 2.16</b>	<i>Breastshot Waterwheel</i> .....	20
<b>Gambar 2.17</b>	Grafik Jenis Penggunaan (Seleksi) Turbin .....	21
<b>Gambar 2.18</b>	Daerah Aplikasi Turbin Berdasarkan Tinggi Jatuh Air (H) dan Putaran Spesifik ( $n_q$ ) .....	22
<b>Gambar 3.1</b>	Diagram Alir (Flowchart) Perencanaan PITM .....	25
<b>Gambar 3.2</b>	Segitiga Kecepatan .....	28
<b>Gambar 3.3</b>	Konstruksi Sudu Turbin .....	29
<b>Gambar 4.1</b>	Grafik Hasil Pemilihan Turbin .....	32
<b>Gambar 4.2</b>	Grafik BEP .....	42

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2.1</b>	Kriteria Pemilihan Turbin.....	21
<b>Tabel 3.1</b>	Kecepatan Spesifik Turbin Air.....	28
<b>Tabel 4.1</b>	Rekapitulasi Perhitungan Perancangan Turbin Francis.....	33
<b>Tabel 4.2</b>	Spesifikasi Generator PLTM Kerambil.....	35
<b>Tabel 4.3</b>	Investasi Awal Volume & Biaya Pekerjaan Proyek.....	36
<b>Tabel 4.4</b>	Rencana Pembiayaan.....	36
<b>Tabel 4.5</b>	Penerimaan.....	38



# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Tenaga listrik merupakan salah satu unsur penunjang yang sangat penting bagi pengembangan secara menyeluruh suatu bangsa. Pemanfaatan yang tepat menggunakan suatu alat ampuh untuk merangsang pertumbuhan perekonomian negara akhir-akhir ini permintaan akan pembangkit tenaga listrik semakin meningkat di negara-negara seluruh dunia. Ditinjau dari kebutuhan tenaga listrik secara umum, dapat dikatakan bahwa Negara Indonesia belum memadai untuk pemerataan sumber energi terutama didaerah pedalaman apalagi sekarang segala aktifitas masyarakat memanfaatkan energi listrik sebagai sumber energinya.

Solusi alternatif perlu dicarikan untuk mengatasi permasalahan ini. Sumatra Barat merupakan kawasan pegunungan yang sangat kaya dengan air. Banyaknya pegunungan yang masih asri atau belum dijamah oleh masyarakat sekitar membuat aliran air sungai di daerah Sumatra Barat masih lancar dan memiliki debit aliran air yang cukup besar. Mengetahui bahwa air merupakan sumber energi yang dapat diperbaharui maka air bisa dijadikan suatu alternatif untuk menyuplai listrik untuk kebutuhan sehari-hari terutama bagi masyarakat pedalaman yang belum terjangkau oleh listrik.

Salah satu yang dapat direncanakan untuk mengurangi ketidak merataan jangkauan aliran listrik di Sumatra Barat adalah dengan suatu pembangkit listrik tenaga minihidro (PLTM) yang menggunakan air sebagai sumber energi utamanya. Dalam tugas akhir ini diteliti tentang “Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Minihidro (PLTM) Kerambil 2 X 1500 Kw Di Sungai Batang Bayang, Desa Muara Air, Kec. Bayang Utara, Kab. Pesisir Selatan”. Dengan memanfaatkan aliran sungai di Nagari Muaro air biasanya dimanfaatkan oleh masyarakat untuk irigasi pertanian hingga kebutuhan sehari-hari. Sungai ini memiliki debit aliran sebesar  $12 \text{ m}^3/\text{s}$  dan head 30,8 m[11]. Sehingga dapat menjadi solusi dalam permasalahan energi listrik dengan membangun suatu pembangkit listrik tenaga minihidro (PLTM) di nagari tersebut.

## **1.2 Tujuan**

Berdasarkan latar belakang diatas, maka penelitian ini dilakukan bertujuan untuk :

1. Memanfaatkan potensi alam berupa aliran sungai sebagai tenaga alternatif pembangkit listrik.
2. Merencanakan suatu PLTM di nagari Bayang, Kabupaten Pesisir Selatan.
3. Menghitung analisa ekonomi pembangunan PLTM Kerambil

## **1.3 Manfaat**

Manfaat dari pengerjaan tugas akhir ini ialah untuk memberikan solusi dan alternatif bagi masyarakat pedalaman yang belum mendapatkan aliran listrik sesuai standar yang telah diterapkan.

## **1.4 Batasan Masalah**

Mengingat luasnya ruang lingkup batasan mengenai sistem pembangkit listrik minihidro sehingga diberi batasan pembahasan seperti berikut :

1. Pemilihan dan perancangan turbin sesuai *head* dan debit air di lokasi PLTM Kerambil.
2. Menghitung analisa kelayakan ekonomi untuk membangun PLTM Kerambil.

## **1.5 Sistematika Penulisan**

Langkah-langkah pengujian beserta hasilnya dibahas dalam beberapa bab dengan sistematika seperti berikut :

**BAB I : Pendahuluan**

Menjelaskan mengenai latar belakang, tujuan, manfaat, batasan masalah, serta sistematika penulisan.

**BAB II : Tinjauan Pustaka**

Menjelaskan tentang teori-teori yang berhubungan dengan penulisan laporan.

**BAB III : Metodologi**

Menguraikan langkah-langkah yang dilakukan untuk mencapai tujuan.

BAB IV : Data dan Pembahasan

Berisi tahapan-tahapan pengerjaan tugas akhir.

BAB V : Penutup

Berisi kesimpulan dan saran.



## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Pembangkit Energi Listrik**

Sistem pembangkit energi listrik berfungsi membangkitkan energi listrik dengan mempergunakan berbagai macam jenis pembangkit tenaga listrik. Pada pembangkit tenaga listrik sumber-sumber energi alam diubah oleh penggerak mula menjadi energi mekanis yang berupa kecepatan dan putaran. Selanjutnya energi mekanis tersebut diubah menjadi energi listrik oleh generator. Sumber-sumber energi alam dapat berupa bahan bakar yang berasal dari fosil (batubara, minyak bumi, dan gas), bahan galian (uranium dan thorium), tenaga air, tenaga matahari, tenaga angin, dan sebagainya.

##### **2.1.1 Sumber Pembangkit yang Ada**

###### **2.1.1.1 Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA)**

Pada PLTA potensi tenaga air dikonversikan menjadi tenaga listrik. Mula-mula tenaga air dikonversikan menjadi tenaga mekanik oleh turbin air, kemudian turbin air memutar generator yang membangkitkan tenaga listrik.

Dasar klasifikasi pada pembangkit listrik tenaga air adalah memperhatikan pengaruh prinsip dasar Hidrolika saat perencanaannya. Ada empat jenis pembangkit listrik tenaga air yang menggunakan prinsip dasar ini, ialah :

1. Pembangkit listrik tenaga air konvensional.

Pembangkit listrik ini menggunakan kekuatan air secara wajar yang diperoleh dari pengaliran air dan sungai.

2. Pembangkit listrik dengan pemompaan kembali air ke dalam kolam penampungan.

Dengan demikian pembangkit air ke kolam seperputaran kembali air yang sama dengan mempergunakan pompa yang dilakukan saat pembangkit melayani permintaan tenaga listrik yang tidak begitu berat.

3. Pembangkit listrik tenaga air pasang surut

Pembangkit jenis ini menggunakan tenaga air pasang surut yang luar biasa besarnya.

4. Pembangkit listrik tenaga air yang ditekan.

Pembangkit jenis ini merupakan jenis pembangkit yang jarang digunakan diantara jenis-jenis PLTA. Penggunaan air pada pembangkit ini adalah dengan mengalihkan air dari sebuah sumber air yang besar, seperti air laut yang masuk ke sebuah penurunan Topografis yang ilmiah, yang terdistribusi dalam pengopersaian ketinggian tekanan air untuk membangkitkan tenaga listrik. Tingkatan ketinggian air akibat penurunan dikontrol terhadap proses penguapan alam.

Berdasarkan kapasitas daya yang dihasilkan, PLTA dibedakan atas[2]:

1. PLTPH (Picohidro) : Daya yang dihasilkan  $< 10$  kW
2. PLTMH (Mikrohidro) : Daya yang dihasilkan  $10$  kW –  $200$  kW
3. PLTM (Minihidro) : Daya yang dihasilkan  $200$  kW –  $10.000$  kW
4. PLTA : Daya yang dihasilkan  $> 10.000$  kW

Sementara berdasarkan tinggi jatuhnya air (*Head*), PLTA dibagi menjadi:

1. PLTA dengan tekanan rendah,  $H < 15$  m
2. PLTA dengan tekanan sedang,  $15 \leq H \leq 50$  m
3. PLTA dengan tekanan tinggi,  $H > 50$  m

Berdasarkan aliran air, PLTA dibagi menjadi:

1. Pusat listrik jenis aliran sungai langsung (*run of river*). Kerap kali dipakai pada pusat listrik jenis saluran air. Jenis ini membangkitkan tenaga listrik dengan memanfaatkan aliran air sungai itu sendiri secara alamiah.
2. Pusat listrik jenis waduk (*reservoir*), mempunyai sebuah bendungan besar yang dibangun melintang. Dengan demikian terjadi sebuah danau buatan, kadang-kadang sebuah danau asli dipakai sebagai waduk. Air yang dihimpun dalam musim hujan dikeluarkan pada musim kemarau jadi, pusat listrik jenis ini sangat berguna untuk pemakaian sepanjang tahun.
3. Pusat listrik jenis pompa (*pumped storage*) adalah jenis PLTA yang memanfaatkan tenaga listrik yang berlebihan pada musim hujan atau pada saat pemakaian tenaga listrik berkurang pada tengah malam. Pada waktu itu air dipompa ke atas dan disimpan dalam waduk. Jadi pusat listrik jenis ini memanfaatkan kembali air yang didapat untuk membangkitkan tenaga listrik pada beban puncak pada siang hari.

### **2.1.1.2 Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU)**

Uap yang terjadi dari hasil pemanasan boiler/ketel uap pada Pusat Listrik Tenaga Uap (PLTU) digunakan untuk memutar turbin yang kemudian oleh generator diubah menjadi energi listrik. Energi primer yang digunakan oleh PLTU adalah bahan bakar yang dapat berwujud padat, cair, maupun gas. Batubara adalah wujud padat bahan bakar dan minyak merupakan wujud cairnya. Terkadang dalam satu PLTU dapat digunakan beberapa macam bahan bakar. PLTU menggunakan siklus uap dan air dalam pembangkitannya.

### **2.1.1.3 Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP)**

Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi adalah Pembangkit Listrik (*Power Generator*) yang menggunakan panas bumi (*geothermal*) sebagai energi penggerakannya. Indonesia dikaruniai sumber panas bumi yang berlimpah karena banyaknya gunung berapi di Indonesia, hanya pulau Kalimantan saja yang tidak mempunyai potensi panas bumi. Keuntungan teknologi ini antara lain, bersih, dapat beroperasi pada suhu yang lebih rendah daripada PLTN, dan aman. Geothermal adalah yang terbersih dibandingkan dengan nuklir, minyak bumi, dan batu bara. Meskipun tergolong ramah lingkungan, namun beberapa hal perlu dipertimbangkan apabila pembangkit listrik tenaga panas bumi ingin dikembangkan sebagai pembangkit dengan skala besar. Beberapa parameter yang harus dipertimbangkan adalah kandungan uap panas dan sifat fisika dari uap panas di dalam reservoir serta penurunan tekanan yang terjadi sebagai akibat digunakannya uap panas di dalam reservoir.

### **2.1.1.4 Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG)**

Gas yang dihasilkan dalam ruang bakar pada Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG) akan menggerakkan turbin, kemudian generator akan mengubahnya menjadi energi listrik. Sama halnya dengan PLTU, bahan bakar PLTG bisa berwujud cair (BBM) maupun gas (gas alam). Penggunaan bahan bakar menentukan tingkat efisiensi pembakaran dan prosesnya.

### **2.1.1.5 Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD)**

Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD) ialah pembangkit listrik yang menggunakan mesin diesel sebagai penggerak mula (*prime mover*). Penggerak

mula merupakan peralatan yang mempunyai fungsi menghasilkan energi mekanis yang diperlukan untuk memutar rotor generator. Mesin diesel sebagai penggerak mula PLTD berfungsi menghasilkan tenaga mekanis yang dipergunakan untuk memutar rotor generator.

#### **2.1.1.6 Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN)**

Prinsip kerja PLTN hampir mirip dengan cara kerja Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) berbahan bakar fosil lainnya. Jika PLTU menggunakan boiler untuk menghasilkan energi panasnya, PLTN menggantinya dengan menggunakan reaktor nuklir.

#### **2.1.1.7 Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB)**

Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (*Wind Power*), adalah pembangkit yang memanfaatkan hembusan angin sebagai sumber penghasil listrik. Alat utamanya adalah generator arus listrik dapat dihasilkan dari gesekan *blade*/baling-baling yang bergerak karena hembusan angin. Pembangkit ini lebih efisien dari pada pembangkit listrik tenaga surya dalam menghasilkan listriknya.

#### **2.1.1.8 Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)**

Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) adalah pembangkit yang memanfaatkan sinar matahari sebagai sumber penghasil listrik. Alat utama untuk menangkap, merubah, dan menghasilkan listrik adalah *Photovoltaic/Panel Solar Cell*. Alat tersebut mengubah sinar matahari menjadi listrik melalui proses aliran-aliran elektron negatif dan positif didalam *cell* modul tersebut karena perbedaan *electron*. Hasil dari aliran elektron-elektron akan menjadi listrik DC yang dapat langsung dimanfaatkan untuk mengisi *battery*/aki sesuai tegangan dan *ampere* yang diperlukan.

Kelebihan PLTS sebagai berikut:

1. Energi yang terbarukan/ tidak pernah habis
2. Bersih dan ramah lingkungan
3. Umur panel sel surya panjang/ investasi jangka panjang
4. Praktis, tidak memerlukan perawatan
5. Sangat cocok untuk daerah tropis seperti Indonesia

## **2.2 Tenaga Air**

Tenaga air merupakan sumber daya terpenting setelah tenaga uap/panas. Hampir 30% dari seluruh kebutuhan tenaga di dunia dipenuhi oleh pusat-pusat listrik tenaga air. Banyak negara yang hampir seluruh produksinya berasal dari tenaga air. Potensi tenaga air yang luar biasa tetapi masih belum dimanfaatkan. Tenaga air mempunyai beberapa keuntungan yang tidak dapat dipisah-pisahkan yang membuatnya makin menarik, seperti berikut :

1. Bahan bakar untuk PLTU adalah Batu Bara.

Berdasarkan pengertian yang sama, kita dapat mengatakan bahwa bahan bakar untuk PLTA adalah air. Keunggulan dari bahan bakar PLTA ini sama sekali tidak habis pakai ataupun berubah menjadi sesuatu yang lain. PLTU sekarang ini menghadapi masalah pembuangan limbahnya yang berupa abu Batu Bara. Sedangkan keunggulan dari Bahan Bakar untuk PLTA ini samasekali tidak habis terpakai ataupun berubah menjadi sesuatu yang lain. PLTU sekarang ini menghadapi masalah pembuangan limbahnya yang berupa abu Batu Bara. Sedangkan PLTA merupakan suatu sumber energi yang abadi. Air melimpas melalui Turbin, tanpa kehilangan kemampuan pelayanan untuk wilayah dihilirnya. Ia masih mampu mengairi sawah-sawah ataupun menghilangkan dahaga kota-kota akan air bersih.

2. Biaya pengoperasian dan pemeliharaan PLTA sangat rendah jika dibandingkan dengan PLTU dan PLTN.
3. Turbin-turbin pada PLTA bisa dioperasikan ataupun dihentikan pengoperasiannya setiap saat.
4. PLTA cukup sederhana untuk dimengerti dan cukup mudah untuk dioperasikan, ketangguhan sistemnya dapat lebih diandalkan dibandingkan dengan sumber-sumber daya lainnya.

## **2.3 Pembangkit Listrik Tenaga Minihidro (PLTM)**

### **2.3.1 Konsep PLTM**

PLTM merupakan salah satu jenis pembangkit terbarukan yang mengusung konsep ramah lingkungan. Konsep dasar dari energi terbarukan adalah:

1. Sumber energi yang tak akan habis, meskipun telah dibatasi atau dikondisikan;

2. Polusi rendah dan dampak yang kecil terhadap lingkungan;
3. Komponen yang relevan terhadap pembangunan berkelanjutan.

Saat ini, kebijakan di beberapa negara ditujukan untuk menjamin peningkatan pengembangan energi terbarukan, khususnya pembangkit listrik tenaga air skala kecil yang dapat memberi kontribusi dengan biaya murah serta mendorong industri kecil bersaing di dunia Internasional.

Pembangkit listrik tenaga air merupakan salah satu sumber energi tertua umat manusia yaitu sebagai penggerak kincir air dan industri. Saat ini, Pembangkit Listrik Tenaga Minihidro merupakan salah satu jawaban atas pertanyaan bagaimana menawarkan manfaat elektrifikasi ke masyarakat desa terisolasi dan kemajuan yang terkait dengan hal tersebut.

Pembangkit Listrik Tenaga Minihidro (PLTM) memanfaatkan air terjun alami maupun buatan dari sungai, dimana pembangkit jenis ini tidak mengurangi jumlah air karena air yang terpakai akan dikembalikan ke sungai dan bisa digunakan kembali oleh lingkungan tanpa pencemaran.

Pemanfaatan ekonomi energi terbaru sekarang didasarkan pada teknologi baru dan teknik perlindungan terhadap lingkungan. Minihidro memiliki beberapa kelebihan yaitu sebagai desentralisasi, murah, dan tidak merusak lingkungan yang sedang dipelopori banyak negara untuk mencapai swasembada energi.

### 2.3.2 Konversi Energi dan Prinsip Dasar Pembangkit Listrik Tenaga Air

Teori pembangkit energi listrik didasarkan pada konversi energi potensial dari aliran air menjadi energi listrik. Energi aliran air dikaitkan dengan gaya gravitasi melalui air terjun alami atau buatan (bendungan) dengan sistem mengalirkan air dari sungai yang tersusun oleh kanal, pipa pesat atau *penstock*, bak penenang, dan sebagainya.

Menurut prinsip konservasi energi, keseimbangan energi pada aliran stedi akan mengikuti aturan sebagai berikut [2]:

$$z_A + \frac{P_A}{\rho g} + \frac{\alpha_A U_A^2}{2g} = z_B + \frac{P_B}{\rho g} + \frac{\alpha_B U_B^2}{2g} + \Delta H_{AB} \quad (2.1)$$

Dimana:  $Z_A$  dan  $Z_b$  = Elevasi antara permukaan A dan B (m)  
 $P_A$  dan  $P_b$  = Tekanan pada A dan B (Pa)  
 $U_a$  dan  $U_b$  = Kecepatan aliran (m/s)  
 $\alpha$  = Koefisien distribusi aliran tidak seragam

Persamaan diatas menyatakan bahwa perbedaan ketinggian antara *Head* di A ( $H_A$ ) dan *Head* di B ( $H_B$ ) sama dengan *Head loss*  $\Delta H_{AB}$  antara dua aliran penampang dimana *head* adalah total energi aliran dengan berat air yang mengalir.

Pada aliran permukaan bebas, persamaan diatas disederhanakan menjadi bentuk berikut:

$$\Delta H_{AB} = \frac{N_A - N_B + (\alpha_A U_A^2 - \alpha_B U_B^2)}{2g} \quad (2.2)$$

Dimana  $N_A$  dan  $N_b$  adalah masing masing elevasi dari permukaan bebas penampang aliran A dan B. Persamaan diatas menyatakan bahwa *head loss* sama dengan beda ketinggian A dan B. Beda  $\alpha U_A^2 - \alpha U_B^2$  akan akan sangat kecil atau bahkan sama dan *head loss* sama dengan beda ketinggian A dan B.

### 2.3.3 Skema dan Komponen Sipil PLTM

PLTM yang akan dirancang menggunakan sistem *run off river*. Pada sistem *run off river* seperti terlihat pada Gb 2.1 sebagian air sungai diarahkan ke saluran pembawa, kemudian dialirkan melalui pipa pesat (*penstock*) menuju turbin yang terletak di dalam rumah pembangkit. Air yang menumbuk turbin keluar melalui *draft tube* menuju *tailrace*.



Gambar 2.1 Susunan Konfigurasi PLTM [1]

## 1. Dam/Bendungan Pengalih (*Weir*) dan *Intake*

Bendungan berfungsi untuk menampung aliran air sungai ataupun untuk mengalihkan air agar masuk ke dalam bak pengendap melalui *intake* seperti Gb 2.2. Sebuah bendungan biasanya dilengkapi dengan pintu air untuk membuang kotoran dan endapan.



Gambar 2.2 Dam dan *Intake*[3]

## 2. Bak Pengendap (*Settling Basin*)

Bak pengendap digunakan untuk memindahkan partikel-partikel pasir dari air seperti terlihat pada Gb 2.3 Fungsi dari bak pengendap sangat penting untuk melindungi komponen-komponen berikutnya dari sedimen. Bak pengendap dibuat dengan memperdalam dan memperlebar sebagian saluran pembawa dan menambahnya dengan beberapa komponen, seperti saluran pelimpah, saluran penguras, dan sekaligus pintu pengurasnya.



Gambar 2.3 Bak Pengendap[3]

### 3. Saluran Pembawa (*Headrace*)

Saluran pembawa mengikuti kontur dari sisi bukit untuk menjaga elevasi dari air yang disalurkan seperti pada Gb 2.4 Ada berbagai macam saluran pembawa, antara lain terowongan, saluran terbuka, dan saluran tertutup. Konstruksi saluran pembawa dapat berupa pasangan batu kali atau hanya berupa tanah yang digali. Pada saluran yang panjang perlu dilengkapi dengan saluran pelimpah pada jarak tertentu. Hal ini untuk menjaga jika terjadi banjir maka kelebihan air akan terbuang melalui saluran tersebut.



Gambar 2.4 Saluran Pembawa [3]

### 4. Bak penenang (*Headtank/Forebay*)

Fungsi dari bak penenang adalah untuk menenangkan air yang akan masuk turbin melalui *penstock* sesuai dengan debit yang diinginkan, serta untuk pemisahan akhir kotoran dalam air seperti pasir dan kayu-kayuan seperti pada Gb 2.5



Gambar 2.5 Bak Penenang [3]

## 5. Pipa Pesat (*Penstock*)

Pipa pesat (*penstock*) berfungsi untuk mengalirkan air dari bak penenang menuju turbin air seperti pada Gb 2.6 di samping itu, pipa pesat juga mempertahankan tekanan air jatuh sehingga energi di dalam gerakan air tidak terbuang. Air di dalam pipa pesat tidak boleh bocor karena mengakibatkan hilangnya tekanan air.



