

**STUDI PERENCANAAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKRO  
HIDRO (PLTMH) DESA CIKEUSIK KECAMATAN CIDAHU  
KABUPATEN KUNINGAN PROVINSI JAWA BARAT**

**SKRIPSI**

**TEKNIK PENGAIRAN KONSENTRASI PERENCANAAN TEKNIK  
BANGUNAN AIR**

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan  
memperoleh gelar Sarjana Teknik



**VITA OKTANTI  
NIM. 135060401111056**

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA  
FAKULTAS TEKNIK  
MALANG  
2018**

## LEMBAR PENGESAHAN

### STUDI PERENCANAAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKRO HIDRO (PLTMH) DESA CIKEUSIK KECAMATAN CIDAHU KABUPATEN KUNINGAN PROVINSI JAWA BARAT

#### SKRIPSI

#### TEKNIK PENGAIRAN KONSENTRASI PERENCANAAN TEKNIK BANGUNAN AIR

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan  
memperoleh gelar Sarjana Teknik



VITA OKTANTI

NIM. 135060401111056

Telah direvisi dan disetujui oleh:

Dosen pembimbing I

Dr. Ir. Pitojo Tri Juwono, MT.  
NIP. 19700721 200012 1 001

Dosen pembimbing II

Prima Hadi Wicaksono, ST., MT.  
NIP. 19750722 200012 1 001

Mengetahui,

Ketua Jurusan Teknik Pengairan



Dr. Ir. Ussy Andawayanti, MS.  
NIP. 19610131 198609 2 001

# TURNITIN



UNIVERSITAS BRAWIJAYA  
FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM SARJANA



## SERTIFIKAT BEBAS PLAGIASI

Nomor : 42 /UN10.F07.14.11/TU/2018

Sertifikat ini diberikan kepada :

**VITA OKTANTI**

Dengan Judul Skripsi :

STUDI PERENCANAAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKRO HIDRO (PLTMH) DESA CIKEUSIK KECAMATAN CIDAHU KABUPATEN KUNINGAN PROVINSI JAWA BARAT

Telah dideteksi tingkat plagiasinya dengan kriteria toleransi  $\leq 20\%$ , dan  
dinyatakan Bebas dari Plagiasi pada tanggal 24 MEI 2018

Ketua Jurusan Teknik Pengairan



Dr. Ir. Ussy Andawayanti, MS  
NIP. 19610131 198609 2 001

Ketua Program Studi S1 Teknik Pengairan



Dr. Very Dermawan, ST.,MT  
NIP. 19730217 199903 1001

## **PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI**

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

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

Malang, 30 Mei 2018

Mahasiswa,



Vita Oktanti

135060401111056

*Ucapan terima kasih kepada*

*Allah SWT*

*Bapak dan ibu tercinta atas do'a dan dukungan tanpa henti selama ini*

*Rulik Oktaviani atas semangat dan motivasi,*

*serta untuk sahabat dan Keluarga Teknik Pengairan 2013*

## KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur penyusun panjatkan kehadirat Allah SWT atas segala rahmat dan ridho-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan skripsi ini dengan judul **“Studi Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (Pltmh) Desa Cikeusik Kecamatan Cidahu Kabupaten Kuningan Provinsi Jawa Barat”**.

Dalam penyusunan skripsi ini tidak terlepas dari bantuan, bimbingan serta dukungan dari berbagai pihak. Untuk itu dalam kesempatan ini penulis dengan senang hati menyampaikan ucapan terima kasih yang sebanyak-banyaknya kepada:

1. Bapak Dr.Ir. Pitojo Tri Juwono, MT. dan Bapak Prima Hadi Wicaksono, ST., MT. selaku dosen pembimbing yang selalu memberikan arahan dan masukan dalam penyempurnaan penyelesaian skripsi ini.
2. Bapak Dr. Ir. Endang Purwati, MP. dan Bapak Dr. Very Dermawan, ST., MT. Selaku dosen Pengaji yang membeberikan masukan dan kritikan dalam penyusunan skripsi ini.
3. Fauziyah R. Anggraini, M. Arief Rusdi, M. Nur Azmi, dan Billy Mosis sebagai rekan skripsi yang selalu membagi ilmunya untuk mengerjakan skripsi.
4. Rozaky C. Prayuda, M. Dimas Noor, Rengga Pratama, A. Dwi Putra dan teman-teman lainnya yang selalu memberikan motivasi selama masa pendidikan.
5. Teman-teman grup Bu Wid Aja, 100 SQUAT, Flamboyan Girls dan Keluarga Besar Mahasiswa Pengairan (KBMP) angkatan 2013 yang telah mendoakan dan memberikan dukungan sehingga skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik.
6. Dan semua pihak dari luar kampus yang telah membantu laporan skripsi ini terselesaikan.

Penyusun menyadari bahwa laporan ini masih jauh dari sempurna sehingga kritik dan arahan sangatlah diharapkan dengan tujuan memberi masukan berupa kritik maupun saran demi kesempurnaan skripsi ini. Akhir kata semoga laporan skripsi ini dapat membeberikan manfaat bagi kita semua. Amiin.

Malang, 30 Mei 2018

Penyusun

Halaman ini sengaja dikosongkan

## DAFTAR ISI

	Halaman
<b>PENGANTAR.....</b>	i
<b>DAFTAR ISI .....</b>	iii
<b>DAFTAR TABEL.....</b>	vii
<b>DAFTAR GAMBAR .....</b>	ix
<b>DAFTAR LAMPIRAN .....</b>	xi
<b>DAFTAR SIMBOL .....</b>	xiii
<b>RINGKASAN.....</b>	xv
<b>BAB I PENDAHULUAN .....</b>	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Identifikasi Masalah .....	2
1.3 Rumusan Masalah .....	2
1.4 Batasan Masalah .....	3
1.5 Tujuan dan Manfaat .....	3
1.5.1 Tujuan .....	3
1.5.2 Manfaat.....	3
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....</b>	5
2.1 Umum .....	5
2.2 Analisis Hidrologi .....	6
2.2.1 Analisa Debit Andalan ( <i>Dependable Flow</i> ) .....	7
2.2.1.1 Kurva Durasi Aliran ( <i>Flow Duration Curve</i> ) .....	8
2.3 Penentuan Debit Pembangkit .....	9
2.4 Analisis Hidrolika .....	10
2.4.1 Bangunan Pengambilan ( <i>intake</i> ).....	11
2.4.2 Pintu Sorong ( <i>Sluice Gate</i> ) .....	11
2.4.3 Saluran Pembawa Air ( <i>Head race</i> ).....	13
2.4.3.1 Perhitungan Kecepatan .....	14
2.4.3.2 Dimensi Saluran.....	15
2.4.3.3 Kemiringan Dasar Saluran.....	16
2.4.3.4 Tinggi Jagaan.....	16

2.4.4 Bak Penenang ( <i>Forebay</i> ).....	17
2.4.5 Pipa pesat ( <i>penstock</i> ) .....	19
2.4.5.1 Tebal Pipa Pesat .....	19
2.4.5.2 Diameter Pipa Pesat.....	20
2.4.6 Saluran Pembuang Akhir ( <i>Tail Race</i> ) .....	21
2.4.7 Kehilangan Tinggi Tekan Aliran.....	23
2.4.8 Tinggi Jatuh Efektif ( $H_{eff}$ ) .....	27
<b>2.5 Analisis Mekanikal Elektrikal .....</b>	<b>27</b>
2.5.1 Turbin Air.....	27
2.5.1.1 Pemilihan Tipe Turbin Air .....	29
2.5.1.2 Karakteristik Turbin Air .....	30
2.5.1.3 Dimensi Sudu Turbin .....	31
2.5.1.3.1 Segitiga Kecepatan.....	31
2.5.1.3.2 Menentukan Dimensi Utama Sudu .....	33
2.5.2 Generator .....	34
2.5.3 Perhitungan Daya dan Energi.....	35
2.5.4 Perhitungan Energi Listrik .....	36
2.6 Rencana Anggaran Biaya (RAB).....	36
<b>BAB III METODE PENELITIAN .....</b>	<b>41</b>
3.1 Deskripsi Daerah Studi .....	41
3.2 Kebutuhan Data .....	44
3.3 Tahapan Penyelesaian.....	45
3.4 <i>Flow Chart</i> Perencanaan.....	46
<b>BAB IV ANALISA DATA DAN PERENCANAAN .....</b>	<b>49</b>
4.1 Analisis Hidrologi.....	49
4.1.1 Analisa Debit Andalan .....	49
4.1.1.1 Pemilihan Debit Andalan Metode Flow Duration Curve (Lengkung Dirasi Aliran) .....	49
4.2 Penentuan Debit Pembangkit.....	56
4.3 Analisis Hidrolika.....	63
4.3.1 Bangunan Pengambilan ( <i>Intake</i> ) .....	63
4.3.2 Saluran Pembawa Air ( <i>Headrace</i> ) .....	65
4.3.3 Bak Penenang ( <i>Forebay</i> ).....	67
4.3.4 Pipa Pesat ( <i>Penstock Pipe</i> ) .....	68

4.3.4.1 Tebal Pipa Pesat.....	68
4.3.4.2 Diameter Pipa Pesat .....	69
4.3.5 Saluran Pembuang ( <i>Tail Race</i> ) .....	70
4.3.6 Kehilangan Tinggi Tekan Aliran ( <i>Head Loss</i> ) .....	73
4.3.7 Tinggi Jatuh Efektif .....	77
4.4 Analisa Mekanikal .....	78
4.4.1 Pemilihan Turbin .....	78
4.4.2 Kecepatan Putar Turbin .....	80
4.4.3 Perhitungan Sudu Distorsi .....	81
4.4.3.1 Menentukan Dimensi Utama Sudu .....	83
4.4.3.2 Perbandingan $l/t$ (Panjang Sudu Gerak dengan Jarak Antara Sudu) .....	84
4.4.3.3 Perhitungan Koefisien Gaya Angkat $\zeta$ .....	85
4.4.3.4 Perhitungan Koefisien Gaya Gesek ( $\zeta_W$ ) .....	86
4.4.3.5 Perhitungan Sudut Luncur ( $\lambda$ ).....	86
4.4.3.6 Perhitungan Sudut Serang ( $\delta$ ) .....	87
4.4.4 Perhitungan Daya dan Energi .....	88
4.4.5 Produksi Energi Tahunan .....	88
4.5 Rencana Anggaran Biaya (RAB).....	89
<b>BAB V PENUTUP .....</b>	<b>93</b>
5.1 Kesimpulan .....	93
5.2 Saran .....	94
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>95</b>
<b>LAMPIRAN</b>	

Halaman ini sengaja dikosongkan

## DAFTAR TABEL

No.	Judul	Halaman
Tabel 2.1	Klasifikasi PLTA.....	5
Tabel 2.2	Besarnya Keandalan Debit .....	7
Tabel 2.2	Hubungan Intensitas Curah Hujan dan Durasi Hujan .....	7
Tabel 2.4	Kondisi Kelas Hidrologi.....	8
Tabel 2.5	Minimum <i>Technical Flow</i> untuk Turbin .....	10
Tabel 2.6	Tipikal Nilai Koefesien Kekasaran <i>Manning</i> (n) Yang Sering Digunakan	14
Tabel 2.7	Nilai Kecepatan Maksimum dan K ( <i>strickler</i> ) .....	14
Tabel 2.8	Tinggi Jagaan untuk Saluran Pasangan .....	16
Tabel 2.9	Koefisien Kekasaran Strickler.....	22
Tabel 2.10	Profil Kisi Saringan .....	25
Tabel 2.11	Jenis Turbin .....	28
Tabel 2.12	Klasifikasi Tinggi Jatuh.....	29
Tabel 2.13	Pemilihan Generator berdasarkan Daya .....	34
Tabel 2.14	Efisiensi Generator .....	35
Tabel 3.1	Matriks Pekerjaan PLTMH Cikeusik .....	47
Tabel 4.1	Data Debit Sungai Cisanggarung Bendung Cikeusik.....	49
Tabel 4.2	Debit Rerata Sungai Cisanggarung Bendung Cikeusik ( $m^3/dt$ ) .....	51
Tabel 4.3	Perhitungan Penampang Sungai Cisanggarung.....	51
Tabel 4.4	Probabilitas Debit Sungai Cisanggarung Bendung Cikeusik (%) ....	53
Tabel 4.5	Debit Andalan Terurut.....	55
Tabel 4.6	Debit Andalan untuk Pembangkitan Daya .....	56
Tabel 4.7	Debit Andalan Probabilitas Tertentu .....	57
Tabel 4.8	Perhitungan Energi Produksi Bulanan untuk Probabilitas 26% (Debit Air Cukup).....	58
Tabel 4.9	Perhitungan Energi Produksi Bulanan untuk Probabilitas 51% (Debit Air Normal) .....	59
Tabel 4.10	Perhitungan Energi Produksi Bulanan untuk Probabilitas 75% (Debit Air Rendah) .....	60

Tabel 4.11 Perhitungan Energi Produksi Bulanan untuk Probabilitas 90% (Debit Andalan) .....	61
Tabel 4.12 Perhitungan Daya, Energi dan Faktor Kapasitas.....	62
Tabel 4.13 Pola Operasi Pintu Pengambilan <i>Intake</i> .....	64
Tabel 4.14 Perhitungan Saluran Pembawa.....	66
Tabel 4.15 <i>Rating Curve</i> pada Ambang <i>Tailrace</i> .....	71
Tabel 4.16 Tinggi Muka Air Diatas Ambang Tail Race .....	72
Tabel 4.17 Total Kehilangan Tinggi Tekan Tiap Bulan .....	77
Tabel 4.18 Nilai Daya dan Energi .....	89
Tabel 4.19 Rekapitulasi Biaya PLTMH Cikeusik.....	92

## DAFTAR GAMBAR

No.	Judul	Halaman
	Gambar 2.1 Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) .....	6
	Gambar 2.2 Contoh <i>Flow Duration Curve</i> .....	8
	Gambar 2.3 Debit Tersedia Pada <i>Flow Duration Curve</i> .....	9
	Gambar 2.4 Struktur Lengkap Bangunan Pengambilan ( <i>Intake</i> ) .....	11
	Gambar 2.5 Aliran Di bawah Pintu Sorong dengan Dasar Horisontal .....	11
	Gambar 2.6 Koefisien K untuk Debit Tenggelam .....	12
	Gambar 2.7 Koefisien Debit $\mu$ untuk Permukaan Pintu Datar atau Lengkung .....	12
	Gambar 2.8 Tipe-tipe Pintu Pengambilan: Pintu Sorong dan Baja .....	13
	Gambar 2.9 Tipe Saluran Pembawa Air .....	13
	Gambar 2.10 Geometri dari Beberapa Saluran Terbuka .....	15
	Gambar 2.11 Skema Bak Penenang .....	17
	Gambar 2.12 Penampang Melintang Bak Penenang .....	18
	Gambar 2.13 Pipa Pesat ( <i>Penstock Pipe</i> ) .....	20
	Gambar 2.14 Sketsa Tailrace .....	21
	Gambar 2.15 Koefesien Debit (C) untuk Hulu Vertikal .....	22
	Gambar 2.16 Koefisien Dari Aliran Yang Berkurang Pada Berbagai Bentuk Pemasukan .....	23
	Gambar 2.17 Sketsa Situasi Kehilangan Tinggi Akibat Penyempitan Dan Pelebaran ..	24
	Gambar 2.18 Profil Kisi Saringan .....	25
	Gambar 2.19 Sketsa Tinggi Jatuh efektif .....	27
	Gambar 2.20 Jenis Turbin .....	28
	Gambar 2.21 Grafik Pemilihan Turbin .....	29
	Gambar 2.22 Turbin Jenis <i>Axial Flow PAT</i> .....	30
	Gambar 2.23 Segitiga Kecepatan .....	31
	Gambar 2.24 Grafik Menentukan Nilai $\zeta_a / \zeta_A$ .....	33
	Gambar 2.25 Grafik Untuk Menentukan Profil Yang Akan Digunakan .....	33
	Gambar 2.26 Grafik Untuk Menentukan Sudut Serang .....	34
	Gambar 2.27 Generator .....	35
	Gambar 3.1 Peta Kabupaten Kuningan .....	41

Gambar 3.2	Peta Kecamatan Cidahu.....	42
Gambar 3.3	Keadaan Bendung Cikeusik dari Satelit pada Koordinat $06^{\circ}57'46,65''$ Selatan dan $108^{\circ}40'50,33''$ Timur .....	43
Gambar 3.4	Kondisi Saluran Intake Bendung Cikeusi .....	44
Gambar 3.5	Diagram Alir Penggerjaan Skripsi .....	46
Gambar 4.1	Tinggi Muka Air Sungai Cikeusik .....	52
Gambar 4.2	<i>Flow Duration Curve</i> Sungai Cisanggarung .....	54
Gambar 4.3	Hubungan Probabilitas Debit Pembangkitan Dengan Energi Produksi Bulanan.....	62
Gambar 4.4	<i>Rating Curve</i> Bukaan Pintu Pengambilan .....	65
Gambar 4.5	<i>Rating Curve</i> pada Ambang <i>Tail Race</i> .....	72
Gambar 4.6	Titik Terjadinya <i>Head Loss</i> .....	73
Gambar 4.7	Pemilihan Turbin.....	78
Gambar 4.8	<i>Axial Flow Type Turbine</i> .....	79
Gambar 4.9	Grafik Menentukan Nilai $\zeta_a / \zeta_A$ .....	85
Gambar 4.10	Grafik Untuk Menentukan Profil Yang Akan Digunakan.....	86
Gambar 4.11	Grafik Untuk Menentukan Sudut Serang .....	87
Gambar 4.12	Diagram Kecepatan Untuk Turbin Arus Aksial .....	87

## **DAFTAR LAMPIRAN**

No.	Judul	Halaman
Lampiran 1.	Data Debit .....	97
Lampiran 2.	Gambar Perencanaan.....	100

Halaman ini sengaja dikosongkan

## DAFTAR SIMBOL

<b>Besaran Dasar</b>	<b>Satuan dan singkatannya</b>	<b>Simbol</b>
Daya	Watt atau W	P
Energi tahunan	Kilo Watt Hour atau kWh	E
Frekuensi	Hertz atau Hz	f
Gaya	Newton atau N	F
Jari-jari hidrolik	Meter atau m	R
Kapasitas faktor	Persen atau %	K
Kecepatan tangensial	m/s	U
Kecepatan relative	m/s	W
Kecepatan spesifik	-	$n_q$
Koefisien Gaya	-	$\zeta$
Massa	Kilogram atau Kg	m
Panjang	Meter atau m	L
Sudut bidang datar	Radian atau rad	$\theta$
Sudut Luncur	$^{\circ}$ atau Derajat	$\lambda$
Sudut Serang	-	$\delta$
Tekanan	Pascal atau Pa	p
Temperatur	Derajat celcius atau $^{\circ}$ C	T
Voltase	Volt atau V	v
Waktu	Sekon atau s	t

Halaman ini sengaja dikosongkan

## RINGKASAN

**Vita Oktanti**, Jurusan Teknik Pengairan, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, April 2018, *Studi Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) Desa Cikeusik Kecamatan Cidahu Kabupaten Kuningan Propinsi Jawa Barat*. Dosen Pembimbing: Dr. Ir. Pitojo Tri Juwono, MT dan Prima Hadi Wicaksono, ST., MT.

Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) ) atau disebut Mikrohidro memanfaatkan beda ketinggian dan debit air dari sungai, saluran irigasi, atau air terjun. Air yang tersedia pada Sungai Cisanggarung belum dimanfaatkan secara maksimal dan timbul suatu pemikiran untuk membangun suatu pembangkit listrik dengan skala mikro yang memanfaatkan aliran air sungai yang memiliki potensi untuk pembangkit listrik. Kondisi dilapangan Sungai Cisanggarung juga memiliki tinggi jatuh yang sangat rendah setinggi 1,054 m. Dengan kondisi demikian, Listrik yang dihasilkan untuk memenuhi kebutuhan sebagian energi listrik di Desa Cikeusik Kecamatan Cidahu Kabupaten Kuningan lebih pada rencana pemanfaatan sumber daya air yang dimanfaatkan untuk Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH).

Pada studi ini, akan dilakukan perencanaan dan analisa terkait perencanaan pembangkit listrik di Desa Cikeusik Kecamatan Cidahu Kabupaten Kuningan. Bangunan yang direncanakan hanya meliputi bangunan pengambilan (intake), saluran pembawa (headrace), bak penenang (forebay), serta pipa pesat (penstock pipe). Yang nantinya akan direncanakan sebagai seluruh Komponen PLTMH, maka akan diketahui daya (kW) yang dihasilkan serta produksi energi tahunan (kWh).

Hasil dari perencanaan pada studi ini didapatkan debit pembangkitan yang digunakan adalah 1,509 m<sup>3</sup>/detik (debit andalan 90%), bangunan pengambilan memiliki lebar pintu 2,2 meter, dengan pintu berjumlah 1 unit. Pipa pesat dengan berdiameter 0,97 meter dengan tebal pipa 3 milimeter. Berdasarkan perencanaan dan analisa didapatkan turbin yang digunakan adalah 1 unit turbin jenis *Axial Flow Pump As Turbine*, menghasilkan daya 11,934 kW dan energi sebesar 104.545,17 kWh. Hasil Rencana Anggaran Biaya (RAB) pada perencanaan PLTMH Cikeusik adalah Rp 1.242.193.008,33. Dari hasil tersebut PLTMH Cikeusik dapat disimpulkan untuk bina lingkungan saja tidak untuk diperjualbelikan.

Kata Kunci: Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro, Debit, Turbin, Listrik, Rencana Anggaran Biaya.

Halaman ini sengaja dikosongkan

## SUMMARY

**Vita Oktanti**, Engineering Department, Faculty of Engineering Universitas Brawijaya, April 2018, *Study Planning of Micro Hydro Power (PLTMH) Plant In Cikeusik Village, Cidahu District, Kuningan Regency, West Java Province*. Supervisor: Dr. Ir. Pitojo Tri Juwono, MT dan Prima Hadi Wicaksono, ST., MT.

Micro-Hydro power plant (PLTMH) or called micro hydro utilize height difference and water flow from river, irrigation channel, or waterfall. Water available at the river Cisanggarung yet underutilized and arising of a thought to build a power plant with a micro scale that utilizes the water flow of the river has the potential to power plants. The real condition of river Cisanggarung also has a very low head as 1.054 m. With these conditions, the electricity generated to meet the needs of most electrical energy in Villages Cikeusik Cidahu Subdistrict Regency Brass more on plans the utilization of the water resources utilized for Micro Hydro power plant (PLTMH).

In this study, the planning will be undertaken and related analysis planning power plant in the village of Cikeusik Cidahu Subdistrict Regency Brass. The building was planned edifice just intake, headrace, forebay, penstock pipe. That will be planned as a whole PLTMH Component, it will be known to power (kW) produced as well as annual energy production (kWh).

The results of this study on the planning of the obtained flow generation used is 1.509 m<sup>3</sup>/s (90%). The building's intake of 2.2 meters, with intake amounted to 1 unit. The penstock pipe of 0,97 m with a diameter pipe of 3 millimeters. Based on planning and analysis obtained by the turbine used is 1 unit type Axial Flow turbine Pump Turbine, generating power of 11.934 kW and energy amounted to 104,545.17 kWh. The results of the budget plan costs (RAB) on planning PLTMH Cikeusik is Rp 1,242,193,008.33. The results of PLTMH Cikeusik can be inferred for the community alone is not for commercial use.

*Key words: PLTMH, Flow, Turbine, Electric, Plans Cost Budget*

Halaman ini sengaja dikosongkan

## **BAB I**

### **PENDAHULUAN**

#### **1.1 Latar Belakang**

Sumber daya air merupakan salah satu unsur utama untuk kelangsungan hidup manusia yang mempunyai arti penting dalam meningkatkan taraf hidup rakyat. Air yang tidak dimanfaatkan atau disimpan akan hilang secara percuma tanpa adanya pemanfaatan. Dalam pertahun ketersediaan air pada alam dapat berubah-ubah. Semakin berkembang listrik telah menjadi salah satu kebutuhan pokok bagi masyarakat khususnya masyarakat pedesaan.

Indonesia dialiri oleh banyak sungai dan belum dimanfaatkan secara optimal oleh masyarakat setempat khususnya Pemerintah Daerah provinsi maupun Kabupaten. Lokasi sungai-sungai juga kebanyakan terletak di desa-desa dan daerah terpencil yang belum teraliri listrik. Keterbatasan tenaga listrik merupakan salah satu permasalahan energi yang paling mendasar di Indonesia. Hal ini dilihat dari banyaknya daerah yang belum teraliri listrik. Maka dari itu, perlu diciptakan alat atau pembangkit listrik yang dapat menjangkau tempat terpencil yang ramah lingkungan dan harganya terjangkau. Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) merupakan instrumen yang tepat untuk memanfaatkan sungai-sungai di daerah yang belum dialiri listrik.

Dalam pasal 4 ayat UU No. 20 Tahun 2002 tentang Ketenagalistrikan disebutkan, guna menjamin ketersediaan energi primer untuk pembangkit listrik, diprioritaskan penggunaan sumber energi setempat dengan kewajiban mengutamakan pemanfaatan sumber energi terbarukan.

Pemerintah juga telah membuat peraturan perundangan yang menunjang investasi dalam bidang PLTM dalam Peraturan Pemerintah No.3 tahun 2005 tentang Ketenagalistrikan. Dalam pasal 2 yang disebutkan:

- ✓ Ayat 3: Penyediaan tenaga listrik dilakukan dengan memanfaatkan seoptimal mungkin sumber energi yang terdapat di wilayah Negara Kesatuan Republik Indonesia.
- ✓ Ayat 4: Guna menjamin ketersediaan energi primer untuk penyediaan tenaga listrik untuk kepentingan umum, diprioritaskan penggunaan sumber energi setempat dengan kewajiban mengutamakan pemanfaatan sumber energi terbarukan.

Energi listrik yang terjual pada saat ini dirasa cukup tinggi bagi beberapa kelompok masyarakat untuk itu perlu adanya peranan dari pemerintah bersama perusahaan listrik

dalam memenuhi kebutuhan listrik dengan menciptakan PLTMH. Dengan memanfaatkan pembangkit listrik ramah lingkungan yaitu Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) sebagai sumber pasokan energi listriknya. Sumber air untuk Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro akan memanfaatkan aliran sungai yang terdapat pada saluran irigasi yang mengalir relatif stabil sepanjang tahun.

Dengan demikian, perkiraan kebutuhan pemakaian listrik pada Sungai..Cisanggarung tersebut dapat dimanfaatkan. Sungai Cisanggarung mempunyai bangunan Bendung Cikeusik dan Saluran Induk Cikeusik. Dan memiliki kontur untuk teknis perencanaan untuk dibangun PLTMH. Dengan kondisi demikian ada kemungkinan air yang belum dimanfaatkan tersebut digunakan untuk membangkitkan listrik. Listrik tersebut untuk memenuhi kebutuhan energi listrik sekitar Desa Cikeusik, Kecamatan Cidahu, Kabupaten Kuningan.

## **1.2 Identifikasi Masalah**

Sungai Cisanggarung terdapat pada Desa Cikeusik, Kecamatan Cidahu, Kabupaten Kuningan. Pada Sungai Cisanggarung sudah terdapat bangunan air yaitu Bendung Cikeusik dan Saluran Induk Cikeusik. Air yang ada di Saluran Induk Cikeusik dengan sumber air berasal dari Bendung Cikeusik. Pemanfaatan air Saluran Induk Cikeusik untuk irigasi para petani di daerah tersebut.

Air yang tersedia pada Sungai Cisanggarung belum dimanfaatkan secara maksimal, maka dari itu timbul suatu pemikiran untuk membangun suatu pembangkit listrik dengan skala mikro yang memanfaatkan aliran air sungai yang memiliki potensi untuk pembangkit listrik. Meskipun kondisi tinggi jatuh yang sangat rendah Sungai Cisanggarung mengalirkan debit yang diandalkan sepanjang tahunnya.

Dengan kondisi demikian, Listrik yang dihasilkan untuk memenuhi kebutuhan sebagian energi listrik di Desa Cikeusik Kecamatan Cidahu Kabupaten Kuningan lebih pada rencana pemanfaatan sumber daya air yang dimanfaatkan untuk Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH).

## **1.3 Rumusan Masalah**

Dengan adanya identifikasi tersebut, maka permasalahan yang hendak dibahas dapat dirumuskan.sebagai berikut:

1. Berapa besar debit andalan yang dibutuhkan untuk perencanaan PLTMH Cikeusik?
2. Komponen mekanik apa yang digunakan pada daerah studi Cikeusik?
3. Berapa besar daya yang dihasilkan PLTMH Cikeusik?
4. Berapa dimensi bangunan yang dibutuhkan untuk perencanaan PLTMH Cikeusik?

## 5. Bagaimana Rencana Anggaran Biaya (RAB) pada perencanaan PLTMH Cikeusik?

### 1.4 Batasan Masalah

Agar permasalahan dapat dibahas dan tidak menyimpang jauh dari permasalahan yang telah ditentukan maka adapun batasan-batasan dalam skripsi ini adalah:

1. Data debit banjir selama 11 tahun dari tahun 2004-2014.
2. Analisa hidrolik yang dibahas pada studi ini hanya meliputi bangunan pengambilan (intake), saluran pembawa (headrace), bak penenang (forebay), serta pipa pesat (penstock pipe)
3. Perencanaan pipa pesat meliputi diameter, panjang dan ketebalan pipa
4. Pemilihan dan perencanaan komponen mekanik hanya meliputi daya yang dibangkitkan dan pemilihan jenisnya.
5. Tidak membahas konstruksi Bendung.
6. Tidak membahas mengenai analisa sedimentasi.
7. Tidak membahas analisis mengenai dampak lingkungan.

### 1.5 Tujuan

Tujuan dari studi ini adalah untuk memanfaatkan potensi air yang ada, sebagai alternatif energi listrik masyarakat dan menentukan kelayakan ekonomi dalam pembangunan PLTMH Cikeusik di Desa Cikeusik Kecamatan Cidahu Kabupaten Kuningan. Adapun keluaran yang diperoleh pada PLTMH Cikeusik antara.lain:

- a) Perhitungan-perhitungan yang dibutuhkan untuk perencanaan PLTMH,
- b) Desain Bangunan Pengambilan (*Intake*),
- c) Saluran Pembawa Air (*Head Race*),
- d) Desain Bak Penenang (*Forebay*),
- e) Dimensi Pipa Pesat (*Penstock Pipe*),
- f) Saluran Pembuang (*Tail Race*),
- g) Jenis komponen mekanik yang digunakan, dan
- h) Besar daya yang dihasilkan PLTMH Cikeusik.

### 1.6 Manfaat

Manfaat dari studi ini adalah dapat memberikan masukan potensi Sungai Cisanggarung di Cikeusik Kecamatan Cidahu Kabupaten Kuningan untuk bahan pertimbangan dibangunnya PLTMH.

Halaman ini sengaja dikosongkan

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Umum**

Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) atau disebut Mikrohidro adalah suatu pembangkit listrik kecil yang menggunakan tenaga air dengan kapasitas lebih dari 100 kW yang bisa berasal dari sungai, saluran irigasi, atau air terjun dengan memanfaatkan tinggi jatuh (*head*) dan debit air.

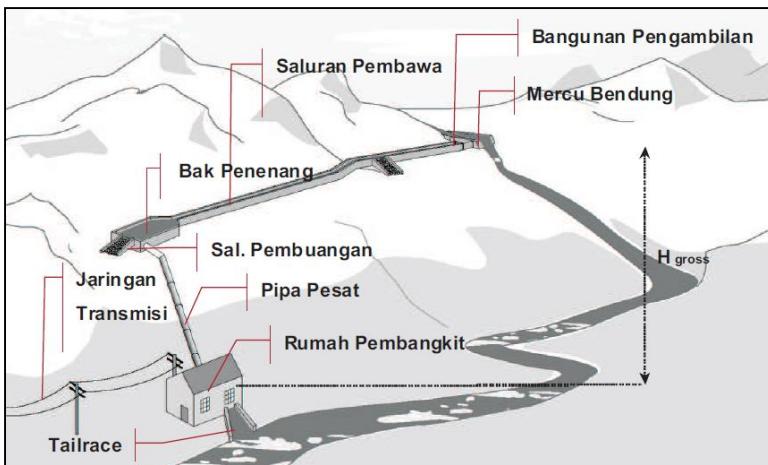
Mikrohidro merupakan sebuah istilah yang terdiri dari kata mikro yang berarti kecil dan hidro yang berarti air. Secara teknis, mikrohidro memiliki tiga komponen utama yaitu air sebagai sumber energi, turbin, dan generator. Mikrohidro mendapatkan energi dari aliran air yang memiliki perbedaan ketinggian tertentu. Pada dasarnya, mikrohidro memanfaatkan energi potensial jatuh air (*head*). Semakin tinggi jatuh air maka semakin besar energi potensial air yang dapat diubah menjadi energi listrik. (Gunawan, 2013, p.203)

Tabel 2.1  
Klasifikasi PLTA

No.	Jenis PLTA	Kapasitas
1	PLTA Besar	> 100 MW
2	PLTA Menengah	15-100 MW
3	PLTA Kecil	1-15 MW
4	PLTM (Mini Hidro)	100 kW-1 MW
5	PLTMH (Mikro Hidro)	5 kW-100 kW
6	Pico Hidro	< 5 kW

Sumber : Anonim, .2003, p.16

Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) pada prinsipnya memanfaatkan beda ketinggian dan jumlah debit air perdetik dari sungai, saluran irigasi, atau air terjun. Aliran ini akan memutar poros turbin sehingga menghasilkan energi mekanik dan energi inilah yang selanjutnya menghasilkan energi listrik.



Gambar 2.1 Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH)

Sumber: Ditjen Listrik dan Pemanfaatan Energi, 2008, p.6

## 2.2 Analisa Hidrologi

Hidrologi merupakan ilmu yang berkaitan dengan sifat, fenomena, dan distribusi air di muka bumi khususnya distribusi air di daratan. Tidak terkecuali dalam program pembangunan mikrohidro yang akan dilaksanakan di berbagai wilayah, aliran air merupakan bagian yang penting dalam kehidupan, terutama lingkungan sekitar yaitu masyarakat yang berhubungan langsung dengan aliran air. Kondisi hidrologi, dalam hal ini meliputi potensi debit dan curah hujan dimana termasuk di dalamnya tentang perubahan iklim, menjadi parameter rujukan yang diperlukan untuk pengembangan mikrohidro. Kondisi ini secara alami sangat mempengaruhi skema pembangunan sistem PLTMH, dengan demikian pemilihan lokasi PLTMH dan memastikan kelayakan pembangunan PLTMH yang telah direncanakan. Faktor utama yang menjadi persoalan adalah semakin meningkatnya pembukaan lahan baru untuk tegalan dan kebutuhan lain di sekitar areal pembangunan pembangkit listrik tenaga mikrohidro (PLTMH) terutama di daerah atau areal konservasi dan areal kawasan penyangga atau yang semakin intensif setiap tahunnya. Hal ini akan menjadi acuan untuk penghitungan ketersediaan air hingga dalam kurun waktu tertentu ke masa depan.

Hal yang perlu diperhatikan bahwa kondisi hidrologi yang kurang layak, berakibat kurangnya debit aliran akan mempengaruhi efisiensi dan daya yang dihasilkan. Termasuk dalam hal ini kondisi hidrologi yang beresiko tinggi seperti curah hujan yang berfluktuasi terlalu tinggi dan ekstrim serta potensi perubahan iklim akan menjadi hambatan serta berdampak pada peningkatan biaya dalam persiapan maupun pengolahan PLTMH yang direncanakan. (Ditjen Listrik dan Pemanfaatan Energi Buku 2A, 2009, p.5)

### 2.2.1 Analisa Debit Andalan (*Dependable Flow*)

Debit andalan adalah debit yang tersedia sepanjang tahun dengan besarnya resiko kegagalan tertentu yang tersedia digunakan untuk berbagai macam keperluan tertentu misalnya irigasi, PLTA, air baku, dan lain-lain. Jika debit andalan ditetapkan sebesar 80% berarti akan dihadapi resiko debit-debit lebih kecil dari debit andalan 20% pengamatan. (Soemarto, 1987, p.214)

Besarnya keandalan yang diambil untuk penyelesaian optimum penggunaan air dibeberapa macam proyek.

Tabel 2.2  
Besarnya Keandalan Debit

Kebutuhan	Debit andalan (%)
Air Minum	99
Air Irigasi	95-98
Air Irigasi Daerah 1/2 Lembab	70-85
Air Irigasi Daerah Kering	80-95
PLTA	85-90

Sumber: Soemarto, 1987, p.214

Tabel 2.3  
Hubungan Intensitas Curah Hujan dan Durasi Hujan

Periode Ulang	Durasi							
	1/2	3/4	1	2	3	6	12	24
Tahun	1/2	3/4	1	2	3	6	12	24
2	32	41	48	60	67	79	88	100
5	32	41	48	59	66	78	88	100
10	30	38	45	57	64	76	88	100
25	28	36	43	55	63	75	88	100
50	27	35	42	53	61	73	88	100
100	26	34	41	52	60	72	88	100
1000	25	32	39	49	57	69	88	100
PMP	20	27	34	45	52	64	88	100

Sumber: Ditjen Listrik dan Pemanfaatan Energi Buku 2A, 2009, p.33

Cara lain menghitung intensitas hujan dapat menggunakan persamaan Mononobe :

$$I = \frac{R_{24}}{t} \cdot \left[ \frac{t}{24} \right]^{2/3} \quad \dots \dots \dots \quad (2-1)$$

Dimana:

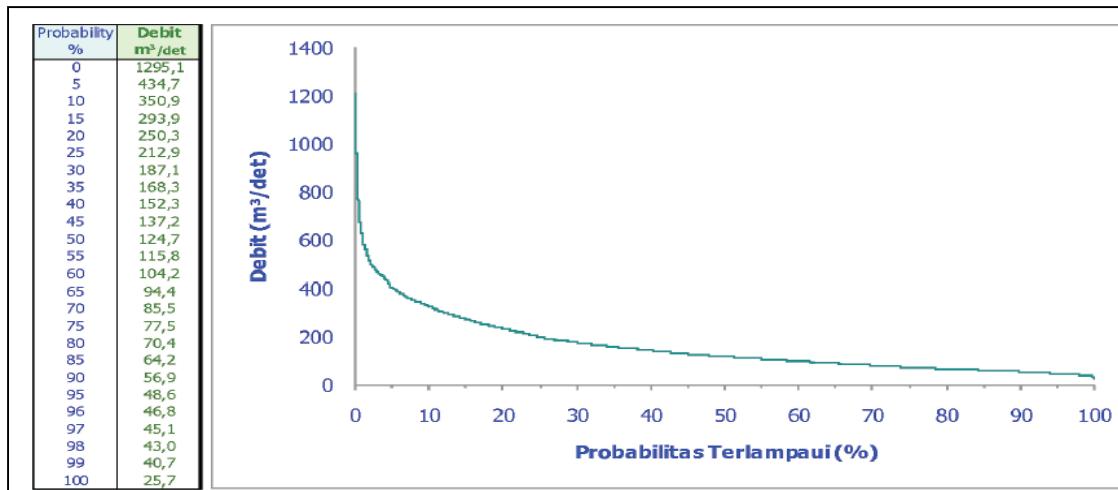
$R_{24}$  = rata-rata hujan pada jam terpusat (mm)

t = lama hujan terpusat (jam)

### 2.2.1.1 Kurva Durasi Aliran (*Flow Duration Curve*)

Debit andalan pada umumnya dianalisis sebagai debit rata-rata untuk periode 10 hari, sengeah bulanan atau bulanan. Kemungkinan tak terpenuhi dapat ditetapkan 20%, 30% atau nilai lainnya untuk menilai tersedianya air berkenaan dengan kebutuhan pengambilan dilakukan dengan cara data debit pencatatan pos duga muka air untuk jangka waktu tertentu disusun dari angka terbesar hingga terkecil dan tiap debit diberikan probabilitas yang dihitung dengan persamaan Weibull.

Debit perkiraan dan probabilitas digambarkan dalam *flow duration curve* yang menggambarkan probabilitas/persentase ketersediaan air pada sumbu ordinat dan besar debit andalan pada sumbu aksis. Debit andalan didapatkan dari untuk persentase keandalan yang diperlukan.



Gambar 2.2 Contoh *Flow Duration Curve*

Sumber: Ditjen Listrik dan Pemanfaatan Energi 2A, 2009, p.22

Tabel 2.4  
Kondisi Kelas Hidrologi

Durasi Aliran	Kondisi Kelas Hidrologi
0 - 10%	Aliran Tinggi
10 - 40%	Kondisi Lembab
40 - 60%	Kondisi Menengah (Normal)
60 - 90%	Kondisi Kering
90 - 100%	Aliran Rendah

Sumber : Anonim, 2007, p.23

Untuk mengetahui besarnya aliran yang mengalir pada sungai dalam satu tahun, maka kurva durasi aliran (FDC) dengan mengurutkan data debit rerata 10 harian dari terbesar hingga terkecil dan diberikan probabilitas yang dihitung menggunakan persamaan weilbull, Persamaan:

$$\overline{Q_{10 \text{ harian}}} = \frac{Q_1 + Q_2 + \dots + Q_n}{n} \quad \dots \dots \dots \quad (2-2)$$

$$Pw = \frac{m}{n+1} \times 100\% \quad \dots \dots \dots \quad (2-3)$$

dengan:

$\overline{Q_{10 \text{ harian}}}$  = debit.rerata dalam 1 periode

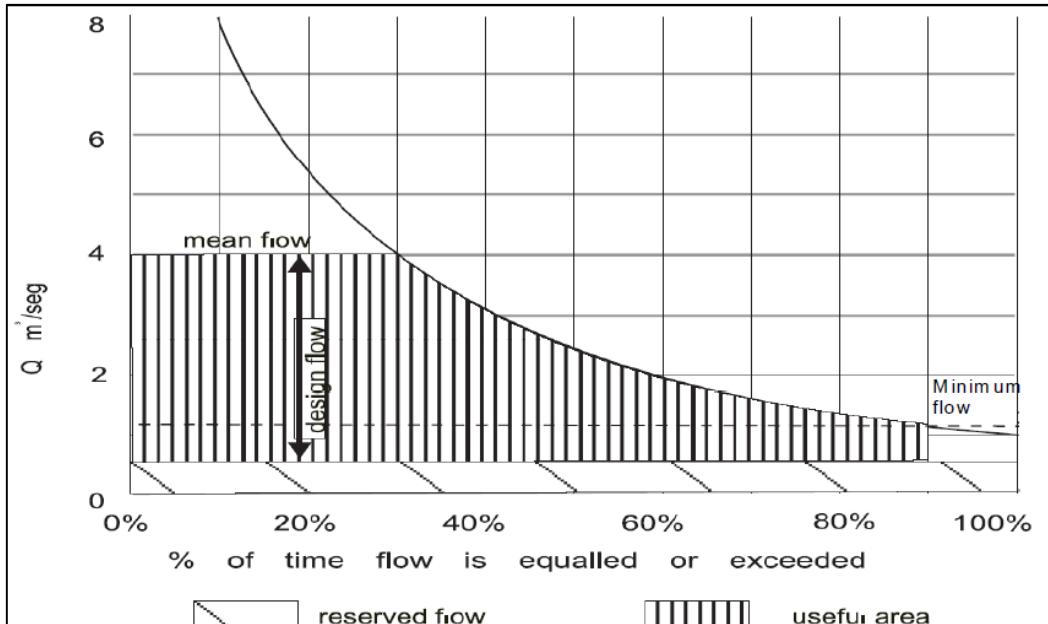
Pw = nilai probabilitas

m = data ke-n

n = jumlah data

### 2.3 Penentuan Debit Pembangkit

Debit desain didapatkan dari optimasi tingkatan nilai-nilai debit yang berbeda, yang akan menghasilkan nilai debit yang optimum.



Gambar 2.3 Debit Tersedia Pada *Flow Duration Curve*

Sumber: ESHA, 2004, p.61

Berdasarkan Peraturan Menteri ESDM No. 12 Tahun 2017 tentang Pemanfaatan Sumber Energi Terbarukan untuk Penyediaan Listrik dengan kapasitas paling tinggi 10 MW untuk penyediaan listrik minimal nilai *Capacity Factor* sebesar 65%. Untuk menghitung kapasitas faktor dilakukan analisa energi secara teoritis. Menggunakan tinggi jatuh kasar dan debit andalan dari *flow duration curve*.

Jika *flow duration curve* setiap interval 5% bernilai 8760 tahun (jumlah jam dalam satu tahun), maka energi tahunan dapat dihitung menggunakan rumus berikut:

$$E = \sum_{n=1}^{20} \left( \frac{P_{s(n-1)} + P_{sn}}{2} \right) \left( \frac{5}{100} \right) 8760 \quad \dots \dots \dots \quad (2-4)$$

Daya teoritis pada interval tertentu dapat dihitung dengan rumus:

$$P_n = Q_n \times \eta \times h \times g \quad \dots \dots \dots \quad (2-5)$$

dengan:

$E$  = energi tahunan (kWh)

$P_n$  = daya (kW)

$Q_n$  = debit pada saat n ( $m^3/detik$ )

$h$  = tinggi jatuh (m)

$g$  = gaya gravitasi ( $m/dt^2$ )

$n$  = daya dan debit pada interval tertentu

Kapasitas faktor untuk mengukur efisiensi dari suatu pembangkit listrik. Kapasitas faktor dihitung dengan energi dan daya untuk periode tertentu.

$$K = \frac{E}{8760 \times P_{desain}} \quad \dots \dots \dots \quad (2-6)$$

dengan:

$K$  = kapasitas faktor (%)

$E$  = energi tahunan (kWh)

$P_{desain}$  = daya pada waktu  $Q_{desain}$  (kW)

Tabel 2.5

Minimum *Technical Flow* untuk Turbin

Tipe Turbin	$Q_{min}$ (% of $Q_{desain}$ )
Francis	50
Semi Kaplan	30
Kaplan	15
Pelton	10
Turgo	20
Propeller	75

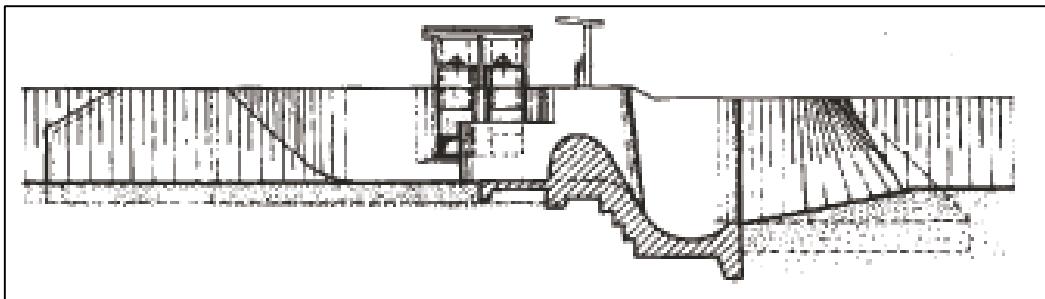
Sumber: ESHA, 2004, p.62

## 2.4 Analisa Hidroliko

Dalam suatu lokasi potensi Pembangkit Listrik Mikro Hidro dipetakan sebagai suatu sistem yang terdiri dari beberapa komponen bangunan sipil seperti bangunan pengambilan (*intake*), saluran pembawa (*headrace*), bak penenang (*forebay*), pipa pesat (*penstock channel*), dan saluran pembuangan (*tail race*). Bangunan-bangunan yang akan menyalurkan debit kebutuhan yang akan dibangkitkan oleh turbin.

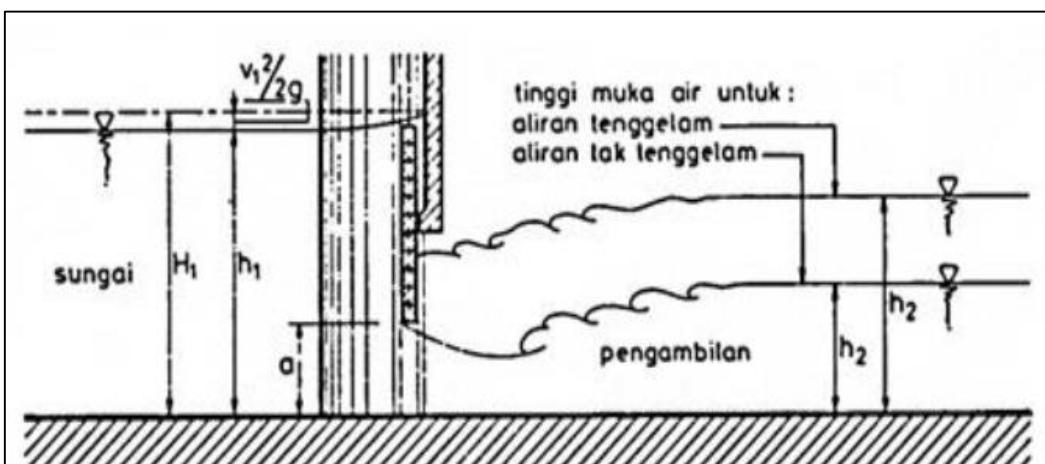
#### 2.4.1 Bangunan Pengambilan (*Intake*)

Konstruksi bendung dilengkapi dengan bangunan pengambilan (*intake*) yang berfungsi mengarahkan air dari sungai masuk ke dalam saluran pembawa (*headrace channel*). Bangunan pengambilan (*intake*) yang berfungsi untuk menaikkan dan mengontrol aliran air sungai untuk instalasi PLTMH dengan debit yang diperlukan untuk pengolahan. (Ditjen Listrik dan Pemanfaatan Energi Buku 2B, 2009, p.6)



Gambar 2.4 Struktur Lengkap Bangunan Pengambilan (*Intake*)

Sumber: Ditjen Listrik dan Pemanfaatan Energi Buku 2B, 2009, p.8



Gambar 2.5 Aliran Di bawah Pintu Sorong dengan Dasar Horisontal

Sumber: KP-02, 1986, p.56

#### 2.4.2 Pintu Sorong (*Sluice Gate*)

Biasanya pintu pengambilan adalah pintu sorong kayu sederhana. Bila didaerah yang bersangkutan mahal, maka dapat dipakai baja. Jika air di depan pintu sangat dalam, maka eksplorasi pintu sorong mungkin sulit. (KP-02, 2013, p.122)

Pintu sorong digunakan untuk membuka, mengatur, dan menutup aliran air di saluran baik yang terbuka maupun tertutup. Pintu sorong bentuknya sangat sederhana, untuk membuka daun pintu dilakukan dengan menggeser ke atas sedang untuk menutupnya dengan menggeser ke bawah. Banyak digunakan untuk bangunan pengambilan dengan debit air kecil. Agar mampu mengatasi tinggi muka air yang berubah-ubah di sungai, pengambilan

harus direncanakan sebagai pintu aliran bawah. Rumus debit yang digunakan adalah: (KP-02, 2013, p.108)

$$Q = K \mu a b \sqrt{2g \cdot h_1} \quad \dots \dots \dots \quad (2-7)$$

dengan:

$Q$  = debit ( $\text{m}^3/\text{dt}$ )

$K$  = faktor untuk aliran tenggelam (pada Gambar 2.6)

$\mu$  = koefisien bukaan.debit (pada Gambar 2.7)

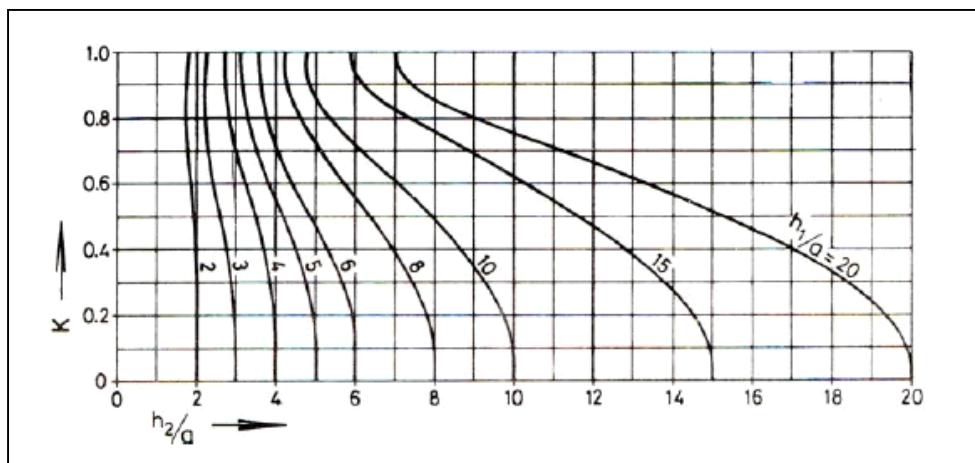
$a$  = bukaan pintu (m)

$b$  = lebar pintu (m)

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

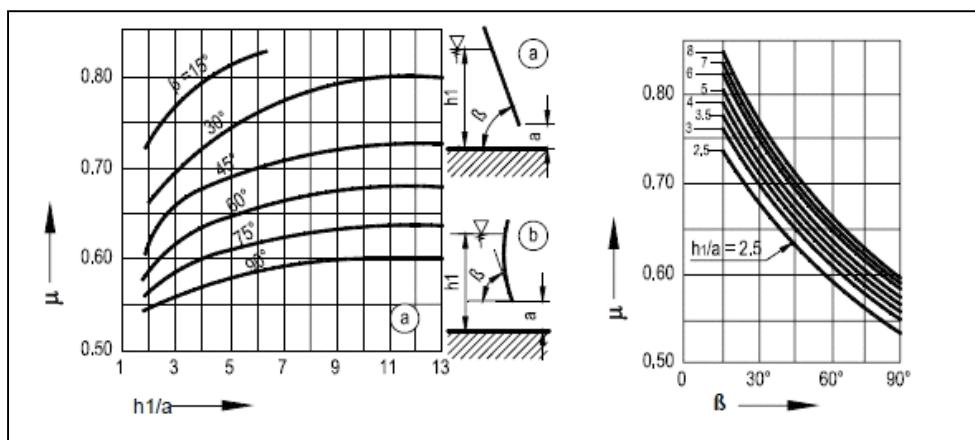
$h_1$  = kedalaman air di depan pintu di atas ambang (m)

$h_2$  = kedalaman air di belakang pintu (m)



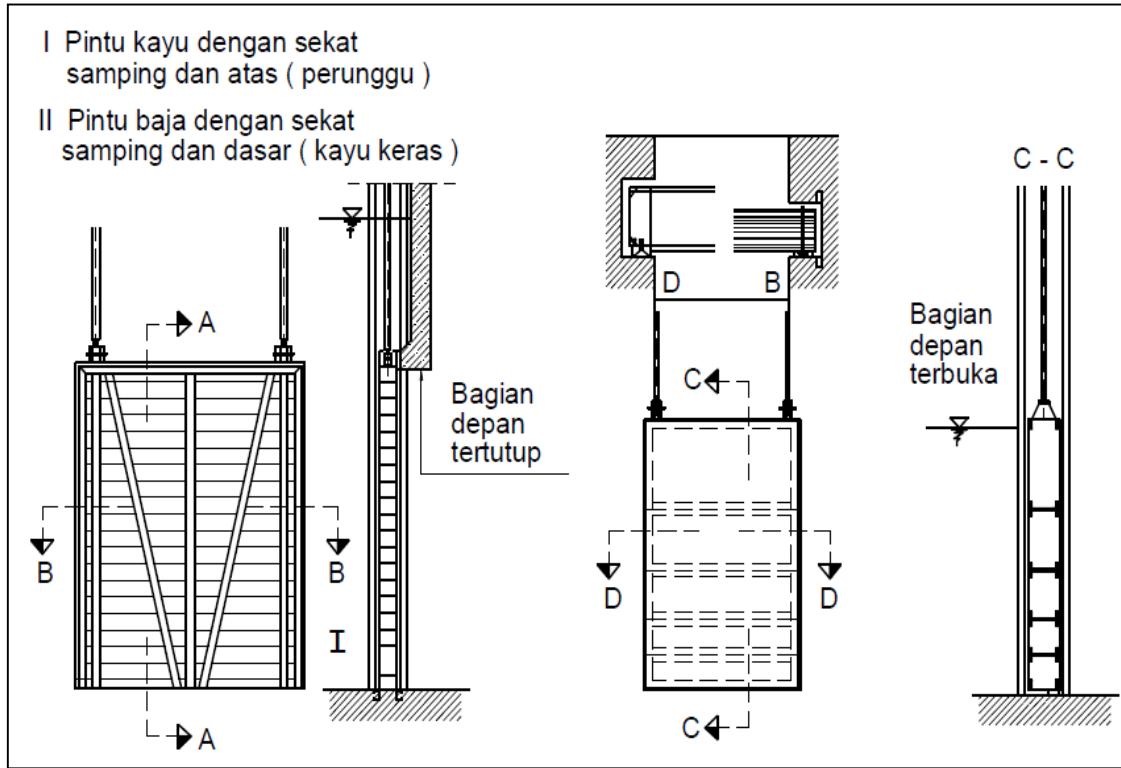
Gambar 2.6 Koefisien K untuk Debit Tenggelam

Sumber: KP-02, 1986, p.110



Gambar 2.7 Koefisien Debit  $\mu$  untuk Permukaan Pintu Datar atau Lengkung

Sumber: KP-02, 1986, p.100

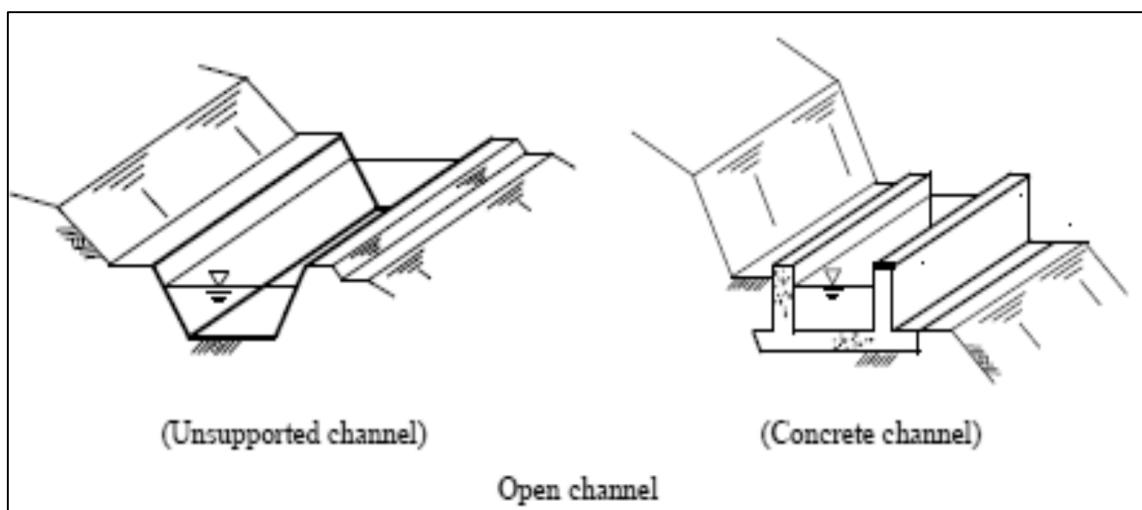


Gambar 2.8 Tipe-tipe Pintu Pengambilan Pintu Sorong dan Baja

Sumber: KP-02, 2013, p.123

#### 2.4.3 Saluran Pembawa Air (*Headrace*)

Saluran pembawa (*Headrace*) menyalurkan air dari intake sampai ke bak penenang, atau tempat mulainya pipa pesat (*Penstock*). Saluran pembawa dapat berupa saluran terbuka, saluran tertutup atau terowongan. (Modul Pelatihan Studi kelayakan Pembangunan Mikrohidro, 2010:40)



Gambar 2.9 Tipe Saluran Pembawa Air

Sumber: JICA, 2013, p.9-11

### 2.4.3.1 Perhitungan Kecepatan

Debit yang melalui suatu saluran tenaga dihitung sebagai berikut:

$$Q = V \times A \quad \dots \dots \dots \quad (2-8)$$

Kecepatan diperoleh dengan formula *Manning-Strickler*:

$$V = \frac{1}{n} \times R^{2/3} \times S^{1/2} \quad \dots \dots \dots \quad (2-9)$$

dengan: ..