Gambar 2.6 Pipa Pesat [3]

## 6. Rumah Pembangkit (*Power House*), Turbin, dan Generator

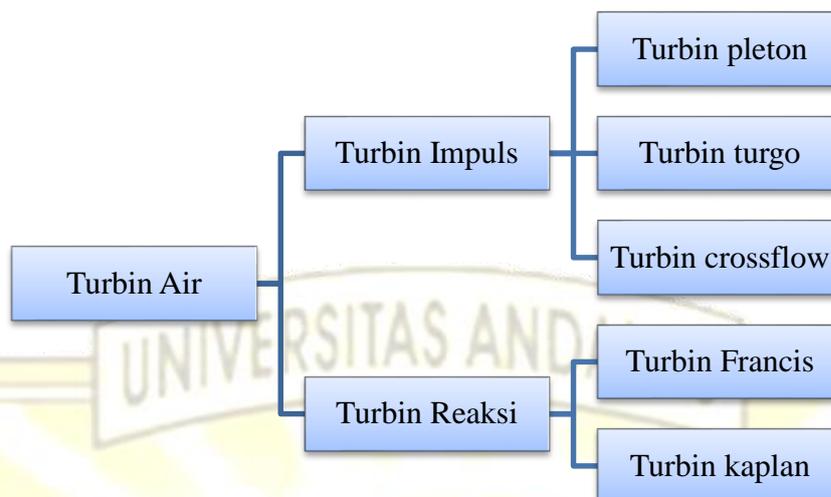
Bagian ini berfungsi sebagai rumah tempat semua peralatan mekanik dan elektrik PLTM. Peralatan mekanik seperti turbin dan generator berada dalam Rumah Pembangkit dan juga *controller* (panel kontrol).

## 7. Saluran Pembuangan (*Tailrace*)

Tujuan saluran pembuangan adalah sebagai saluran pembuang aliran air yang masuk ke dalam rumah pembangkit setelah melalui turbin. Saluran ini bersatu dengan rumah pembangkit dan aliran sungai.

### 2.4 Klasifikasi Turbin Air

Pada pembangkit listrik tenaga air, turbin air merupakan peralatan utama selain generator. Turbin air adalah alat untuk mengubah energi potensial dan energi kinetik pada air menjadi menjadi energi mekanik. Dimana untuk menghasilkan listrik, turbin bergerak karena air yang menumbuknya dan memutar poros yang terhubung dengan generator. Energi mekanik (berupa putaran poros) kemudian diubah menjadi energi listrik oleh generator. Berdasarkan prinsip kerja tersebut, turbin air dibedakan menjadi dua kelompok yaitu turbin impuls dan turbin reaksi seperti pada Gb 2.7



Gambar 2.7 Klasifikasi Turbin Air

### 2.4.1 Turbin Impuls

Turbin impuls adalah turbin air yang cara kerjanya dengan mengubah seluruh energi air (terdiri dari energi potensial, tekanan, dan kecepatan) yang tersedia menjadi energi kinetik untuk memutar turbin, sehingga menghasilkan energi puntir. Air keluar nosel yang mempunyai kecepatan tinggi membentur sudu turbin. Setelah membentur sudu arah kecepatan aliran berubah sehingga terjadi perubahan momentum (*impulse*). Akibatnya roda turbin akan berputar. Turbin impuls adalah turbin tekanan sama, karena aliran air yang keluar dari nosel memiliki tekanan yang sama dengan tekanan atmosfer sekitarnya.

#### 2.4.1.1 Turbin Pelton

Pada instalasi Turbin Pelton, semua energi (geodetik dan tekanan) diubah menjadi kecepatan keluar nosel. Energi yang masuk kedalam roda jalan dalam bentuk energi kinetik seperti pada Gb 2.8 Ketika melewati roda turbin, energi kinetik dikonversi menjadi kerja poros dan sebagian kecil energi ada yang terlepas dan ada yang digunakan untuk melawan gesekan dengan permukaan sudu turbin.

Semua energi tinggi dan tekanan ketika masuk ke sudu jalan turbin diubah menjadi energi kecepatan. Pancaran air tersebut yang akan menjadi gaya *tangensial*  $F$  yang bekerja pada sudu roda jalan. Turbin Pelton terdiri dari dua bagian utama yaitu nosel dan roda jalan (*runner*). Nosel mempunyai beberapa fungsi, yakni mengarahkan pancaran air ke sudu turbin, mengubah tekanan menjadi energi kinetik, dan mengatur kapasitas kecepatan air yang masuk turbin.

Roda jalan pada turbin berbentuk pelek (*rim*) dengan sejumlah sudu di sekelilingnya. Pelek ini dihubungkan dengan poros dan seterusnya akan menggerakkan generator. Sudu Turbin Pelton berbentuk elipsoidal atau disebut juga dengan *bucket* dan ditengahnya mempunyai pemisah air (*splitter*).



Gambar 2.8 Pelton Turbin [5]

#### 2.4.1.2 Turbin Turgo

Turbin Turgo adalah jenis turbin impuls yang mirip dengan turbin pelton, hanya saja pancaran air yang keluar dari nosel membentuk sudut sekitar 200-250 terhadap sudu turbin seperti pada Gb 2.9 Turbin turgo dapat beroperasi pada *head* 30 s/d 300 m. Kecepatan putar turbin turgo lebih besar dari turbin pelton. Akibatnya dimungkinkan transmisi langsung dari turbin ke generator sehingga menaikkan efisiensi total sekaligus menurunkan biaya perawatan.



Gambar 2.9 Turbin Turgo [6]

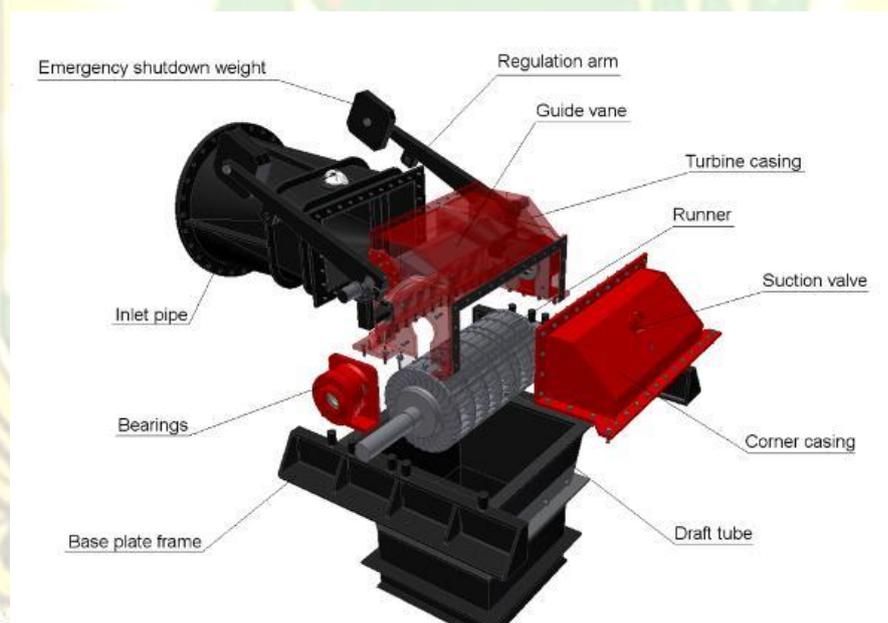
#### 2.4.1.3 Turbin *Crossflow*

Salah satu jenis turbin impuls ini juga dikenal dengan nama Turbin Michell-Banki yang merupakan penemunya seperti pada Gb 2.10 Selain itu juga disebut Turbin Osberger yang merupakan perusahaan yang memproduksi turbin

*crossflow*. Turbin *crossflow* dapat dioperasikan pada debit 20 liter/detik hingga 10 m<sup>3</sup>/detik dan *head* antara 1 s/d 200 m.

Aliran air masuk ke sudu turbin secara radial. Air dialirkan melewati sudu-sudu jalan yang membentuk silinder, pertama-tama air dari luar masuk ke dalam silinder sudu-sudu dan kemudian dari dalam ke luar. Jadi cara kerja roda jalan turbin ini seperti turbin pelton yaitu hanya sebagian sudu-sudu saja bekerja membalikkan aliran air.

Turbin *crossflow* menggunakan nosel persegi panjang yang lebarnya sesuai dengan lebar *runner*. Pancaran air masuk turbin dan mengenai sudu sehingga terjadi konversi energi kinetik menjadi energi mekanik. Air mengalir keluar membentur sudu dan memberikan energinya (lebih rendah dibanding saat masuk) kemudian meninggalkan turbin. *Runner* turbin dibuat dari beberapa sudu yang dipasang pada sepasang piringan paralel.



Gambar 2.10 Turbin *Crossflow*[7]

#### 2.4.2 Turbin Reaksi

Turbin reaksi adalah turbin yang cara kerjanya mengubah seluruh energi air yang tersedia menjadi energi kinetik. Sudu pada turbin reaksi mempunyai profil khusus yang menyebabkan terjadinya penurunan tekanan air selama melalui sudu. Perbedaan tekanan ini memberikan gaya pada sudu sehingga *runner* (bagian

turbin yang berputar) dapat berputar. Turbin yang bekerja berdasarkan prinsip ini dikelompokkan sebagai turbin reaksi. *Runner* turbin reaksi sepenuhnya tercelup dalam air dan berada dalam rumah turbin. Turbin air reaksi dibagi menjadi dua jenis yaitu turbin Francis dan turbin Kaplan.

#### 2.4.2.1 Turbin Francis

Turbin Francis merupakan salah satu turbin reaksi seperti pada Gb 2.11 Turbin dipasang diantara sumber air tekanan tinggi di bagian masuk dan air bertekanan rendah di bagian keluar. Turbin Francis menggunakan sudu pengarah. Sudu pengarah mengarahkan air masuk secara tangensial. Sudu pengarah pada turbin Francis merupakan suatu sudu pengarah yang tetap ataupun sudu pengarah yang dapat diatur sudutnya. Untuk penggunaan pada berbagai kondisi aliran air, penggunaan sudu pengarah yang dapat diatur merupakan pilihan yang tepat. Pengaturan daya yang dihasilkan yaitu dengan mengatur posisi pembukaan sudu pengarah, sehingga kapasitas air yang masuk ke roda turbin dapat diperbesar atau diperkecil. Turbin Francis dapat dipasang dengan poros vertikal dan horizontal.



Gambar 2.11 Turbin Francis [8]

#### 2.4.2.2 Turbin Kaplan

Tidak berbeda dengan turbin Francis, turbin Kaplan cara kerjanya menggunakan prinsip reaksi. Turbin ini mempunyai roda jalan yang mirip dengan baling-baling pesawat terbang seperti pada Gb 2.12 Bila baling-baling pesawat terbang berfungsi untuk menghasilkan gaya dorong, roda jalan pada turbin Kaplan

berfungsi untuk mendapatkan gaya  $F$  yaitu gaya putar yang dapat menghasilkan torsi pada poros turbin. Berbeda dengan roda jalan pada Francis, sudu-sudu pada roda jalan turbin Kaplan dapat diputar posisinya untuk menyesuaikan kondisi beban turbin. Turbin Kaplan banyak dipakai pada instalasi pembangkit listrik tenaga air sungai, karena turbin ini mempunyai kelebihan dapat menyesuaikan *head* yang berubah-ubah sepanjang tahun. Turbin Kaplan dapat beroperasi pada kecepatan tinggi sehingga ukuran roda turbin lebih kecil dan dapat dikopel langsung dengan generator. Pada kondisi beban tidak penuh, turbin Kaplan mempunyai efisiensi paling tinggi, hal ini dikarenakan sudu-sudu turbin Kaplan dapat diatur menyesuaikan dengan beban yang ada. Bentuk *runner* pada turbin Kaplan ditunjukkan Gb 2.12 di bawah.



Gambar 2.12 Turbin Kaplan[9]

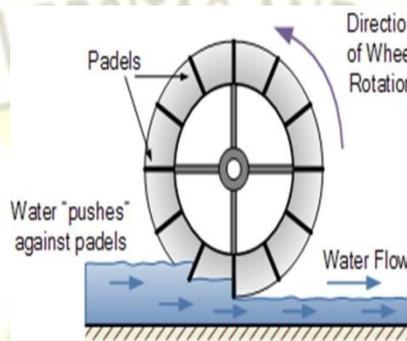
### 2.4.3 Turbin Permukaan

Desain roda air telah berkembang dari waktu ke waktu dengan beberapa roda air berorientasi vertikal, beberapa horizontal tetapi mereka semua dirancang untuk melakukan fungsi yang sama mengkonversi gerakan linear dari air bergerak ke dalam gerakan berputar yang dapat digunakan untuk menggerakkan setiap bagian dari mesin terhubung melalui poros berputar. Awal *waterwheel* Desain yang mesin cukup primitif dan sederhana yang terdiri dari roda kayu vertikal dengan pisau kayu atau *bucket* tetap sama sekitar lingkaran mereka semua didukung pada poros horizontal dengan kekuatan air yang mengalir dibawahnya mendorong roda diarah tangensial terhadap *blade*.

Macam-macam turbin permukaan:

#### 2.4.3.1 Undershot Waterwheel

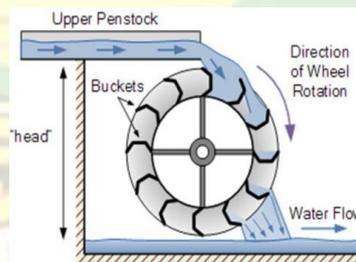
*Waterwheel undershot* juga disebut dengan *stream wheel* merupakan jenis paling umum digunakan sebagai kincir air yang paling murah dan sederhana. Jenis desain kincir air ini hanya ditempatkan langsung ke sungai yang mengalir cepat.



Gambar 2.13 Undershot Waterwheel [9]

#### 2.4.3.2 Overshot Waterwheel

*Overshot Waterwheel* memiliki konstruksi yang lebih rumit dari desain kincir air undershot karena menggunakan *bucket* untuk menerima air dari atas, setelah *bucket* penuh, pengaruh gravitasi membuat kincir berputar. Kelemahan dari kincir air *overshot* ini adalah berdiameter besar, rumit, dan mahal untuk diproduksi.

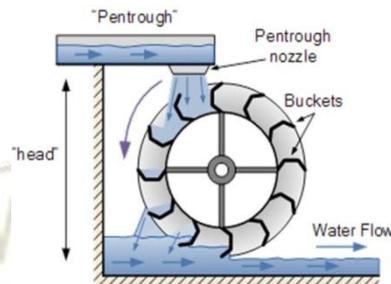


Gambar 2.14 Overshot Waterwheel[9]

#### 4.2.3.3 Pitchback Waterwheel

Merupakan variasi dari kincir air *overshot* karena sama-sama menggunakan berat gravitasi air untuk memutar roda turbin, perbedaannya terletak pada saluran air yang langsung diatas roda membuat roda berputar berlawanan dengan aliran pada kincir *overshot* dan sisa aliran air masih dapat

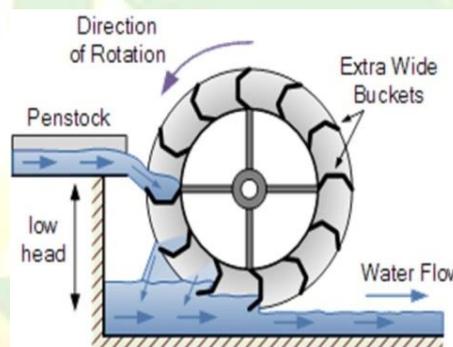
digunakan untuk memutar kincir bagian bawah yang prinsipnya sama dengan kincir *undershot*, sehingga efisiensinya meningkat lebih dari 80%.



Gambar 2.15 Pitchback Waterwheel [9]

#### 4.2.3.4 Breastshot Waterwheel

Merupakan desain kincir air vertikal dimana air mengisi *bucket* setengah jalan dari ketinggian poros kelemahan dari kincir air ini hanya menggunakan seperempat dari gaya gravitasi untuk meningkatkan efisiensi dari penggunaan kincir ini adalah meningkatkan volume air yang terperangkap di dalam *bucket*.



Gambar 2.16 Breastshot Waterwheel [9]

## 2.5 Kriteria Pemilihan Jenis Turbin

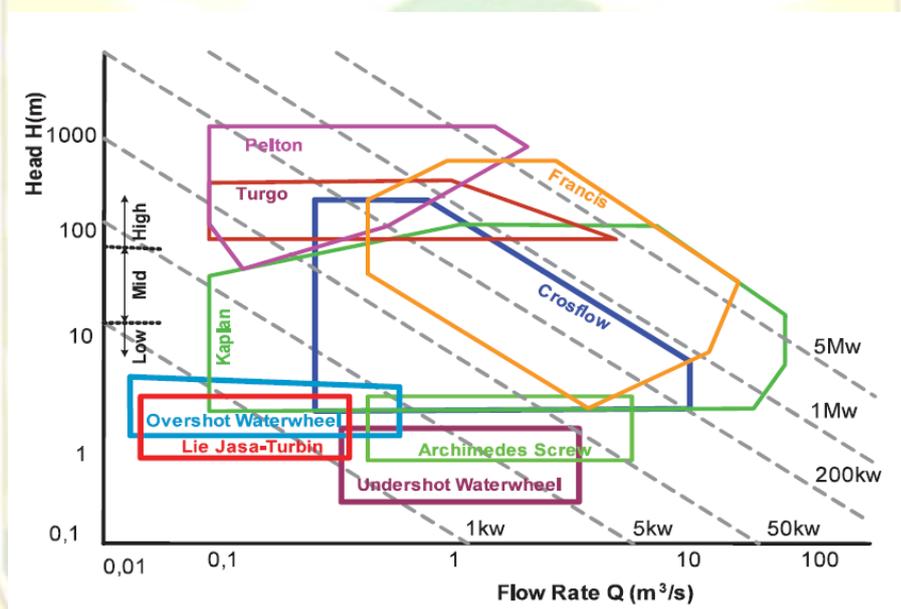
Pemilihan jenis turbin dapat ditentukan dengan mempertimbangkan parameter –parameter khusus yang mempengaruhi sistem operasi turbin yaitu :

- a. Faktor tinggi jatuhan air efektif (*nethead*) dan debit yang akan dimanfaatkan untuk operasi turbin merupakan faktor utama yang mempengaruhi pemilihan jenis turbin, sebagai contoh: turbin pelton efektif untuk operasi pada *head* tinggi, sementara turbin *propeller* sangat efektif beroperasi pada *head* rendah.
- b. Faktor daya (*power*) yang diinginkan berkaitan dengan *head* dan debit yang tersedia. Kecepatan (putaran) turbin yang akan ditransmisikan ke generator. Sebagai contoh untuk *system* transmisi *direct couple* antara generator dengan turbin pada *head* rendah, sebuah turbin reaksi (*propeller*) dapat mencapai

putaran yang diinginkan, sementara turbin pelton dan *crossflow* berputar sangat lambat (*low speed*) yang akan menyebabkan sistem tidak beroperasi.

**Tabel 2.1** Kriteria Pemilihan Turbin[2]

JENIS TURBIN	RANGE KETINGGIAN (HEAD)
Kaplan dan Propeller	$2 < H < 40$
Francis	$10 < H < 350$
Pelton	$50 < H < 1300$
Banki/Cross-flow	$3 < H < 250$
Turgo	$3 < H < 250$



**Gambar 2.17.** Grafik Jenis Penggunaan (Seleksi) Turbin [2]

## 2.6 Kecepatan Spesifik dan Kecepatan Putaran dari Turbin

Kecepatan yang spesifik adalah perbandingan antara kecepatan putaran dari dua *runner* secara geometrik sama satu dengan lainnya, dimana diambil dari kondisi hukum persamaan, dan kecepatan spesifik dari *runner* yang mirip dalam sebuah grup dengan kecepatan putaran diperoleh ketika satu runner memiliki head efektif  $H = 1$  m dan output  $P = 1$  Kw [2]. Dapat dimengerti bahwa kecepatan spesifik adalah sebuah nilai numerik sebagai gambaran dari klasifikasi runner dihubungkan dengan tiga faktor yaitu *head efektif*, *output* turbin dan kecepatan putaran sebagai berikut:

$$N_s = (N \times P^{1/2}) / H^{5/4} \quad N = (N_s \times H^{5/4}) / P^{1/2} \quad (2.3)$$

Dimana :

$N_s$  : Kecepatan spesifik (m-kw)

$N$  : Kecepatan putaran turbin (rpm)

$P$  : *Output* turbin (kW) =  $9.8 \times Q \times H \times \eta$

$H$  : *Head* efektif (m)

$Q$  : Debit (m<sup>3</sup>/s)

$\eta$  : Efisiensi maksimum (% , tetapi sebuah desimal digunakan dalam perhitungan)

$$\eta = 82 \% \text{ untuk Turbin Pelton}$$

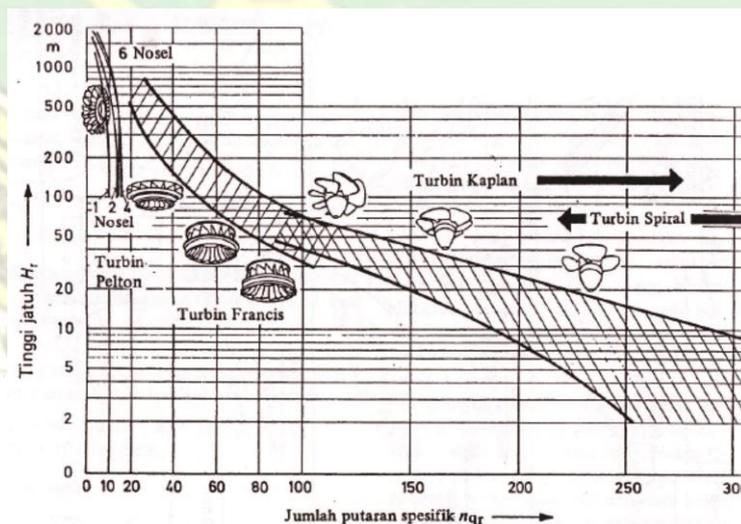
$$\eta = 84 \% \text{ untuk Turbin Francis}$$

$$\eta = 77 \% \text{ untuk Turbin Crossflow } *$$

$$\eta = 84 \% \text{ untuk Turbin Tubular S-type}$$

Catatan : \* 70% harus digunakan untuk setiap tipe dari turbin tipe *Crossflow* di Indonesia pada tahap sekarang karena efisiensi dari turbin di Indonesia sekarang tidak terlalu tinggi akibat kualitas fabrikasi.

Kecepatan spesifik dari setiap turbin adalah dikhususkan dan dikisarkan menurut konstruksi dari setiap tipe dengan berdasarkan pada percobaan dan contoh-contoh pembuktian nyata. Penentuan kecepatan spesifik turbin bisa dilihat pada grafik berikut:



**Gambar 2.18** Daerah Aplikasi Turbin Berdasarkan Tinggi Jatuh Air (H) dan Putaran Spesifik ( $n_q$ ) [10]

## 2.7 Perhitungan Analisis Ekonomi Teknik

Pelaksanaan studi kelayakan harus membandingkan antara output dan biaya sehingga prinsip *cost effectiveness* bisa dicapai. Awal dari perencanaan finansial adalah proses penganggaran. Perencanaan itu berupa analisis biaya, analisis kemampuan bayar, analisis pendapatan. Aspek finansial meliputi aspek pembiayaan, penganggaran, pendapatan, dan biaya, penilaian dengan demikian aspek finansial.

Berdasarkan hasil pekerjaan perencanaan akan dilakukan estimasi biaya proyek dan dilakukan analisis ekonomi. Analisis tersebut meliputi analisis *Benefit cost ratio*, *Economic Internal Rate of return*, *Net Present Value* [10].

### a. Analisis *Benefit Cost Ratio*

Merupakan perbandingan antara nilai *equivalen* manfaat dengan nilai *equivalen* biaya pada suatu titik yang sama. Nilai manfaat meliputi seluruh nilai tambah yang diperoleh setelah didirikannya PLTM, antara lain nilai jual listrik dan nilai produk yang didapat dari sarana kelistrikan. Biaya yang dikeluarkan dalam analisis ini mencakup biaya operasi dan pemeliharaan teknis serta manajemen. Apabila nilai BCR  $> 1$  maka proyek dapat dijalankan, namun bila nilai BCR  $< 1$  maka proyek harus dibatalkan atau direayasa pendahuluan untuk mendapatkan kelayakan yang sesuai.

### b. Analisis *Net Present Value*

Merupakan nilai jumlah dari keseluruhan manfaat dikurangi dengan biaya keluar pada titik yang sama, misalkan *present worth*, *future worth* atau *annual worth*. Nilai ekonomi selalu berubah-ubah untuk itu diperlukan waktu tertentu agar dapat perbandingan, nilai manfaat dan biaya pada waktu tersebut. Bila NPV  $> 0$  maka proyek layak untuk dijalankan, namun bila NPV  $< 0$  maka proyek harus dibatalkan atau direayasa penda hukum untuk mendapatkan kelayakan yang sesuai.

### c. Analisis *Economic Internal Rate of Return*

Merupakan tingkat suku bunga dimana nilai sekarang dari manfaat kotor suatu konstruksi PLTM sama dengan nilai sekarang. Bila hasil EIRR  $>$  suku bunga yang ditetapkan Bank Indonesia, maka proyek dapat dijalankan. Bila EIRR  $<$  suku

bunga maka proyek harus dibatalkan atau direkayasa pendahuluan untuk mendapatkan kelayakan yang sesuai.

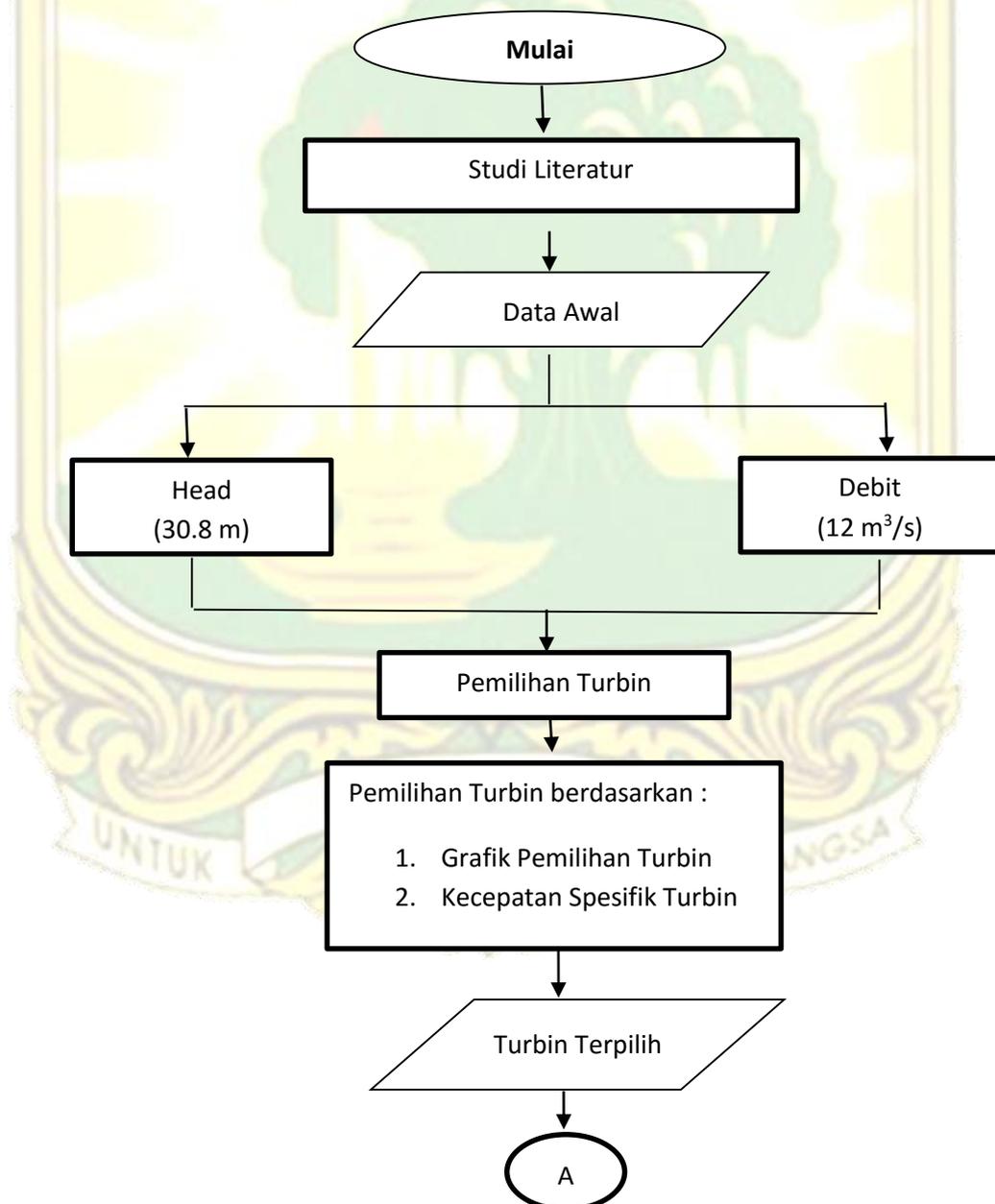


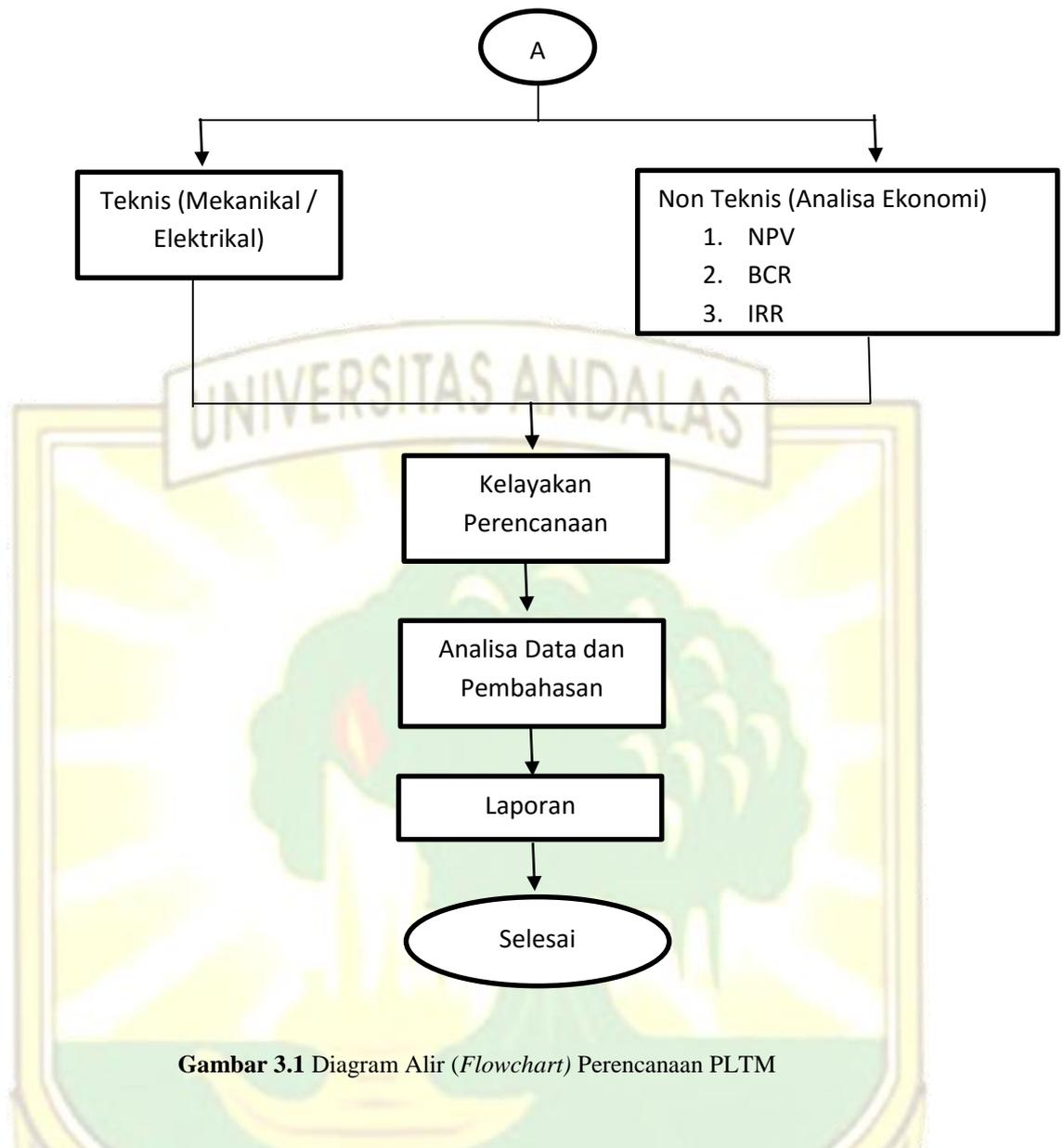
## BAB III METODOLOGI

### 3.1 Pendahuluan

#### 3.1.1 Diagram Alir (*flowchart*) Perencanaan PLTM Kerambil

Diagram alir (*flowchart*) ini merupakan tahap-tahap yang akan dilaksanakan pada proses Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Minihidro (PLTM) Kerambil 2 x 1500 kW di Sungai Batang Bayang Desa Muaro Air, Kec. Bayang Utara. Perhatikan Gb. 3.1 berikut.





### 3.2 Dasar-dasar Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Minihidro

#### 3.2.1 Data Perancangan

Data awal perancangan yang diketahui :

Head (H) : 30,8 m

Debit air (Q) : 12 m<sup>3</sup>/det

Data berikut didapatkan dari PT. Pembangkit Listrik Kerambil

#### 3.2.2 Metode pemilihan Turbin

Turbin air berperan untuk mengubah energi air (energi potensial, tekanan, dan energi kinetik) menjadi energi mekanik dalam bentuk putaran poros. Putaran poros turbin ini akan diubah oleh generator menjadi tenaga listrik. Pemilihan turbin untuk lokasi tertentu tergantung pada *head*.

Pada umumnya hasil survei lapangan potensi Pembangkit Listrik Tenaga Minihidro (PLTM), tinggi jatuhan air (*head*) berkisar antara 6 – 60 meter. Adapun daerah operasi dari masing-masing jenis turbin .

Pemilihan jenis turbin dapat ditentukan berdasarkan kelebihan dan kekurangan dari jenis-jenis turbin, khususnya untuk suatu desain yang sangat spesifik. Pada tahap awal, pemilihan jenis turbin dapat diperhitungkan dengan mempertimbangkan parameter-parameter khusus yang mempengaruhi sistem operasi turbin, yaitu:

1. Faktor tinggi jatuhan air efektif (*Net Head*) dan debit yang akan dimanfaatkan untuk operasi turbin merupakan faktor utama yang mempengaruhi pemilihan jenis turbin, sebagai contoh: turbin pelton efektif untuk operasi pada *head* tinggi, sementara turbin propeller sangat efektif beroperasi pada *head* rendah.
2. Faktor daya (*power*) yang diinginkan berkaitan dengan *head* dan debit yang tersedia.
3. Kecepatan (putaran) turbin yang akan ditransmisikan ke generator.

Ketiga faktor di atas seringkali diekspresikan sebagai "kecepatan spesifik (Ns)", yaitu kecepatan putar turbin yang menghasilkan daya sebesar satu satuan daya pada tinggi jatuhan air (H<sub>net</sub>) satu satuan panjang yang didefinisikan dengan formula:

$$N_s = \frac{(nt)\sqrt{P}}{(H)^{5/4}} \quad (3.1)$$

Dimana:  $nt$  = kecepatan putaran turbin (rpm)

$Q$  = debit aliran ( $m^3/det$ )

$H$  = *head* efektif (m)

$$N_s = \frac{(88,6)\sqrt{3000 \text{ Kw}}}{(30,8)^{5/4}} = 66,8 \text{ rpm}$$

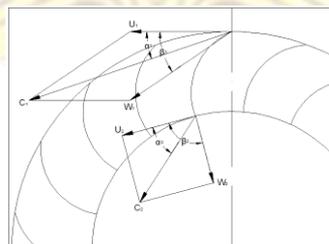
Kecepatan spesifik setiap turbin memiliki kisaran (*range*) tertentu berdasarkan data eksperimen. Kisaran kecepatan spesifik beberapa turbin air dapat dilihat pada tabel 3.1

**Tabel 3.1** Kecepatan Spesifik Turbin Air

Jenis turbin	Kecepatan spesifik
Turbin Pelton	$12 \leq N_s \leq 25$
Turbin Francis	$60 \leq N_s \leq 300$
Turbin Crossflow	$40 \leq N_s \leq 200$
Turbin Propeller	$250 \leq N_s \leq 1000$

### 3.2.3 Perancangan Geometri Sudu

Ketika melakukan sebuah perancangan, tentu geometri dari hal yang dirancang tersebut perlu diperhatikan. Pada turbin, ketika melakukan perancangan geometri sudu turbin ada beberapa hal yang perlu diperhatikan yaitu tinggi jatuh air (*head*), percepatan gravitasi bumi ( $g$ ), massa jenis fluida yang memutar turbin ( $\rho$ ), dan putaran turbin ( $n$ ). Geometri dari turbin ditentukan dengan menggunakan metoda segitiga kecepatan seperti yang terlihat pada Gb 3.4



**Gambar 3.2** Segitiga Kecepatan [13]



### 3.3 Perhitungan Analisis Ekonomi Teknik

Berdasarkan hasil pekerjaan perencanaan akan dilakukan estimasi biaya proyek dan dilakukan analisis ekonomi. Analisis tersebut meliputi analisis *Benefit Cost Ratio*, *Economic Internal Rate of return*, *Net Present Value*.

a. Analisis *Benefit Cost Ratio*

$$B / C_{ratio} = \frac{\sum_{t=1}^n \frac{Bt}{(1+i)^t}}{\sum_{t=1}^n \frac{Ct}{(1+i)^t}} \quad (3.5)$$

Dimana  $B_t$  menyatakan penerimaan tahun ke- $t$ ,  $C_t$  menyatakan pengeluaran tahun ke- $t$ ,  $i$  menyatakan suku bunga bank,  $t$  menyatakan jumlah tahun. Apabila nilai  $BCR > 1$  maka proyek dapat dijalankan, namun bila nilai  $BCR < 1$  maka proyek harus dibatalkan atau direkayasa pendahuluan untuk mendapatkan kelayakan yang sesuai.

b. Analisis *Net Present Value*

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{Bt - Ct}{(1+i)^t} \quad (3.6)$$

Dimana  $B_t$  menyatakan penerimaan tahun ke- $t$ ,  $C_t$  menyatakan pengeluaran tahun ke- $t$ ,  $i$  menyatakan suku bunga bank,  $t$  menyatakan jumlah tahun. Bila  $NPV > 0$  maka proyek layak untuk dijalankan, namun bila  $NPV < 0$  maka proyek harus dibatalkan atau direkayasa pendahuluan untuk mendapatkan kelayakan yang sesuai, dan  $NPV = 0$  maka proyek baru berada dalam titik impas.

c. Analisis *Economic Internal Rate of Return*

$$IRR = [P_1/(1+i)^1] + [P_2/(1+i)^2] + [P_3/(1+i)^3] + \dots + [P_n/(1+i)^n] \quad (3.7)$$

Dimana  $P_t$  menyatakan net cash flow pada tahun ke- $t$ ,  $i$  menyatakan suku bunga, dan  $n$  menyatakan tahun ke- $n$ . Bila hasil  $EIRR >$  suku bunga yang ditetapkan Bank Indonesia, maka proyek dapat dijalankan. Bila  $EIRR <$  suku bunga maka proyek harus dibatalkan atau direkayasa pendahuluan untuk mendapatkan kelayakan yang sesuai.

## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1. Data Potensi

Berdasarkan data yang didapatkan dari PT. Pembangkit Listrik Kerambil di Desa Muaro Air, Kecamatan Bayang Utara, Kabupaten Pesisir Selatan, didapatkan data berupa debit rata – rata ( $Q$ ) sebesar  $12 \text{ m}^3/\text{s}$  dan tinggi jatuh ( $H$ ) sebesar 30,8 m. Nilai tersebut menunjukkan bahwa daerah ini berpotensi untuk dibangun sebuah pembangkit listrik tenaga minihidro.

### 4.2. Perencanaan Mekanikal dan Elektrikal

#### 4.2.1 Kapasitas Pembangkit

Kapasitas pembangkit PLTM pada dasarnya bergantung pada ketersediaan energi primer. Besarnya daya yang dibangkitkan ditentukan oleh besarnya nilai debit dan ketinggian jatuh air (head). Semakin besar debit ( $Q$ ) dan head ( $H$ ) maka energi potensial juga akan semakin besar. Sehingga, daya yang dihasilkan oleh pembangkit juga akan semakin besar. Hal ini sesuai dengan persamaan berikut :

$$P = \rho \times g \times Q \times H \quad (4.1)$$

dimana  $\rho$  adalah massa jenis air dan  $g$  adalah gaya gravitasi.

Besarnya daya total turbin di PLTM Kerambil pada saat keadaan debit andalan dapat dilihat pada persamaan berikut dengan asumsi efisiensi turbin adalah sebesar 88.6%.

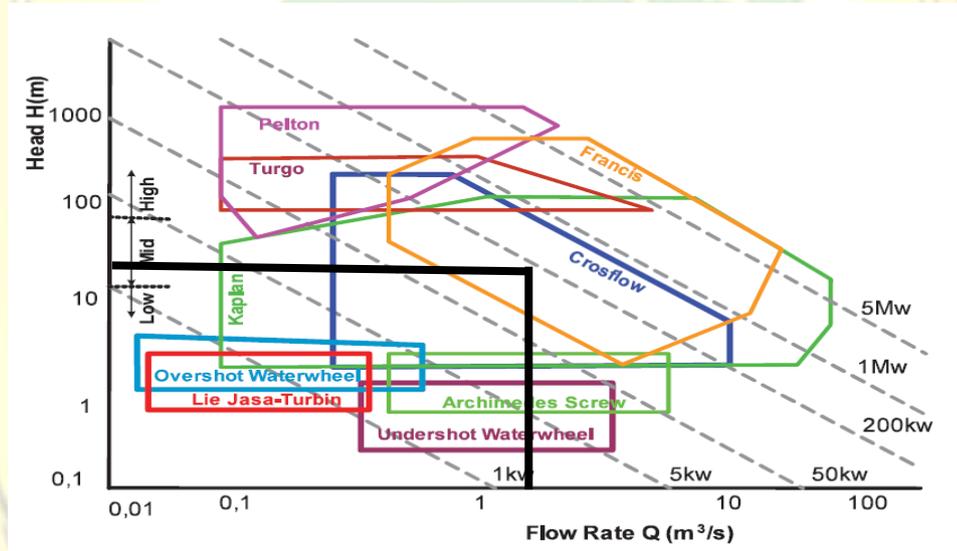
$$\begin{aligned} P &= \rho \times g \times Q \times H \times \eta_T \\ &= 998 \text{ kg/m}^3 \times 9,81 \text{ m/s}^2 \times 12 \text{ m}^3/\text{s} \times 30,8 \text{ m} \times 0,886 \\ &= 3,148,116.27 \text{ watt} \\ &= 3,148,116.27 \text{ KW} \end{aligned}$$

Jika probabilitas debit air yang diambil adalah sekitar 50 % dari debit andalan, sehingga diperoleh debit untuk masing-masing turbin sebesar  $1,671 \text{ m}^3/\text{s}$ , maka diperoleh besar daya turbin yang dibangkitkan adalah :

$$\begin{aligned}
 P &= \rho x g x Q x H x \eta T \\
 &= 998 \text{ kg/m}^3 \times 9,81 \text{ m/s}^2 \times 6 \text{ m}^3/\text{s} \times 30,8 \text{ m} \times 0,886 \\
 &= 1,603,006.633 \text{ Watt} \\
 &= 1,603.006633 \text{ kW}
 \end{aligned}$$

#### 4.2.2 Pemilihan Turbin

Sehingga, pemilihan jenis turbin diperoleh berdasarkan besarnya nilai debit aliran air dan besar tinggi air jatuh (head). Dengan data hasil perancangan adalah debit sebesar  $12 \text{ m}^3/\text{s}$  dan data head sebesar  $30,8 \text{ m}$ , jenis turbin yang ideal untuk dipakai dapat menggunakan grafik pemilihan turbin perhatikan Gb. 4.1 sebagai berikut.



Gambar 4.1 Grafik Hasil Pemilihan Turbin[4]

Berdasarkan grafik pemilihan turbin diatas dapat diketahui bahwa turbin yang ideal yang digunakan pada PLTM Kerambil menggunakan jenis turbin Francis.

Digunakan 2 unit turbin dengan masing-masing kapasitas sebesar  $2 \times 1500 \text{ KW}$ .

$$H_{\text{netto}} = 33 \times 0,886 \times 0,92 = 26,89 \text{ m}$$

Pertimbangan kenapa menggunakan turbin Francis ini adalah :

1. Pengalaman pabrik turbin didalam negeri untuk memproduksi turbin jenis Francis

2. Efisiensi turbin francis cukup tinggi untuk berbagai kondisi beban
3. Pemeliharaan turbin francis lebih mudah dan murah
4. Kontruksi pekerjaan sipil untuk turbin francis lebih sederhana

Perhatikan tabel 4.1 dibawah ini yang merupakan hasil perhitungan perancangan Turbin Francis. Perhitungan perancangan turbin francis dapat dilihat pada lampiran 1.