$Q$  = debit ( $\text{m}^3/\text{dt}$ )

$V$  = kecepatan rata-rata ( $\text{m}/\text{dt}$ )

$R$  = jari-jari hidrolik (m)

$S$  = kemiringan dasar saluran

$n$  = koefisien kekasaran

Tabel 2.6

Tipikal Nilai Koefesien Kekasaran *Manning* ( $n$ ) Yang Sering Digunakan

No.	Tipe saluran dan jenis bahan	Harga n		
		Minimum	Normal	Maksimum
1.	Beton			
	▪ Gorong-gorong lurus dan bebas dari kotoran	0,010	0,011	0,013
	▪ Gorong-gorong dengan lengkungan dan sedikit kotoran/gangguan	0,011	0,013	0,014
	▪ Beton dipoles	0,011	0,012	0,014
	▪ Saluran pembuang dengan bak kontrol	0,013	0,015	0,017
2.	Tanah, lurus dan seragam			
	▪ Bersih baru	0,016	0,018	0,020
	▪ Bersih telah melapuk	0,018	0,022	0,025
	▪ Berkerikil	0,022	0,025	0,030
	▪ Berumput pendek, sedikit tanaman pengganggu	0,022	0,027	0,033
3.	Saluran alam			
	▪ Bersih lurus	0,025	0,030	0,033
	▪ Bersih, berkelok-kelok	0,033	0,040	0,045
	▪ Banyak tanaman pengganggu	0,050	0,070	0,08
	▪ Dataran banjir berumput pendek – tinggi	0,025	0,030	0,035
	▪ Saluran di belukar	0,035	0,050	0,07

Sumber: Chow, 1984, p.109

Koefesien kekasaran *strickler* ( $k$ ) dan kecepatan maksimum dapat dilihat pada tabel 2.7. nilai yang diberikan sudah cukup lama digunakan konservatif, untuk konstruksi-konstruksi besar bisa menggunakan nilai yang lebih tinggi tergantung pada metode pelaksanaannya.

Tabel 2.7

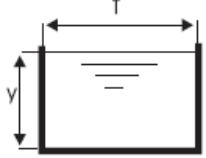
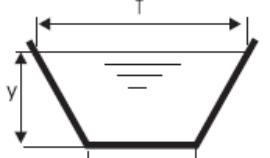
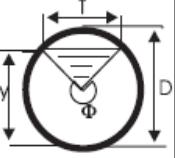
Nilai Kecepatan Maksimum dan  $K$  (*strickler*)

Bahan Konstruksi	$V_{\text{maks}}, \text{m}/\text{dt}$	$k, \text{m}^{1/3}/\text{dt}$
Pasangan batu	2	60
Beton	3	70

Sumber: KP-03, 2013, p.68

### 2.4.3.2 Dimensi Saluran

Suatu saluran yang penampang melintangnya dibuat tidak berubah-ubah dan kemiringan dasarnya tetap, disebut saluran prismatis. Bila sebaiknya, disebut saluran tak prisma (Chow, 1997, p.20).

			
Area A	$by$	$(b+zy)y$	$\frac{1}{8}(\Phi - \sin\Phi)D^2$
Wetted perimeter P	$b+2y$	$b + 2y\sqrt{1+z^2}$	$1/2\phi D$
Top width of section T	$b$	$b+2zy$	$2\sqrt{y(D-y)}$
Hydraulic radius R	$\frac{by}{b+2y}$	$\frac{(b+zy)y}{b+2y\sqrt{1+z^2}}$	$\frac{1}{4}\left(1 - \frac{\sin\Phi}{\Phi}\right)D$
Hydraulic depth D	$y$	$\frac{(b+zy)y}{b+2zy}$	$\frac{1}{8}\left(\frac{\Phi - \sin\Phi}{\sin\frac{\Phi}{2}}\right)D$
Section factor	$by^{1.5}$	$\frac{[(b+zy)y]^{1.5}}{\sqrt{b+2zy}}$	$\frac{\sqrt{2}(\theta - \sin\theta)^{1.5}}{32\sqrt{\sin\frac{\theta}{2}}}\cdot D^{2.5}$

Gambar 2.10 Geometri dari Beberapa Saluran Terbuka

Sumber: ESHA, 1998, p.50

Unsur-unsur geometri adalah sifat-sifat suatu penampang saluran yang dapat diuraikan seluruhnya berdasarkan geometri penampang dan kedalaman aliran. Definisi beberapa unsur geometri dasar yang terpenting diberikan di bawah ini:

- Kedalaman aliran (h) adalah jarak vertikal titik terendah pada suatu penampang saluran sampai kepermukaan bebas,
- Taraf adalah elevasi atau jarak vertikal dari permukaan bebas di atas suatu bidang persamaan. Bila titik terendah dari penampang saluran dipilih sebagai bidang persamaan, taraf ini sama dengan kedalaman aliran,
- Lebar puncak (T) adalah lebar penampang saluran pada permukaan bebas,
- Luas basah (A) adalah luas penampang melintang aliran yang tegak lurus arah aliran,
- Keliling basah (P) adalah panjang garis perpotongan dari permukaan basah saluran dengan bidang penampang melintang yang tegak lurus arah aliran,

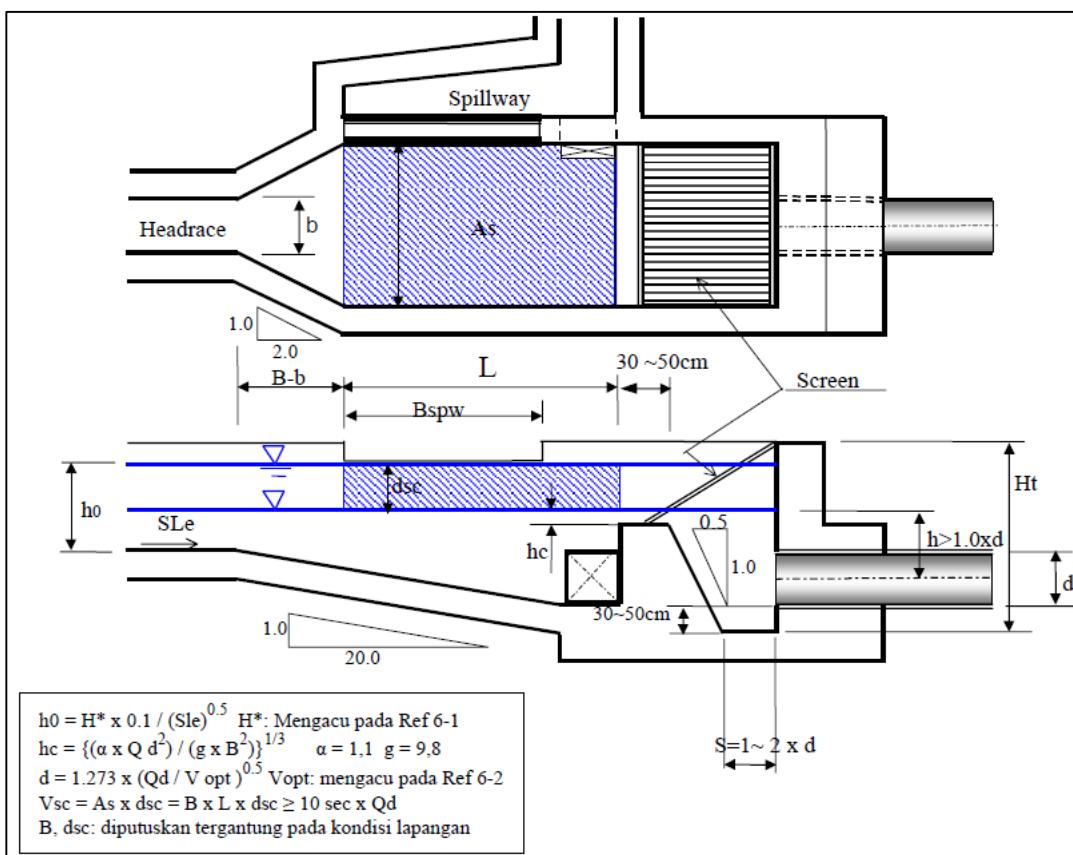


#### 2.4.4 Bak Penenang (Forebay)

Saluran penghantar akan berujung pada bak penenang yang berfungsi untuk menyaring akhir dan untuk mereduksi arus turbulensi air serta kemudian mengarahkannya untuk masuk ke pipa peast sesuai dengan debit yang diinginkan. Untuk menghemat panjang pipa pesat memang biasanya kolam atas ini diletakkan sedekat mungkin diatas *powerhouse*. (Modul Pelatihan Studi kelayakan Pembangunan Mikrohidro, 2010, pp.44-45)

Berkaitan dengan fungsi tersebut maka untuk masukan desain beberapa yang perlu dipertimbangkan adalah : (Ditjen Listrik dan Pemanfaatan Energi Buku 2B, 2009, pp.16-17)

- Pemeliharaan bak penenang terutama untuk mengontrol debit aliran, mengendalikan dan membuang sampah.
- Saat desain diperhatikan kedalaman air dan ketinggiannya dari untuk menghindarkan aliran turbulensi, umumnya beraserensi pada diameter pipa pesat .
- Dilengkapi dengan instalasi pipa lubang angin.



Gambar 2.11 Skema Bak Penenang

Sumber: JICA, 2010, pp.6-19

✓ Dimensi bak penenang:

$$V_f = A_f \times h_f \dots \quad (2-12)$$

$$= B_f \times L \times (b_s + \Delta z) \dots \quad (2-13)$$

dengan:



- ✓ Menentukan Instalasi pipa lubang angin sebagai pelengkap pintu bak penenang untuk mencegah rusaknya saluran pensctock. Dalam kasus ini, formula empiris dibawah ini digunakan untuk menentukan dimensi pipa lubang angin.

$$d = 0,0068 \left( \frac{P^2 L}{H^2} \right)^{0,273} \dots \dots \dots \quad (2-17)$$

dengan:

d = diameter dalam dari pipa lubang angin (meter)

P = nilai output dari turbin (kW)

L = panjang total pipa lubang angin (meter)

H = head (meter)

- ✓ Menentukan spillway (pelimpah) akan dipasang pada bak penenang agar kelebihan kuantitas air dialirkan ke sungai dengan aman ketika turbin dihentikan. Ukuran dari spillway ditentukan dengan persamaan berikut.

$$Qd = C \times B_{spw} \times h_{spw}^{1,5} \rightarrow h_{spw} = \left\{ \frac{Qd}{C \times B_{spw}} \right\}^{1/1,5} \dots \dots \dots \quad (2-18)$$

Dengan

$Q_d$  = debit desain ( $m^3/detik$ )

C = koefisien, biasanya  $C = 1,8$

$B_{spw}$  = Lebar spillway (meter)

$h_{spw}$  = kedalaman spillway (meter)

#### 2.4.5 Pipa Pesat (*Penstock Pipe*)

Pipa pesat (*Penstock Pipe*) adalah pipa yang berfungsi untuk mengalirkan air dari bak penenang (*forebay*) menuju ke Rumah Pembangkit (*Power House*). Perencanaan pipa pesat mencakup pemilihan material, diameter, tebal dan jenis sambungan (*coordination point*). Diameter pipa pesat dipilih dengan pertimbangan keamanan, kemudahan proses pembuatan. Ketebalan *Penstock* dipilih untuk menahan tekanan hidrolik dan *surge pressure* yang dapat terjadi. (Modul Pelatihan Studi kelayakan Pembangunan Mikrohidro, 2010, p.42)

##### 2.4.5.1 Tebal Pipa Pesat

Untuk mendapatkan diameter pipa pesat dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$d = 2,69 \times \left( \frac{n^2 x Q^2 x L}{H} \right)^{1,875} \dots \dots \dots \quad (2-19)$$

dengan:

d = diameter pipa pesat (mm)

n = nilai kekasaran Manning (untuk *welded steel* n = 0,012; PVC = 0,009)

$Q$  = debit pembangkit ( $\text{m}^3/\text{dt}$ )

$L$  = panjang pipa pesat (m)

$H$  = tinggi jatuh total/kotor (m)

Sedangkan untuk menentukan tebal pipa pesat digunakan persamaan *Cylinder*

Formulae: (Varshney, 1977, p.411)

$$t = \frac{P \times r \times 1000}{q} \quad \dots \dots \dots \quad (2-20)$$

$$P = \rho \times g \times h \quad \dots \dots \dots \quad (2-21)$$

Dengan:

$t$  = tebal pipa pesat (m)

$P$  = gaya ( $\text{ton}/\text{m}^2$ )

$r$  = jari-jari pipa pesat (m)

$q$  = tegangan meterial pipa pesat yang digunakan ( $\text{ton}/\text{m}^2$ )

$\rho$  = massa jenis air ( $\text{ton}/\text{m}^3$ )

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

$H$  = tinggi jatuh total/kotor (m)

#### 2.4.5.2 Diameter Pipa Pesat

Untuk keadaan tidak ada *vortice-vortice* pada pengambilan, dua buah hubungan empiris berikut dapat digunakan:

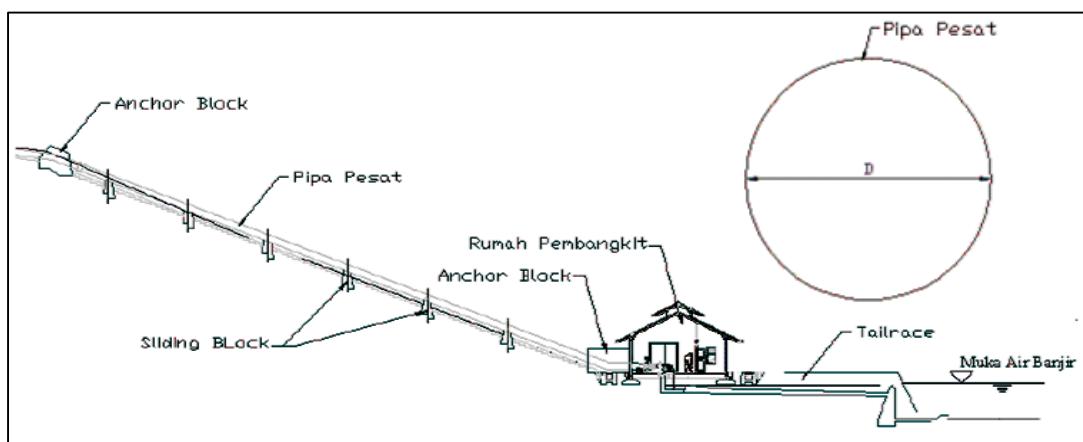
$$d \leq 1,0 \text{ m} \longrightarrow h \geq 1,0 d \quad \dots \dots \dots \quad (2-22)$$

$$d > 1,0 \text{ m} \longrightarrow h \geq d^2 \quad \dots \dots \dots \quad (2-23)$$

dengan:

$h$  = kedalaman tenggelam untuk pengambilan (m)

$d$  = diameter pipa pesat (m)



Gambar 2.13 Pipa Pesat (*Penstock Pipe*)

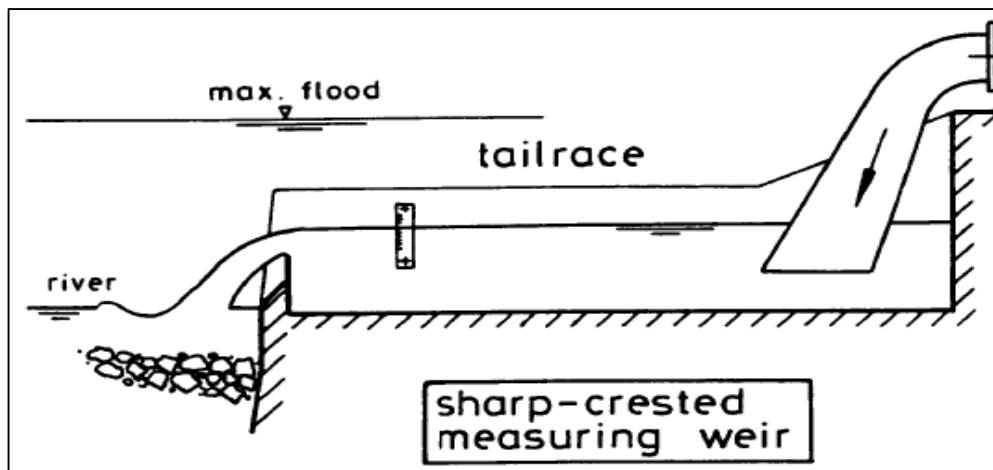
Sumber: Ditjen Listrik dan Pemanfaatan Energi, 2008, p.69

#### 2.4.6 Saluran Pembuang Akhir (*Tail Race*)

Saluran Pembuang (*Tile Race*) adalah sebuah saluran yang dilalui oleh air yang keluar dari turbin air, terus ke sungai. Tinggi genangan tergantung dari debit air yang keluar dari turbin, jenis penampang serta dimensi penampang saluran pembuang. Saluran pembuang mengalirkan air dari turbin kembali ke sungai. Saluran pembuang perlu didesain cukup luas agar air buangan turbin dapat mengalir dengan aman.

Jenis penampang saluran ada tiga yaitu saluran segiempat, trapesium, dan segitiga. Namun penampang saluran yang paling baik adalah penampang trapesium dan kemiringan talud dinding saluran (m) dapat diambil sebesar: (Patty, 1995, p.47)

- Saluran..tanah (1:1,5 hingga 1:2)
- Saluran pasangan batu/beton (1:1 hingga 1:2)



Gambar 2.14 Sketsa Tailrace

Sumber: Manual on Pumps Used As Turbines, 1992, p.119

Debit air yang keluar dari turbin yang berfluktuasi mengakibatkan perubahan tinggi air dalam saluran. Dikarenakan pada *afterbay* jenis alirannya adalah turbulen, maka diperlukan beda tinggi dari *power house* ke permukaan air pada *afterbay* sebesar 30-50 cm. Tinggi permukaan air pada *afterbay* (Ditjen Listrik dan Pemanfaatan Energi Buku 2B, 2009, p.37) perubahan tinggi muka air dapat dihitung dengan menggunakan dengan rumus manning-Strickler:

$$Q = V \times A \quad \dots \dots \dots \quad (2-24)$$

$$V = k \times \frac{A^{2/3}}{P} \times I^{1/2} \quad \dots \dots \dots \quad (2-25)$$

dengan:

$Q$  = debit air yang keluar dari turbin ( $m^3/dt$ )

$V$  = kecepatan aliran ( $m/dt$ )

$A$  = luas penampang saluran ( $m^2$ )

$P$  = keliling basah saluran (m)

$I$  = Kemiringan saluran atau slope

$K$  = Koefisien kekasaran Strickler ( $m^{1/3}/dt$ )

Untuk menganalisa tinggi muka air pada ambang yang digunakan untuk merencanakan elevasi dasar saluran pembuang dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$Q = C \cdot B \cdot H_e^{1.5} \quad \dots \dots \dots \quad (2-26)$$

dengan:

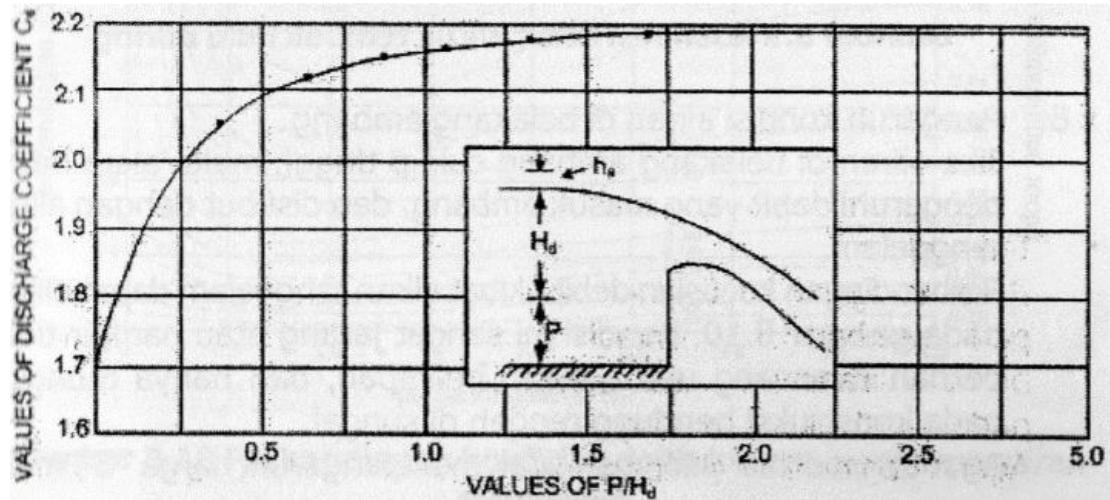
$Q$  = debit yang melalui ambang ( $m^3/dt$ )

$C$  = Koefisien debit ( $m^{1/2}/dt$ )

$B$  = lebar ambang (m)

$H_e$  = tinggi muka air diatas ambang (m)

Untuk mendapatkan nilai koefesien debit ( $C$ ) didapat grafik hubungan  $P/H_d$  pada ambang ogee untuk hulu vertikal dan berkisar 1,6 – 2,21. Berikut grafik hubungan  $P/H_d$ :



Gambar 2.15 Koefesien Debit ( $C$ ) untuk Hulu Vertikal

Sumber: Marsevaniah, 2012, p.13

Dengan menggunakan persamaan tersebut, maka didapat mencari lengkung kapasitas ambang untuk beberapa tinggi muka air di atas ambang.

Tabel 2.9

Koefisien Kekasaran.Strickler

koefisien kekasaran (K)		
pasangan beton	70	$m(1/3)/dt$
pasangan batu	60	$m(1/3)/dt$
pasangan tanah	35-45	$m(1/3)/dt$
forrocement	70	$m(1/3)/dt$

Sumber: KP-03, 2013, p.72

#### 2.4.7 Kehilangan Tinggi Tekan Aliran

Kehilangan tinggi tekan aliran adalah menurunnya besaran energi akibat gesekan maupun konstraksi yang terjadi selama proses pengaliran. Dalam perhitungan kehilangan tinggi tekan pada perencanaan sistem pembangkit listrik tenaga mikrohidro dapat dibedakan menjadi 2 yaitu kehilangan tinggi pada saluran terbuka dan kehilangan tinggi pada saluran tertutup.

- a) Kehilangan pada bangunan pengambilan dihitung dengan persamaan: (Liu, 2003, p.32)

$$h_l = f \times \frac{V^2}{2g} \quad \dots \dots \dots \quad (2-27)$$

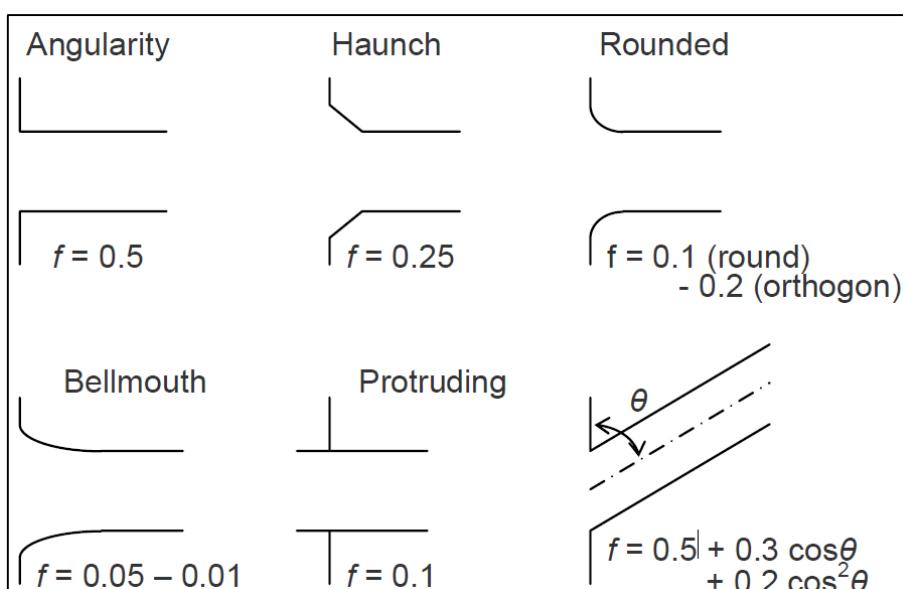
dengan:

$h_l$  = jumlah kehilangan tinggi (m)

$f$  = nilai koefisien kehilangan tinggi

$V$  = kecepatan aliran (m/dt)

$g$  = percepatan gravitasi (9,81 m/dt<sup>2</sup>)



Gambar 2.16 Koefisien Dari Aliran Yang Berkurang Pada Berbagai Bentuk Pemasukan

Sumber: Manual Perencanaan PLTMH, JICA, 2010, p.6-10

- b) Kehilangan tinggi tekan akibat belokan *intake*

$$h_l = f \times \frac{V^2}{2g} \quad \dots \dots \dots \quad (2-28)$$

dengan:

$h_l$  = jumlah kehilangan tinggi tekan akibat belokan *intake* (m)

$f$  = nilai koefisien kehilangan tinggi

$V$  = kecepatan aliran (m/dt)

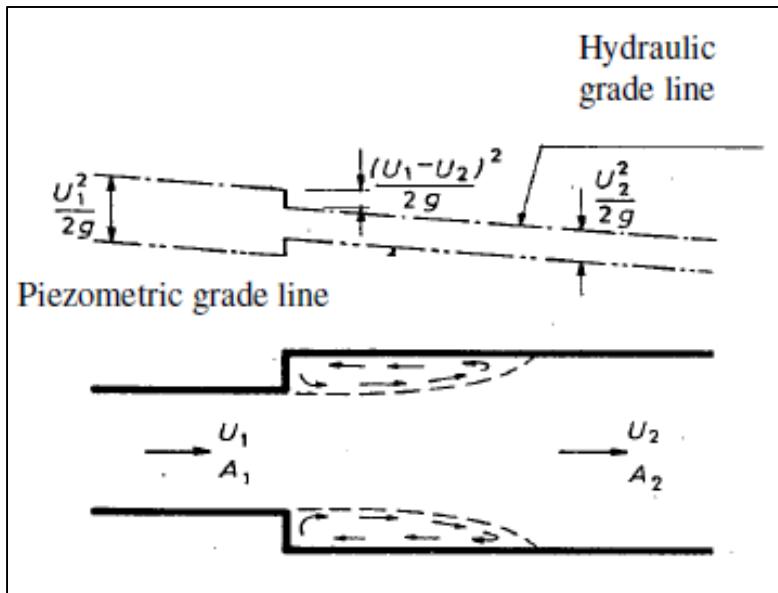
$g$  = percepatan gravitasi (9,81 m/dt<sup>2</sup>)

- c) Kehilangan tinggi tekan akibat pelebaran saluran menuju *forebay*

$$h_l = f \times \frac{V^2}{2g} \quad \dots \dots \dots \quad (2-29)$$

dengan:

- $h_l$  = jumlah kehilangan tinggi tekan akibat pelebaran saluran menuju *forebay* (m)  
 $f$  = nilai koefisien kehilangan tinggi  
 $V$  = kecepatan aliran (m/dt)  
 $g$  = percepatan gravitasi (9,81 m/dt<sup>2</sup>)



Gambar 2.17 Sketsa Situasi Kehilangan Tinggi Akibat Penyempitan Dan Pelebaran

Sumber: Ramos, 2000, p.64

$$\xi = \left( 1 - \frac{A_1}{A_2} \right)^2 \quad \dots \dots \dots \quad (2-30)$$

dengan:

$\xi$  = koefisien

$A$  = luas penampang (m<sup>2</sup>)

- d) Kehilangan tinggi tekan akibat saringan (*trashrack*) (Sosrodarsono, 1989, p.244).

$$h_s = \beta \cdot \sin \alpha \cdot \left( \frac{t}{b} \right)^{4/3} \cdot \frac{V^2}{2g} \quad \dots \dots \dots \quad (2-31)$$

dengan:

$h_s$  = kehilangan tinggi energi

$V$  = kecepatan datang (m/dt)

$g$  = percepatan gravitasi (9,81 m<sup>2</sup>/dt)

$\beta$  = Koefisien Penampang Lintang Kawat-Kisi





#### 2.4.8 Tinggi Jatuh Efektif ( $H_{eff}$ )

Tinggi jatuh efektif adalah selisih antara elevasi muka air pada bangunan pengambilan atau waduk (EMAW) dengan *tail water level* (TWL) dikurangi dengan total kehilangan tinggi tekan (Ramos, 2000, p.57).

Persamaan tinggi jatuh efektif adalah:

$$H_{eff} = EMAI - TWL - H_{loss} \quad \dots\dots\dots \quad (2-38)$$

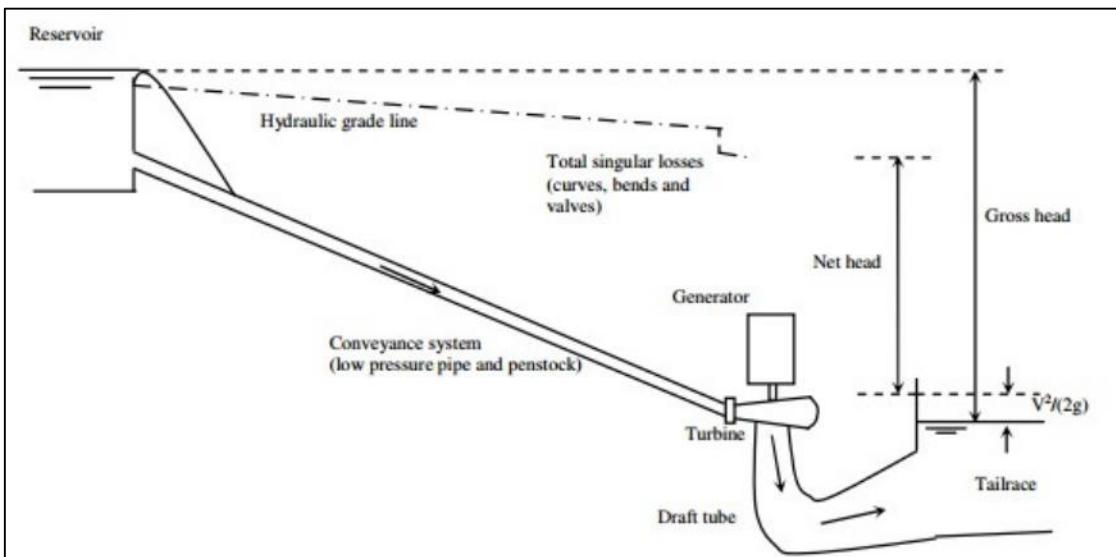
dengan:

$H_{eff}$  = tinggi jatuh efektif (m)

EMAW = elevasi muka air waduk atau hulu bangunan pengambilan (m)

TWL = *tail water level* (m)

$H_{loss}$  = total kehilangan tinggi tekan (m)



Gambar 2.19 Sketsa Tinggi Jatuh efektif

Sumber: Ramos, 2000, p.61)

#### 2.5 Analisa Mekanikal Elektrikal

Mekanikal elektrikal dilakukan dengan tujuan untuk memilih jenis turbin dan komponene elektrik yang sesuai sehingga dapat dioperasikan dengan baik sesuai umur teknis dan mudah dioperasikan oleh operator lokal yang terlatih. (Modul Pelatihan Studi kelayakan Pembangunan Mikrohidro, 2010, p.46)

##### 2.5.1 Turbin Air

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. Berdasarkan prinsip kerjanya, turbin air dibagi menjadi kelompok yang ditunjukkan Tabel 2.5.

Tabel 2.11

## Jenis Turbin

Turbine Runner	Head Pressure		
	High	Medium	Low
<i>Impulse</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pelton</li> <li>- Turgo</li> <li>- Multi-jet</li> <li>Pelton</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- CrossFlow (Michael/Banki)</li> <li>- Turgo</li> <li>- Multi-jet Pelton</li> </ul>	<i>Crossflow (Michael/Banki)</i>
<i>Reaction</i>		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Francis</li> <li>- Pump as Turbine (PAT)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Propeller</li> <li>- Kaplan</li> </ul>

Sumber: Ditjen Listrik dan Pemanfaatan Energi Buku 2C, 2009, p.8

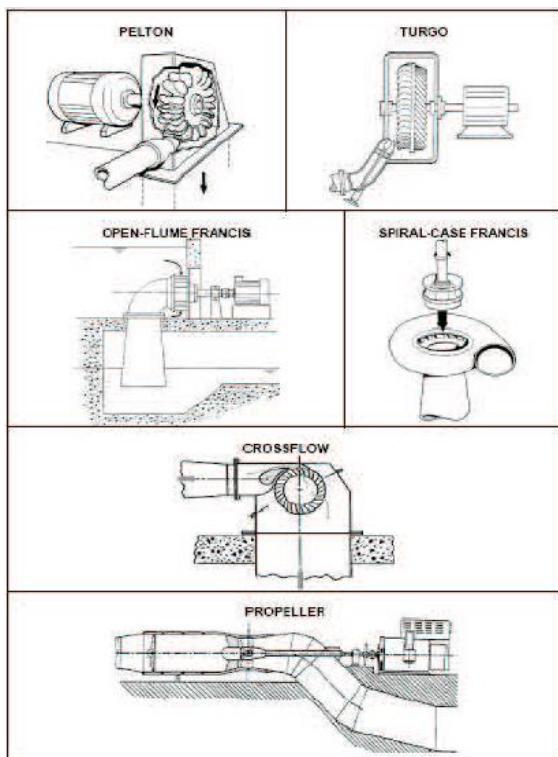
Cara kerja kedua tipe turbin tersebut diuraikan sebagai berikut:

- Turbin Impuls

Merupakan turbin yang dibuat sedemikian sehingga rotor (*runner*) bekerja karena aliran air, di sini beda tinggi diubah menjadi kecepatan karena perbedaan tinggi. Turbin jenis ini meliputi *crossflow*, *pelton*, dan *turgo*, menggunakan tekanan yang sama pada setiap sisi sudut geraknya dimana bagian turbin yang berputar.

- Turbin Reaksi

Turbin ini meliputi jenis *francis* dan *kaplan/propeller*, menggunakan energi kinetik dan tekanan dikonversikan di *runner*. Secara umum, jenis turbin ini tidak menerima tumbukan dan hanya mengikuti aliran air.



Gambar 2.20 Jenis Turbin

Sumber: Ditjen Listrik dan Pemanfaatan Energi Buku 2C, 2009, p.9

### 2.5.1.1 Pemilihan Tipe Turbin Air

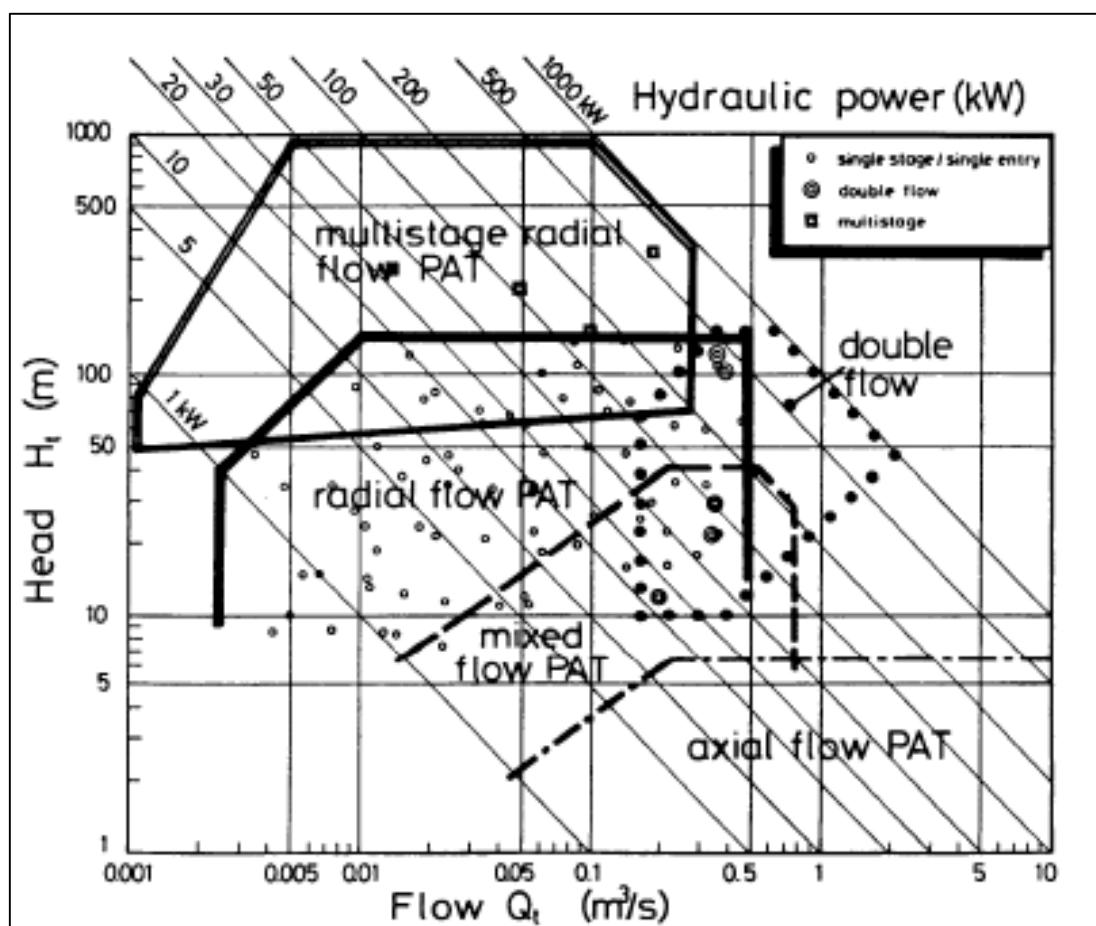
Pemilihan turbin air berdasarkan tinggi jatuh pada lokasi, sehingga didapatkan dari grafik atau tabel yang sudah ditentukan.

Tabel 2.12

Klasifikasi Tinggi Jatuh

Jenis Turbin	Variasi Head (m)
<i>Kaplan dan Propeller</i>	$2 < H < 20$
<i>Francis</i>	$10 < H < 350$
<i>Pelton</i>	$50 < H < 1000$
<i>Crossflow</i>	$6 < H < 100$
<i>Turgo</i>	$50 < H < 250$

Sumber: Modul Pelatihan Studi kelayakan Pembangunan Mikrohidro, 2010, p.47



Gambar 2.21 Grafik Pemilihan Turbin

Sumber: *Manual On Pumps Used As Turbines*, 1992, p.15)

Perancangan dan pemilihan sebuah turbin air yang baik tergantung pada:

1. Head yang tersedia
2. Daya yang diharapkan sesuai debit dan head yang tersedia
3. Putaran turbin yang akan diteruskan ke generator

### 2.5.1.2 Karakteristik Turbin Air

Metode yang sering dipakai untuk memilih jenis turbin air adalah dengan menentukan kecepatan spesifiknya. Kecepatan spesifik ( $N_s$ ), merupakan suatu istilah yang dipakai untuk mengelompokkan turbin-turbin atas dasar unjuk kerja dan ukuran perimbangannya. (Modul Pelatihan Studi kelayakan Pembangunan Mikrohidro, 2010, p.56)

Kecepatan spesifik (*Specific speed*) adalah kecepatan turbin model (turbin dengan bentuk sama tetapi skalanya berlainan), yang bekerja pada tinggi satu-satuan jatuh dan dengan debit satu-satuan debit dan menghasilkan daya (*output*) satu-satuan daya. Rumus yang digunakan untuk menentukan  $N_s$  (kecepatan spesifik) adalah sebagai berikut (Dandekar, 1991, p.397):

$$n_{QE} = \frac{2,294}{H^{0,486}} \quad \dots \dots \dots \quad (2-39)$$

$$n = \frac{n_{QE} \times E^{3/4}}{\sqrt{Q}} \quad \dots \dots \dots \quad (2-40)$$

$$n_{max} = 3,2 \times n \quad \dots \dots \dots \quad (2-41)$$



Gambar 2.22 Turbin Jenis Axial Flow PAT

Sumber: Electway Electric, 2013

- Menentukan Diameter Luar Sudu Turbin

$$D_e = 84,5 \times (0,79 + 1,602 \times n_{QE}) \times \frac{\sqrt{H_n}}{60 \times n} \quad \dots \dots \dots \quad (2-42)$$

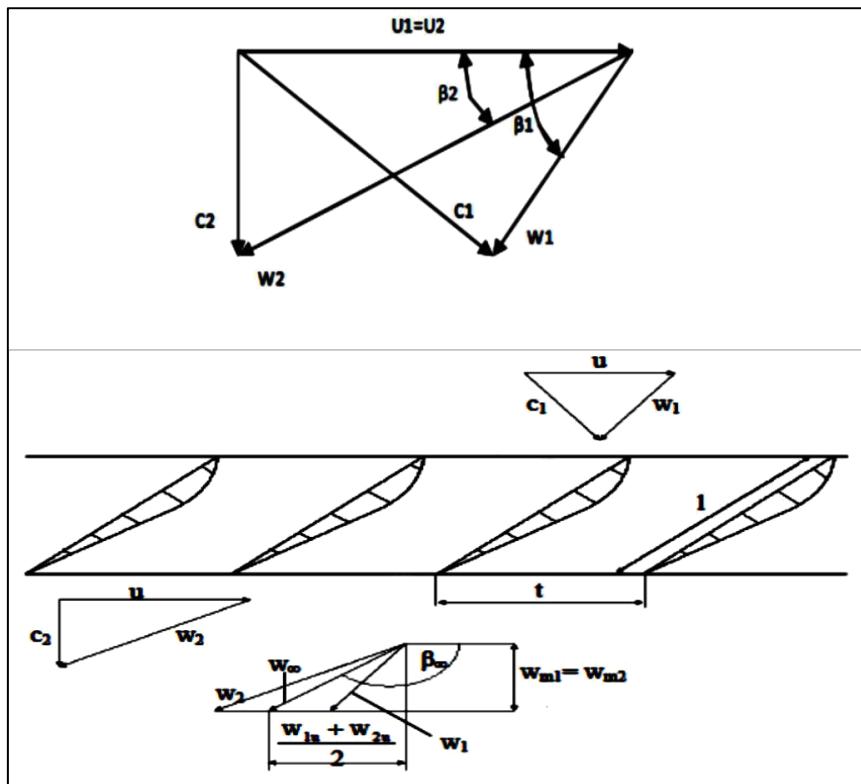
- Menentukan diameter dalam turbin

$$D_i = (0,25 + \frac{0,0951}{n_{QE}}) D_e \quad \dots \dots \dots \quad (2-43)$$

### 2.5.1.3 Dimensi Sudu Turbin

#### 2.5.1.3.1 Segitiga Kecepatan

Segitiga kecepatan, yang terjadi pada sudu mempunyai peran penting dalam menentukan kelengkungan sudu, dalam Gambar (2.10) ditunjukkan segitiga kecepatan.



Gambar 2.23 Segitiga Kecepatan

Sumber: Anonim, 2015, p.15)

$$u = \pi \times n \times d \quad \dots \dots \dots \quad (2-44)$$

$$c_{u1} = \frac{H_1 x g}{u} \quad \dots \dots \dots \quad (2-45)$$

$$W_{u1} = c_{u1} - u \quad \dots \dots \dots \quad (2-46)$$

$$W_u = \frac{W_{u1} + W_{u2}}{2} \quad \dots \dots \dots \quad (2-47)$$

$$W_m = \frac{Q}{A} \quad \dots \dots \dots \quad (2-48)$$

$$W = \sqrt{W_u^2 + W_m^2} \quad \dots \dots \dots \quad (2-49)$$

$$\beta = \text{arc Cos } \frac{W_u}{W} \quad \dots \dots \dots \quad (2-50)$$

dimana:

$U_1$  = kecepatan tengensial air masuk sudu (m/s)

$W_1$  = kecepatan relatif air masuk sudu (m/s)

$C_1$  = kecepatan mutlak air masuk sudu (m/s)

- U<sub>2</sub> = kecepatan tengensial air keluar sudu (m/s)  
 W<sub>2</sub> = kecepatan relatif air keluar sudu (m/s)  
 C<sub>2</sub> = kecepatan mutlak air keluar sudu (m/s)

### 2.5.1.3.2 Menentukan Dimensi Utama Sudu

Untuk menentukan dimensi utama sudu adalah sebagai berikut:

- Langkah 1

Koefisien gaya angkat untuk setiap radius dapat ditentukan dengan persamaan berikut :

$$\zeta_a = \frac{W_2^2 - W_\infty^2 + 2 \times g \times (\frac{p}{\gamma} - H_s - \frac{P_{min}}{\gamma} - \gamma_s - \eta_s \times \left( \frac{C_3^2 - C_4^2}{2g} \right))}{K \times W_\infty^2} \quad \dots \dots \dots \quad (2-51)$$

dimana:

- P<sub>atm</sub> = Tekanan atmosfer (m),  
 H<sub>s</sub> = Tinggi hisapan (m),  
 P<sub>min</sub> = Tekanan minimal air (m),  
 H<sub>s</sub> = Efisiensi energi (m),  
 c<sub>3</sub> = Kecepatan keluaran sudu (m/s),  
 c<sub>4</sub> = Kecepatan keluaran (m/s),  
 K = Nomor karakteristik Profil

Nilai-nilai lain harus diasumsikan tetapi bisa ditemukan dalam referensi dimana rentang untuk nilai-nilai yang diberikan ini adalah sebagai berikut, P<sub>min</sub> = 2 - 2,5, η<sub>s</sub> = 0,88 - 0,91, K = 2,6 - 3.

- Langkah 2: Perbandingan l/t (Panjang Sudu Gerak dengan Jarak Antara Sudu)

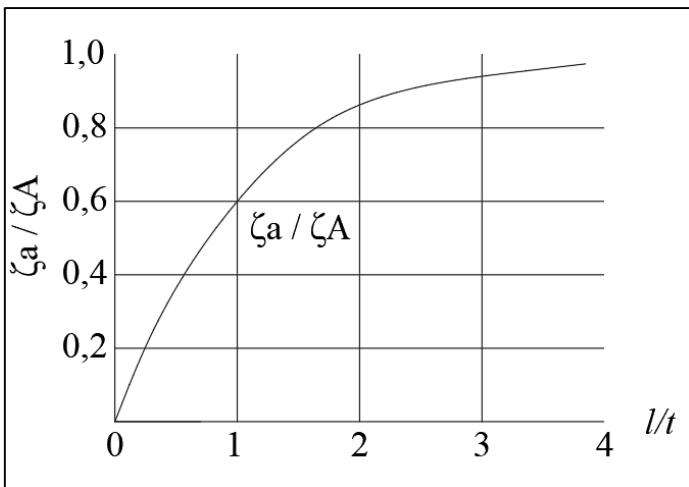
Ketika koefesien angkat diketahui untuk menentukan ketebalan sudu, maka perbandingan l/t dapat ditentukan sebagai berikut:

$$\frac{l}{t} = \frac{\eta \times g \times H}{W_\infty} \times \frac{c_m}{u} \times \frac{\cos \lambda}{\sin(180 - \beta - \lambda)} \times \frac{1}{\zeta_a} \quad \dots \dots \dots \quad (2-52)$$

Dalam persamaan di atas, sudut luncur ( $\lambda$ ) harus diasumsikan, kisaran untuk asumsi sudut luncur adalah  $\lambda=2,5^\circ \div 3^\circ$ . Dengan menggunakan asumsi ini, perkiraan nilai rasio l/t dapat dibentuk.

- Langkah 3: Perhitungan Koefisien Gaya Angkat  $\zeta$

Nilai timbal balik dari perbandingan l/t harus ditetapkan. Melalui nilai timbal balik, rasio koefisien gaya angkat  $\zeta_a/\zeta_A$  dapat dibaca dalam mengikuti Gambar (2.24) Menggunakan rasio ini maka koefisien  $\zeta_A$  dapat dibentuk

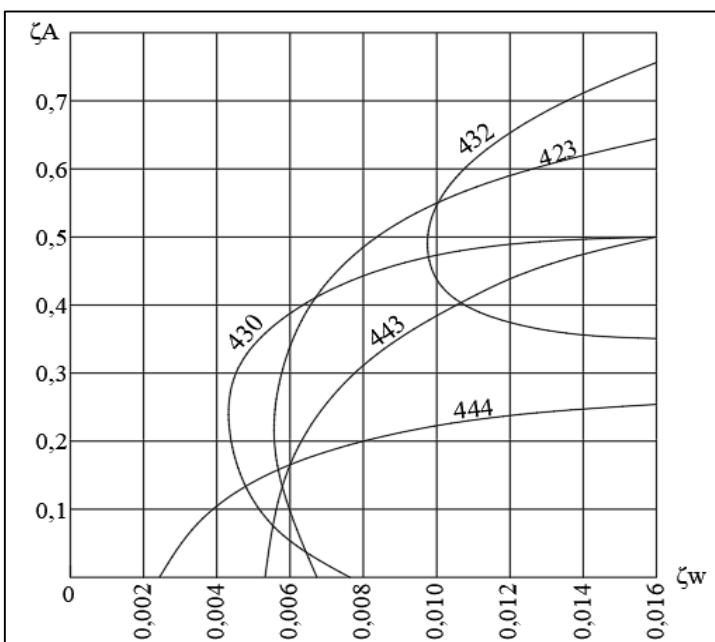


Gambar 2.24 Grafik Menentukan Nilai  $\zeta_a / \zeta_A$

Sumber: Anonim, 2015, p.17)

- Langkah 4: Perhitungan Koefisien Gaya Gesek ( $\zeta_W$ )

Grafik pada gambar berikut memberikan informasi tentang hambatan koefisien gaya gesek ( $\zeta_W$ ) dari profil yang berbeda. Profil sudu dapat dipilih berdasarkan tingkat kesulitan dari bentuk sudu tersebut dan berdasarkan dimensi turbin yang direncanakan, dapat dilihat pada Gambar (2.25)



Gambar 2.25 Grafik Untuk Menentukan Profil Yang Akan Digunakan

Sumber: Anonim, 2015, p.18)

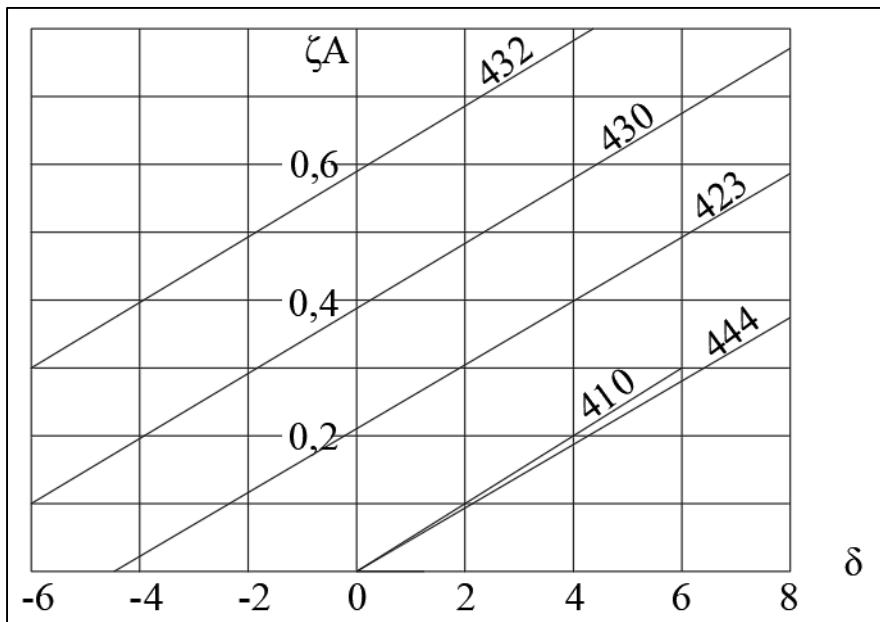
- Langkah 5: Perhitungan Sudut Luncur ( $\lambda$ )

Sudut luncur dihitung untuk menentukan ketebalan dari diameter dalam sudu turbin, digunakan persamaan berikut:

$$\lambda = \tan^{-1} \frac{\zeta_W}{\zeta_A} \dots \dots \dots \quad (2-53)$$

- Langkah 6: Perhitungan Sudut Serang ( $\delta$ )

Sudut serang dihitung untuk menentukan ketebalan dari diameter luar sudu turbin, untuk menentukan ketebalan dari sudu turbin maka dapat digunakan dari Gambar (2.26)



Gambar 2.26 Grafik Untuk Menentukan Sudut Serang

Sumber: Anonim, 2015, p.18)

### 2.5.2 Generator

Generator merupakan komponen yang berfungsi merubah energi mekanik berupa putaran menjadi energi listrik. Generator diputar oleh turbin melalui kopel langsung atau melalui puley dan sabuk (*belt*). Ada dua jenis generator yang banyak digunakan untuk PLTMH yaitu generator sinkron dan motor induksi sebagai generator (generator induksi). (Modul Pelatihan Studi kelayakan Pembangunan Mikrohidro, 2010, p.54)

Tabel 2.13

Pemilihan Generator berdasarkan Daya

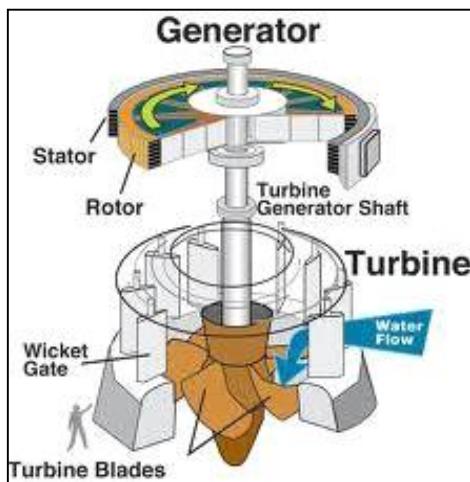
Daya Terpasang	< 10 kW	10 – 30 kW	> 30 kW
Tipe Generator	Sinkron atau asinkron, satu atau tiga fasa	Sinkron atau asinkron 3 fas	Sinkron 3 fasa
Fasa	1 atau 3	3	3

Sumber: Ditjen Listrik dan Pemanfaatan Energi Buku 2C, 2009, p.25)

Tabel 2.14  
Efisiensi .Generator

Rated Power (kW)	Best Efficiency
10	0,91
50	0,94
100	0,95
250	0,955
500	0,96
1000	0,97

Sumber: Ramos (2000, p.187)



Gambar 2.27 Generator

Sumber: wikipedia.org

### 2.5.3 Perhitungan Daya dan Energi

Keuntungan suatu proyek pembangkit listrik tenaga mikrohidro ditentukan dari besarnya daya yang dibangkitkan dan jumlah energi yang dibangkitkan tiap tahun. Jika tinggi efektif maksimum adalah  $H_{eff}$ (m), debit maksimum turbin adalah  $Q$  ( $m^3/dt$ ), efisiensi dari turbin dan generator masing-masing adalah  $\eta_t$  dan  $\eta_g$  maka daya atau tenaga yang dibangkitkan oleh suatu pembangkit listrik tenaga mikrohidro dapat dihitung dengan persamaan (Arismunandar, 2004, p.19):

$$\text{Daya teoritis} = 9,81 \times Q \times H_{eff} \text{ (kW)} \quad \dots \quad (2-54)$$

$$\text{Daya turbin} = 9,81 \times \eta_t \times Q \times H_{eff} \text{ (kW)} \quad \dots \quad (2-54)$$

$$\text{Daya generator} = 9,81 \times \eta_g \times \eta_t \times Q \times H_{eff} \text{ (kW)} \quad \dots \quad (2-55)$$

dengan:

$P$  = Daya yang dihasilkan (kW)

$\eta_g$  = Efisiensi Turbin

$\eta_t$  = Efisiensi Generator







pembongkaran, dan lain-lain juga patut diperhitungkan, rumus empirisnya adalah sebagai berikut :

$$C7 = 1,97 n^{-0,04} \cdot C \cdot R \left( \frac{MW}{Hg^{0,5}} \right)^{0,82} (1 + 0,001Lb)(1 + 0,005 \frac{Ld}{Hg}) \times 10^6 \dots\dots\dots\dots\dots\dots (2-70)$$

dengan:

C7 = estimasi biaya pekerjaan sipil (\$kanada)

C = koefisien pekerjaan sipil (0,44 jika terdapat bendungan/bendung existing, 1 jika tidak ada bendungan/bendung existing)

R = faktor batuan (1 jika terdapat batuan, 1,05 jika tidak terdapat batuan)

Lb = jarak menuju *borrow area* (meter)

Ld = panjang bendungan/bendung (meter)

## 8. Pipa pesat (C8)

Berdasarkan harga pipa terbaru Maret 2018, pipa besi seharga Rp 1.035.000,-/meter.