**Tabel 4.1** Rekapitulasi Perhitungan Perancangan Turbin Francis

Data	Nilai
<b>Data Terencana</b>	
1. Debit	6 m <sup>3</sup> /s
2. Head	30,8 m
3. Putaran Spesifik	66,8 rpm
4. Daya Terencana	1603 kW
5. Diameter Dalam Runner	1,774 m
6. Diameter Luar Runner	2,5343 m
<b>Sudu Turbin</b>	
7. Kecepatan absolut saat air memasuki turbin (C <sub>1</sub> )	23,35 m/s
8. Jumlah Blade	33 buah
<b>Segitiga Kecepatan Bagian Luar</b>	
9. Kecepatan tangensial ujung sudu (u <sub>1</sub> )	8,87 m/s
10. Kecepatan relatif air terhadap sudu (W <sub>1</sub> )	17,587 m/s
11. Sudut $\beta_1$	83,65 <sup>0</sup>
<b>Segitiga Kecepatan Bagian Dalam</b>	
12. Kecepatan Tangensial (U <sub>2</sub> )	0,0295 m/s
13. Kecepatan Relatif Bagian Dalam Sudu (W <sub>2</sub> )	21,53 m/s

14. Kecepatan Absolut ( $C_2$ )	0,0788 m/s
15. Sudut Buang Air Bagian Dalam Sudu ( $\alpha_2$ )	89,92 <sup>0</sup>
<b>Perancangan Geometri Sudu</b>	
16. Jari-jari kelengkungan sudu ( $r_b$ )	0,4136 m
17. Sudut kelengkungan sudu ( $\delta$ )	27.66 <sup>0</sup>
18. Jarak antara titik masuk dengan titik keluar (d)	0,408 m
19. Jari-jari lingkaran <i>pitch</i> ( $r_p$ )	1,168 m

### 4.2.3 Pemilihan Generator

Terdapat dua jenis generator yang bisa digunakan untuk PLTM , yaitu enerator sinkron dan generator induksi. Generator sinkron penggunaannya sudah demikian luas pada PLTM, sedangkan generator induksi teknologi penggunaannya masih baru berkembang dan umumnya digunakan dalam kapasitas kecil.

Selain itu, generator sinkron alasan lebih mudah dioperasikan dan lebih mudah ditemukan dipasaran. Inti lilitan dinamo terbuat dari material tembaga. Pemilihan lilitan tembaga dipilih karena memiliki efisiensi daya hantar listrik yang tinggi.

Sesuai dengan desain PLTM Kerambil, turbin francis dengan daya 2 x 1500 kW. Besarnya daya output generator dapat diselesaikan oleh persamaan berikut ini:

$$P_{g_{out}} = n_g \times P_t \quad (4.2)$$

Jika diasumsikan efisiensi generator 98 %, maka daya output generator adalah

$$P_{out}(\text{generator}) = 0,98 \times 1500 \text{ kW} = 1470 \text{ kW}$$

Asumsi faktor daya = 0.8 maka kapasitas generator dapat ditentukan sebagai berikut:

$$\text{kVA}(\text{generator}) = \frac{1470 \text{ Kw}}{0,8} = 1837,5 \text{ kVA}$$

Putaran sinkron generator yang dipilih sama dengan putaran turbin, yaitu 1.000 rpm, sehingga jumlah kutub generator adalah:

$$\frac{60 f}{n} \quad (4.3)$$

Sehingga didapatkan jumlah kutub generator sebesar :

$$\frac{60 \times 50 \text{ Hz}}{1000 \text{ rpm}} = 3$$

Perhatikan tabel 4.2 dibawah ini yang merupakan data untuk spesifikasi generator PLTM Kerambil.

**Tabel 4.2** Spesifikasi Generator PLTM Kerambil

Data	Nilai
Type	Generator 3 Phasa
Kapasitas	1.837,5 kVA
Tegangan	0.4 kV
Putaran	1000 Rpm
Frekuensi Aliran Listrik	50 Hz
Jumlah Katub	3

Besarnya daya keluaran generator pada PLTM Kerambil pada keadaan debit andalan dengan probabilitas 50 % sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 P &= \rho \times g \times Q \times H \times \eta_t \times \eta_g \\
 &= 998 \text{ kg/m}^3 \times 9,81 \text{ m/s}^2 \times 6 \text{ m}^3/\text{s} \times 30,8 \text{ m} \times 0,886 \times 0,98 \\
 &= 1554916,141 \\
 &= 1554 \text{ kW}
 \end{aligned}$$

### 4.3 Analisis Ekonomi PLTM Kerambil

#### 4.3.1 Performa Cash Flow

Penyusutan performa *cash flow* menggunakan asumsi sebagai berikut :

Tingkat inflasi tahun 2017 = 3,88% data Bank Indonesia [14]

Suku bunga = 10,5 % data Bank Indonesia [15]

Pajak = 3% data PP No.8 Tahun 2011 [16]

Umur Ekonomis Pembangkit = 20 Tahun

#### 4.3.2 Investasi Awal

Investasi awal merupakan seluruh biaya yang harus dikeluarkan untuk pembangunan dari tahap persiapan sampai tahap pembangkit dapat mendistribusikan energi listrik ke konsumen. Data pada tabel 4.3 didapatkan dari PT. Pembangkit Listrik Kerambil.

Tabel 4.3 Investasi Awal Volume & Biaya Pekerjaan Proyek [12]

No	Item	Total (Rp)
1	Pekerjaan Bangunan Sipil	Rp 50.580.350.723,00
2	Peralatan Mekanikal dan Elektrikal	Rp 15.586.000.000,00
3	Jaringan 20 Kv, 1 KM (@ 500.000.000)	Rp 500.000.000,00
4	Pembebasan lahan (15 ha @ 20.000/m <sup>2</sup> )	Rp 3.600.000.000,00
5	Biaya jasa perencanaan , pengawasan, manajemen	Rp 1.500.000.000,00
Jumlah		Rp 73.508.350.723,00
PPN 10%		Rp 7.350.835.072.30
<b>Jumlah + PPN</b>		<b>Rp 80.859.185.795,3</b>
<b>Pembulatan</b>		<b>Rp 80.859.200.000,00</b>

Pada tabel 4.3 didapatkan total anggaran biaya (investasi awal) pada PLTM Kerambil 2 x 1500 kW adalah sebesar Rp **80.859.200.000,00**

#### 4.3.3 Pengeluaran

Data tabel 4.4 dibawah ini didapatkan dari PT. Pembangkit Listrik Kerambil.

**Tabel 4.4** Rencana Pembiayaan [12]

No	Keterangan	Jumlah	Biaya/Bulanan (Rp)	Biaya/Tahun (Rp)
1	Operasional	1	Rp 20.000.000,00	Rp 240.000.000,00
2	Gaji Manager	1	Rp 15.000.000,00	Rp 180.000.000,00
3	Gaji Operator	3	Rp 15.000.000,00	Rp 180.000.000,00
4	Gaji Teknisi	2	Rp 8.000.000,00	Rp 96.000.000,00
5	Gaji Satpam	2	Rp 4.000.000,00	Rp 48.000.000,00
6	Lain-Lain	1	Rp 1.000.000,00	Rp 12.000.000,00
Pengeluaran			Rp 63.000.000,00	Rp 756.000.000,00

Kenaikan gaji diasumsikan 10% per 4 th kerja, ini dilakukan supaya karyawan yang bekerja di PLTM lebih bersemangat dan meningkatkan performa untuk lebih memajukan PLTM atau Perusahaan tempat mereka bekerja. Sehingga didapatkan perhitungan sebagai berikut :

Untuk th 1-4 Pengeluaran = Rp 756.000.000,00

Untuk th 5-8 Pengeluaran = Rp 831.600.000,00

Untuk th 9-12 Pengeluaran = Rp 914.760.000,00

Untuk th 13-16 Pengeluaran = Rp 1.006.236.000,00

Untuk th 17-20 Pengeluaran = Rp 1.106.859.600,00

#### 4.3.4 Penerimaan

Berdasarkan peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia Nomor 19 Tahun 2015 tentang pembelian tenaga listrik dari pembangkit listrik tenaga air dengan kapasitas sampai dengan 10 MW di daerah Sumatera untuk tegangan rendah oleh PT. Perusahaan Listrik Negara bahwa harga pembelian tenaga listrik dari PLTA yang memanfaatkan tenaga air dari waduk/bendungan atau saluran irigasi yang pembangunannya bersifat multiguna dengan kapasitas sampai dengan 10 MW berdasarkan hasil berikut dengan harga satu US Dollar terhadap Rupiah adalah Rp 13.316 [13]

Harga tahun ke-1 s.d tahun ke-8 sebesar Rp 1430,00/kWh

Harga tahun ke-9 s.d tahun ke-20 sebesar Rp 890,00/kWh

**Sehingga besar pemasukan selama satu tahun yaitu :**

Tahun ke-1 s.d tahun ke 8

Pemasukan = Output Daya × Kapasitas × Jumlah Jam × Harga Listrik

$$= 3000 \text{ kWh} \times 85\% \times 8640 \text{ h} \times \text{Rp } 1.430,00/\text{kWh}$$

$$= \text{Rp } 31.505.760.000,00$$

Tahun ke-9 s.d tahun ke 20

Pemasukan = Output Daya × Kapasitas × Jumlah Jam × Harga Listrik

$$= 3000 \text{ kWh} \times 85\% \times 8640 \text{ h} \times \text{Rp } 890,00/\text{kWh}$$

$$= \text{Rp } 19.608.480.000,00$$

Perhatikan tabel 4.5 yang merupakan penerimaan yang akan didapatkan dari tahun 1- 20.

**Tabel 4.5** Penerimaan

No	Keterangan	Nilai
1	Kapasitas	85%
2	Output Daya	3000 KW
3	Jumlah Jam	8640 h
4	Th 1-8	Rp 1.430,00/KWh
5	Th 9-20	Rp 890,00/KWh
Penerimaan Th 1-8		Rp 31.505.760.000,00
Penerimaan Th 9-20		Rp 19.608.480.000,00

### 4.3.5 Nilai Residu dan Penyusutan

#### a. Nilai Residu

Nilai residu yaitu nilai sisa suatu barang yang sudah habis umur ekonomisnya.

$$\text{Investasi Awal} = \text{Rp } 80.859.200.000,00$$

$$\begin{aligned} \text{Nilai Residu} &= 10\% \times \text{Investasi Awal} \\ &= 10\% \times \text{Rp } 80.859.200.000,00 \\ &= \text{Rp } 8.085.920.000,00 \end{aligned}$$

b. Penyusutan

Penyusutan yaitu menurunnya nilai ekonomi suatu aset.

$$\begin{aligned} \text{Penyusutan} &= \frac{\text{Investasi Awal} - \text{Nilai Residu}}{20} \\ &= \frac{\text{Rp } 80.859.200.000,00 - \text{Rp } 8.085.920.000,00}{20} \\ &= \text{Rp } 3.638.664.000,00 \end{aligned}$$

### 4.3.6 Penilaian Investasi

#### a. Net Present Value

*Net Present Value* merupakan selisih antara *benefit* (penerimaan) dengan *cost* (pengeluaran) yang telah dipresent-valuekan.

#### Nilai Present Value Benefit

$$\begin{aligned} \text{Benefit (th 1-8)} &= (\text{Rp } 31.505.760.000,00) + (\text{Rp } 3.638.664.000,00) \\ &= \text{Rp } 35.144.424.000,00 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Benefit (th 9-20)} &= (\text{Rp } 19.608.480.000,00) + (\text{Rp } 3.638.664.000,00) \\ &= \text{Rp } 23.247.144.000,00 \end{aligned}$$

#### Pengurangan Benefit Akibat Inflasi 3,88%

$$\begin{aligned} \text{Benefit (th 1-8)} &= (\text{Rp } 31.505.760.000,00) - (\text{Rp } 31.505.760.000,00 \times 3.88\%) \\ &= \text{Rp } 30.403.058.400,00 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Benefit (th 9-20)} &= (\text{Rp } 19.608.480.000,00) - (\text{Rp } 19.608.480.000,00 \times 3.88\%) \\ &= \text{Rp } 18.847.670.976,00 \end{aligned}$$

#### Pengurangan Benefit Akibat Pajak 3%

$$\begin{aligned} \text{Benefit (th 1-8)} &= (\text{Rp } 30.403.058.400,00) - (\text{Rp } 30.403.058.400,00 \times 3\%) \\ &= \text{Rp } 29.374.836.417,00 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Benefit (th 9-20)} &= (\text{Rp } 18.847.670.976,00) - (\text{Rp } 18.847.670.976,00 \times 3\%) \\ &= \text{Rp } 18.282.240.847,00 \end{aligned}$$

**Perhitungan faktor diskonto (DF)**

Diketahui  $i$  (tingkat suku bunga) = 10,5%

$$\text{Tahun ke } - 1 = \frac{1}{(1+i)^n} = \frac{1}{(1+0.105)^1} = 0,905$$

$$\begin{aligned} \text{PV Benefit} &= \text{Rp } 29.374.836.417,00 \times 0,905 \\ &= \text{Rp } 26.583.562.368,00 \end{aligned}$$

**Nilai Present Value Cost**

$$\text{Untuk th 1-4 Pengeluaran} = \text{Rp } 756.000.000,00$$

$$\text{Untuk th 5-8 Pengeluaran} = \text{Rp } 831.600.000,00$$

$$\text{Untuk th 9-12 Pengeluaran} = \text{Rp } 914.760.000,00$$

$$\text{Untuk th 13-16 Pengeluaran} = \text{Rp } 1.006.236.000,00$$

$$\text{Untuk th 17-20 Pengeluaran} = \text{Rp } 1.106.859.600,00$$

**Pengurangan Cost Akibat Inflasi 3,5%**

$$\begin{aligned} \text{Untuk th 1-4 Cost} &= (\text{Rp } 756.000.000,00) - (\text{Rp } 756.000.000,00 \times 3,88\%) \\ &= \text{Rp } 726.667.200,00 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Untuk th 5-8 Cost} &= (\text{Rp } 831.600.000,00) - (\text{Rp } 831.600.000,00 \times 3,88\%) \\ &= \text{Rp } 799.333.920,00 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Untuk th 9-12 Cost} &= (\text{Rp } 914.760.000,00) - (\text{Rp } 914.760.000,00 \times 3,88\%) \\ &= \text{Rp } 879.267.312,00 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Untuk th 13-16 Cost} &= (\text{Rp } 1.006.236.000,00) - (\text{Rp } 1.006.236.000,00 \times 3,88\%) \\ &= \text{Rp } 967.194.043,00 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Untuk th 17-20 Cost} &= (\text{Rp } 1.106.859.600,00) - (\text{Rp } 1.106.859.600,00 \times 3,88\%) \\ &= \text{Rp } 1.063.913.448,00 \end{aligned}$$

**Pengurangan Benefit Akibat Pajak 3%**

$$\begin{aligned} \text{Untuk th 1-4 Cost} &= (\text{Rp } 726.667.200,00) - (\text{Rp } 726.667.200,00 \times 3\%) \\ &= \text{Rp } 704.867.184,00 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Untuk th 5-8 Cost} &= (\text{Rp } 799.333.920,00) - (\text{Rp } 799.333.920,00 \times 3\%) \\ &= \text{Rp } 775.353.902,00 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Untuk th 9-12 Cost} &= (\text{Rp } 879.267.312,00) - (\text{Rp } 879.267.312,00 \times 3\%) \\ &= \text{Rp } 852.889.293,00 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Untuk th 13-16 Cost} &= (\text{Rp } 967.194.043,00) - (\text{Rp } 967.194.043,00 \times 3\%) \\ &= \text{Rp } 938.178.222,00 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Untuk th 17-20 Cost} &= (\text{Rp } 1.063.913.448,00) - (\text{Rp } 1.063.913.448,00 \times 3\%) \\ &= \text{Rp } 1.031.996.044,00 \end{aligned}$$

**Perhitungan faktor diskonto (DF) :**

Diketahui  $i$  (tingkat suku bunga) = 10,5%

$$\text{Tahun ke } - 1 = \frac{1}{(1+i)^n} = \frac{1}{(1+0.105)^1} = 0,905$$

$$\begin{aligned} \text{PV Cost} &= \text{Rp } 704.867.184,00 \times 0,905 \\ &= \text{Rp } 637.888.854,00 \end{aligned}$$

Sehingga Nilai NPV diperoleh sebesar :

$$\begin{aligned} \text{NPV} &= \text{Total PV benefit 20th} - \text{Total PV cost 20th} \\ &= (\text{Rp } 208.595.651.469,00) - (\text{Rp } 6.587.177.313,00) \\ &= \text{Rp } 202.008.474.156,00 \end{aligned}$$

Berdasarkan evaluasi standar kelayakan suatu proyek nilai NPV > 0 dan syarat tersebut berdasarkan hasil perhitungan telah terpenuhi.

**B. Benefit Cost Ratio (BCR)**

Perhitungan *Benefit Cost Ratio* adalah sebagai berikut:

$$B/C_{\text{Rasio}} = \sum_{\substack{K=0 \\ N}}^N \frac{B}{C} = \frac{\text{Rp}208.595.651.469}{\text{Rp}87.446.377.313} = 2,385$$

Nilai BCR yang didapat dari total *benefit* nilai sekarang dan total *cost* nilai sekarang adalah sebesar 2.385. Berdasarkan evaluasi standar kelayakan suatu proyek nilai BCR > 1 dan syarat tersebut berdasarkan hasil perhitungan telah terpenuhi.

**C. Internal Rate of Return**

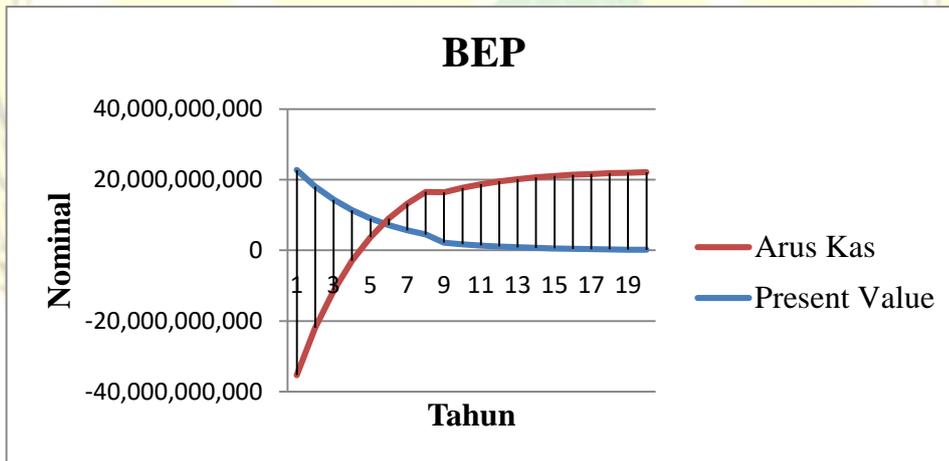
Internal Rate of Return adalah tingkat bunga dimana nilai sekarang dari keuntungan kotor suatu konstruksi PLTM sama dengan nilai sekarang biaya proyek atau neto sekarang NPV menjadi nol. Hasil analisa IRR dapat dilihat pada lampiran 2.

Besar nilai NPV 1 dengan tingkat suku bunga 10,5% yaitu didapatkan sebesar Rp 117.850.654.143,00 dan besar nilai NPV 2 dengan tingkat suku bunga 14% yaitu sebesar Rp 102.819.606.265,00 dengan demikian untuk mencari nilai IRR didapatkan dengan rumus sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 IRR &= (10,5\%) + \left( \frac{(NPV\ 1)}{(NPV\ 1 - NPV\ 2)} \right) \times (14\% - 10,5\%) \\
 &= 0,3794 \\
 &= 37,94\%
 \end{aligned}$$

**D. Payback Period**

Analisis payback period digunakan untuk mengetahui seberapa lama investasi mncapai titik impas atau breakeven-point yang mengartikan arus kas masuk sama dengan arus kas keluar. Hasil analisa payback period dapat dilihat pada lampiran 2.



Gambar 4.2 Grafik BEP

Dapat dilihat pada grafik BEP diatas, dimana PLTM Induring akan balik modal setelah 5.8 th pengoperasian.