## 9. Biaya pekerjaan lain-lain (C8)

Pekerjaan lain-lain adalah konstruksi lain yang tidak tergolong utama, dapat dikatakan konstruksi ini hanya pelengkap dari PLTM/PLTMH. Persamaan empiris untuk estimasi biaya adalah sebagai berikut :

$$C8 = 0,25 \cdot i \cdot Qd^{0,35} \times 1,1 \sum C1: C7 + 0,1 \sum C1: C7 \dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots (2-71)$$

dengan,

C8 : estimasi biaya pekerjaan lain-lain (\$kanada)

i : suku bunga

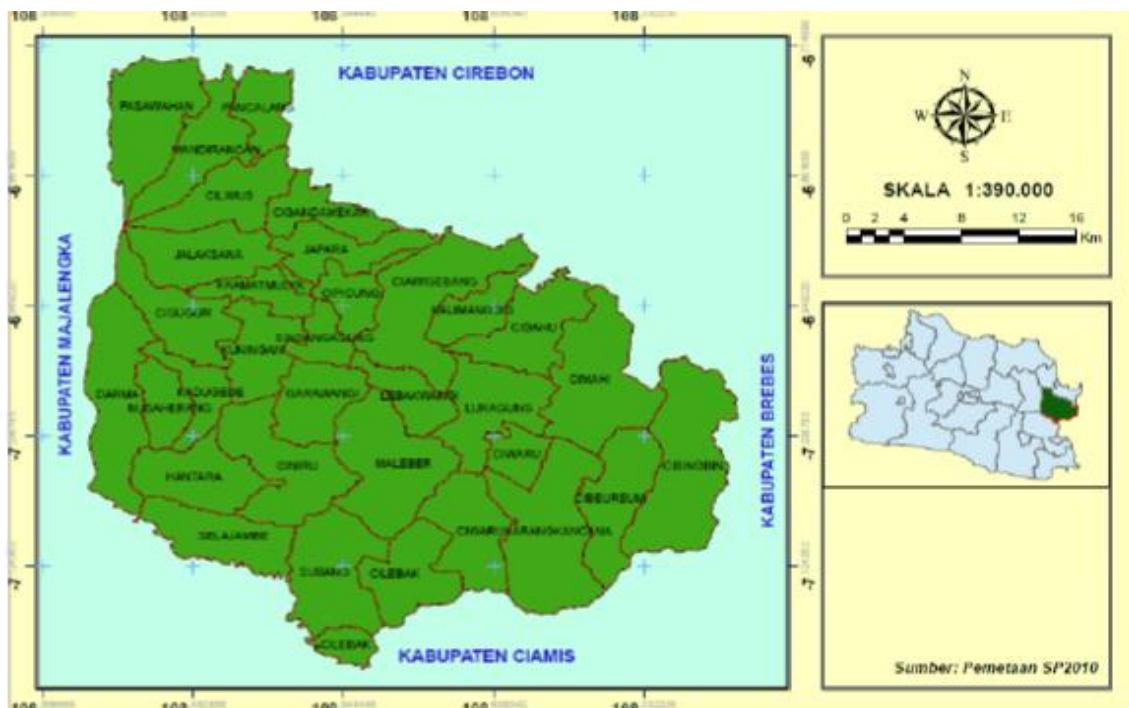
Kemudian hasil estimasi biaya langsung dikonversikan dari \$kanada ke dalam mata uang rupiah (IDR) adapun kurs \$kanada ke rupiah per 19 Desember 2017 adalah Rp. 10.556,11,00. Sehingga biaya yang dapat diestimasi adalah dihitung dari jumlah keseluruhan C1 sampai dengan C7 yang di konversikan ke nilai rupiah.

Halaman ini sengaja dikosongkan

## BAB III

### METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1 Deskripsi Daerah Studi



Gambar 3.1 Peta Kabupaten Kuningan

Sumber: Kabupaten Kuningan Dalam Angka 2016

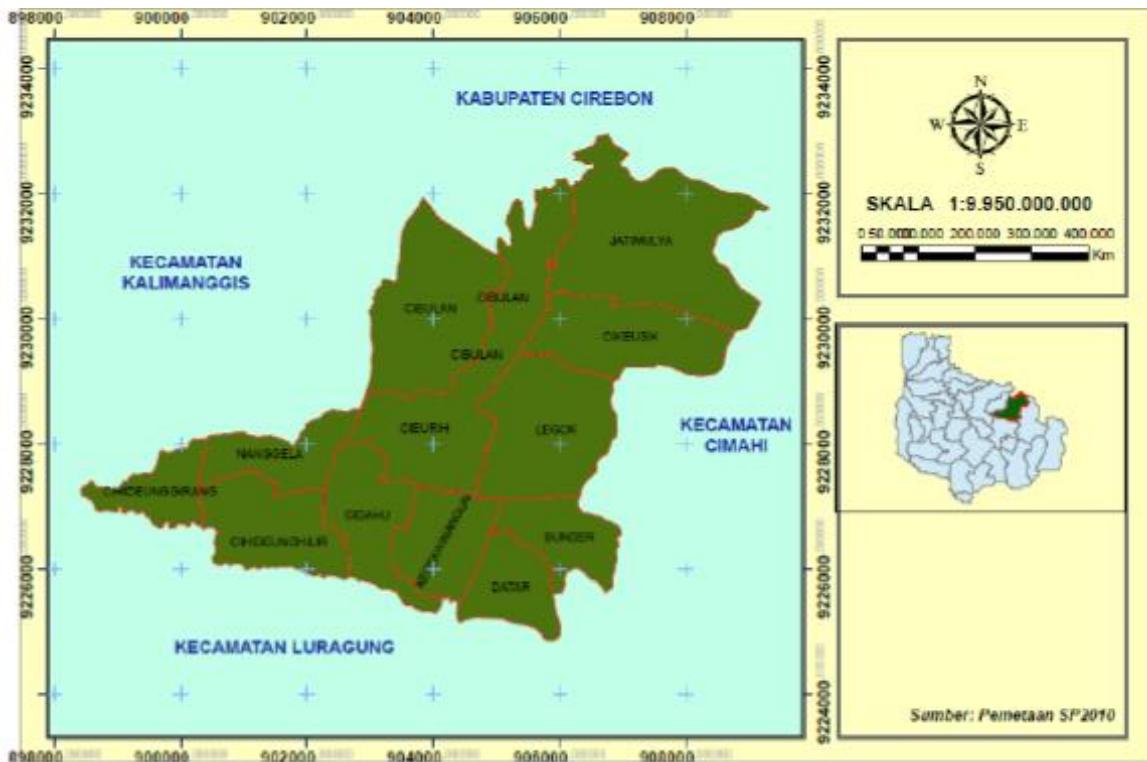
Kabupaten Kuningan terletak di bagian timur Provinsi Jawa Barat dengan luas wilayah 1.195,7112 Km<sup>2</sup> terletak pada titik koordinat 108° 23' - 108° 47' Bujur Timur dan 6° 47' - 7° 12' Lintang Selatan. Sedangkan ibu kotanya terletak pada titik koordinat 6° 45' - 7° 50' Lintang Selatan dan 105° 20' - 108° 40' Bujur Timur.

Dilihat dari posisi geografinya terletak di bagian timur Jawa Barat berada pada lintasan jalan regional yang menghubungkan kota Cirebon dengan wilayah Priangan Timur dan sebagai jalan alternatif jalur tengah yang menghubungkan Bandung-Majalengka dengan Jawa Tengah. Batas wilayah Kabupaten Kuningan terdiri atas :

- Sebelah utara : Kabupaten Cirebon Provinsi Jawa Barat
- Sebelah timur : Kabupaten Brebes Provinsi Jawa Tengah
- Sebelah selatan : Kabupaten Ciamis Provinsi Jawa Barat dan Kabupaten Cilacap Provinsi Jawa Tengah

- Sebelah barat : Kabupaten Majalengka Provinsi Jawa Barat

Kabupaten Kuningan terdiri atas 32 Kecamatan, 15 Kelurahan dan 361 Desa



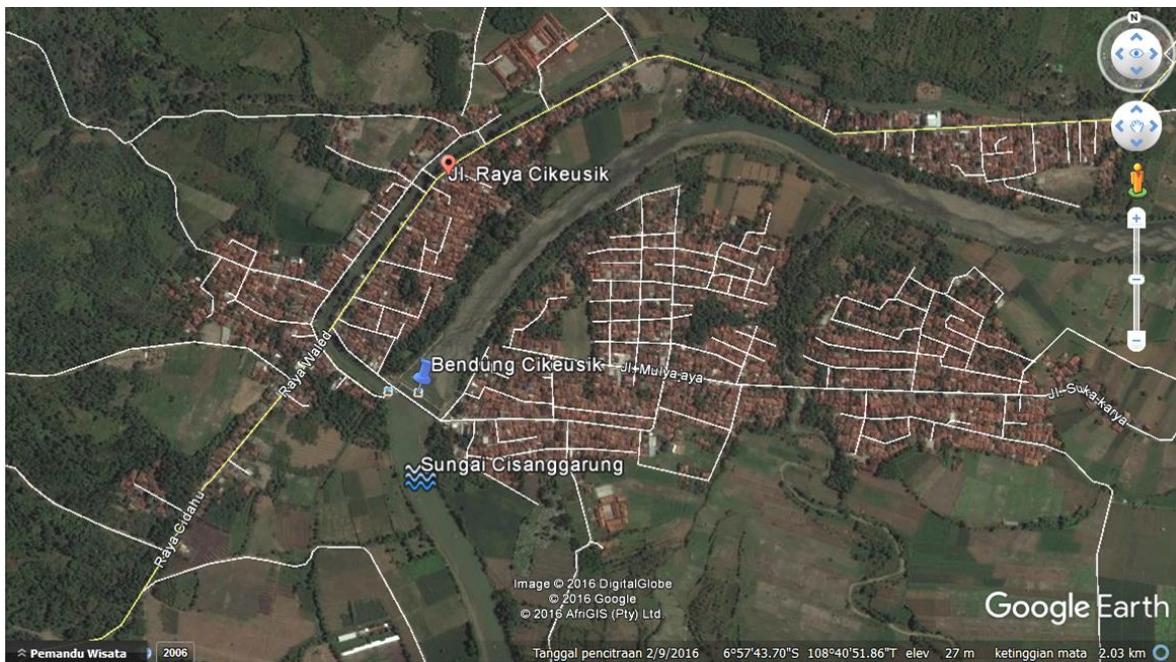
Gambar 3.2 Peta Kecamatan Cidahu

Sumber: Kecamatan Cidahu Dalam Angka 2016

Kecamatan Cidahu terletak pada  $6^{\circ}57'32''$  sampai  $6^{\circ}59'34''$  Lintang Selatan dan  $108^{\circ}29'46''$  sampai  $108^{\circ}40'51''$  Bujur Timur. Wilayahnya berbatasan dengan Kecamatan Waled Kabupaten Cirebon di sebelah Utara dan sebelah Timur, Kecamatan Kalimanggis dan Kecamatan Ciawi gebang di sebelah barat, Kecamatan.Cimahi dan Kecamatan Luragung di sebelah Selatan.

Dilihat dari keadaan topografinya, Kecamatan Cidahu memiliki ketinggian bervariasi yaitu antara 260 sampai dengan 300 meter di atas permukaan laut. Sebagian besar wilayah Kecamatan Cidahu merupakan lereng/perbukitan. Dengan adanya daerah yang cenderung berupa perbukitan dan pegunungan ini menyebabkan banyak sumber air tanah dan sumber-sumber mata air yang telah diketahui potensinya.

Jumlah penduduk di Kecamatan Cidahu pada tahun 2015 tercatat sebanyak 45.083 jiwa. Terdiri dari 23.371 penduduk laki-laki dan 21.712 penduduk perempuan. Angka rata-rata kepadatan penduduk Kecamatan Cidahu sebesar 1.227 jiwa/km<sup>2</sup>. Komposisi penduduk didominasi oleh penduduk pada kelompok usia 14 - 59 tahun. Hal ini menunjukkan jumlah angkatan kerja di Kecamatan Cidahu cukup tinggi.



Gambar 3.3 Keadaan Bendung Cikeusik dari Satelit pada Koordinat 06°57'46,65" Selatan dan 108°40'50,33" Timur

Sumber: Google Earth, 2017

Bendung Cikeusik merupakan bendung tetap yang membendung sungai Cisanggarung, berlokasi di perbatasan antara Kabupaten Cirebon dan Kabupaten Kuningan dengan lebar 93,30 meter dan koordinat 06°57'46,65" Selatan dan 108°40'50,33" Timur yang terletak pada BM.01. Pada Bendung Cikeusik terdapat intake kiri, yaitu Saluran Induk Cikeusik yang mengairi areal pengairan seluas 6.967 Ha. Sesuai Permen PUPR No.14 tahun 2015, dengan luas areal layanan sebesar 87.803 Ha, Bendung Cikeusik merupakan salah satu infrastruktur kewenangan pusat karena areal layanannya lebih dari 3000 Ha.

Secara visual kuantitas debit pada musim kemarau dapat dikatakan aman atau tidak kering, debit minimum  $5,23 \text{ m}^3/\text{dt}$ , dimensi saluran induk dengan lebar 12 meter, potensi beda tinggi sebesar kurang lebih 4 meter dan tingginya tanggul pada saluran primer sebelum melewati jalan dapat menjadi potensi untuk dikembangkannya pembangkit listrik tenaga air.



*Gambar 3.4 Kondisi Sungai Cisanggarung dan Saluran Intake Bendung Cikeusik*  
Sumber: Hasil Survey, 2017

### 3.2 Kebutuhan Data

Dalam studi perencanaan ini diperlukan data-data penunjang untuk melakukan analisis perhitungan. Data-data yang diperlukan pada studi perencanaan adalah sebagai berikut:

1. Data Debit

Pada studi ini menggunakan data debit selama 11 tahun, yaitu tahun 2004-2014. Data tersebut digunakan untuk perhitungan hidrologi, yaitu untuk menghitung debit andalan.

2. Peta Topografi Wilayah.Studi

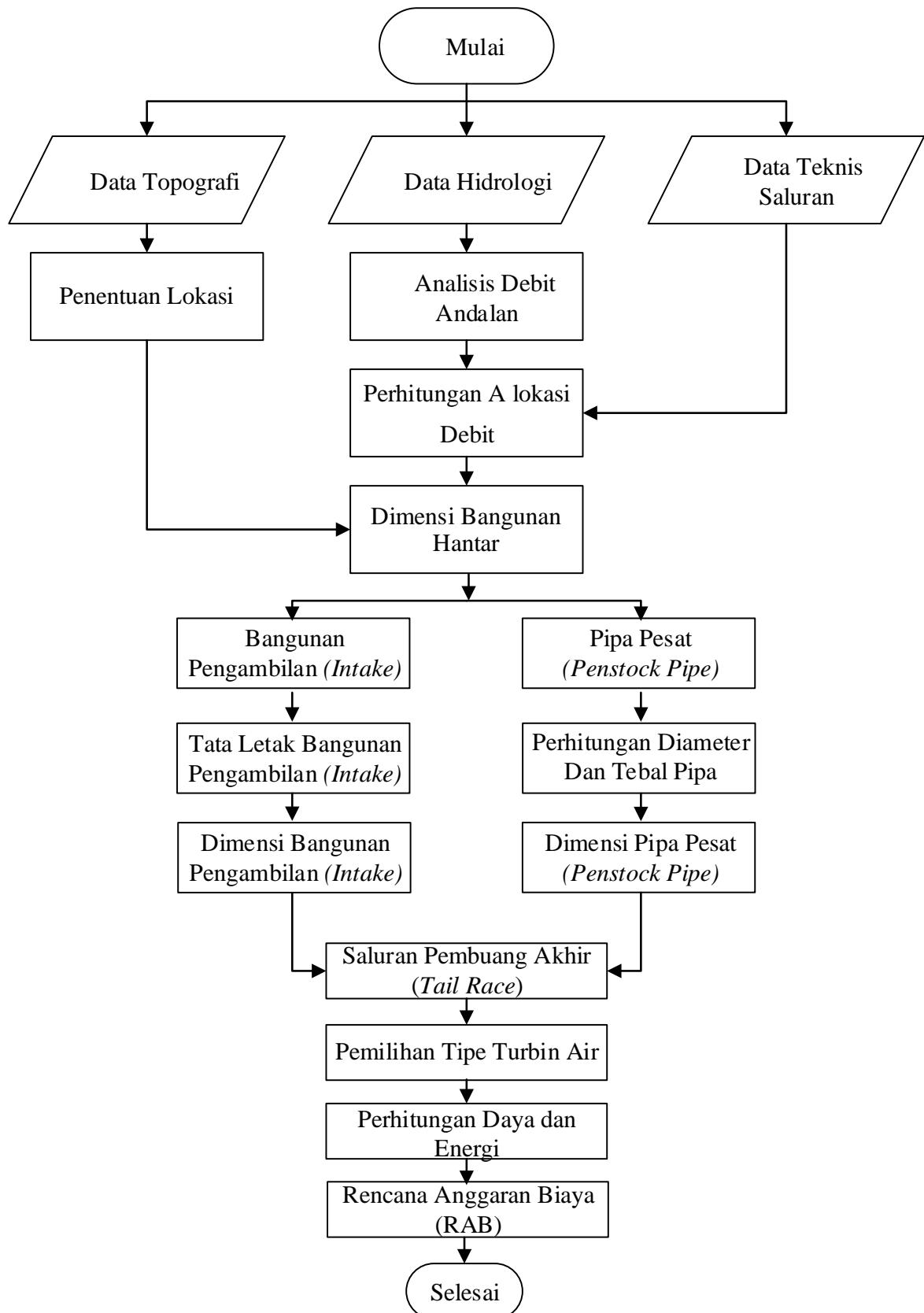
Peta topografi digunakan untuk menggambarkan kondisi permukaan tanah dalam bentuk kontur dan mengetahui elevasi pada daerah tersebut.

### 3.3 Tahapan Penyelesaian

Untuk menyelesaikan studi perencanaan PLTMH Cikeusik ini sehingga dapat mencapai maksud dan tujuan yang diharapkan, maka tahapan perhitungan dan analisis yang dilakukan dengan data-data yang dibutuhkan sebagai berikut:

1. Analisa Hidrologi
  - i. Menghitung debit andalan menggunakan metode *Flow Duration Curve*.
  - ii. Menentukan tinggi jatuh.
2. Penentuan Lokasi
3. Analisa Hidrolika
  - i. Melakukan perhitungan untuk bangunan pengambilan (intake), saluran pembawa (headrace), bak penenang (forebay), Saluran Pembuang (*Tail Race*).
  - ii. Menghitung tebal dan diameter pipa pesat (penstock pipe).
4. Analisa Elektrikal Mekanikal
  - i. Menentukan turbin yang digunakan.
  - ii. Menghitung kebutuhan daya masyarakat Desa Cikeusik dan besar daya yang akan dihasilkan PLTMH Cikeusik.
5. Analisa Ekonomi
  - i. Menghitung Rencana Anggaran Biaya (RAB) pada perencanaan PLTMH Cikeusik

### 3.4 Flow Chart Perencanaaan



Gambar 3.5 Diagram Alir Penggerjaan Skripsi

Sumber: Penulis, 2017

Tabel 3.1

Matriks Pekerjaan PLTMH Cikeusik

No	Elemen	Variabel	Metode	Hasil
1	Bangunan Pengambilan ( <i>Intake</i> )	- Data Topografi(Elevasi) - Data Hidrologi (Debit Saluran) - Data Teknis Saluran (Karakteristik Saluran)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Analisis Debit dan Tinggi Muka Air <ul style="list-style-type: none"> <li>- Q minimum Saluran</li> <li>- Q normal Saluran</li> <li>- Q maksimum saluran</li> </ul> </li> <li>Analisis Tata Letak (<i>Intake</i>) <ul style="list-style-type: none"> <li>- Harus Aman terhadap aliran yang kuat</li> <li>- Kualitas air harus banyak</li> <li>- Tidak berada pada cekungan</li> </ul> </li> </ul>	Berupa Dimensi Bangunan Pengambilan ( <i>Intake</i> )
2	Saluran Pembawa Air ( <i>Headrace</i> )	- Data Topografi (Elevasi) - Data Hidrologi (Debit Saluran)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Perhitungan Kecepatan  <math display="block">V = \frac{1}{n} \times R^{2/3} \times S^{1/2}</math> </li> </ul>	Letak saluran pembawa dan tinggi muka air di saluran
3	Pipa Pesat ( <i>Penstock</i> )	- Data Topografi (Elevasi Titik Lokasi) - Data Hidrologi (Debit andalan)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Analisis Diameter Pipa Pesat  <math display="block">d = 2,69 \times \left( \frac{n^2 \times Q^2 \times L}{H} \right)^{1,875}</math> </li> <li>Analisis Tebal Pipa Pesat  <math display="block">t = \frac{P \times r \times 1000}{q}</math> </li> </ul>	Berupa Dimensi Pipa Pesat
4	Penentuan Saluran Pembuang Akhir ( <i>Tail Race</i> )	- Data Topografi (Elevasi Dasar Saluran) - Data Hidrologi (Debit Keluaran dari Turbin)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Analisis Tinggi Air pada afterbay  <math display="block">hc = \left( \frac{1,1 \times Qd^2}{9,8 \times b^2} \right)^{1/3}</math> </li> <li>Analisis Lebar inlet  <math display="block">bo = 4,9 \times \frac{Q}{\sqrt{H_{net}}}</math> </li> </ul>	Berupa Elevasi Tinggi Muka Air

Lanjutan Tabel 3.1  
Matriks Pekerjaan PLTMH Cikeusik

†

No	Elemen	Variabel	Metode	Hasil
5	Pemilihan Jenis Turbin	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Data Topografi(Tinggi Jatuh)</li> <li>- Data Hidrologi (Debit andalan)</li> <li>- Efisiensi Turbin dan Generator</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Berdasarkan grafik pemilihan Jenis Turbin</li> <li>• Berdasarkan klasifikasi tinggi jatuh</li> </ul>	Berupa turbin yang sesuai dengan klasifikasi
6	Penentuan Daya dan Energi	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Data Hidrologi (Debit andalan)</li> <li>- Data Topografi (Tinggi Jatuh efektif)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Analisis Daya Turbin  <math>P = 9,81 \times \eta_t \times Q \times H_{eff}</math></li> <li>• Analisis Daya Generator  <math>P = 9,81 \times \eta_g \times \eta_t \times Q \times H_{eff}</math></li> <li>• Analisis Energi Listrik  <math>E = \sum p \times n_g \times N_s</math></li> </ul>	Berupa Daya atau Energi Listrik
7	Rencana Anggaran Biaya (RAB)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Komponen biaya (<i>Cost</i>)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Analisis Biaya bangunan PLTMH</li> </ul>	Rincihan biaya yang diperlukan untuk bahan dan upah serta biaya lainnya untuk PLTMH Cikeusik

Sumber: Hasil Analisa, 2017

## BAB IV

### ANALISA DATA DAN PERENCANAAN

#### **4.1 Analisis Hidrologi**

Data debit untuk pengolahan hidrologi dapat diperoleh dari debit Sungai Cisanggarung

Tabel 4.1  
Data Debit Sungai Cisanggarung

No.	Tahun	Bulan											
		Januari	Februari	Maret	April	Mei	Juni	Juli	Agustus	September	Okttober	Nopember	Desember
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	2004	53,878	29,234	62,643	21,031	19,859	6,060	10,800	1,810	4,174	1,295	8,436	28,935
2	2005	36,918	51,410	49,199	56,813	19,858	23,686	18,200	2,007	4,583	6,691	6,481	26,939
3	2006	58,702	57,836	31,433	42,018	25,971	6,591	1,486	1,781	0,861	0,198	2,892	20,085
4	2007	29,251	47,925	47,884	36,244	24,823	11,788	5,598	3,494	2,259	1,679	2,291	9,305
5	2008	28,163	35,233	35,603	30,037	16,389	6,803	1,641	1,562	1,138	1,203	0,184	23,252
6	2009	54,106	66,380	42,280	32,600	29,039	22,354	4,643	2,226	1,230	3,940	8,062	20,297
7	2010	50,515	72,581	50,553	56,772	61,233	30,352	17,846	17,050	39,641	40,775	61,550	76,202
8	2011	34,634	58,391	74,738	70,380	58,079	21,128	8,307	2,769	1,953	4,316	13,588	23,778
9	2012	37,064	59,719	62,978	40,588	19,716	5,534	2,995	1,054	1,310	2,869	8,295	28,199
10	2013	44,729	41,130	54,358	50,846	31,108	35,582	40,007	5,260	3,070	5,596	14,291	40,082
11	2014	37,358	51,499	59,781	46,301	0,000	0,000	6,238	5,711	1,747	0,710	3,667	14,450

Sumber: Laporan Pekerjaan, 2016

#### **4.1.1 Analisa Debit Andalan**

Guna mendapatkan kapasitas PLTMH, tidak terlepas dari perhitungan berapa banyak air yang dapat diandalkan untuk membangkitkan PLTMH. Debit andalan adalah debit minimum yang masih dimungkinkan untuk keamanan operasional suatu bangunan air dalam PLTMH.

Debit minimum sungai dianalisis atas dasar debit andalan. Dalam perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro ini, dikarenakan minimalnya data, maka perhitungan debit andalan menggunakan probabilitas yang dihitung dengan persamaan Weibull.

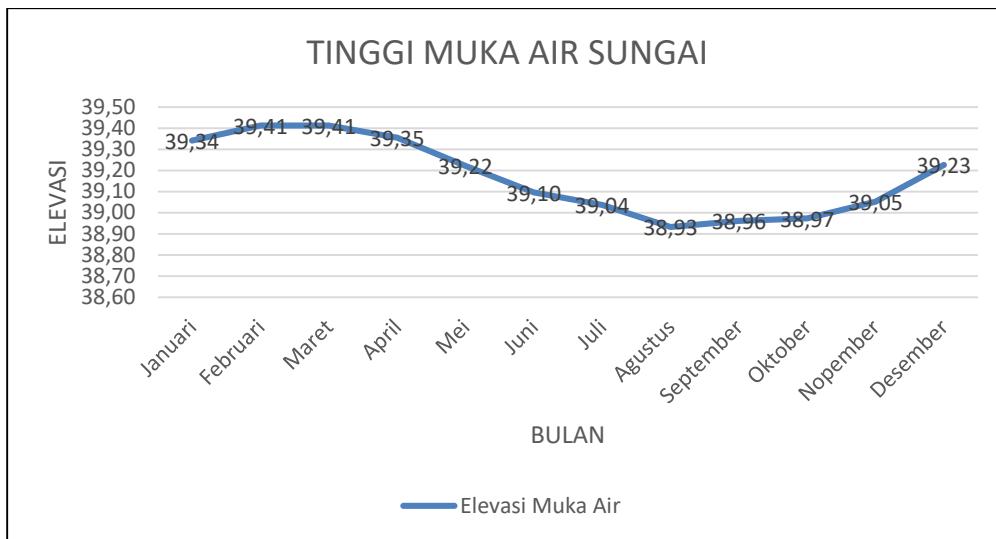
##### **4.1.1.1 Pemilihan Debit Andalan Metode *Flow Duration Curve* (Lengkung Durasi Aliran)**

Menurut Suyono Sosrodarsono, secara umum besarnya debit andalan berdasarkan kondisi debit dibedakan menjadi 4. Pembagian karakteristik debit sungai tersebut antara lain:

1. Debit air cukup, yaitu debit yang dilampaui oleh debit-debit sebanyak 95 hari dalam setahun ( $P = \frac{95}{365} \times 100\% = 26,0\%$ ).







Gambar 4.1 Tinggi Muka Air Sungai Cikeusik

Sumber: Hasil Perhitungan, 2017

Dimensi penampang sungai di hitung dengan menggunakan rumus-rumus perhitungan aliran seragam pada saluran terbuka. Perhitungan dimensi saluran pembawa, digunakan rumus Manning:

- ✓ Q desain ( $Q_{90}$ ) =  $1,509 \text{ m}^3/\text{dt}$
- ✓ Kecepatan maksimum =  $2 \text{ m}/\text{dt}$
- ✓ Kemiringan saluran ( $I$ ) =  $0,001$
- ✓ Koefesien Manning =  $0.025$  (pasangan batu)
- ✓ Lebar saluran =  $93,30 \text{ m}$
- ✓ Kemiringan talud =  $1$

Dari parameter diatas direncanakan dimensi penampang sungai, dengan cara coba-coba nilai  $h$  dan menyesuaikan debit rencana. Untuk perhitungannya digunakan nilai  $h=0,54 \text{ m}$ , perhitungan sebagai berikut:

- ✓ Menghitung luas penampang ( $A$ ) =  $(b + mh)h$ 

$$= (93,30 + 1 \times 0,54) 0,54$$

$$= 50,88 \text{ m}^2$$
- ✓ Keliling basah ( $P$ ) =  $b + 2 \times h \sqrt{1 + m^2}$ 

$$= 93,30 + 2 \times 0,54 \sqrt{1 + 1^2}$$

$$= 95,469 \text{ m}$$
- ✓ Jari-jari hidrolis ( $R$ ) =  $\left( \frac{(b + mh)h}{b + 2 \times h \sqrt{1+m^2}} \right)$ 

$$= \left( \frac{(93,30 + 1 \times 0,54) 0,54}{93,30 + 2 \times 0,54 \sqrt{1+1^2}} \right)$$

$$= 0,533 \text{ m}$$

✓ Menghitung debit (Q)

$$\begin{aligned}
 &= \frac{1}{n} \times R^{2/3} \times S^{1/2} \\
 &= \frac{1}{0,025} \times 0,533^{2/3} \times 0,001^{1/2} \\
 &= 42,30 \text{ m}^3/\text{detik}
 \end{aligned}$$

Tabel 4.4

Probabilitas Debit Sungai Cisanggarung Bendung Cikeusik (%)

No. 1	Q (m <sup>3</sup> /dt) 2	Prob (%) 3	No. 1	Q (m <sup>3</sup> /dt) 2	Prob (%) 3	No. 1	Q (m <sup>3</sup> /dt) 2	Prob (%) 3
1	76,202	0,752	45	35,233	33,835	89	6,481	66,917
2	74,738	1,504	46	34,634	34,586	90	6,238	67,669
3	72,581	2,256	47	32,600	35,338	91	6,060	68,421
4	70,380	3,008	48	31,433	36,090	92	5,711	69,173
5	66,380	3,759	49	31,108	36,842	93	5,598	69,925
6	62,978	4,511	50	30,352	37,594	94	5,596	70,677
7	62,643	5,263	51	30,037	38,346	95	5,534	71,429
8	61,550	6,015	52	29,251	39,098	96	5,260	72,180
9	61,233	6,767	53	29,234	39,850	97	4,643	72,932
10	59,781	7,519	54	29,039	40,602	98	4,583	73,684
11	59,719	8,271	55	28,935	41,353	99	4,316	74,436
12	58,702	9,023	56	28,199	42,105	100	4,174	75,188
13	58,391	9,774	57	28,163	42,857	101	3,940	75,940
14	58,079	10,526	58	26,939	43,609	102	3,667	76,692
15	57,836	11,278	59	25,971	44,361	103	3,494	77,444
16	56,813	12,030	60	24,823	45,113	104	3,070	78,195
17	56,772	12,782	61	23,778	45,865	105	2,995	78,947
18	54,358	13,534	62	23,686	46,617	106	2,892	79,699
19	54,106	14,286	63	23,252	47,368	107	2,869	80,451
20	53,878	15,038	64	22,354	48,120	108	2,769	81,203
21	51,499	15,789	65	21,128	48,872	109	2,291	81,955
22	51,410	16,541	66	21,031	49,624	110	2,259	82,707
23	50,846	17,293	67	20,297	50,376	111	2,226	83,459
24	50,553	18,045	68	20,085	51,128	112	2,007	84,211
25	50,515	18,797	69	19,859	51,880	113	1,953	84,962
26	49,199	19,549	70	19,858	52,632	114	1,810	85,714
27	47,925	20,301	71	19,716	53,383	115	1,781	86,466
28	47,884	21,053	72	18,200	54,135	116	1,747	87,218
29	46,301	21,805	73	17,846	54,887	117	1,679	87,970
30	44,729	22,556	74	17,050	55,639	118	1,641	88,722
31	42,280	23,308	75	16,389	56,391	119	1,562	89,474
32	42,018	24,060	76	14,450	57,143	120	1,486	90,226
33	41,130	24,812	77	14,291	57,895	121	1,310	90,977
34	40,775	25,564	78	13,588	58,647	122	1,295	91,729
35	40,588	26,316	79	11,788	59,398	123	1,230	92,481
36	40,082	27,068	80	10,800	60,150	124	1,203	93,233

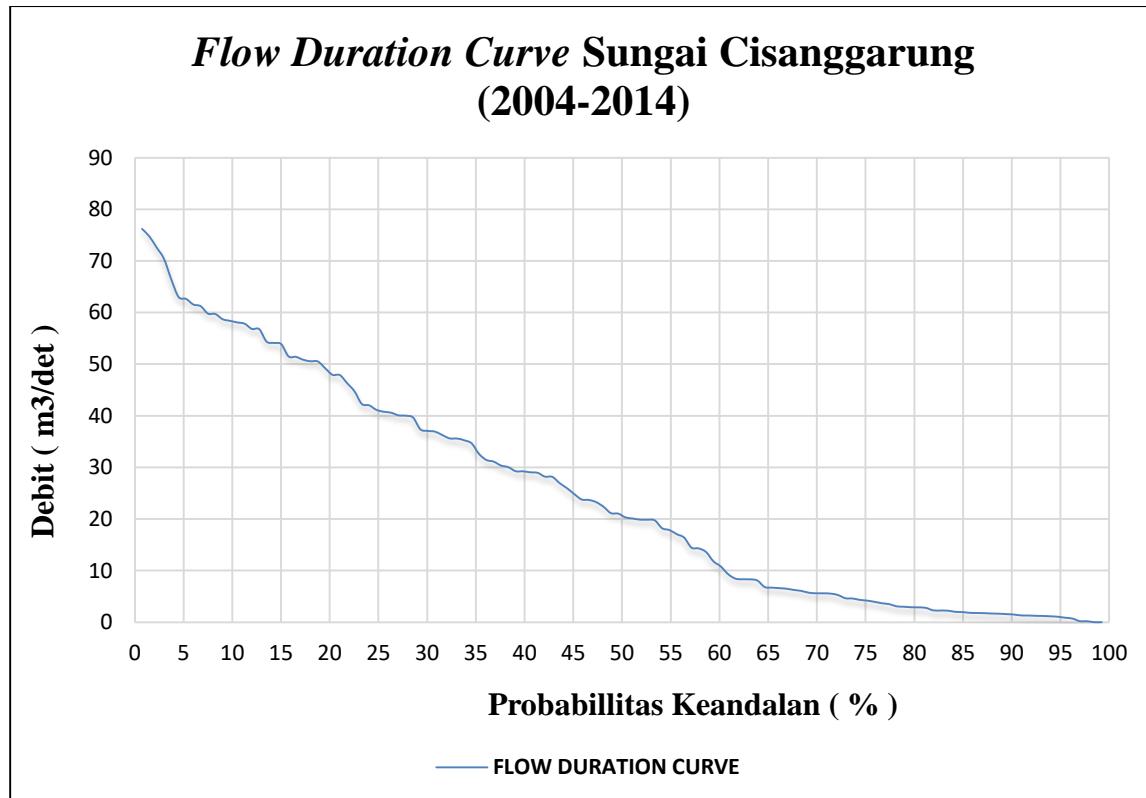
Lanjutan Tabel 4.4  
Probabilitas Debit Sungai Cisanggarung Bendung Cikeusik (%)

No. 1	Q (m <sup>3</sup> /dt) 2	Prob (%) 3	No. 1	Q (m <sup>3</sup> /dt) 2	Prob (%) 3	No. 1	Q (m <sup>3</sup> /dt) 2	Prob (%) 3
37	40,007	27,820	81	9,305	60,902	125	1,138	93,985
38	39,641	28,571	82	8,436	61,654	126	1,054	94,737
39	37,358	29,323	83	8,307	62,406	127	0,861	95,489
40	37,064	30,075	84	8,295	63,158	128	0,710	96,241
41	36,918	30,827	85	8,062	63,910	129	0,198	96,992
42	36,244	31,579	86	6,803	64,662	130	0,184	97,744
43	35,603	32,331	87	6,691	65,414	131	0,000	98,496
44	35,582	33,083	88	6,591	66,165	132	0,000	99,248

Sumber: Hasil Perhitungan, 2017

**Keterangan:**

- (1) No.
- (2) Q Sungai Cisanggarung (m<sup>3</sup>/dt)
- (3) Probabilitas %



Gambar 4.2 Flow Duration Curve Sungai Cisanggarung

Sumber: Hasil Perhitungan, 2017

Tabel 4.5  
Debit Andalan Terurut

No.	Prob (%)	Q ( $\text{m}^3/\text{dt}$ )	Kondisi Debit Sungai
			4
1	5	62,760	Tersedia 5% dalam setahun
2	10	58,297	Tersedia 10% dalam setahun
3	15	53,889	Tersedia 15% dalam setahun
4	20	48,434	Tersedia 20% dalam setahun
5	26	40,569	Tersedia 26% dalam setahun (Debit Air Cukup)
6	30	37,093	Tersedia 30% dalam setahun
7	35	33,515	Tersedia 35% dalam setahun
8	40	29,195	Tersedia 40% dalam setahun
9	45	24,995	Tersedia 45% dalam setahun
10	51	19,687	Tersedia 51% dalam setahun (Debit Air Normal)
11	55	17,727	Tersedia 55% dalam setahun
12	60	10,347	Tersedia 60% dalam setahun
13	65	6,752	Tersedia 65% dalam setahun
14	70	5,597	Tersedia 70% dalam setahun
15	75	4,210	Tersedia 75% dalam setahun (Debit Air Rendah)
16	80	2,883	Tersedia 80% dalam setahun
17	85	1,946	Tersedia 85% dalam setahun
18	90	1,509	Tersedia 90% dalam setahun (Debit Andalan)
19	95	0,986	Tersedia 95% dalam setahun
20	96	0,758	Tersedia 96% dalam setahun
21	97	0,197	Tersedia 97% dalam setahun (Debit Air Kering)

Sumber: Hasil Perhitungan, 2017

**Keterangan:**

1. Nomor
2. Probabilitas (%)
3. Debit Rencana ( $\text{m}^3/\text{detik}$ )
4. Kondisi Debit Sungai

Debit andalan untuk perhitungan PLTMH yang digunakan 85% - 90% adalah:

$$Q_{80} = 2,883 \text{ m}^3/\text{dt}$$

$$Q_{90} = 1,509 \text{ m}^3/\text{dt}$$

$$Q_{97} = 0,197 \text{ m}^3/\text{dt}$$

Sehingga debit yang digunakan untuk desain bangunan adalah debit 90% yaitu 1,509  $\text{m}^3/\text{dt}$  karena dianggap dapat mencukupi kebutuhan debit untuk pembangkitan.

Tabel 4.6  
Debit Andalan untuk Pembangkitan Daya

No.	Bulan	$Q_{90}$ ( $\text{m}^3/\text{dt}$ )
1	2	3
1	Januari	28,381
2	Februari	30,434
3	Maret	32,267
4	April	22,832
5	Mei	3,278
6	Juni	1,107
7	Juli	1,517
8	Agustus	1,155
9	September	0,916
10	Oktober	0,300
11	Nopember	0,605
12	Desember	10,334

Sumber: Hasil Perhitungan, 2017

#### Keterangan:

1. Nomor
2. Bulan
3. Debit Andalan ( $\text{m}^3/\text{detik}$ )

#### 4.2 Penentuan Debit Pembangkit

Penentuan debit pembangkitan yang dimaksudkan adalah untuk menentukan debit andalan yang mendukung operasi pembangkit listrik secara maksimal. Hasil dari perhitungan penentuan debit pembangkitan yang akan digunakan sebagai dasar untuk mendesain bangunan pada PLTMH Cikeusik dari bangunan pengambilan (*intake*), saluran pembawa (*headrace*), bak penenang (*forebay*), pipa pesat (*penstock pipe*) hingga pemilihan jenis turbin.

Untuk menentukan debit pembangkitan akan dilakukan simulasi perhitungan dengan menggunakan beberapa hal, yaitu debit andalan yang dihasilkan oleh *Flow Duration Curve* (FDC) hingga menghitung kapasitas. Untuk debit andalan yang akan digunakan berdasarkan probabilitas 26% (Debit Air Cukup), 51% (Debit Air Normal), 75% (Debit Air Rendah), dan 90 % (Debit Andalan) yang dapat dilihat sebagai berikut:

Tabel 4.7  
Debit Andalan Probabilitas Tertentu

Prob (%)	Q (m <sup>3</sup> /dt)
5	62,760
10	58,297
15	53,889
20	48,434
26	40,569
30	37,093
35	33,515
40	29,195
45	24,995
51	19,687
55	17,727
60	10,347
65	6,752
70	5,597
75	4,210
80	2,883
85	1,946
90	1,509
95	0,986
96	0,758
97	0,197

Sumber: Hasil Perhitungan, 2017

Penentuan debit andalan yang digunakan PLTA pada umumnya adalah 85% - 90% (Soemarto, 1987, p.214). Agar mendapatkan debit yang paling tepat diantar probabilitas 85% - 90%, maka diperlukan simulasi perhitungan daya dan energi yang dihasilkan. Perhitungan energi yang dihasilkan akan dihitung berdasarkan setiap probabilitas. Parameter perhitungan energi adalah sebagai berikut:

Q<sub>rencana</sub> : 1,509 m<sup>3</sup>/detik (sebagai contoh diambil probabilitas 90%)

Tinggi jatuh : 1,44 meter (nilai perkiraan berdasarkan topografi Sungai Cisanggarung)

Efisiensi : 0,8

Contoh perhitungan Q<sub>90</sub> = 1,509 m<sup>3</sup>/detik

- ✓ Menentukan nilai daya dengan  $Q \times H \times \text{Efisiensi} \times \text{Gravitasi (g)} = 1,509 \times 1,44 \times 0,8 \times 9,81 = 17,053 \text{ kW}$
- ✓ Menentukan nilai energi produksi tahunan perkalian antara daya yang dihasilkan (17,053 kW) dengan jumlah jam dalam sehari dan jumlah hari beroperasi pada debit tersebut. Pada debit dengan probabilitas 90% didapatkan nilai energi produksi bulanan yang dihasilkan sebesar 124.319,214 kWh (dalam 1 bulan).

Untuk perhitungan dapat dilihat pada tabel 4.8 sampai dengan tabel 4.11 sebagai berikut:

Tabel 4.8

Perhitungan Energi Produksi Tahunan untuk Probabilitas 26% (Debit Air Cukup)

No	Bulan	Hari	Q prob (m <sup>3</sup> /dt)	Q pakai (m <sup>3</sup> /dt)	Heff (meter)	$\eta$ turbin	Daya (kW)	Energi (kWh/bulan)
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Januari	31	53,474	40,569	1,44	0,8	458,475	341.105,5021
2	Februari	28	59,560	40,569	1,44	0,8	458,475	308.095,2923
3	Maret	31	62,299	40,569	1,44	0,8	458,475	341.105,5021
4	April	30	56,060	40,569	1,44	0,8	458,475	330.102,0988
5	Mei	31	30,859	30,4268	1,44	0,8	343,856	255.829,1266
6	Juni	30	23,526	30,4268	1,44	0,8	343,856	247.576,5741
7	Juli	31	17,000	30,4268	1,44	0,8	343,856	255.829,1266
8	Agustus	31	5,048	0	1,44	0,8	0	0
9	September	30	4,042	0	1,44	0,8	0	0
10	Oktober	31	5,442	0	1,44	0,8	0	0
11	November	30	12,970	0	1,44	0,8	0	0
12	Desember	31	28,847	30,4268	1,44	0,8	343,856	255.829,1266
TOTAL								2.335.472,349

Sumber: Hasil Perhitungan, 2017

#### Keterangan:

- |  |                           |
|--|---------------------------|
| 1. No.                                       | 6. Data Heff (m)          |
| 2. Bulan                                     | 7. Efisiensi Turbin       |
| 3. Jumlah Hari                               | 8. Efisiensi Generator    |
| 4. Data Qsungai (m <sup>3</sup> /dt)         | 9. (5) x (6) x (7) x 9,81 |
| 5. Data Q <sub>26</sub> (m <sup>3</sup> /dt) | 10. (8) x 24 x (3)        |

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa operasi PLTMH dioperasikan selama 8 bulan. Pada bulan agustus, september, oktober, dan november merupakan kondisi dimana sistem mengalami *off* atau berhenti beroperasi secara teoritis. Dan untuk probabilitas debit 26% didapatkan hasil daya maksimum sebesar 458,48 kW dengan energi produksi maksimum sebesar 2.335.472,35 kWh.

Tabel 4.9  
Perhitungan Energi Produksi Tahunan untuk Probabilitas 51% (Debit Air Normal)

No	Bulan	Hari	Q prob (m <sup>3</sup> /dt)	Q pakai (m <sup>3</sup> /dt)	Heff (meter)	$\eta$ turbin	Daya (kW)	Energi (kWh/bulan)
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Januari	31	37,322	19,687	1,44	0,8	222,485	165.528,9512
2	Februari	28	51,489	19,687	1,44	0,8	222,485	149.510,0204
3	Maret	31	50,390	19,687	1,44	0,8	222,485	165.528,9512
4	April	30	41,846	19,687	1,44	0,8	222,485	160.189,3076
5	Mei	31	24,227	19,687	1,44	0,8	222,485	165.528,9512
6	Juni	30	11,189	14,7653	1,44	0,8	166,864	120.141,9807
7	Juli	31	6,161	0	1,44	0,8	0	0
8	Agustus	31	2,199	0	1,44	0,8	0	0
9	September	30	1,928	0	1,44	0,8	0	0
10	Oktober	31	2,726	0	1,44	0,8	0	0
11	November	30	7,872	14,7653	1,44	0,8	166,864	120.141,9807
12	Desember	31	23,715	19,687	1,44	0,8	222,485	165.528,9512
TOTAL								1.212.099,094

Sumber: Hasil Perhitungan, 2017

#### Keterangan:

- |  |                           |
|--|---------------------------|
| 1. No.                                       | 6. Data Heff (m)          |
| 2. Bulan                                     | 7. Efisiensi Turbin       |
| 3. Jumlah Hari                               | 8. Efisiensi Generator    |
| 4. Data Qsungai (m <sup>3</sup> /dt)         | 9. (5) x (6) x (7) x 9,81 |
| 5. Data Q <sub>51</sub> (m <sup>3</sup> /dt) | 10. (8) x 24 x (3)        |

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa operasi PLTMH dioperasikan selama 8 bulan. Pada bulan agustus, september, oktober, dan november merupakan kondisi dimana sistem mengalami *off* atau berhenti beroperasi secara teoritis. Dan untuk probabilitas debit 51% didapatkan hasil daya maksimum sebesar 222,485 kW dengan energi produksi maksimum sebesar 1.212.099,094 kWh.

Tabel 4.10  
Perhitungan Energi Produksi Tahunan untuk Probabilitas 75% (Debit Air Rendah)

No	Bulan	Hari	Q prob (m <sup>3</sup> /dt)	Q pakai (m <sup>3</sup> /dt)	Heff (meter)	$\eta$ turbin	Daya (kW)	Energi (kWh/bulan)
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Januari	31	34,634	4,21	1,44	0,8	47,5777	35.397,82011
2	Februari	28	41,130	4,21	1,44	0,8	47,5777	31.972,22461
3	Maret	31	42,280	4,21	1,44	0,8	47,5777	35.397,82011
4	April	30	32,600	4,21	1,44	0,8	47,5777	34.255,95494
5	Mei	31	19,716	4,21	1,44	0,8	47,5777	35.397,82011
6	Juni	30	6,060	4,21	1,44	0,8	47,5777	34.255,95494
7	Juli	31	2,995	3,1575	1,44	0,8	35,6833	26.548,36508
8	Agustus	31	1,781	3,1575	1,44	0,8	35,6833	26.548,36508
9	September	30	1,230	0	1,44	0,8	0	0
10	Okttober	31	1,203	0	1,44	0,8	0	0
11	November	30	2,892	3,1575	1,44	0,8	35,6833	25.691,96621
12	Desember	31	20,085	4,21	1,44	0,8	47,5777	35.397,82011
TOTAL								32.0864,1113

Sumber: Hasil Perhitungan, 2017

**Keterangan:**

- |  |                           |
|--|---------------------------|
| 1. No.                                       | 6. Data Heff (m)          |
| 2. Bulan                                     | 7. Efisiensi Turbin       |
| 3. Jumlah Hari                               | 8. Efisiensi Generator    |
| 4. Data Qsungai (m <sup>3</sup> /dt)         | 9. (5) x (6) x (7) x 9,81 |
| 5. Data Q <sub>75</sub> (m <sup>3</sup> /dt) | 10. (8) x 24 x (3)        |

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa operasi PLTMH dioperasikan selama 10 bulan. Pada bulan september dan oktober merupakan kondisi dimana sistem mengalami *off* atau berhenti beroperasi secara teoritis. Dan untuk probabilitas debit 75% didapatkan hasil daya maksimum sebesar 47,577 kW dengan energi produksi maksimum sebesar 32.0864,11 kWh.

**Tabel 4.11**  
**Perhitungan Energi Produksi Tahunan untuk Probabilitas 90% (Debit Andalan)**

No	Bulan	Hari	Q prob (m <sup>3</sup> /dt)	Q pakai (m <sup>3</sup> /dt)	Heff (meter)	$\eta$ turbin	Daya (kW)	Energi (kWh/bulan)
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Januari	31	28,381	1,509	1,44	0,8	17,0534	12.687,72222
2	Februari	28	30,434	1,509	1,44	0,8	17,0534	11.459,87813
3	Maret	31	32,267	1,509	1,44	0,8	17,0534	12.687,72222
4	April	30	22,832	1,509	1,44	0,8	17,0534	12.278,44086
5	Mei	31	3,278	1,509	1,44	0,8	17,0534	12.687,72222
6	Juni	30	1,107	1,13175	1,44	0,8	12,79	92.08,830643
7	Juli	31	1,517	1,509	1,44	0,8	17,0534	12.687,72222
8	Agustus	31	1,155	1,13175	1,44	0,8	12,79	95.15,791665
9	September	30	0,916	1,13175	1,44	0,8	12,79	92.08,830643
10	Okttober	31	0,300	0,000	1,44	0,8	0	0
11	November	30	0,605	1,13175	1,44	0,8	12,79	92.08,830643
12	Desember	31	10,334	1,509	1,44	0,8	17,0534	12.687,72222
TOTAL								12.4319,2137

Sumber: Hasil Perhitungan, 2017

**Keterangan:**

- |  |                           |
|--|---------------------------|
| 1. No.                                       | 6. Data Heff (m)          |
| 2. Bulan                                     | 7. Efisiensi Turbin       |
| 3. Jumlah Hari                               | 8. Efisiensi Generator    |
| 4. Data Qsungai (m <sup>3</sup> /dt)         | 9. (5) x (6) x (7) x 9,81 |
| 5. Data Q <sub>90</sub> (m <sup>3</sup> /dt) | 10. (8) x 24 x (3)        |

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa operasi PLTMH dioperasikan selama 11 bulan. Pada bulan oktober merupakan kondisi dimana sistem mengalami *off* atau berhenti beroperasi secara teoritis. Dan untuk probabilitas debit 90% didapatkan hasil daya maksimum sebesar 17,053 kW dengan energi produksi maksimum sebesar 12.4319,213 kWh.