#### 4.4 Harga Daya Terbangkit PLTM Kerambil

Hasil perancangan PLTM Kerambil dengan kapasitas daya terbangkit yaitu sebesar 2 x 1500 KW membutuhkan biaya sebesar Rp **80.859.200.000,00** dengan umur ekonomis pembangkit selama 20 tahun dan membutuhkan biaya operasi per tahun Rp 756.000.000,00 . Maka rata-rata biaya per hari yaitu :

Asumsi : Kenaikan biaya operasional 10% per 4th

Penurunan daya terbangkit 10% per 4th

##### a. Th 1-4

$$\text{Biaya Operasional} = \text{Rp } 756.000.000,00$$

$$\text{Daya terbangkit} = 2 \times 1500 \text{ kW}$$

$$\text{Rp/hari} = \frac{\text{Biaya awal} + \text{biaya operasional}}{\text{Umur ekonomis} \times 365 \text{ hari}}$$

$$\text{Rp/hari} = \frac{\text{Rp } 80.859.200.000,00 + \text{Rp } 756.000.000,00}{20 \times 365 \text{ hari}}$$

$$= \text{Rp } 1.211.222,00$$

$$\text{Biaya/kWh} = \frac{\text{Biaya per hari}}{\text{Energi listrik } \left(\frac{\text{kWh}}{\text{hari}}\right)}$$

$$= \frac{\text{Rp } 1.211.222,00}{3000 \text{ kW} \cdot 24 \text{ jam}}$$

$$= \text{Rp } 16.82,00$$

##### b. Th 4-8

$$\text{Biaya Operasional} = \text{Rp } 831.600.000,00$$

$$\text{Daya terbangkit} = 2700 \text{ kW}$$

$$\text{Rp/hari} = \frac{\text{Biaya awal} + \text{biaya operasional}}{\text{Umur ekonomis} \times 365 \text{ hari}}$$

$$\text{Rp/hari} = \frac{\text{Rp } 80.859.200.000,00 + \text{Rp } 831.600.000,00}{20 \times 365 \text{ hari}}$$

$$= \text{Rp } 1.221.578,00$$

$$\begin{aligned} \text{Biaya/kWh} &= \frac{\text{Biaya per hari}}{\text{Energi listrik } \left(\frac{\text{kWh}}{\text{hari}}\right)} \\ &= \frac{\text{Rp } 1.221.578,00}{2700 \text{ kW} \cdot 24 \text{ jam}} \\ &= \text{Rp } 18.85,00 \end{aligned}$$

**c. Th 9-12**

$$\text{Biaya Operasional} = \text{Rp } 914.760.000,00$$

$$\text{Daya terbangkit} = 2430 \text{ kW}$$

$$\text{Rp/hari} = \frac{\text{Biaya awal} + \text{biaya operasional}}{\text{Umur ekonomis} \times 365 \text{ hari}}$$

$$\text{Rp/hari} = \frac{\text{Rp } 80.859.200.000,00 + \text{Rp } 914.760.000,00}{20 \times 365 \text{ hari}}$$

$$= \text{Rp } 2.114.145.856,00$$

$$\text{Biaya/kWh} = \frac{\text{Biaya per hari}}{\text{Energi listrik } \left(\frac{\text{kWh}}{\text{hari}}\right)}$$

$$= \frac{\text{Rp } 2.114.145.856,00}{2430 \text{ kW} \cdot 24 \text{ jam}}$$

$$= \text{Rp } 21.14,00$$

**d. Th 13-16**

$$\text{Biaya Operasional} = \text{Rp } 1.006.236.000,00$$

$$\text{Daya terbangkit} = 2187 \text{ kW}$$

$$\text{Rp/hari} = \frac{\text{Biaya awal} + \text{biaya operasional}}{\text{Umur ekonomis} \times 365 \text{ hari}}$$

$$\text{Rp/hari} = \frac{\text{Rp } 80.859.200.000,00 + \text{Rp } 1.006.236.000,00}{4 \times 365 \text{ hari}}$$

$$= \text{Rp } 1.245.501,00$$

$$\text{Biaya/kWh} = \frac{\text{Biaya per hari}}{\text{Energi listrik } \left(\frac{\text{kWh}}{\text{hari}}\right)}$$

$$= \frac{\text{Rp } 1.245.501,00}{2187 \text{ kW} \cdot 24 \text{ jam}}$$

$$= \text{Rp } 23.72,00$$

e. Th 17-20

$$\text{Biaya Operasional} = \text{Rp}1.106.859.600,00$$

$$\text{Daya terbangkit} = 1968,3 \text{ kW}$$

$$\text{Rp/hari} = \frac{\text{Biaya awal} + \text{biaya operasional}}{\text{Umur ekonomis} \times 365 \text{ hari}}$$

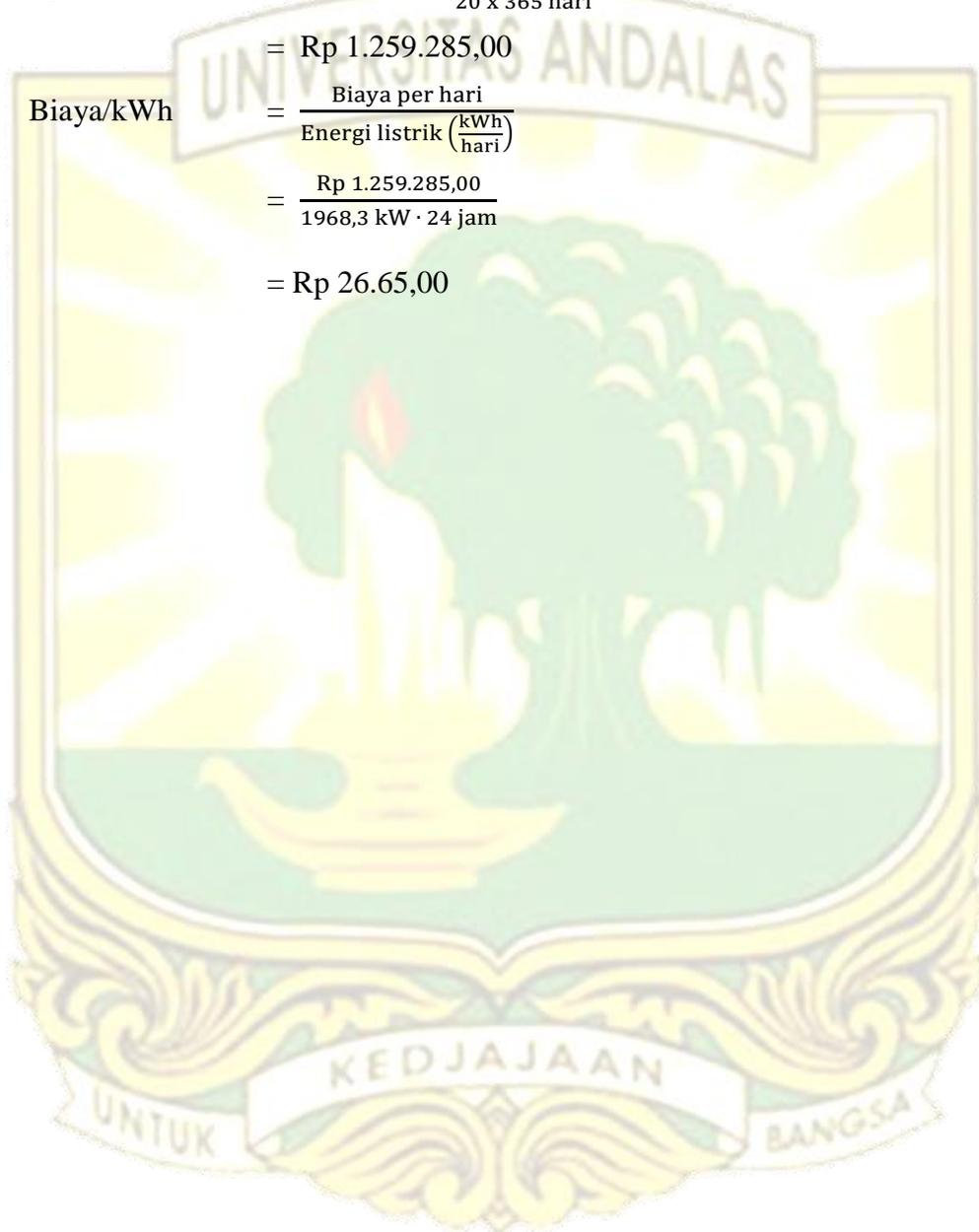
$$\text{Rp/hari} = \frac{\text{Rp } 80.859.200.000,00 + \text{Rp } 1.106.859.600,00}{20 \times 365 \text{ hari}}$$

$$= \text{Rp } 1.259.285,00$$

$$\text{Biaya/kWh} = \frac{\text{Biaya per hari}}{\text{Energi listrik} \left( \frac{\text{kWh}}{\text{hari}} \right)}$$

$$= \frac{\text{Rp } 1.259.285,00}{1968,3 \text{ kW} \cdot 24 \text{ jam}}$$

$$= \text{Rp } 26.65,00$$



## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **5.1 Kesimpulan**

Dari beberapa perhitungan yang dilakukan berdasarkan teori yang ada, maka diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Pemilihan turbin yang sesuai untuk PLTM Kerambil yaitu turbin *francis* dengan kecepatan spesifik ( $n_s$ ) 66,8 rpm dengan daya 2 x 1500 kW dan dipasang 2 unit turbin.
2. Perancangan turbin *francis* dengan diameter luar runner 2,543 m dan diameter luar dalam 1,774 m serta jumlah blade 33 buah.
3. Generator yang digunakan yaitu Generator Sinkron 3 Fasa dengan putaran 1000 Rpm, Frekuensi Aliran Listrik 50 Hz dengan Jumlah katub 3.
4. Analisis kelayakan ekonomi pembangunan PLTM Kerambil didapatkan nilai NPV > 0 yaitu Rp 202.008.474.156,00 nilai BCR > 0 yaitu 2,385 dan nilai IRR > tingkat suku bunga yaitu 37,94 % serta balik modal (BEP) PLTM Kerambil pada tahun 5,8.
5. Berdasarkan perencanaan teknis dan ekonomi maka PLTM Kerambil ini layak untuk dilakukan pembangunan.

#### **5.2 Saran**

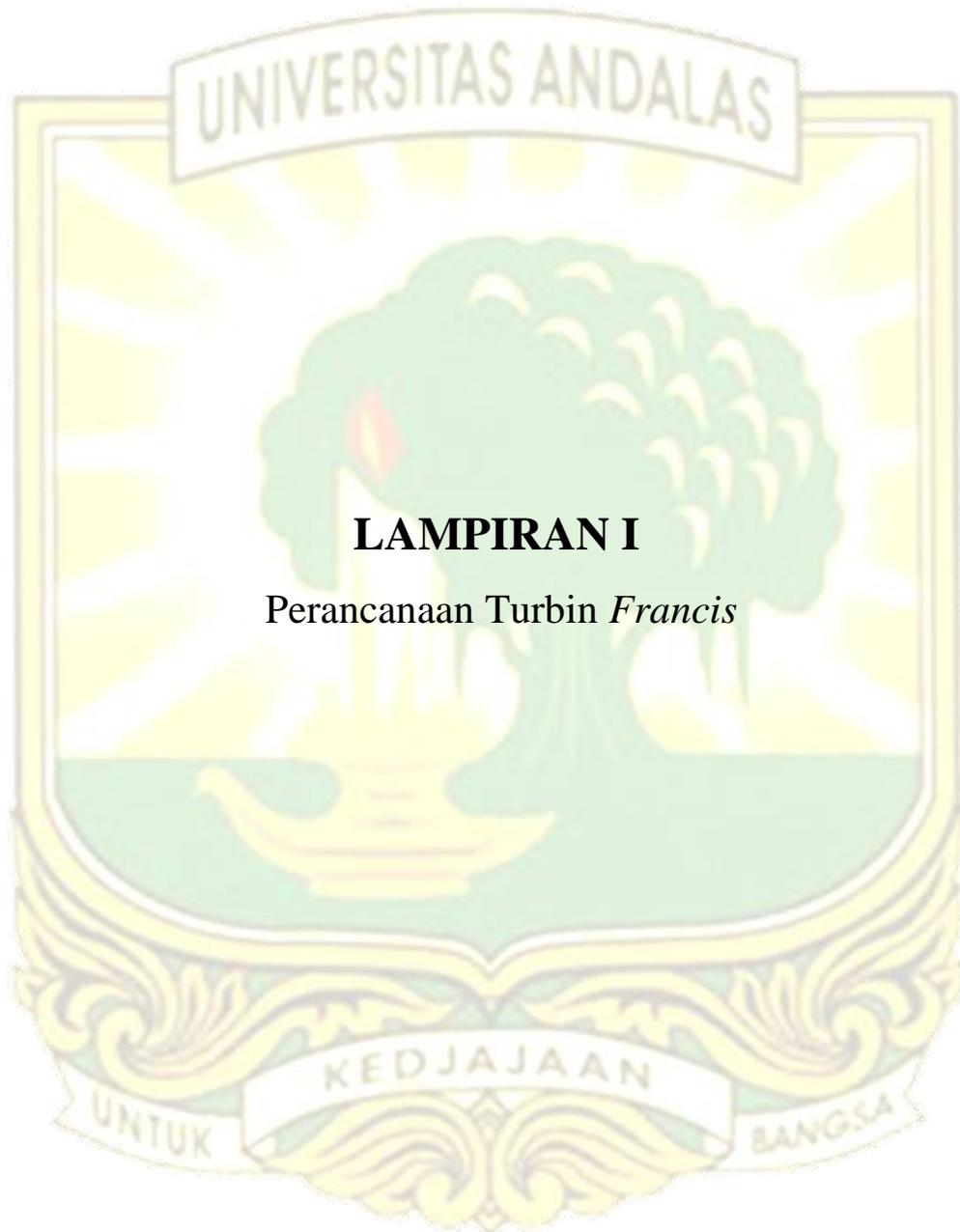
PLTM sebagai pembangkit listrik yang memanfaatkan energy air sebagai sumber energy primernya dapat lebih dioptimalkan lagi pemanfaatannya. Sehingga perlu adanya studi kelayakan yang dilakukan di wilayah lain yang memiliki potensi aliran air yang cukup.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Direktorat Jendral Listrik dan Pemanfaatan Energi Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral. 2010. Modul Pelatihan Studi Kelayakan Pembangunan Mini Hidro. Jakarta: IMIDAP
- [2] Panduan Untuk Pembangunan Pembangkit Listrik Mini Hidro. 2010. Buku Perencanaan PLTMH. Jakarta: IMIDAP
- [3] Direktorat Jendral Listrik dan Pemanfaatan Energi. 2010. *Pedoman Studi Kelayakan PLTMH Sipil*. Jakarta : IMIDAP
- [4] Zecohydropower. 2012. *Pelton Turbine*. Tersedia <https://www.zeco.it/zeco-turbines/pelton-turbine/>
- [5] Microhydro power. 2015. *Turgo Inclined Jet Turbine*. Tersedia <http://www.micro-hydro-power.com/Turgo-Inclined-Jet-Turbine.htm>
- [6] Ossberger. 2016. *Ossberger Turbine*. Tersedia <http://www.ossberger.de/cms/pt/hydro/ossberger-turbine/>
- [7] NN2. 2013. *How does Francis turbine work ?*. Tersedia <http://www.learnengineering.org/2014/01/how-does-francis-turbine-work.html>
- [8] Hanania, Jordan. 2016. *Kaplan Turbine*. Tersedia [http://energyeducation.ca/encyclopedia/Kaplan\\_turbine](http://energyeducation.ca/encyclopedia/Kaplan_turbine)
- [9] NN3. 2016. *Waterwheel Design for Microhydro Energy*. Tersedia <http://www.alternative-energy-tutorials.com/hydro-energy/waterwheel-design.html> [27 April 2016]
- [10] Direktorat Jendral Listrik dan Pemanfaatan Energi. 2009. *Pedoman Studi Kelayakan Ekonomi/Finansial*. Jakarta : IMIDAP
- [11] Dinas Pengolahan Sumber Daya Air (PSDA).2015
- [12] PT. Pembangkit Listrik Kerambil.2015.*Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Minihidro Kerambil 2 x 1500 Kw*. Pesisir Selatan
- [13] Sulardi, Sumardi, Bambang.1991.*Pembangkit Listrik Tenaga Air*.Jakarta
- [14] <http://www.bi.go.id/id/moneter/inflasi/data/Default.aspx> [ 11 Agustus 2017]
- [15] <http://www.bi.go.id/id/moneter/bi-rate/data/Default.aspx> [ 11 Agustus 2017]

[16] <https://kumparan.com/wiji-nurhayat/realisasi-penerimaan-pajak-hingga-agustus-2017-baru-53-5-dari-target> [ 11 Agustus 2017]





## **LAMPIRAN I**

Perencanaan Turbin *Francis*

## A. Data

Data teknik perancangan dari turbin *francis* pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

- Head (H) = 30,8 m
- Debit (Q) = 12 m<sup>3</sup>/s
- Percepatan gravitasi (g) = 9,81 m/s<sup>2</sup>
- Massa jenis fluida alir ( $\rho_{\text{air}}$ ) = 998 kg/m<sup>3</sup>
- Putaran generator direncanakan = 1000 rpm
- Efisiensi turbin ( $n_t$ ) = 88,6 %

Dari data di atas dapat dihitung daya air yang tersedia untuk turbin ( $P_w$ ), daya turbin ( $P_t$ ), putaran turbin ( $n$ ) dan kecepatan spesifik ( $n_s$ ) sebagai berikut :

### 1. Daya air yang tersedia untuk turbin ( $P_w$ )

$$\begin{aligned}P_w &= \rho_{\text{air}} \cdot Q \cdot H \cdot g \\&= 998 \text{ kg/m}^3 \cdot 6 \text{ m}^3/\text{s} \cdot 30,8 \text{ m} \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 \\&= 1809262.224 \text{ W} \\&= 1809,262224 \text{ kW}\end{aligned}$$

### 2. Daya turbin ( $P_t$ )

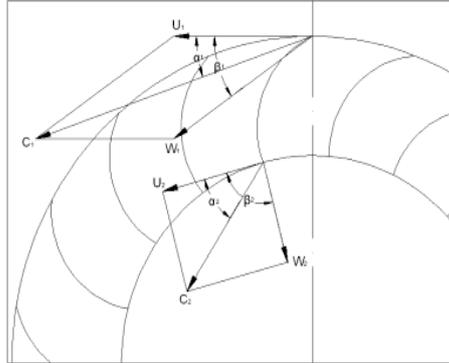
$$\begin{aligned}P_t &= P_w \cdot n_t \\&= 1809,262224 \text{ kW} \cdot 0,886 \\&= 1603,00633 \text{ kW}\end{aligned}$$

### 3. Kecepatan Spesifik ( $n_s$ )

$$\begin{aligned}N_s &= n_t \frac{\sqrt{P_t}}{H^{5/4}} \\&= 0,886 \text{ rpm} \frac{\sqrt{1603,00633 \text{ kW}}}{30,8^4 \text{ m}} \\&= 66,8 \text{ rpm}\end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan kecepatan spesifik didapat 66,8 rpm, ini termasuk kategori turbin francis  $40 \leq n_s < 200$  rpm.

## B. Analisa Segitiga Kecepatan



### 1. Kecepatan absolut saat air memasuki turbin ( $C_1$ )

$k$  = Koefisien kecepatan (0,95 – 1,0), direncanakan  $k = 0,95$

$$\begin{aligned}C_1 &= k \sqrt{2 \cdot g \cdot H} \\&= 0,95 \sqrt{2 \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 \cdot 30,8 \text{ m}} \\&= 0,95 \sqrt{24,58243275 \text{ m}^2/\text{s}^2} \\&= 23,3533111 \text{ m/s}\end{aligned}$$

### 2. Kecepatan tangensial ujung sudu ( $U_1$ )

Dari segitiga kecepatan pada gambar B.1,

$$\begin{aligned}U_1 &= 0,5 \cdot C_1 \cdot \cos \alpha_1 \\&= 0,5 \cdot 23,3533111 \cdot \cos 15^\circ \\&= 8,8706 \\&= 8,87 \text{ m/s}\end{aligned}$$

### 3. Kecepatan relatif air terhadap sudu ( $W_1$ )

$$\begin{aligned}W_1^2 &= U_1^2 + C_1^2 - 2 \cdot U_1 \cdot C_1 \cdot \cos \alpha_1 \\&= (8,87)^2 + (23,3533)^2 - 2 \cdot 8,87 \cdot 23,3533 \cdot \cos 15^\circ \\&= 78,68 + 545,3766 - 2 \cdot 207,15096 \\&= \sqrt{309,3137} = 17,587 \text{ m/s}\end{aligned}$$

Sudut  $\beta_1$ , sudut antara kecepatan relatif ( $W_1$ ) dengan kecepatan tangensial ( $U_1$ )

$$C_1 \cdot \cos \alpha_1 = W_1 \cdot \cos \beta_1 + U_1$$

$$\cos \beta_1 = \frac{17,41 \cos 15 - 8,87}{23,3533}$$

$$\cos \beta_1 = \cos^{-1} 0,1105$$

$$\beta_1 = 83,655^\circ$$

### C. Perhitungan Diameter Turbin

#### 1. Diameter luar turbin ( $D_1$ )

Diameter luar dari turbin dapat dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$D_1 = \frac{60 \cdot U_1}{\pi \cdot n}$$

Dengan putaran spesifik dari turbin ( $n$ ) sebesar 66,8 rpm, maka diameter turbin adalah :

$$\begin{aligned} D_1 &= \frac{60 \cdot 8,8706}{\pi \cdot 66,8} \\ &= 2,5343 \text{ m} \end{aligned}$$

#### 2. Diameter dalam turbin ( $D_2$ )

Hubungan  $N_s$ ,  $d/D$

$N_s$	1000	800	600	400	350	300
$d/D$	0,3	0,4	0,5	0,55	0,60	0,70

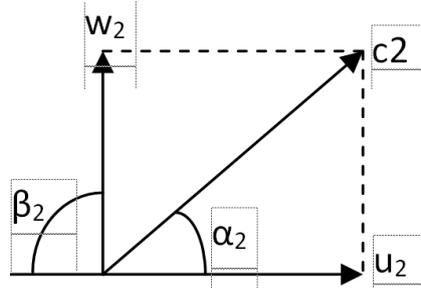
Sumber: Miroslav Nechleba (1957)

Maka,

$$0,7 = \frac{D_2}{D_1}$$

$$0,7 = \frac{D_2}{2,5343}$$

$$D_2 = 1,774056 \text{ m}$$



1. Kecepatan relatif bagian dalam sudu ( $W_2$ )

$$\begin{aligned}
 W_2 &= W_1 \cdot \left(\frac{D_1}{D_2}\right) \\
 &= 15,076169 \frac{2,5343}{1,774056} \\
 &= 21,53 \text{ m/s}
 \end{aligned}$$

2. Kecepatan tangensial ( $U_2$ )

$$\begin{aligned}
 U_2 &= \frac{D_2}{D_1} (U_1) \\
 &= \frac{1,774056}{2,5343} (8,8706) \\
 &= 0,0295 \text{ m/s}
 \end{aligned}$$

3. Sudut antara kecepatan arah radial dengan kecepatan arah tangensial ( $\alpha_2$ )

$$\begin{aligned}
 \tan \alpha_2 &= \frac{W_2}{u_2} \\
 &= \frac{21,53}{0,0295} \\
 \alpha_2 &= \tan^{-1} 728,41 \\
 &= 89,921^\circ
 \end{aligned}$$

4. Kecepatan absolut ( $C_2$ )

$$\begin{aligned}
 C_2 &= \frac{U_2}{\cos \alpha_2} \\
 &= \frac{0,0295}{\cos 89,921} \\
 &= 0,0788 \text{ m/s}
 \end{aligned}$$

#### D. Perencanaan Dinding Runner

1. Tebal Pancaran Air ( $S_0$ )

$$\begin{aligned} S_0 &= k \cdot D_1 \\ &= 0,087 \cdot 2,534 \\ &= 0,22 \text{ m} \end{aligned}$$

2. Tebal Pancaran didalam Runner ( $y$ )

$$\begin{aligned} y &= \frac{2 \cdot S_0 \cdot \cos \alpha_2}{D_2/D_1 \cdot \cos \alpha_1} \\ &= \frac{2 \cdot 0,22 \cdot \cos 89,921}{\frac{1,774}{2,534} \cos 15} \\ &= 0,152 \text{ m} \end{aligned}$$

3. Panjang Runner ( $b_0$ )

$$\begin{aligned} b_0 &= \frac{10 \cdot Q}{k \cdot D_1 \cdot \varphi (2 \cdot g \cdot H)^{1/2}} \\ &= \frac{10 \cdot 6}{0,087 \cdot 2,534 \cdot 0,95 (2 \cdot 9,81 \cdot 30,8)^{1/2}} \\ &= 11,652 \text{ m} \end{aligned}$$

#### E. Perancangan Sudu Turbin

1. Jarak Antar sudu ( $t$ )

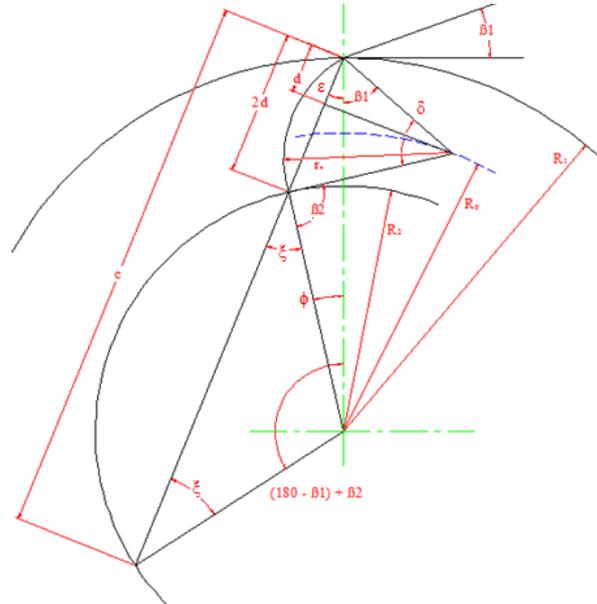
$$\begin{aligned} t &= S_0 / \sin \beta_1 \\ &= \frac{0,22}{\sin 83,655^\circ} \\ &= 0,2396 \text{ m} \end{aligned}$$