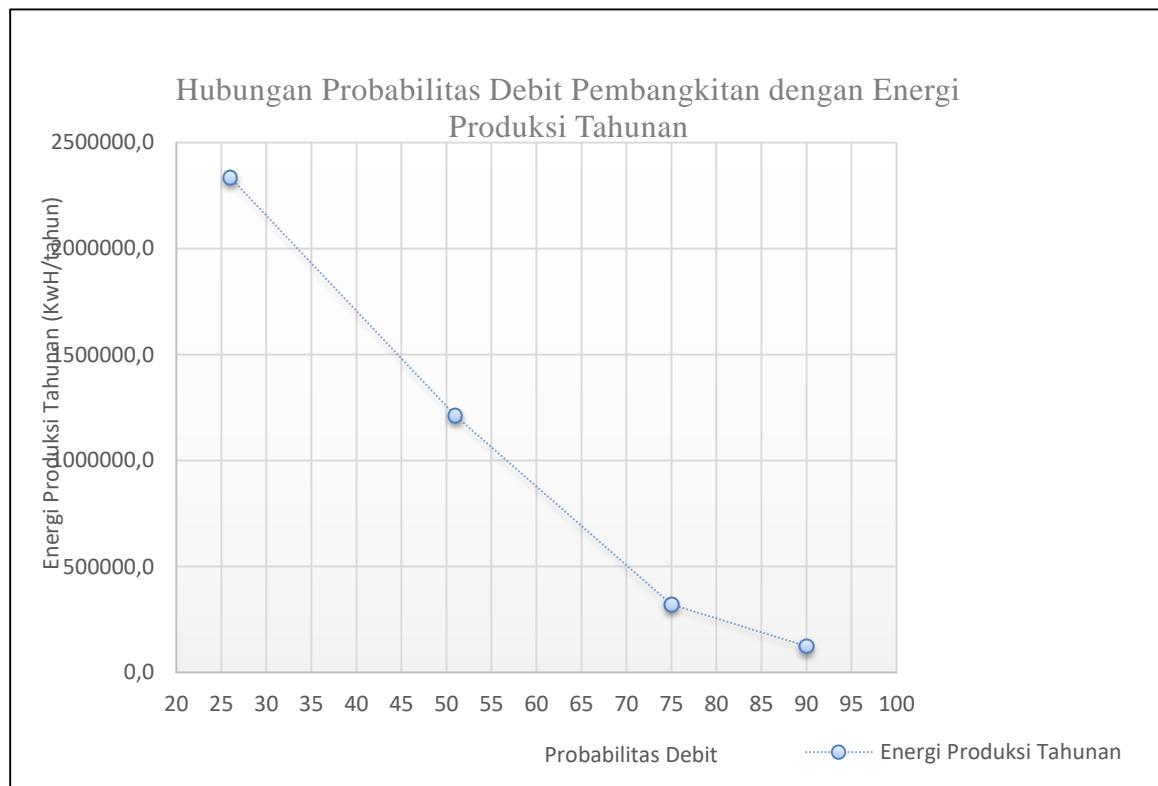
Tabel 4.12  
Perhitungan Daya, Energi dan Faktor Kapasitas

No	Keandalan Debit	Debit Rencana	Tinggi Jatuh Bersih	Kapasitas Terpasang	Energi Produksi Tahunan	Capacity Factor	Kondisi Debit Sungai
	%	m <sup>3</sup> /detik	meter	kW	kWh/tahun	%	
1	2	3	4	5	6	7	8
1	26	40,569	1,44	458,470	2.335.472,35	58,15	(Debit Air Cukup)
2	51	19,687	1,44	222,483	1.212.099,09	62,19	(Debit Air Normal)
3	75	4,210	1,44	47,572	320.864,11	77,00	(Debit Air Rendah)
4	90	1,509	1,44	17,051	124.319,21	83,23	(Debit Andalan)

Sumber: Hasil Perhitungan, 2017

#### Keterangan:

1. Nomor
2. Keandalan Debit (%)
3. Data Debit Rencana (m<sup>3</sup>/detik)
4. Data H<sub>gross</sub> (m)
5. (4) x (3) x 9,81 x η<sub>turbin</sub>
6. Data Energi Produksi Tahunan (kWh/tahun)
7. {(6) / (5) x 8760} x 100
8. Kondisi Debit Sungai



Gambar 4.3 Hubungan Probabilitas Debit Pembangkitan Dengan Energi Produksi Tahunan

Sumber: Hasil Perhitungan, 2017

Berdasarkan Peraturan Menteri ESDM No. 12 Tahun 2017 tentang Pemanfaatan Sumber Energi Terbarukan untuk Penyediaan Listrik dengan kapasitas paling tinggi 10 MW untuk penyediaan listrik minimal nilai *Capacity Factor* sebesar 65%. Maka, debit dengan keandalan 90% dapat digunakan paling efektif. Oleh sebab itu, debit dengan keandalan 90% bisa dipakai untuk perhitungan selanjutnya dengan debit sebesar 1,509 m<sup>3</sup>/detik.

### 4.3 Analisis Hidrolik

#### 4.3.1 Bangunan Pengambilan (*Intake*)

Bangunan pengambilan (*Intake*) berfungsi untuk mengelekan air irigasi dan dialirkan kembali ke saluran irigasi dalam jumlah yang diinginkan.

Bangunan pengambilan terletak pada sisi kiri saluran induk irigasi bendung cikeusik dan dilengkapi dengan dua buah pintu baja tipe *Sluice Gate*. Berikut adalah data yang dibutuhkan perhitungan *intake*:

- ✓ Q saluran (Q<sub>90</sub>) = 1,509 m<sup>3</sup>/dt
- ✓ Q desain bangunan pengambilan = 1,2 x Q<sub>saluran</sub>  
= 1,2 x 1,509 m<sup>3</sup>/dt  
= 1,811 m<sup>3</sup>/dt
- ✓ Elevasi dasar pintu pengambilan = +35,73
- ✓ Lebar pintu (b) = 2,2 m
- ✓ Kekasaran = 0,013 (Pasangan Beton)
- ✓ Percepatan gravitasi (g) = 9,81 m/dt<sup>2</sup>
- ✓ Tinggi ambang pengambilan (p) = 0,1 m, sehingga elevasi ambang pengambilan  
+35,83
- ✓ Jumlah pintu pengambilan = 1 buah

Untuk menentukan pengoperasian pintu pengambilan, maka perlu dihitung hubungan antara bukaan pintu dengan debit untuk aliran tenggelam yang melalui pintu pengambilan, sehingga contoh perhitungan saat muka air di depan pintu H=0,3 m dan tinggi bukaan a=0,1 m adalah sebagai berikut:

- h1/a = 0,3/0,1 = 3
- h2/a = 0,1/0,1 = 1

Nilai h1/a dan h2/a untuk menentukan Koefisien aliran tenggelam (K) digunakan 0,95 (didapat dari Tabel 2.6)

- $\mu = 0,55$

Nilai  $\mu$  didapat dari hubungan  $h/a$  dan sudut dari pintu sorong tegak untuk menentukan Koefisien debit ( $\mu$ ) digunakan 0,55 (didapat dari Tabel 2.7)

Contoh perhitungan dalam kondisi Q (Aliran Tenggelam) dihitung pada saat bukaan pintu sebesar 0,1 meter dengan tinggi muka air disimulasikan 0,3 meter, sehingga:

$$\begin{aligned} Q &= K \times \mu \times b \times a \sqrt{2 \times g \times h} \\ &= 0,95 \times 0,55 \times 2,2 \times 0,1 \sqrt{2 \times 9,81 \times 0,3} \\ &= 0,28 \text{ m}^3/\text{dt} \end{aligned}$$

Perhitungan selanjutnya untuk aliran dalam Q (Aliran Bebas) dihitung pada saat bukaan pintu sebesar 0,1 meter dengan tinggi muka air 0,1 meter. Karena tinggi bukaan lebih tinggi daripada tinggi muka air maka  $a = 0,10$  meter atau ( $a = H$ ), sehingga:

$$\begin{aligned} Q &= K \times \mu \times b \times a \sqrt{2 \times g \times h} \\ &= 1 \times 0,55 \times 2,2 \times 0,1 \sqrt{2 \times 9,81 \times 0,1} \\ &= 0,17 \text{ m}^3/\text{dt} \end{aligned}$$

Untuk perhitungan operasi pintu pengambilan dapat di lihat pada tabel berikut ini:

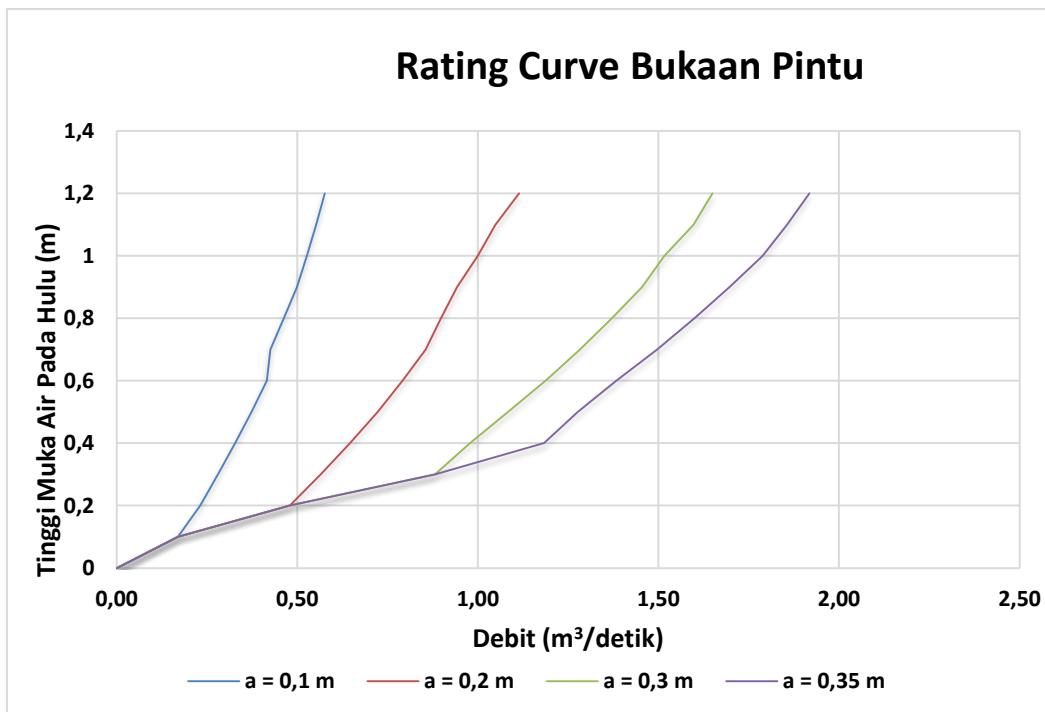
Tabel 4.13  
Pola Operasi Pintu Pengambilan *Intake*

No.	Elevasi	Kedalaman Air di Hulu Pintu $h_1$ (m)	Tinggi Bukaan Pintu (a)				Keterangan
			0,1	0,2	0,3	0,35	
1	2	3	4	5	6	7	8
1	35,83	0	0,00	0,00	0,00	0,00	
2	35,93	0,1	0,17	0,17	0,17	0,17	
3	36,03	0,2	0,23	0,48	0,48	0,48	
4	36,13	0,3	0,28	0,56	0,88	0,88	= Aliran Tak Tenggelam
5	36,23	0,4	0,33	0,65	0,98	1,18	
6	36,33	0,5	0,37	0,72	1,08	1,28	
7	36,43	0,6	0,42	0,79	1,19	1,38	
8	36,53	0,7	0,43	0,86	1,28	1,50	= Aliran Tenggelam
9	36,63	0,8	0,46	0,90	1,37	1,60	
10	36,73	0,9	0,50	0,94	1,45	1,70	
11	36,83	1	0,53	1,00	1,52	1,79	
12	36,93	1,1	0,55	1,05	1,60	1,86	
13	37,03	1,2	0,58	1,11	1,65	1,92	

Sumber: Hasil Perhitungan, 2017

**Keterangan:**

- (1) Nomor
- (2) Elevasi
- (3) Kedalaman Air di Hulu Pintu (m)
- (4) Qintake pada saat  $a = 0,1$  m ( $\text{m}^3/\text{dt}$ )
- (5) Qintake pada saat  $a = 0,2$  m ( $\text{m}^3/\text{dt}$ )
- (6) Qintake pada saat  $a = 0,3$  m ( $\text{m}^3/\text{dt}$ )
- (7) Qintake pada saat  $a = 0,35$  m ( $\text{m}^3/\text{dt}$ )



Gambar 4.4 Rating Curve Bukaan Pintu Pengambilan

Sumber: Hasil Perhitungan, 2017

#### 4.3.2 Saluran Pembawa Air (*Headrace*)

Saluran Pembawa Air (*Headrace*) menyalurkan air dari intake sampai ke bak penenang, atau tempat mulainya pipa penstok (*Penstok*).

Dimensi saluran pembawa di hitung dengan menggunakan rumus-rumus perhitungan aliran seragam pada saluran terbuka. Perhitungan dimensi saluran pembawa, digunakan rumus Strickler:

$$\begin{aligned}
 \checkmark Q_{\text{desain}} (Q_{90}) &= 1,509 \text{ m}^3/\text{dt} \\
 \checkmark Q_{\text{desain saluran pembawa}} &= 1,1 \times Q_{\text{saluran}} \\
 &= 1,1 \times 1,509 \text{ m}^3/\text{dt} \\
 &= 1,66 \text{ m}^3/\text{dt}
 \end{aligned}$$

- ✓ Kecepatan maksimum = 3 m/dt
- ✓ Kemiringan saluran (I) = 0,0015 (direncanakan)
- ✓ Koefesien strickler = 70 (pasangan beton)
- ✓ Lebar saluran rencana = 2,2 m (direncanakan)
- ✓ Kemiringan talud = 1 (direncanakan)

Dari parameter diatas direncanakan dimensi penampang saluran pembawa, dengan cara coba-coba nilai h dan menyesuaikan debit rencana. Untuk perhitungannya digunakan nilai  $h=0,42$  m, perhitungan sebagai berikut:

- ✓ Menghitung luas penampang ( $A$ ) =  $b \times h$   
 $= 2,2 \times 0,42$   
 $= 0,92 \text{ m}^2$
- ✓ Keliling basah ( $P$ ) =  $b + 2h$   
 $= 2,2 + 2 \cdot 0,42$   
 $= 3,04 \text{ m}$
- ✓ Jari-jari hidrolis ( $R$ ) =  $\left(\frac{(bxh)}{b+2h}\right)$   
 $= \left(\frac{(2,2 \times 0,42)}{2,2+2 \cdot 0,42}\right)$   
 $= 0,304 \text{ m}$
- ✓ Menghitung debit ( $Q$ ) =  $K \cdot A \cdot R^{2/3} \cdot S^{1/2}$   
 $= 70 \times 0,92 \times 0,304^{2/3} \cdot 0,001^{1/2}$   
 $= 0,92 \text{ m}^3/\text{detik}$

Perhitungan debit yang didapatkan adalah  $0,92 \text{ m}^3/\text{dt}$  sehingga belum memenuhi debit rencana saluran. Untuk mendapatkan debit yang sesuai dengan debit rencana saluran maka dilakukan dengan cara yang sama. Hasil perhitungan coba-coba didapatkan sebagai berikut:

Tabel 4.14

#### Perhitungan Saluran Pembawa

<b>b</b> meter	<b>h</b> meter	<b>b/h</b>	<b>A</b> $\text{m}^2$	<b>P</b> meter	<b>R</b> meter	<b>S</b>	<b>K</b> $\text{m}^{1/3}/\text{dt}$	<b>V</b> m/dt	<b>Q</b> $\text{m}^3/\text{dt}$	<b>Fr</b>	<b>Ket</b>
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>12</b>
2,20	0,42	5,24	0,92	3,040	0,304	0,001	70	1,00	0,92	0,49	Subkritis
2,20	0,46	4,82	1,00	3,112	0,322	0,001	70	1,04	1,04	0,49	Subkritis
2,20	0,500	4,40	1,10	3,200	0,344	0,001	70	1,09	1,19	0,49	Subkritis
2,20	0,588	3,74	1,29	3,376	0,383	0,001	70	1,17	1,51	0,49	Subkritis
2,20	0,628	3,50	1,38	3,456	0,400	0,001	70	1,20	1,66	0,48	Subkritis

Sumber: Hasil Perhitungan, 2017

### Keterangan:

- |                             |  |
|-----------------------------|--|
| 1. Data Lebar Saluran (b)   | 7. Data Kemiringan Saluran   |
| 2. Tinggi Muka Air (h)      | 8. Data Koefisien Strickler (K)  |
| 3. (1) / (2)                | 9. $(8) \times (6)^{2/3} \times (7)^{1/2}$   |
| 4. (1) x (2)                | 10. (9) x (4)  |
| 5. $\{(1) + 2 \times (2)\}$ | 11. $(9) / [9,81 \times (2)]^{1/2}$  |
| 6. (4) / (5)                | 12. $Fr=1$ , Aliran Kritis<br><br>$Fr < 1$ , Aliran Subkritis<br><br>$Fr > 1$ , Aliran Superkritis |

Berdasarkan hasil perhitungan untuk debit  $1,66 \text{ m}^3/\text{dt}$  sesuai dengan debit rencana dan lebar saluran 2,2 meter, maka didapatkan teknis untuk saluran pembawa air sebagai berikut:

- ✓ Lebar saluran (b) = 2,2 meter
- ✓ Kemiringan saluran (I) = 0,001
- ✓ Kemiringan talud (m) = 1
- ✓ Tinggi muka air (h) = 0,628 m
- ✓ Tinggi jagaan  $= \frac{1}{3} \cdot h$   
 $= \frac{1}{3} \times 0,628$   
 $= 0,209 \text{ m}$
- ✓ Kecepatan aliran (V) =  $1,20 \text{ m}/\text{dt}$  (memenuhi syarat, aman)
- ✓ Material = pasangan beton

#### 4.3.3 Bak Penenang (*Forebay*)

Tujuan untuk bangunan bak penenang adalah sebagai tempat penenang air yang kemudian mengarahkannya untuk masuk ke pipa pesat sesuai dengan debit yang diinginkan.

Untuk perhitungan dimensi bak penenang dibutuhkan data-data sebagai berikut:

- ✓  $Q_{\text{desain}} (Q_{90}) = 1,509 \text{ m}^3/\text{dt}$
- ✓  $Q_{\text{desain bak penenang}} (Q_d) = 1,2 \times Q_{\text{saluran}}$   
 $= 1,2 \times 1,509 \text{ m}^3/\text{dt}$   
 $= 1,811 \text{ m}^3/\text{dt}$
- ✓ Lebar headrace = 3,0 meter
- ✓ Diameter penstock (D) = 0,93 meter
- ✓ Lebar saluran pembawa (bs) = 2,2 meter
- ✓ TMA saluran pembawa (h) = 0,628 meter

Sebelum menentukan dimensi dari bak penenang, perlu diketahui kapasitas volume bak penenang. Kapasitas bak penenang dapat didesain 10 sampai 20 kali dari debit rencana bak penenang hal tersebut untuk menyerap getaran dari saluran pembawa dengan maksimum debit. Berikut perhitungan rencana dimensi dari bak penenang. (JICA, 2010, p.112)

- ✓ Volume bak penenang ( $V_f$ )       $= 10 \times Q_d$   
 $= 10 \times 1,811 \text{ m}^3/\text{dt}$   
 $= 18,11 \text{ m}^3/\text{dt}$
- ✓  $V_f$      $= A_f \times h_f$   
 $10Q$      $= B_f \times L \times (b_s + \Delta z)$   
 $18,11$                                           $= 3 \times L \times 3$   
 $L$      $= 2,01 \text{ meter}$
- ✓ Tinggi kritis ( $h_c$ )                             $= \left( \frac{\alpha \cdot Q d^2}{9,81 \cdot B^2} \right)^{\frac{1}{3}} ; \alpha = 1,1$   
 $= \left( \frac{1,1 \cdot 18,11^2}{9,81 \cdot 2,2^2} \right)^{1/3}$   
 $= 0,42 \text{ meter}$
- ✓ Tinggi kritis ( $h_0$ )                                 $= h \text{ pada headrace} = 0,628 \text{ meter}$

Setelah didapatkan dimensi bangunan bak penenang, selanjutnya menghitung lebar pelimpah. Perhitungan lebar pelimpah didasarkan pada debit rencana  $1,811 \text{ m}^3/\text{detik}$ , koefisien pada umumnya sudah ditentukan sebesar  $C = 1,8$  dan tinggi muka air di pelimpah direncanakan setinggi jagaan saluran pembawa yaitu  $0,209 \text{ meter}$ . Sehingga, didapatkan lebar pelimpah adalah

- ✓ Lebar pelimpah                                 $= 0,4 \times \text{Panjang bak Penenang}$   
 $= 0,4 \times 2,01 \text{ m}$   
 $= 0,80 \text{ meter}$

#### 4.3.4 Pipa Pesat (*Penstock Pipe*)

Pipa pesat (*Penstock*) adalah pipa yang berfungsi untuk mengalirkan air dari bak penenang (*forebay*) menuju ke Rumah Pembangkit (*Power House*). Perencanaan pipa pesat mencakup pemilihan material, diameter, tebal dan jenis sambungan (*coordination point*).

##### 4.3.4.1 Tebal Pipa Pesat

Untuk mendapatkan diameter pipa pesat dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$d = 2,69 \times \left( \frac{n^2 \times Q^2 \times L}{H} \right)^{1,875}$$

$$= 2,69 \times \left( \frac{0,012^2 \times 1,509^2 \times 19,14}{1,44} \right)^{1,875}$$

$$= 0,97 \text{ m}$$

Dari hasil didapatkan nilai diameter pipa pesat sebesar 0,97 m dan dibulatkan diameter yang akan digunakan sebesar 1 m.

$$\begin{aligned} V &= \left( \frac{Q}{A} \right) \\ &= \left( \frac{1,509}{\frac{1}{4} \times 3,14 \times 1} \right) \\ &= 1,980 \text{ m/detik} \end{aligned}$$

Tebal Pipa Pesat :

$$\begin{aligned} t &= \frac{P \times r \times 1000}{q} \\ P &= \rho \times g \times h \\ &= 1 \times 9,81 \times 1,44 \\ &= 14,126 \text{ ton/m} \\ t &= \frac{14,126 \times 0,93}{7000} \\ &= 0,001959 \text{ m} = 1,96 \text{ mm} \\ &= 1,96 \text{ mm} + 1 \text{ mm} (\textit{Extra thickness}) \\ &= 2,96 \text{ mm, diambil tebal } 3,00 \text{ mm} \end{aligned}$$

#### 4.3.4.2 Diameter Pipa Pesat

Untuk mengamankan pipa dari *waterhammer* yang dapat memecahkan pipa akibat adanya penutupan secara tiba-tiba maka harus melakukan analisa tekanan hidrostatis, dalam ESHA ada beberapa langkah perhitungan yang harus dilakukan, dimulai dari menghitung kecepatan aliran, menghitung parameter N dan tekanan hidrostatis. Perhitungan yang dimaksud adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \checkmark \text{ Kecepatan aliran dalam pipa (V)} &= \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot D} \\ &= \frac{4 \cdot 1,509}{\pi \cdot 0,97} \\ &= 1,980 \text{ m/detik} \\ \checkmark \text{ Nilai N} &= \left( \frac{V_0 \cdot L}{g \cdot P_o \cdot t} \right)^2 \end{aligned}$$

Nilai Po adalah nilai tekanan hidrostatik kotor yang ekuivalen dengan tinggi jatuh kotor Po = 1,44 meter. Sedangkan untuk t adalah waktu yang diperkirakan untuk penutupan katup *inlet* yaitu selama 5 detik. (ESHA, 2004, p.144)

$$= \left( \frac{1,509 \cdot 19,14}{9,81 \cdot 1,44 \cdot 5} \right)^2$$

$$= 0,167$$

✓  $\Delta p$  (hidrostatik)

$$= H \left( \frac{N}{2} \pm \sqrt{N + \frac{N^2}{4}} \right)$$

$$= 1,44 \left( \frac{0,167}{2} \pm \sqrt{0,167 + \frac{0,167^2}{4}} \right)$$

$$\Delta p (+) = 0,720$$

$$\Delta p (-) = -0,480$$

Dari hasil perhitungan sebelumnya, total tekanan hidrostatik adalah  $P_o + (\Delta p (+))$ , sehingga didapatkan nilai ketinggian  $1,44 + 0,720 = 2,16$  meter. tekanan hidrostatik dengan tinggi 2,16 adalah sebagai berikut :

✓ Tekanan hidrostatik ( $P_1$ )

$$= P_o + \rho hg$$

$$= 10^5 + 1000 \cdot 2,16 \cdot 9,81$$

$$= 121189,60 \text{ N/m}^2$$

$$= 0,0001212 \text{ kN/mm}^2$$

Selain itu *total head pressure (Water hammer)* pada saat katup *inlet* menutup dengan waktu 5 detik adalah 2,16 meter.

Untuk kedalaman tenggelam pengambilan, karena  $d < 1,0$  m, maka:

$$H \leq 1,0 d$$

$$H \leq 1,0 \times 0,97$$

$$H = 0,97 \text{ m}$$

jadi dapat disimpulkan bahwa kedalaman tenggelam untuk pengambilan aman terhadap masuknya udara pada pipa pesat karena  $h = 0,97$  m.