2. Jumlah sudu ( $Z$ )

$$\begin{aligned} Z &= \frac{\pi \cdot D_1}{t} \\ &= \frac{3,14 \cdot 2,534}{0,2396} \\ &= 33,20 \text{ dibulatkan menjadi 33 buah sudu} \end{aligned}$$

## F. Perancangan Geometri Sudu

### 1. Jari-jari kelengkungan sudu ( $r_b$ )



$$r_b = \frac{d}{\cos[(180 - \beta_1) + \epsilon]}$$

$$d = \frac{\left(\frac{D}{2}\right) \cdot \sin(\varphi)}{2 \cdot \sin(180 - \xi)}$$

$$\epsilon = \sin^{-1} \left[ \frac{R_2 \cdot \sin((180 - \beta_1) - \beta_2)}{c} \right]$$

dimana,

$$\begin{aligned} c &= \left[ \left( \left( \frac{D_1}{2} \right)^2 + \left( \frac{D_2}{2} \right)^2 \right) - \left( 2 \cdot \left( \frac{D_1}{2} \right) \cdot \left( \frac{D_2}{2} \right) \cdot \cos(\beta_1 + \beta_2) \right) \right]^{0,5} \\ &= \left[ \left( \left( \frac{2,534}{2} \right)^2 + \left( \frac{1,774}{2} \right)^2 \right) - \left( 2 \cdot \left( \frac{2,534}{2} \right) \cdot \left( \frac{1,774}{2} \right) \cdot \cos(83,655 + 90) \right) \right]^{0,5} \\ &= [(1,60 + 0,78) - (2 \cdot 1,26 \cdot 0,887 \cdot \cos 173,655)]^{0,5} \\ &= [2,3925 - (2,248 \cdot (0,6468))]^{0,5} \\ &= 1,9612 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\varepsilon &= \sin^{-1} \left( \frac{R_2 \cdot \sin(\beta_1 + \beta_2)}{c} \right) \\
&= \sin^{-1} \left( \frac{0,887 \cdot \sin(83,655 + 90)}{1,9612} \right) \\
&= \sin^{-1} 0,3449^{\circ} \\
&= 20,175^{\circ}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\xi &= 180 - (\beta_1 + \beta_2 + \varepsilon) \\
&= 180 - (83,655 + 90 + 20,175) \\
&= 180 - 193,83 \\
&= -13,83^{\circ}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\varphi &= (\beta_1 + \beta_2) - (180 - 2 \cdot \xi) \\
&= (83,655 + 90) - (180 - 2 \cdot 13,83) \\
&= 34,006^{\circ}
\end{aligned}$$

2. Sudut kelengkungan sudu ( $\delta$ )

$$\begin{aligned}
\delta &= 180 - 2 \cdot ((\beta_1) + \varepsilon) \\
&= 180 - 2 \cdot (83,665 + 20,175) \\
&= 27,661^{\circ}
\end{aligned}$$

3. Jarak antara titik masuk dengan titik keluar ( $d$ )

$$\begin{aligned}
d &= \frac{R_1 \cdot \sin \varphi}{2 \cdot \sin(180 - \xi)} \\
&= \frac{1,2671 \cdot \sin(34,006)}{2 \cdot \sin(180 - 13,83)} \\
&= \left| \frac{0,663}{1,624} \right| \\
&= 0,408 \text{ m}
\end{aligned}$$

4. Jari-jari kelengkungan sudu ( $r_b$ )

$$r_b = \frac{d}{\cos((\beta_1) + \varepsilon)}$$

$$= \frac{0,40845}{\cos(83,655 + 20,175)}$$

$$= 0,4136 \text{ m}$$

5. Jari-jari lingkaran *pitch* ( $r_p$ )

$$r_p = \sqrt{(r_b)^2 + (R_1)^2 - (2 \cdot r_b \cdot R_1 \cdot \cos \beta_1)}$$

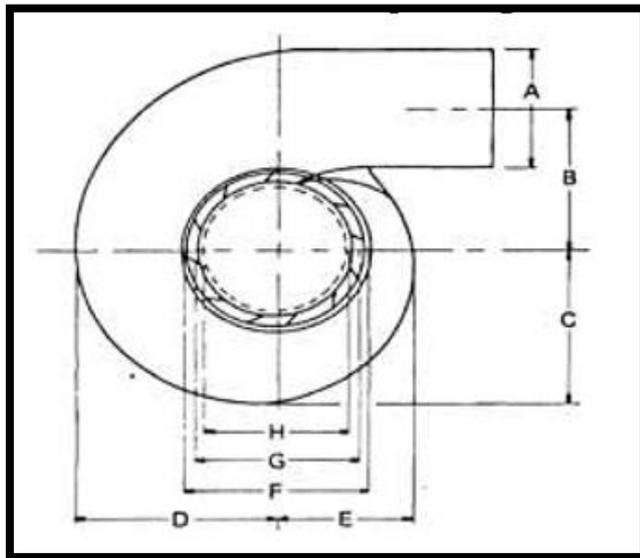
$$= \sqrt{(0,4136)^2 + (1,2671)^2 - (2 \cdot 0,4136 \cdot 1,2671 \cdot \cos 83,655)}$$

$$= \sqrt{(0,171 + 1,605) - (0,4109)}$$

$$= 1,168 \text{ m}$$

### G. Lengkungan Pemasukan (Casing)

Perencanaan berdasarkan pandangan atas



1. Ukuran pada bagian A

$$\frac{A}{D1} = 1,2 - \frac{19,5}{N_s}$$

$$\frac{A}{2,534} = 1,2 - \frac{19,5}{66,8}$$

$$A = 1,9389$$

2. Ukuran pada bagian B

$$\frac{B}{D1} = 1,1 + \frac{54,8}{N_s}$$

$$\frac{B}{D1} = 1,1 + \frac{54,8}{66,8}$$

$$B = 0,976$$

3. Ukuran pada bagian C

$$\frac{C}{D1} = 1,32 + \frac{49,25}{N_s}$$

$$\frac{C}{D1} = 1,32 + \frac{49,25}{66,8}$$

$$C = 0,54$$

4. Ukuran pada bagian D

$$\frac{D}{D1} = 1,5 + \frac{48,8}{N_s}$$

$$\frac{D}{D1} = 1,5 + \frac{48,8}{66,8}$$

$$D = 0,34$$

5. Ukuran pada bagian E

$$\frac{E}{D1} = 0,98 + \frac{63,6}{N_s}$$

$$\frac{E}{D1} = 1,5 + \frac{63,6}{66,8}$$

$$E = 1,43$$

6. Ukuran pada bagian F

$$\frac{F}{D1} = 1 + \frac{131,4}{N_s}$$

$$\frac{F}{2,534} = 1 + \frac{131,4}{66,88}$$

$$F = 0,502$$

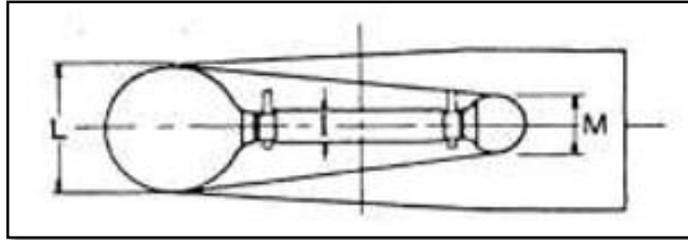
7. Ukuran pada bagian G

$$\frac{G}{D1} = 0,89 + \frac{96,5}{N_s}$$

$$\frac{G}{2,534} = 0,89 + \frac{96,5}{66,88}$$

$$G = 2,766$$

### Perencanaan berdasarkan pandangan samping



#### 1. Ukuran pada bagian I

$$\frac{I}{D1} = 0,1 + 0,00065 N_s$$

$$\frac{I}{2,534} = 0,1 + 0,00065 (66,8)$$

$$I = 0,0101$$

#### 2. Ukuran pada bagian M

$$\frac{M}{D1} = 0,5 + 0,000015 N_s$$

$$\frac{M}{2,543} = 0,5 + 0,000015 (66,8)$$

$$M = 0,597$$

#### 3. Ukuran pada bagian L

$$\frac{L}{D1} = 0,88 + 0,00049 N_s$$

$$\frac{L}{2,534} = 0,88 + 0,00049 (66,8)$$

$$L = 0,597$$

### H. Design Guide Vane

Fungsi *guide vane* adalah untuk mengatur kapasitas air menuju *runner* turbin dengan arah dan kecepatan tertentu. Untuk arah kecepatan dan kapasitas air yang menuju runner sepanjang busur jatuhnya tegak lurus. Perencanaan ini pada dasarnya untuk menentukan sudut antar.

#### 1. Sudut profil sudu antar ( $\alpha = 23$ )

$$\alpha_{max} = 1,25 \cdot \alpha$$

$$\alpha_{max} = 1,25 \cdot 23$$

$$\alpha_{max} = 28^\circ$$

2. Diameter lingkaran pusat perputaran (dz);

$$dz = a + \sqrt{a^2 + b^2}$$

Dimana,

$$a = \frac{2 \cdot D_1 \cdot k_1 \cdot \sin \frac{180}{Z_1} \sin \alpha_{max}}{1 - 4 \cdot k_1 \cdot \sin^2 \frac{180}{Z_1} + \frac{2}{k_0} \cdot \cos \alpha_{max} \sin \frac{180}{Z_1}}$$

$$b = \frac{D^2}{1 - 4 \cdot k_1 \cdot \sin^2 \frac{180}{Z_1} + \frac{2}{k_0} \cdot \cos \alpha_{max} \sin \frac{180}{Z_1}}$$

Sedangkan untuk,

$k_0$  = Konstanta yang direncanakan (0,5)

$k_1$  = Konstanta yang direncanakan (0,95)

$Z_1$  = Jumlah sudu

Maka,

$$a = \frac{2 \cdot 2,53 \cdot 0,95 \cdot \sin \frac{180}{33} \sin 28^\circ}{1 - 4 \cdot 0,95 \cdot \sin^2 \frac{180}{33} + \frac{2}{0,5} \cdot \cos 28^\circ \cdot \sin \frac{180}{33}}$$

$$a = 1,769 \text{ m}$$

$$b = \frac{2,534^2}{1 - 4 \cdot 0,95 \cdot \sin^2 \frac{180}{33} + \frac{2}{0,5} \cdot \cos 28^\circ \cdot \sin \frac{180}{33}}$$

$$b = 4,945 \text{ m}$$

Maka,

$$dz = a + \sqrt{a^2 + b^2}$$

$$dz = 1,769 + \sqrt{1,769^2 + 4,945^2}$$

$$dz = 7,022 \text{ m}$$

## I. Design Draft Tube

1. Diameter *draft tube*

$$Ds = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot Cs}}$$

Dimana,

$Cs$  = Kecepatan aliran dalam *draft tube*, dapat dicari dengan persamaan,

$$C_s = K_{v1} \sqrt{2 \cdot g \cdot H}$$

$K_{v1}$  = Konstanta yang direncanakan (0,06)

$$C_s = 0,06 \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 30,8}$$

$$C_s = 1,47 \text{ m/s}$$

Maka,

$$D_s = \sqrt{\frac{4 \cdot 6}{\pi \cdot 1,47}}$$

$$D_s = 2,27 \text{ m}$$

2. Panjang *draft tube*

$$L = C_s \cdot D_s$$

$$L = 1,47 \cdot 2,27$$

$$L = 3,35 \text{ m}$$

3. Diameter sisi keluar *draft tube*

$$D_{S_{out}} = 1,2 \cdot D_s$$

$$D_{S_{out}} = 1,2 \cdot 2,27$$

$$D_{S_{out}} = 2,731 \text{ m}$$

**J. Perancangan Poros**

Berdasarkan data yang diperoleh sebelumnya dapat diketahui dimana:

$$\text{Daya yang ditransmisikan } (P_t) = 1603 \text{ KW}$$

$$\text{Putaran poros } (N_1) = 66,8 \text{ rpm}$$

$$\text{Daya rencana } (P_{dp})$$

Penentuan daya rencana ( $P_{dp}$ ) dalam perancangan poros ditentukan dengan menggunakan persamaan berikut :

$$P_{dp} = f_{cp} \cdot P_t$$

dimana,

$f_{cp}$  = faktor koreksi daya yang akan ditransmisikan pada poros (berdasarkan Tabel dibawah)

### Faktor koreksi daya yang akan ditransmisikan

Daya yang akan ditransmisikan	Faktor koreksi ( $f_{cp}$ )
Daya rata-rata yang diperlukan	1,2 – 2,0
Daya maksimum yang diperlukan	0,8 – 1,2
Daya normal	1,0 – 1,5

Dalam perancangan poros ini diambil atau digunakan Daya maksimum yang diperlukan dengan nilai  $f_{cp} = 1,2$ . Dengan demikian maka,

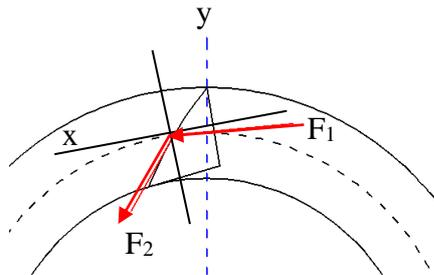
$$\begin{aligned} P_{dp} &= 1,2 \cdot 1603 \text{ KW} \\ &= 1923,6 \text{ kW} \end{aligned}$$

a. Momen Rencana ( $T_p$ )

$$\begin{aligned} T_p &= 9,74 \times 10^5 \cdot g \cdot \left( \frac{P_{dp}}{N_1} \right) \\ &= 9,74 \times 10^5 \cdot 9,81 \cdot \left( \frac{1923,6 \text{ kW}}{66,8 \text{ rpm}} \right) \\ &= 2748,1 \times 10^5 \text{ Nm} \end{aligned}$$

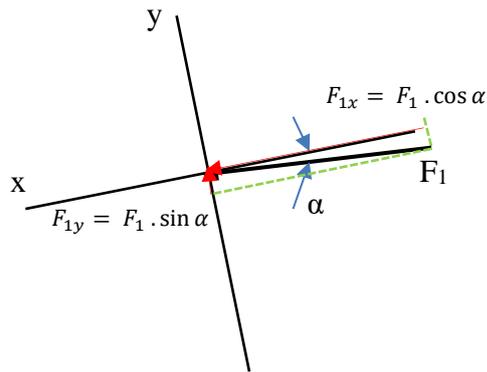
Gaya-gaya yang bekerja pada turbin

Berikut merupakan gaya-gaya pada sudu



1. Bagian Luar

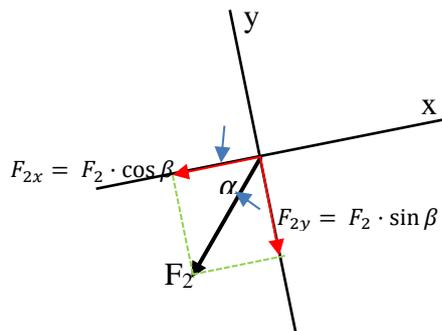
$$\begin{aligned} F_1 &= \rho_{air} \cdot Q \cdot C_1 \\ &= 998 \cdot 6 \cdot 23,35 \\ &= 139839,6 \text{ N} \end{aligned}$$



$$\begin{aligned}
 F_{1x} &= F_1 \cdot \cos \alpha \\
 &= 139839,6 \cdot \cos (15^\circ) \\
 &= 139839,6 \cdot (0,75) \\
 &= 106234,4 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 F_{1y} &= F_1 \cdot \sin \alpha \\
 &= 139839,6 \cdot \sin(15^\circ) \\
 &= 139839,6 \cdot (0,65) \\
 &= 90936 \text{ N}
 \end{aligned}$$

## 2. Bagian Dalam



$$\begin{aligned}
 F_2 &= \rho_{air} \cdot Q \cdot C_2 \\
 &= 998 \cdot 6 \cdot 0,078 \\
 &= 471,88 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 F_{2y} &= F_2 \cdot \sin \alpha \\
 &= 471,88 \cdot \sin(67,21^\circ) \\
 &= 471,88 \cdot (0,92) \\
 &= 154,8 \text{ N}
 \end{aligned}$$

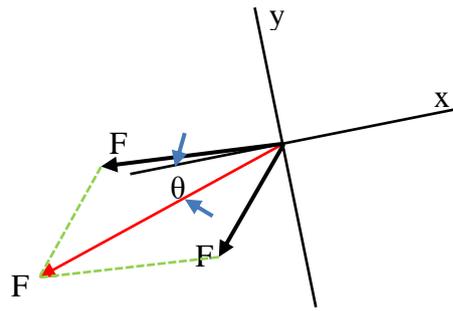
$$\begin{aligned}
 F_{2x} &= F_2 \cdot \cos \alpha \\
 &= 471,88 \cdot \cos (67,21^\circ) \\
 &= 471,88 \cdot 0,39 \\
 &= 445,7 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Total gaya yang bekerja pada masing-masing sumbu adalah :

$$\begin{aligned}
 F_x &= F_{1x} + F_{2x} \\
 &= 106234,4 + 445,7 \\
 &= 106680,2 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 F_y &= F_{1y} + F_{2y} \\
 &= 90936 + 154,8 \\
 &= 90781,2 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Resultan gaya yang bekerja pada turbin adalah sebagai berikut:

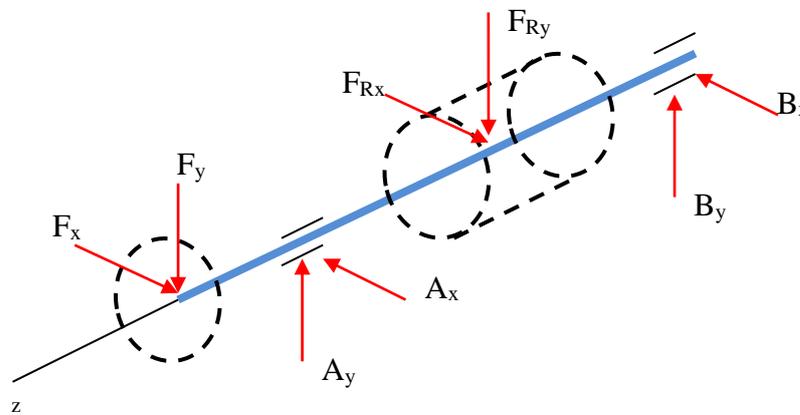


$$\begin{aligned}
 F_R &= \sqrt{F_x^2 + F_y^2} \\
 &= \sqrt{106680,2^2 + 90781,2^2} \\
 &= \sqrt{1,962 \times 10^{10}} \\
 &= 140078,2 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Dimana untuk  $\theta$  merupakan sudut antara gaya resultan ( $F_R$ ) terhadap sumbu x dengan nilai  $23,5^\circ$ . Dengan demikian, gaya-gaya yang bekerja pada masing-masing sumbu x dan y adalah :

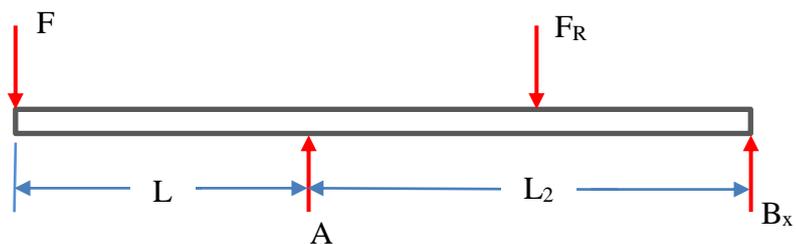
$$\begin{aligned}
 F_{Rx} &= F_R \cdot \cos \theta & F_{Ry} &= F_R \cdot \sin \theta \\
 &= 140078,2 \cdot \cos (23,5^\circ) & \text{ dan} & & = 140078,2 \cdot \sin(23,5^\circ) \\
 &= 8671,58 \text{ N} & & & = 139809,53 \text{ N}
 \end{aligned}$$

b. Gaya-Gaya Yang Terjadi Pada Poros Putar



**Gaya-gaya yang terjadi pada poros putar**

1. Bidang X-Z



Dimana,

$$F_x = -106680,24 \text{ N}$$

$$L_1 = 450 \text{ mm} = 0,45 \text{ m}$$

$$F_{Rx} = -8671,58 \text{ N}$$

$$L_2 = 900 \text{ mm} = 0,9 \text{ m}$$

$$\Sigma M_A = 0$$

$$-(F_x \cdot L_1) - (F_{Rx} \cdot \left(\frac{L_2}{2}\right)) + (B_x \cdot L_2) = 0$$

$$-(-106680,24 \cdot 0,45) - (-8671,58 \cdot 0,45) + (0,9 B_x) = 0$$

$$48006,111 + 3902,211 + 0,9 B_x = 0,9$$

$$B_x = -51908,3$$

$$B_x = -57675,913 \text{ N}$$

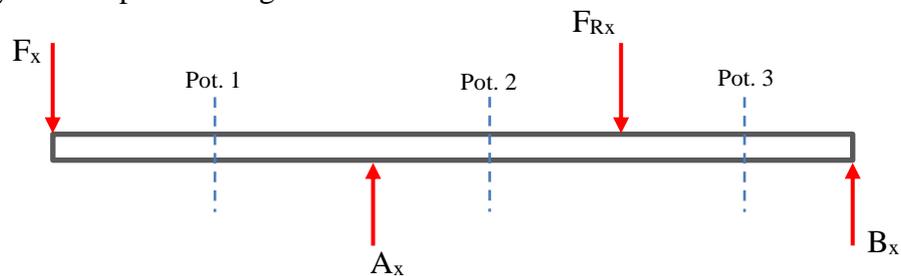
$$+\uparrow \Sigma F_x = 0$$

$$-F_x + A_x - F_{Rx} + B_x = 0$$

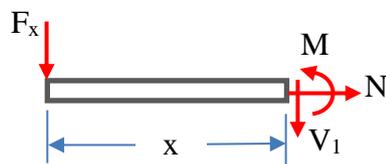
$$-(-106680,24) + A_x - (-8671,58) + (-57675,913) = 0$$

$$A_x = -57675,907 \text{ N}$$

Gaya dalam pada bidang X-Z



• Potongan 1 ( $0 \leq x \leq 0,45$ )



$$+\uparrow \Sigma F_x = 0$$

$$-F_x - V_1 = 0$$

$$V_1 = -(-106680,24) \text{ N}$$

$$V_1 = 106680,24$$

$$\Sigma M = 0$$

$$M - F_x \cdot x = 0$$

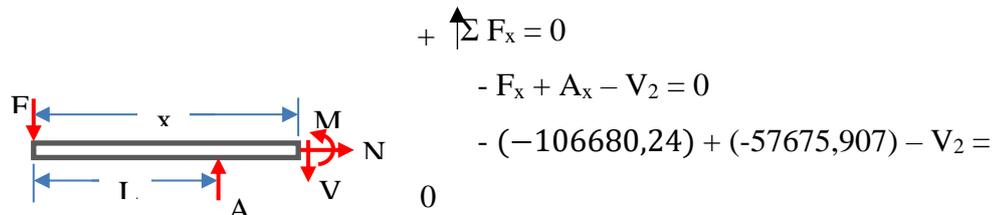
$$M - (-106680,24) \cdot x = 0$$

$$M = -106680,24 x$$

Untuk  $x = 0 \text{ m}$  ; maka  $M = -106680,24 \cdot (0)$   
 $= 0 \text{ Nm}$

Untuk  $x = 0,45 \text{ m}$  ; maka  $M = -106680,24 \cdot (0,45)$   
 $= -48006,111 \text{ Nm}$

• Potongan 2 ( $0,45 \leq x \leq 0,9$ )



$$+ \uparrow \Sigma F_x = 0$$

$$- F_x + A_x - V_2 = 0$$

$$- (-106680,24) + (-57675,907) - V_2 = 0$$

$$\Sigma M = 0$$

$$M - F_x \cdot x + A_x \cdot (x - L_1) = 0$$

$$M - (-106680,24) \cdot x + (-57675,907) \cdot (x - 0,45) = 0$$

$$M - (-106680,24) x + (-57675,9) x + 25954,158 = 0$$

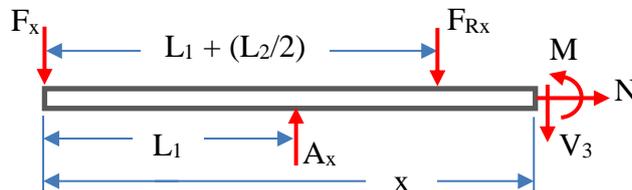
$$M + 49004,333 x + 25954,158 = 0$$

$$M = -49004,333 x - 25954,158$$

Untuk  $x = 0,45 \text{ m}$  ; maka  $M = -49004,333 x (0,45) - 25954,158$   
 $= -48006,108 \text{ Nm}$

Untuk  $x = 0,9 \text{ m}$  ; maka  $M = -49004,333 x (0,9) - 25954,158$   
 $= -70058,057 \text{ Nm}$

• Potongan 3 ( $0,9 \leq x \leq 1,35$ )



$$+ \uparrow \Sigma F_x = 0$$

$$- F_x + A_x - F_{Rx} - V_3 = 0$$

$$- (-106680,24) + (-57675,907) - (-8671,58) - V_3 = 0$$

$$V_3 = 57675,92 \text{ N}$$

$$\Sigma M = 0$$

$$M - F_x \cdot x + A_x \cdot (x - L_1) - F_{Rx} \cdot [x - (L_1 + (L_2/2))] = 0$$

$$M - (-106680,24) \cdot x + (-57675,907) (x - 0,45) - (-8671,58) (x - (0,45 + (0,9/2))) = 0$$

$$M - (-106680,24) \cdot x + (-57675,907) (x - 0,45) - (-8671,58) (x - 0,9) = 0$$

$$M + 106680,24 x - 57675,907x + 25954,2 + 8671,58 x - 7804,4 = 0$$

$$M + 57675,9 x + 18149,7 = 0$$

$$M = -57675,9 x - 18149,7$$

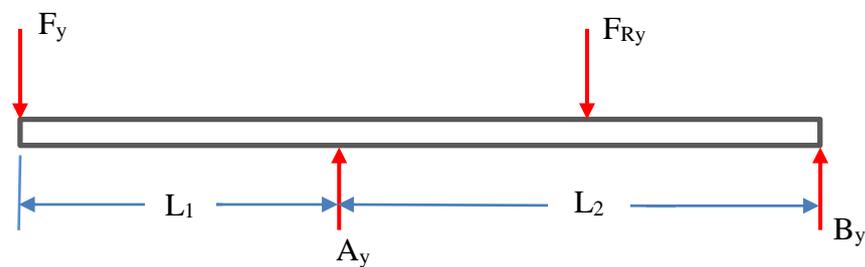
$$\text{Untuk } x = 0,9 \text{ m ; maka } M = -57675,9 x (0,9) - 18149,7$$

$$= -70058,06 \text{ Nm}$$

$$\text{Untuk } x = 1,35 \text{ m ; maka } M = -57675,9 x (1,35) - 18149,7$$

$$= -96012,22 \text{ Nm}$$

### 1. Bidang Y-Z



Dimana,

$$F_{Ry} = -139809,53 \text{ N}$$

$$L_1 = 450 \text{ mm} = 0,45 \text{ m}$$

$$F_y = 90781,204 \text{ N}$$

$$L_2 = 900 \text{ mm} = 0,9 \text{ m}$$

$$\Sigma M_A = 0$$

$$- F_y \cdot L_1 - F_{Ry} \cdot \left(\frac{L_2}{2}\right) + B_y \cdot L_2 = 0$$

$$- (-139809,53) \cdot 0,45 - 90781,204 \cdot 0,45 + B_y \cdot 0,9 = 0$$

$$62914,3 - 40852 + 0,9 \cdot B_y = 0$$

$$B_y = -24514 \text{ N}$$

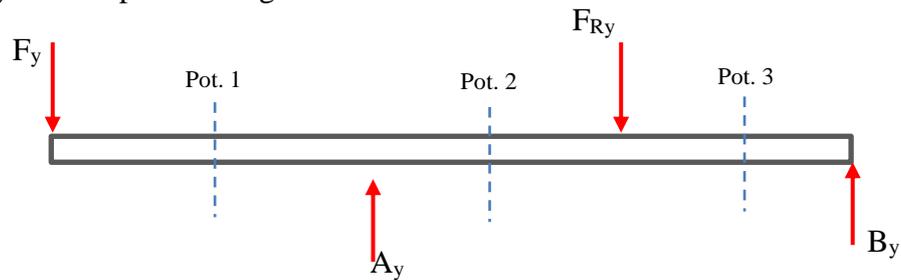
$$\uparrow \Sigma F_y = 0$$

$$- F_y + A_y - F_{Ry} + B_y = 0$$

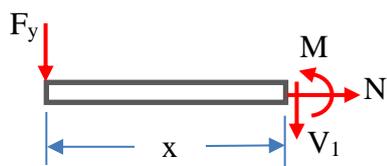
$$- 90781,204 + A_y - (-139809,53) - 24514 = 0$$

$$A_y = 24514,2 \text{ N}$$

Gaya dalam pada bidang Y-Z



• Potongan 1 ( $0 \leq x \leq 0,45$ )



$$+\uparrow \Sigma F_y = 0$$

$$- F_y - V_1 = 0$$

$$V_1 = - 90781,204 \text{ N}$$

$$\Sigma M = 0$$

$$M + F_y \cdot x = 0$$

$$M + (90781,204) \cdot x = 0$$

$$M = - 90781,204 x$$

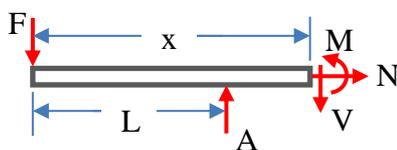
$$\text{Untuk } x = 0 \text{ m ; maka } M = - 90781,204 x (0)$$

$$= 0 \text{ Nm}$$

$$\text{Untuk } x = 0,45 \text{ m ; maka } M = - 90781,204 x (0,45)$$

$$= - 40852 \text{ Nm}$$

• Potongan 2 ( $0,45 \leq x \leq 0,9$ )



$$+\uparrow \Sigma F_y = 0$$

$$- F_y + A_y - V_2 = 0$$

$$- 90781,204 + 24514,2 - V_2 = 0$$

$$V_2 = - 66267 \text{ N}$$

$$\Sigma M = 0$$

$$M - F_y \cdot x + A_y \cdot (x - L_1) = 0$$

$$M - 90781,204 \cdot x + 24514,2 \cdot (x - 0,45) = 0$$

$$M - 90781,204 x + 24514,2 x - 11031 = 0$$

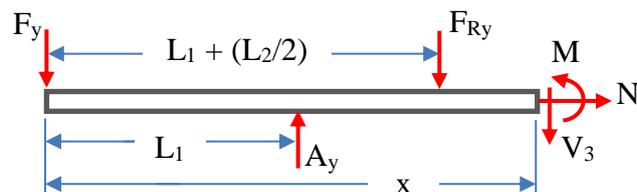
$$M - 66267x - 11031 = 0$$

$$M = 66267 x + 11031$$

$$\begin{aligned} \text{Untuk } x = 0,45 \text{ m ; maka } M &= 66267 x (0,45) + 11031 \\ &= 40851,5 \text{ Nm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Untuk } x = 0,9 \text{ m ; maka } M &= 66267 x (0,9) + 11031 \\ &= 70671,7 \text{ Nm} \end{aligned}$$

• Potongan 3 (  $0,9 \leq x \leq 1,35$  )



$$+ \uparrow \Sigma F_y = 0$$

$$- F_y + A_y - F_{Ry} - V_3 = 0$$

$$- 90781,204 + 24514,2 - (-139809,53) - V_3 = 0$$

$$V_3 = 73542 \text{ N}$$

$$\Sigma M = 0$$

$$M - F_y \cdot x + A_y \cdot (x - L_1) - F_{Ry} \cdot [x - (L_1 + (L_2/2))] = 0$$

$$M - 90781,204 x + 24514,2 (x - 0,45) - (-139809,53) (x - 0,9) = 0$$

$$M - 90781,204 x + 24514,2 x - 11031 + 139809,53 x - 125829 = 0$$

$$M + 73542,5 x - 136860 = 0$$

$$M = - 73542,5 x + 136860$$

$$\begin{aligned} \text{Untuk } x = 0,9 \text{ m ; maka } M &= - 73542,5 x (0,9) + 136860 \\ &= 70671,7 \text{ Nm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Untuk } x = 1,35 \text{ m ; maka } M &= - 73542,5 \times (1,35) + 136860 \\ &= 37577,6 \text{ Nm}\end{aligned}$$

Pada masing-masing bidang X-Z dan Y-Z, momen maksimum terjadi pada tumpuan A dimana nilai dari momen gaya tersebut adalah :

$$M_x = 96012,22 \text{ Nm}$$

$$M_y = 70671,7 \text{ Nm}$$

Dengan demikian, maka

$$\begin{aligned}M_{max} &= \sqrt{M_x^2 + M_y^2} \\ &= \sqrt{(96012,22)^2 + (70671,7 \text{ Nm})^2} \\ &= \sqrt{14212838804} \\ &= 119217,6111 \text{ Nm}\end{aligned}$$

### c. Diameter Poros Putar

Adapun poros yang akan digunakan pada perancangan ini terbuat dari bahan baja karbon AISI C 1020 dikarenakan baja karbon ini mudah ditemukan di pasaran dan harga relatif murah tanpa mengurangi kualitas dari bahan tersebut. Bahan yang digunakan memiliki tegangan normal ( $\sigma_B = 370 \text{ MPa}$ ).

Dalam perancangan poros, perlu diketahui tegangan geser yang terjadi pada poros dengan menggunakan persamaan berikut,

$$\tau_a = \frac{\sigma_B}{S_{f1} \cdot S_{f2}}$$

Dimana,

$S_{f1}$  = faktor keamanan pengaruh bahan = 6

$S_{f2}$  = faktor keamanan akibat konsentrasi tegangan, pengaruh kekasaran = 2

Maka,

$$\begin{aligned}\tau_a &= \frac{370 \text{ MPa}}{6 \cdot 2} \\ &= 30,83 \text{ N/mm}^2\end{aligned}$$

Berdasarkan hasil tegangan geser yang diizinkan diperoleh, baru kita dapat menghitung nilai dari diameter poros yang akan dirancang dengan menggunakan persamaan berikut :

$$d_s \geq \left[ \left( \frac{5,1}{\tau_a} \right) \sqrt{(C_m \cdot M_{max})^2 + (C_t \cdot T_p)^2} \right]^{1/3}$$

Dimana,

$C_m$  = faktor koreksi untuk momen bending (Tabel C.2)

$C_t$  = faktor koreksi untuk momen puntir (Tabel C.3)

Faktor koreksi untuk momen bending ( $C_m$ )

Jenis Pembebanan	Faktor koreksi ( $C_m$ )
Pembebanan tetap	1,5
Beban dengan tumbukan ringan	1,5 – 2,0
Beban dengan tumbukan berat	2,0 – 3,0

Faktor koreksi untuk momen puntir ( $C_t$ )

Jenis Pembebanan	Faktor Koreksi ( $C_t$ )
Beban dikenakan secara halus	1,0
Terjadi sedikit kejutan atau tumbukan	1,0 – 1,5
Dikenakan dengan tumbukan besar	1,5 – 3,0

Pada pembangunan pembangkit tenaga minihidro (PLTM) beban yang terjadi pada poros yaitu tumbukan berat ( $C_m = 3$ ) dan dikenakan dengan tumbukan besar ( $C_t = 3$ ). Dengan demikian maka nilai diameter poros adalah :

$$d_s \geq \left[ \left( \frac{5,1}{\tau_a} \right) \sqrt{(C_m \cdot M_{max})^2 + (C_t \cdot T_p)^2} \right]^{1/3}$$

$$d_s \geq \left[ \left( \frac{5,1}{30,83} \right) \sqrt{(3 \cdot 119217,6111)^2 + (3 \cdot 2748,1 \times 10^5)^2} \right]^{1/3}$$

$$\geq \left[ 0,16 \cdot \sqrt{(357652,8)^2 + (824441318,1)^2} \right]^{1/3}$$

$$\geq \left[ 0,16 \cdot \sqrt{6,797 \times 10^{17}} \right]^{1/3}$$

$$\geq [0,16 \cdot (824441395)]^{1/3}$$

$$\geq 272,95 \text{ mm}$$

$$\geq 0,27 \text{ m}$$

## K. Perancangan Sistem Transmisi

Berdasarkan data dan perhitungan sebelumnya maka :

- Daya transmisi ( $P_t$ ) : 1603 kW
- Putaran turbin ( $n_1$ ) : 66,8 rpm
- Putaran generator ( $n_2$ ) : 3000 rpm

### 1. Daya Rencana ( $P_{ds}$ )

#### Faktor Koreksi Sabuk

$$P_{ds} = P_t \cdot f_{cs}$$

Mesin yang digerakkan		Pengerak					
		Momen puntir puncak > 200%			Momen puntir puncak > 200%		
		Motor arus bolak-balik (momen normal, sangkar bajing, sinkron), motor arus searah (lilitan shunt)			Motor arus bolak-balik (moment tinggi, fasa tunggal, lilitan seri), motor searah (lilitan kompon, lilitan seri), mesin torak, kopling tak tetap		
		Jumlah jam kerja tiap hari			Jumlah jam kerja tiap hari		
		3-5 jam	8-10 jam	16-24 jam	3-5 jam	8-10 jam	16-24 jam
beban sangat	Pengaduk zat cair, kipas angin, blower (sampai 7,5 kW) pompa sentrifugal, konveyor tugas ringan.	1,0	1,1	1,2	1,2	1,3	1,4
Variable beban kecil	Konveyor sabuk (pasir, batu bara), pengaduk, kipas angin (lebih dari 7,5kW), mesin torak, peluncur, mesin perkakas, mesin pencetak.	1,2	1,3	1,4	1,4	1,5	1,6
Variable beban sedang	Konveyor (ember, sekrup), pompa torak, kompresor, pilingan palu, pengocok, roots-blower, mesin tekstil, mesin kayu	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8
Variable beban bebas	Penghancur, gilingan bola atau batang, pengangkat, mesin pabrik karet (rol, kalender)	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0

(Sularso, 1991:163)

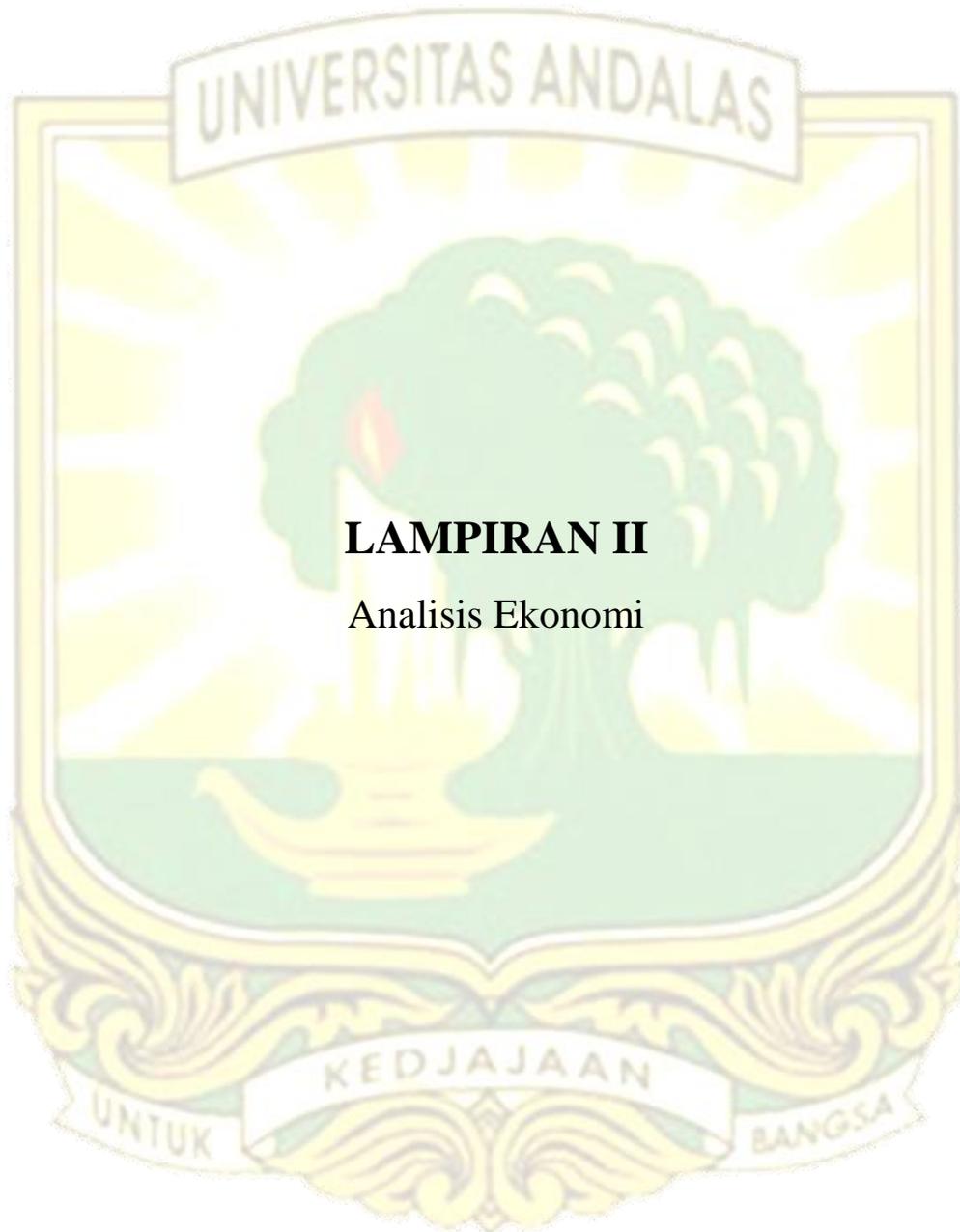
dimana,

$f_{cs}$  = faktor koreksi sabuk mesin yang digerakkan memiliki variasi beban sangat kecil yang digunakan dalam jangka waktu 16 – 24 jam) adalah 1,2

Maka,

$$P_{ds} = 1603 \text{ kW} \cdot 1,2$$

$$= 1923,6 \text{ kW}$$



## **LAMPIRAN II**

Analisis Ekonomi

**PERHITUNGAN PV BENEFIT**

Tahun	Benefit	Inflasi	Pajak	DF	PV Benefit
		3,88%	3%	10,50%	
0	35144424000				
1	31505760000	30.283.336.512	29.374.836.417	0,905	26.583.562.368
2	31505760000	30.283.336.512	29.374.836.417	0,819	24.057.522.505
3	31505760000	30.283.336.512	29.374.836.417	0,741	21.771.513.579
4	31505760000	30.283.336.512	29.374.836.417	0,671	19.702.727.221
5	31505760000	30.283.336.512	29.374.836.417	0,607	17.830.522.372
6	31505760000	30.283.336.512	29.374.836.417	0,549	16.136.219.341
7	31505760000	30.283.336.512	29.374.836.417	0,497	14.602.913.431
8	31505760000	30.283.336.512	29.374.836.417	0,450	13.215.306.272
9	19.608.480.000	18.847.670.976	18.282.240.847	0,407	7.443.358.278
10	19.608.480.000	18.847.670.976	18.282.240.847	0,368	6.736.070.839
11	19.608.480.000	18.847.670.976	18.282.240.847	0,333	6.095.991.710
12	19.608.480.000	18.847.670.976	18.282.240.847	0,302	5.516.734.579
13	19.608.480.000	18.847.670.976	18.282.240.847	0,273	4.992.519.981
14	19.608.480.000	18.847.670.976	18.282.240.847	0,247	4.518.117.630
15	19.608.480.000	18.847.670.976	18.282.240.847	0,224	4.088.794.235
16	19.608.480.000	18.847.670.976	18.282.240.847	0,202	3.700.266.276
17	19.608.480.000	18.847.670.976	18.282.240.847	0,183	3.348.657.264
18	19.608.480.000	18.847.670.976	18.282.240.847	0,166	3.030.459.062
19	19.608.480.000	18.847.670.976	18.282.240.847	0,150	2.742.496.889
20	19.608.480.000	18.847.670.976	18.282.240.847	0,136	2.481.897.637
<b>Total PV Benefit</b>					<b>208.595.651.469</b>

**PERHITUNGAN PV COST**

Tahun	Cost	Inflasi	Pajak	DF	PV Cost
		3,88%	3%	10,50%	
0					<b>80.859.200.000</b>
1	756.000.000	726.667.200	704.867.184	0,905	637.888.854
2	756.000.000	726.667.200	704.867.184	0,819	577.274.981
3	756.000.000	726.667.200	704.867.184	0,741	522.420.798
4	756.000.000	726.667.200	704.867.184	0,671	472.779.002
5	831.600.000	799.333.920	775.353.902	0,607	470.639.731
6	831.600.000	799.333.920	775.353.902	0,549	425.918.308
7	831.600.000	799.333.920	775.353.902	0,497	385.446.433
8	831.600.000	799.333.920	775.353.902	0,450	348.820.301
9	914.760.000	879.267.312	852.889.293	0,407	347.241.929
10	914.760.000	879.267.312	852.889.293	0,368	314.246.090
11	914.760.000	879.267.312	852.889.293	0,333	284.385.601
12	914.760.000	879.267.312	852.889.293	0,302	257.362.535
13	1.006.236.000	967.194.043	938.178.222	0,273	256.197.999
14	1.006.236.000	967.194.043	938.178.222	0,247	231.853.393
15	1.006.236.000	967.194.043	938.178.222	0,224	209.822.075
16	1.006.236.000	967.194.043	938.178.222	0,202	189.884.231
17	1.106.859.600	1.063.913.448	1.031.996.044	0,183	189.025.026
18	1.106.859.600	1.063.913.448	1.031.996.044	0,166	171.063.372
19	1.106.859.600	1.063.913.448	1.031.996.044	0,150	154.808.481
20	1.106.859.600	1.063.913.448	1.031.996.044	0,136	140.098.173
<b>Total PV Cost</b>					<b>87.446.377.313</b>

**NPV (NET PRESENT VALUE)**

<b>Tahun</b>	<b>PV Benefit</b>	<b>PV Cost</b>	<b>NPV</b>
0		63.453.500.000	<b>-80.859.200.000</b>
1	26.583.562.368	637.888.854	25.945.673.514
2	24.057.522.505	577.274.981	23.480.247.524
3	21.771.513.579	522.420.798	21.249.092.782
4	19.702.727.221	472.779.002	19.229.948.219
5	17.830.522.372	470.639.731	17.359.882.641
6	16.136.219.341	425.918.308	15.710.301.033
7	14.602.913.431	385.446.433	14.217.466.998
8	13.215.306.272	348.820.301	12.866.485.971
9	7.443.358.278	347.241.929	7.096.116.349
10	6.736.070.839	314.246.090	6.421.824.750
11	6.095.991.710	284.385.601	5.811.606.109
12	5.516.734.579	257.362.535	5.259.372.044
13	4.992.519.981	256.197.999	4.736.321.982
14	4.518.117.630	231.853.393	4.286.264.237
15	4.088.794.235	209.822.075	3.878.972.160
16	3.700.266.276	189.884.231	3.510.382.046
17	3.348.657.264	189.025.026	3.159.632.238
18	3.030.459.062	171.063.372	2.859.395.690
19	2.742.496.889	154.808.481	2.587.688.407
20	2.481.897.637	140.098.173	2.341.799.464
<b>NPV</b>			<b>202.008.474.156</b>
<b>BCR</b>			<b>2,385412156</b>

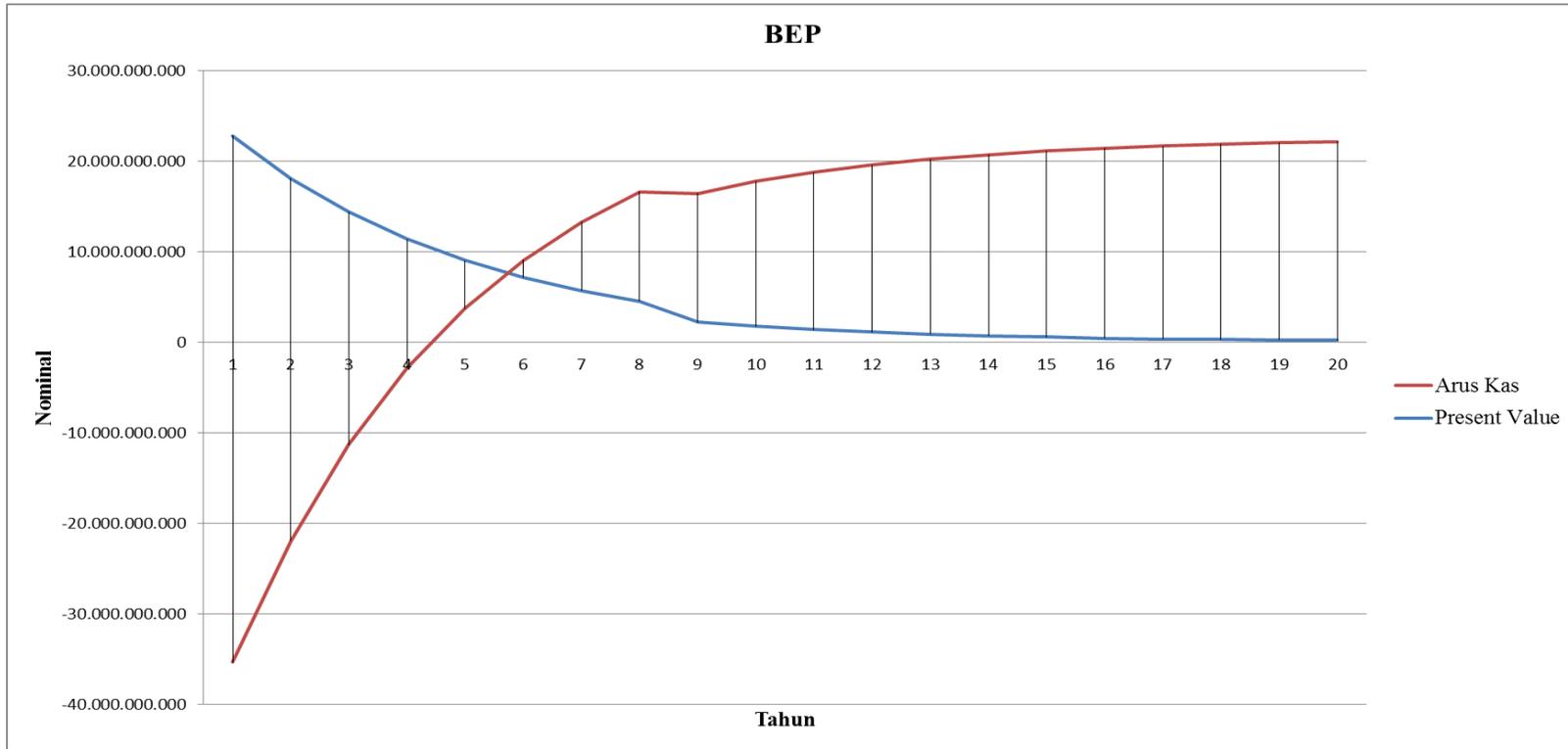
**IRR (Internal Rate Of Return)**

Tahun	NPV	DF	Present Value	DF	Present Value
		10,50%		14%	
0					
1	25.945.673.514	0,905	23.480.247.524	0,877	22.759.362.731
2	23.480.247.524	0,819	19.229.948.219	0,769	18.067.288.030
3	21.249.092.782	0,741	15.749.020.879	0,675	14.342.532.373
4	19.229.948.219	0,671	12.898.196.907	0,592	11.385.673.075
5	17.359.882.641	0,607	10.537.446.793	0,519	9.016.179.061
6	15.710.301.033	0,549	8.630.000.855	0,456	7.157.401.811
7	14.217.466.998	0,497	7.067.833.054	0,400	5.681.830.444
8	12.866.485.971	0,450	5.788.442.541	0,351	4.510.463.161
9	7.096.116.349	0,407	2.889.084.375	0,308	2.182.112.141
10	6.421.824.750	0,368	2.366.114.023	0,270	1.732.247.472
11	5.811.606.109	0,333	1.937.809.646	0,237	1.375.126.992
12	5.259.372.044	0,302	1.587.035.192	0,208	1.091.630.541
13	4.736.321.982	0,273	1.293.396.271	0,182	862.339.245
14	4.286.264.237	0,247	1.059.270.916	0,160	684.559.217
15	3.878.972.160	0,224	867.525.986	0,140	543.430.354
16	3.510.382.046	0,202	710.489.945	0,123	431.396.645
17	3.159.632.238	0,183	578.732.418	0,108	340.607.388
18	2.859.395.690	0,166	473.972.619	0,095	270.387.702
19	2.587.688.407	0,150	388.176.016	0,083	214.644.520
20	2.341.799.464	0,136	317.909.965	0,073	170.393.363
<b>Jumlah</b>			<b>117.850.654.143</b>		<b>102.819.606.265</b>
<b>IRR</b>					<b>0,3794</b>

### BEP (Break Event Point)

<b>Tahun</b>	<b>Present Value</b>	<b>Arus Kas</b>
0		<b>-80859200000</b>
1	22.759.362.731	-58.099.837.269
2	18.067.288.030	-40.032.549.239
3	14.342.532.373	-25.690.016.866
4	11.385.673.075	-14.304.343.791
5	9.016.179.061	-5.288.164.730
6	7.157.401.811	1.869.237.080
7	5.681.830.444	7.551.067.525
8	4.510.463.161	12.061.530.686
9	2.182.112.141	14.243.642.827
10	1.732.247.472	15.975.890.299
11	1.375.126.992	17.351.017.291
12	1.091.630.541	18.442.647.832
13	862.339.245	19.304.987.077
14	684.559.217	19.989.546.293
15	543.430.354	20.532.976.647
16	431.396.645	20.964.373.292
17	340.607.388	21.304.980.680
18	270.387.702	21.575.368.382
19	214.644.520	21.790.012.901
20	170.393.363	21.960.406.265
<b>X</b>		<b>0,297404846</b>
<b>BEP</b>		<b>5,8</b>

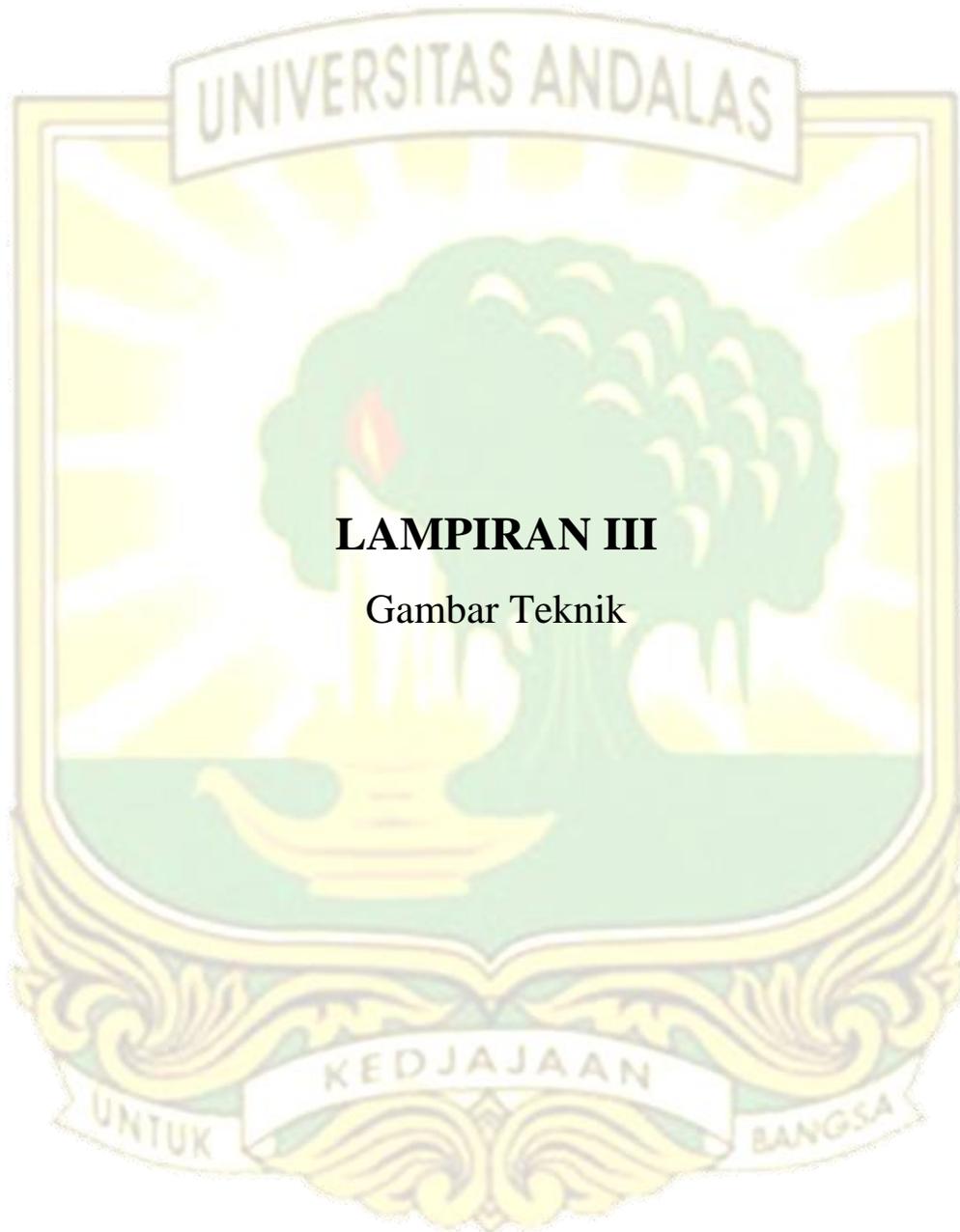
### GRAFIK BEP (Break Event Point)



### Harga Daya Terbangkit PLTM Kerambil

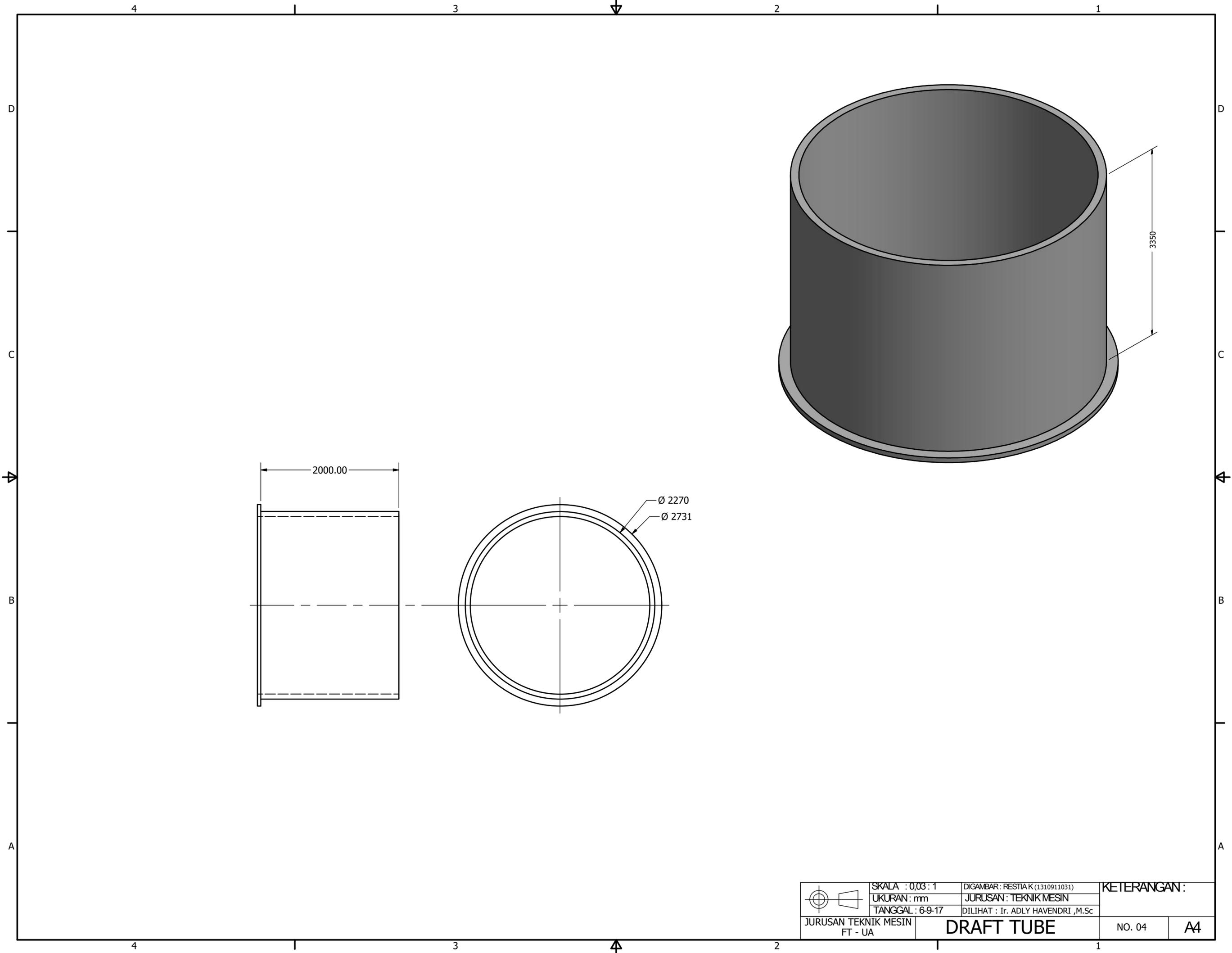
#### BIAYA / Kwh

Tahun	Operasional	Investasi	Daya Pembangkit	Rp/Hari	Biaya/Kwh
1	756.000.000	8085920000	3000	1211221,918	16,82252664
2	756.000.000	8085920000	3000	1211221,918	16,82252664
3	756.000.000	8085920000	3000	1211221,918	16,82252664
4	756.000.000	8085920000	3000	1211221,918	16,82252664
5	831.600.000	8085920000	2700	1221578,082	18,85151361
6	831.600.000	8085920000	2700	1221578,082	18,85151361
7	831.600.000	8085920000	2700	1221578,082	18,85151361
8	831.600.000	8085920000	2700	1221578,082	18,85151361
9	914.760.000	8085920000	2430	1232969,863	21,14145856
10	914.760.000	8085920000	2430	1232969,863	21,14145856
11	914.760.000	8085920000	2430	1232969,863	21,14145856
12	914.760.000	8085920000	2430	1232969,863	21,14145856
13	1.006.236.000	8085920000	2187	1245500,822	23,72924901
14	1.006.236.000	8085920000	2187	1245500,822	23,72924901
15	1.006.236.000	8085920000	2187	1245500,822	23,72924901
16	1.006.236.000	8085920000	2187	1245500,822	23,72924901
17	1.106.859.600	8085920000	1968,3	1259284,877	26,65762495
18	1.106.859.600	8085920000	1968,3	1259284,877	26,65762495
19	1.106.859.600	8085920000	1968,3	1259284,877	26,65762495
20	1.106.859.600	8085920000	1968,3	1259284,877	26,65762495



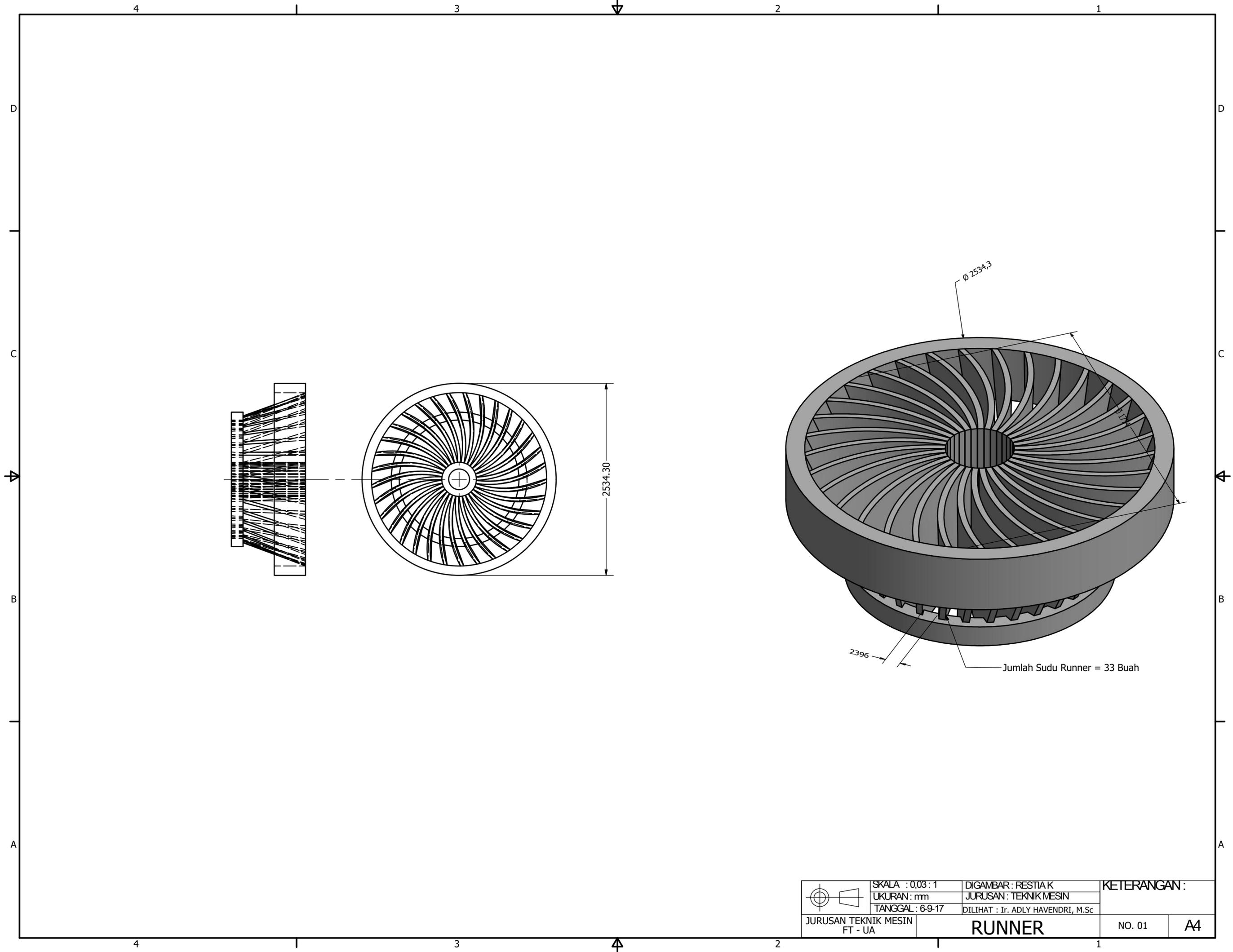
### **LAMPIRAN III**

Gambar Teknik



	SKALA : 0,03 : 1	DIGAMBAR : RESTIA K (1310911031)	KETERANGAN :
	UKURAN : mm	JURUSAN : TEKNIK MESIN	
	TANGGAL : 6-9-17	DILIHAT : Ir. ADLY HAVENDRI ,M.Sc	
JURUSAN TEKNIK MESIN FT - UA	<b>DRAFT TUBE</b>		NO. 04

A4



	SKALA : 0,03 : 1	DIGAMBAR : RESTIA K	KETERANGAN :
	UKURAN : mm	JURUSAN : TEKNIK MESIN	
	TANGGAL : 6-9-17	DILIHAT : Ir. ADLY HAVENDRI, M.Sc	
JURUSAN TEKNIK MESIN FT - UA	<b>RUNNER</b>		NO. 01

A4