#### 4.3.5 Saluran Pembuang (*Tail Race*)

Saluran pembangkit (*Tail Race*) berfungsi untuk mengalirkan debit kembali ke sungai. Saluran pembuang direncanakan berbentuk persegi dan menggunakan pasangan beton dengan desain perencanaan saluran terbuka. Untuk perhitungan saluran pembuang dibutuhkan data-data sebagai berikut:

- ✓ Debit pembangkit ( $Q_p$ ) =  $1,81 \text{ m}^3/\text{detik}$
- ✓ Elevasi dasar *tail race* =  $+34,33$
- ✓ Bentuk saluran = Persegi
- ✓ Lebar tailrace =  $3 \text{ m}$  (direncanakan)

Untuk mengamankan saluran pembuang agar air yang berada di saluran irigasi tidak masuk kedalam *tail race* yang akan mengakibatkan aliran balik atau *Backwater*, maka dari itu perlu ditambahkan ambang pada ujung saluran. Berikut data perencanaan:

- ✓ Bentuk ambang = ogee tipe 1
- ✓ Tinggi ambang (P) = 0,44 meter (direncanakan)
- ✓ Lebar ambang (B) = 3 meter
- ✓  $P/Hd$  =  $0,44/0,46 = 0,90$

Nilai  $P/Hd$  untuk menentukan Koefisien debit (C) digunakan 1,96 (didapat dari gambar grafik 2.15)

Untuk menganalisa tinggi muka air pada ambang yang digunakan untuk merencanakan elevasi dasar saluran pembuang, maka didapat lengkung kapasitas ambang untuk beberapa tinggi muka air di atas ambang. Berikut ini contoh dari perhitungan pada ketinggian 0,1 meter :

$$\begin{aligned} Q &= C \cdot B \cdot H^{1.5} \\ &= 1,96 \cdot 3 \cdot 0,1^{1.5} \\ &= 0,19 \text{ m}^3/\text{detik} \end{aligned}$$

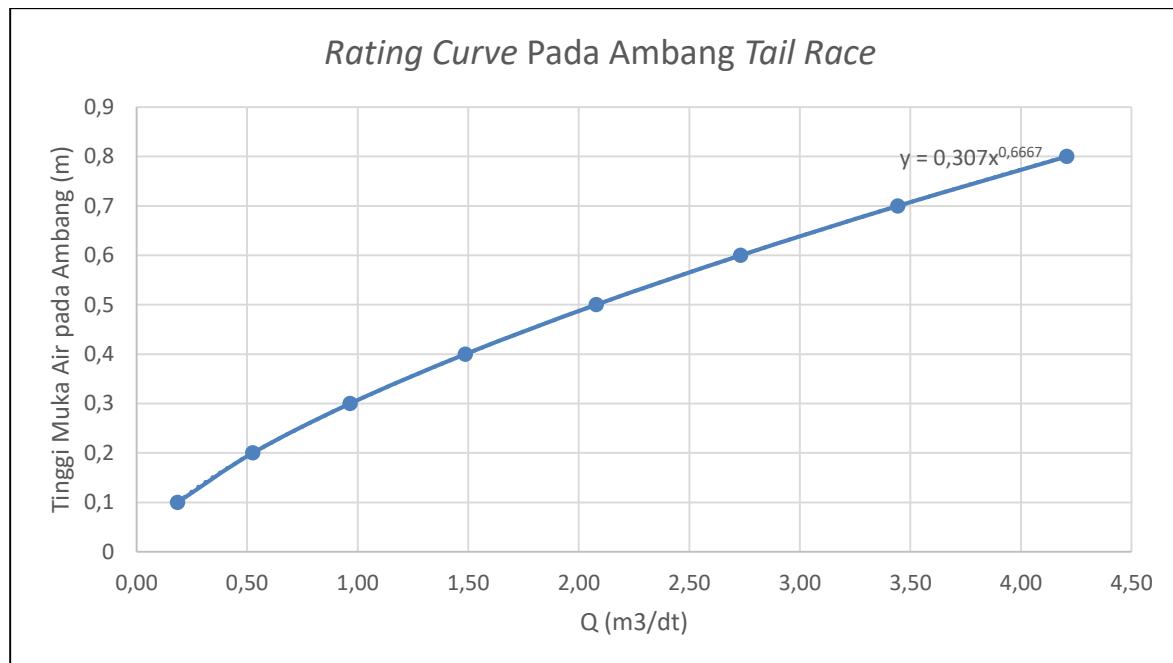
Tabel 4.15  
*Rating Curve* pada Ambang *Tailrace*

El. Muka Air	H (m)	Q ( $\text{m}^3/\text{dt}$ )
1	2	3
34,43	0,1	0,19
34,53	0,2	0,53
34,63	0,3	0,97
34,73	0,4	1,49
34,83	0,5	2,08
34,93	0,6	2,73
35,03	0,7	3,44
35,13	0,8	4,21

Sumber: Hasil Perhitungan, 2017

#### Keterangan:

1. Elevasi Muka Air
2. Ketinggian Muka Air Pada Ambang (H)
3.  $1,96 \times B \times (2)^{1.5}$



Gambar 4.5 Rating Curve pada Ambang Tail Race

Sumber: Hasil Perhitungan, 2017

Hasil dari *rating curve*, dapat diketahui ketinggian dari saluran pembuangan. Ketinggian air pada ambang ada beberapa debit operasional pada *tailrace*, berikut dapat dilihat pada tabel dibawah :

Tabel 4.16

Tinggi Muka Air Diatas Ambang Tail Race

Q Operasi (m <sup>3</sup> /dt)	Tinggi Muka Air Ambang Tail Race (m)		Elevasi Muka air
	1	2	
1,2 Q	1,81	0,46	34,79
1,1 Q	1,66	0,43	34,76
1,0 Q	1,51	0,40	34,73
0,9 Q	1,36	0,38	34,71
0,8 Q	1,21	0,35	34,68
0,7 Q	1,06	0,32	34,65
0,6 Q	0,91	0,29	34,62
0,5 Q	0,75	0,25	34,58
0,4 Q	0,60	0,22	34,55
0,3 Q	0,45	0,18	34,51
0,2 Q	0,30	0,14	34,47
0,1 Q	0,15	0,09	34,42

Sumber: Hasil Perhitungan, 2017

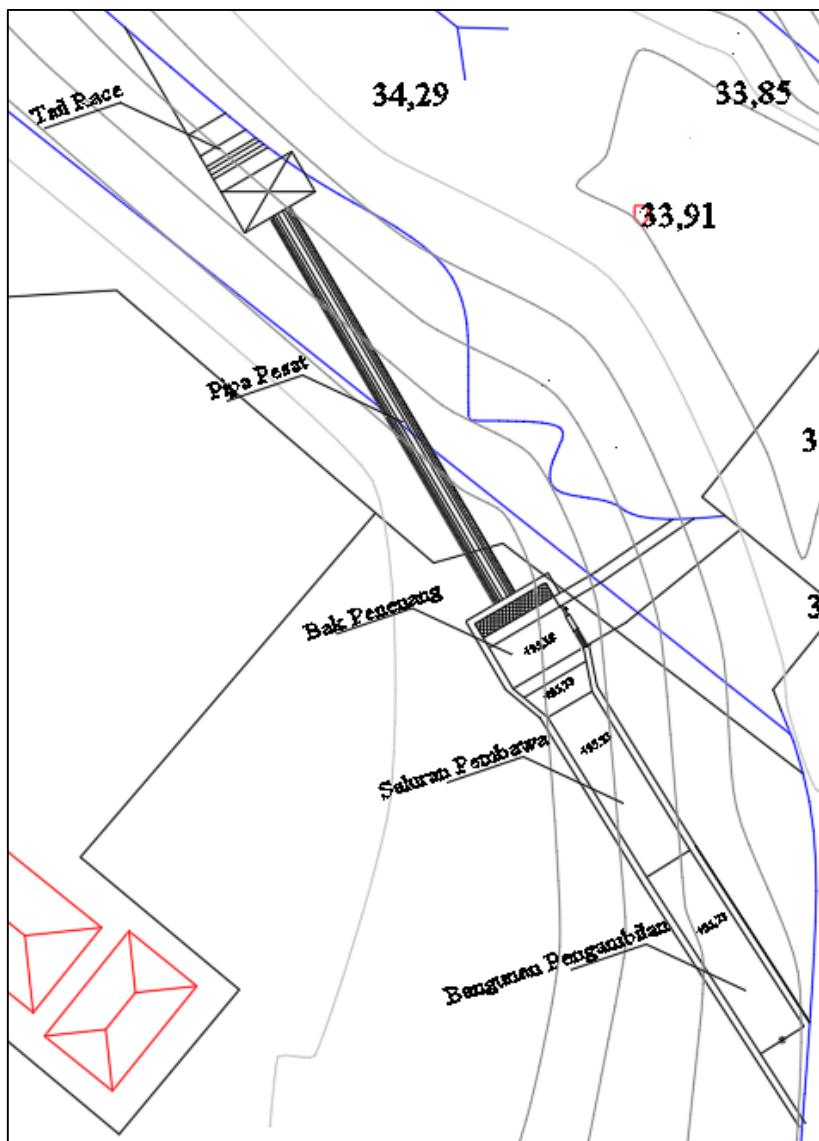
**Keterangan:**

1.  $1,2 \times Q$  pada ambang
2.  $0,307 \times (2)^{0,6667}$
3. Elevasi dasar *tail race* + (2)

Dengan operasi debit sebesar  $1,81 \text{ m}^3/\text{detik}$  dapat diketahui hasil analisa perhitungan di atas dengan tinggi muka air 0,46 meter pada elevasi +34,79

#### 4.3.6 Kehilangan Tinggi Tekan Aliran (*Head Loss*)

Kehilangan tinggi tekan aliran adalah menurunnya besaran energi yang diakibatkan gesekan maupun kontraksi yang terjadi selama proses pengaliran. Perhitungan *Head loss* dibutuhkan untuk mengetahui tinggi jatuh efektif pada PLTMH.



Gambar 4.6 Titik Terjadinya *Head Loss*

Sumber: Perencanaan Penulis, 2017

Berikut adalah contoh perhitungan *Head Loss* dengan debit masuk sebesar 1,509 m<sup>3</sup>/dt.

a. Kehilangan pada bangunan pengambilan

Diketahui:

- $b_{intake}$  = 2,2 meter
- $h_{intake}$  = 0,62 meter
- $f$  = 0,1 (bentuk *Inlet round*)

maka:

$$\begin{aligned} V_{intake} &= \frac{Q}{(b_{intake} \times h_{intake})} \\ &= \frac{1,509}{(2,2 \times 0,62)} \\ &= 1,108 \text{ m/detik} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} h_a &= f \times \frac{V^2}{2g} \\ &= 0,1 \times \frac{1,108^2}{2,981} \\ &= 0,006 \text{ m} \end{aligned}$$

b. Kehilangan tinggi tekan akibat belokan *intake*

Diketahui:

- $V_{intake}$  = 1,108 m/detik
- $\alpha$  = 30°

didapatkan nilai  $\xi = 0,04$  maka perhitungan *Head loss* nya

$$\begin{aligned} h_b &= \xi \times \frac{V^2}{2g} \\ &= 0,04 \times \frac{1,108^2}{2,981} \\ &= 0,003 \text{ m/detik} \end{aligned}$$

c. Kehilangan tinggi tekan akibat pelebaran saluran menuju *forebay*

Diketahui:

- $V_{headrace}$  = 0,45 m/detik
- $B_{forebay}$  = 2,2 meter
- $H_{forebay}$  = 0,797 meter
- $A_1$  = 1,361 m<sup>2</sup>

Menghitung luas penampang saluran *forebay*

$$\begin{aligned} A_2 &= b_{forebay} \times H_{forebay} \\ &= 2,2 \times 0,797 \\ &= 1,754 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Menghitung koefisien

$$\begin{aligned}\xi &= 1 - \left(\frac{A_1}{A_2}\right)^2 \\ &= 1 - \left(\frac{1,361}{1,754}\right)^2 \\ &= 0,50\end{aligned}$$

Maka, kehilangan tinggi tekannya adalah

$$\begin{aligned}H_c &= \xi \times \frac{v^2}{2g} \\ &= 0,50 \times \frac{0,45^2}{2,981} \\ &= 0,001 \text{ m}\end{aligned}$$

d. Kehilangan tinggi tekan akibat saringan (*trashrack*)

Diketahui:

- $b_{forebay}$  = 2,2 meter
- $h_{forebay}$  = 0,619 meter
- $\varphi$  = 1,43 (profil kisi saringan berbentuk)

Maka:

$$\begin{aligned}V_{forebay} &= \frac{Q}{(b_{forebay} \times h_{forebay})} \\ &= \frac{1,509}{(2,2 \times 0,619)} \\ &= 0,073 \text{ m/detik} \\ H_d &= \varphi \times \sin \alpha \times \left(\frac{t}{b}\right)^{4/3} \times \frac{v^2}{2g} \\ &= 0,073 \times \sin 45 \times \left(\frac{0,01}{0,05}\right)^{4/3} \times \frac{1,509^2}{2,981} \\ &= 0,0007 \text{ m}\end{aligned}$$

e. Kehilangan tinggi tekan akibat pipa pesat

terdapat tiga kali kehilangan tinggi pada pipa pesat, yaitu akibat belokan pipa pertama ( $h_{g1}$ ), gesekan pada pipa ( $h_{g2}$ ), dan belokan pipa ( $h_{g3}$ ). Masing-masing perhitungannya adalah sebagai berikut:

Diketahui:

- $\alpha_1 = \alpha_2 = 30^\circ$
- $\xi = 0,2$  (hasil gambar 2.19)
- $L = 15$  meter
- $d = 0,927$  meter
- $n = 0,012$

luas pipa *penstock* :

$$\begin{aligned} A &= \frac{1}{4} \pi d^2 \\ &= \frac{1}{4} \pi 3,14 \times 0,93^2 \\ &= 0,675 \text{ m} \end{aligned}$$

Kecepatan aliran:

$$\begin{aligned} V_{\text{pipa}} &= \frac{Q}{A} \\ &= \frac{1,509}{0,675} \\ &= 2,235 \text{ m/detik} \end{aligned}$$

➤ Kehilangan tinggi tekan akibat lubang pemasukan pipa pesat:

$$\begin{aligned} H_{e1} &= k \times \frac{V^2}{2g} \\ &= 0,25 \times \frac{2,235^2}{2,981} \\ &= 0,064 \text{ meter} \end{aligned}$$

➤ Kehilangan tinggi tekan akibat belokan:

$$\begin{aligned} H_{e2} = h_{e3} &= \xi \times \frac{V^2}{2g} \\ &= 0,2 \times \frac{2,235^2}{2,981} \\ &= 0,051 \text{ m} \end{aligned}$$

➤ Kehilangan tinggi tekan akibat gesekan:

$$\begin{aligned} f &= \frac{124,5 \times n^2}{d^{1/3}} \\ &= \frac{124,5 \times 0,012^2}{0,93^{1/3}} \\ &= 0,058 \\ H_{e4} &= f \times \frac{L_p}{d} \times \frac{V^2}{2g} \\ &= 0,058 \times \frac{15}{0,93} \times \frac{2,235^2}{2,981} \\ &= 0,239 \text{ m} \end{aligned}$$

➤ Kehilangan tinggi tekan akibat pemasukan katup pada pipa pesat:

$$\begin{aligned} H_{e5} &= k \times \frac{V^2}{2g} \\ &= 0,10 \times \frac{0,93^2}{2,981} \\ &= 0,03 \text{ meter} \end{aligned}$$

Maka, jumlah kehilangan tinggi tekan pada pipa pesat adalah:

$$\begin{aligned}\Sigma h_g &= h_{f1} + h_{f2} + h_{f3} + h_{f4} + h_{f5} + h_{f6} \\ &= 0,064 + 0,051 + 0,239 + 0,05 + 0,03 \\ &= 0,481 \text{ m}\end{aligned}$$

- kehilangan tinggi tekan total

$$\begin{aligned}h_{loss} &= h_a + h_b + h_c + h_d + h_e + h_f + h_g \\ &= 0,00022 + 1,087 \\ &= 1,088 \text{ m}\end{aligned}$$

Berikut rekapitulasi kehilangan tinggi tekan pada PLTMH Cikeusik pada tabel 4.17.

Tabel 4.17

Total Kehilangan Tinggi Tekan Tiap Bulan

No.	Simbol	Penyebab <i>Head Loss</i>	Kehilangan (m)
1	2	3	4
1	ha	Pada bangunan pengambilan	0,006
2	hb	Pada belokan <i>intake</i>	0,003
3	hc	Pada pelebaran saluran menuju <i>forebay</i>	0,001
4	hd	Pada saringan ( <i>Trashrack</i> )	0,001
5	he1	Pada pemasukan pipa	0,064
6	he2	Pada belokan 1 pipa pesat	0,051
7	he3	Pada belokan 2 pipa pesat	0,051
8	he4	Pada gesekan sepanjang pipa pesat	0,239
9	he5	Pada katup ( <i>intake valve</i> )	0,030
Total			0,446

Sumber: Hasil Perhitungan, 2017

#### Keterangan:

1. Nomor
2. Simbol
3. Penyebab *Head Loss*
4. Kehilangan (m)

#### 4.3.7 Tinggi Jatuh Efektif

Tinggi jatuh efektif adalah tinggi jatuh yang digunakan untuk membangkitkan daya, yang merupakan selisih antara Elevasi Muka Air Intake (EMAI) pada bangunan pengambilan dan *Tail Water Level* dikurangi total kehilangan tinggi tekan aliran. Berikut adalah contoh perhitungan tinggi jatuh efektif:

Jadi, tinggi jatuh efektif yang digunakan adalah:

$$\begin{aligned} H_{\text{eff}} &= \text{EMAI} - \text{TWL} - h_{\text{loss}} \\ &= 35,83 - 34,33 - 0,446 \\ &= 1,054 \text{ m} \end{aligned}$$

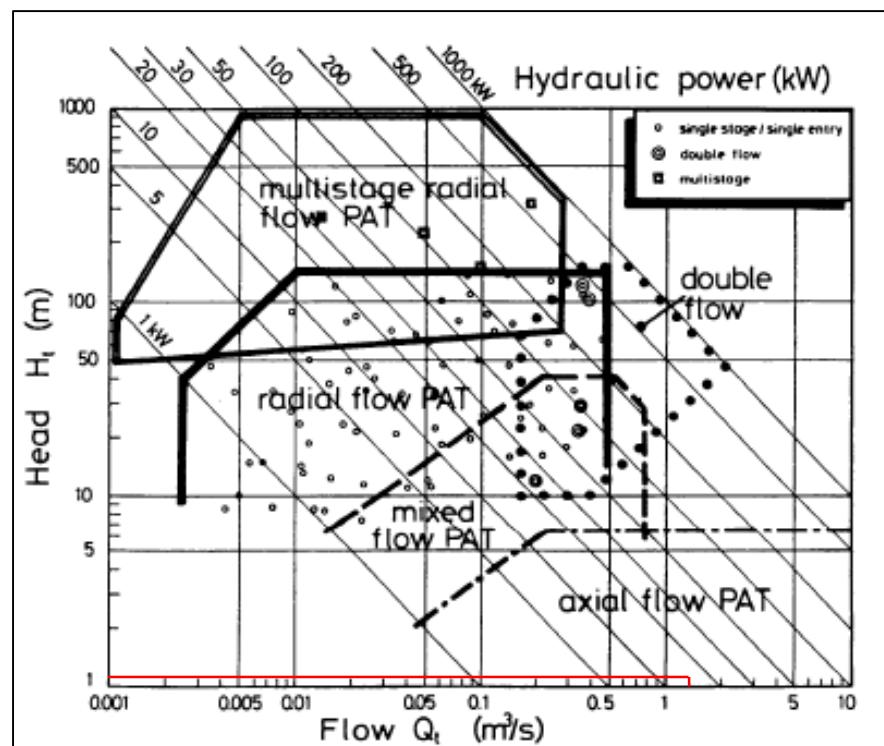
#### 4.4 Analisa Mekanikal

##### 4.4.1 Pemilihan Turbin

Pemilihan jenis turbin dilakukan dengan parameter debit dan tinggi jatuh efektif. Penentuan turbin yang akan digunakan didapat pada grafik dan berdasarkan kecepatan spesifik. Parameter untuk penentuan dengan grafik adalah sebagai berikut :

- ✓ Debit = 1,509 m<sup>3</sup>/detik
- ✓ Tinggi jatuh kotor = 1,44 meter
- ✓ Tinggi jatuh efektif = 1,054 meter
- ✓ Head loss = 0,446 meter
- ✓ Gravitasi (g) = 9,81 m/s<sup>2</sup>
- ✓ Efisiensi turbin ( $\eta$ ) = 0,8

Dari parameter tersebut dan dengan tinggi jatuh yang sangat terbatas, penggunaan jenis turbin yang dipilih cocok untuk karakteristik lokasi. Penentuan dengan grafik ditampilkan pada gambar 4.6

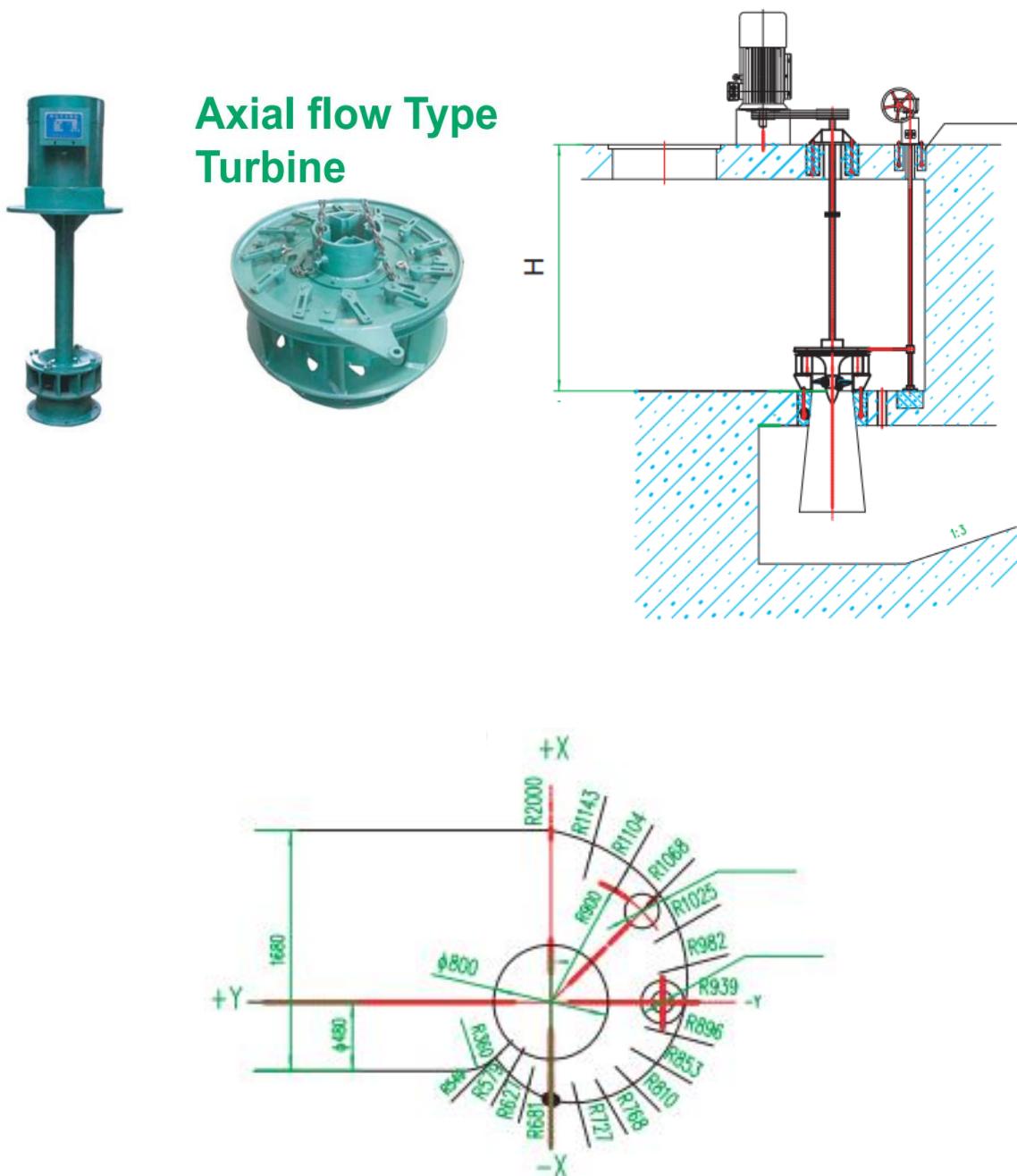


Gambar 4.7 Pemilihan Turbin

Sumber: Perencanaan Penulis, 2017

Berdasarkan hasil analisis *Pump As Turbine* yang digunakan menggunakan metode grafik, yang paling cocok berdasarkan karakteristik tinggi jatuh dan debit, turbin yang direkomendasikan paling cocok adalah *Axial Flow Pump As Turbine*.

Adapun bentuk spesifikasi dari axial flow type turbines sebagai berikut :



Gambar 4.8 Axial Flow Type Turbine

Sumber: Electway Electric, 2013

#### 4.4.2 Kecepatan Putar Turbin

##### 1. Kecepatan spesifik (nQE)

Kecepatan spesifik digunakan untuk menentukan parameter ukuran dan karakteristik dari sifat hidrolik turbin tersebut dimana *Head* efektif  $H_n$  dan Efisiensi termal  $\eta_h$  (0,9), kecepatan spesifik dapat dicari dengan persamaan berikut:

$$\begin{aligned} H_n &= H_{\text{eff}} \times \eta \\ &= 1,054 \times 0,9 \\ &= 0,949 \text{ m} \\ nQE &= \frac{2,294}{H^{0,486}} \\ &= \frac{2,294}{1,054^{0,486}} \\ &= 2,236 \end{aligned}$$

##### 2. Kecepatan putaran (n)

Kecepatan putaran turbin dihitung untuk menyesuaikan jenis dari generator yang akan digunakan, sebelumnya dihitung energi spesifik hidrolik E (J/Kg), dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$\begin{aligned} E &= H_n \times g \\ &= 0,949 \times 9,81 \\ &= 9,305 \text{ J/kg} \\ n &= \frac{nQE \times E^{3/4}}{\sqrt{Q}} \\ &= \frac{2,236 \times 9,305^{3/4}}{\sqrt{1,509}} \\ &= 9,697 \text{ min}^{-1} \end{aligned}$$

##### 3. Putaran maksimal

$$\begin{aligned} n_{\max} &= 3,2 \times n \\ &= 3,2 \times 9,697 \\ &= 31,032 \text{ min}^{-1} \end{aligned}$$

##### 4. Diameter terluar sudut (De)

$$\begin{aligned} De &= 84,5 \times (0,79 + 1,602 \times nQE) \times \frac{\sqrt{H_n}}{60 \times n} \\ &= 84,5 \times (0,79 + 1,602 \times 2,236) \times \frac{\sqrt{0,949}}{60 \times 9,697} \\ &= 0,618 \text{ m} = 61,8 \text{ cm dibulatkan } 24,3 \text{ inch \quad } \end{aligned}$$

### 5. Diameter diameter Hub (Di)

$$\begin{aligned}
 Di &= (0,25 + \frac{0,0951}{n_{QE}}) D_e \\
 &= \left(0,25 + \frac{0,0951}{2,236}\right) 0,618 \\
 &= 0,180 \text{ m} = 1,8 \text{ cm dibulatkan } 0,7 \text{ inch}
 \end{aligned}$$

#### 4.4.3 Perhitungan Sudu Distorsi

Untuk perancangan sudu, sudu tidak hanya tergantung pada analisis tegangan, beberapa faktor lainnya juga mempunyai peran penting. Yang paling utama adalah segitiga kecepatan, perhitungan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 Q &= 1,509 \text{ m}^3/\text{detik} \\
 d &= D_e = 0,618 \text{ m} \\
 n &= 9,697 \text{ min}^{-1} \\
 H_n &= 0,949 \text{ m} \\
 D_i &= 0,18 \text{ m} \\
 H_1 &= 0,62 \text{ m} \\
 H_2 &= 0,42 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Kecepatan tangensial ( $u$ ) merupakan gaya yang diberikan oleh aliran air masuk turbin dan aliran air keluar, kecepatan tangensial dapat ditentukan dengan persamaan berikut:

$$u = \pi \times n \times d = 3,14 \times 9,697 \times 0,618 = 18,817 \text{ m/s}$$

Kecepatan mutlak ( $c$ ) merupakan gaya yang diberikan oleh ketinggian jatuh air pada saat mengenai permukaan turbin  $H_1$  (0,62 m) dan gaya gravitasi  $g$  (9.81m<sup>2</sup>/s) dapat ditentukan dengan persamaan berikut :

$$\begin{aligned}
 c_{u1} &= \frac{H_1 \times g}{u} \\
 &= \frac{0,62 \times 9,81}{18,817} \\
 &= 0,323 \text{ m/s}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 c_{u2} &= \frac{H_2 \times g}{u} \\
 &= \frac{0,42 \times 9,81}{18,817} \\
 &= 0,218 \text{ m/s}
 \end{aligned}$$

Kecepatan relatif ( $W$ ) merupakan gaya yang diberikan oleh aliran air masuk turbin dan aliran air keluar dari turbin, perhitungan sebagai berikut:

$$W_{u1} = C_{u1} - u = 0,323 - 18,817 = -18,50 \text{ m/s}$$

$$W_{u2} = C_{u2} - u = 0,218 - 18,817 = -18,59 \text{ m/s}$$

$$\begin{aligned} W_u &= \frac{W_{u1} + W_{u2}}{2} \\ &= \frac{(-18,50) + (-18,59)}{2} \\ &= -18,55 \text{ m/s} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W_m &= \frac{Q}{A} \\ A &= \frac{\pi(D_e^2 - D_i^2)}{4} \\ &= \frac{3,14(0,618^2 - 0,18^2)}{4} \\ &= 0,274 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W_m &= \frac{1,509}{0,274} \\ &= 5,507 \text{ m/s} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W_1 &= \sqrt{W_{u1}^2 + W_m^2} \\ &= \sqrt{(-18,50)^2 + (5,507)^2} \\ &= 19,30 \text{ m/s} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W_2 &= \sqrt{W_{u2}^2 + W_m^2} \\ &= \sqrt{(-18,59)^2 + (5,507)^2} \\ &= 19,38 \text{ m/s} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W &= \sqrt{W_u^2 + W_m^2} \\ &= \sqrt{(-18,55)^2 + (5,507)^2} \\ &= 19,35 \text{ m/s} \end{aligned}$$

Untuk mendapatkan sudut yang akurat dari penyimpangan, sudut serang harus dikurangkan dari sudut luncur ( $180 - \beta_\infty$ ) :

$$\begin{aligned} \beta &= \text{arc Cos } \frac{W_u}{W} \\ &= \text{arc Cos } \frac{-18,55}{19,35} \\ &= \text{arc Cos } -0,958 \\ &= 163 \end{aligned}$$

$$(180^\circ - \beta_\infty) = 1800-1630 \\ = 17^\circ$$

#### 4.4.3.1 Menentukan Dimensi Utama Sudu

Koefisien gaya angkat untuk setiap radius dapat ditentukan dengan persamaan berikut :

$$\xi_a = \frac{W_2^2 - W_\infty^2 + 2 \times g \times (\frac{p}{\gamma} - H_s - \frac{P_{min}}{\gamma} - \gamma_s - \eta_s \times \left( \frac{C_3^2 - C_4^2}{2g} \right))}{k \times W_\infty^2}$$

dimana:

$$W_2 = 19,38 \text{ m/s}$$

$$W_\infty = 19,35 \text{ m/s}$$

$$\eta_s = 0,88 - 0,91$$

$$\eta_s = 0,8$$

$$p/\gamma = 1 \text{ m}$$

$$H_s = 0,85$$

$$K = 2,6 - 3$$

$$K = 2,6$$

$$P_{min} = 2-2,5$$

$$P_{min}/\gamma = 2$$

$$c_4 = 0,2 \text{ m/s}$$

$$Q = 1,509 \text{ m}^3/\text{detik}$$

$$c_3 = \frac{Q}{A_3}$$

$$A_3 = \frac{\pi \times D_i^2}{4} \\ = \frac{3,14 \times 0,18^2}{4} \\ = 0,025 \text{ m}^2$$

$$c_3 = \frac{1,509}{0,025}$$

$$= 60,36 \text{ m/s}$$

Maka dari persamaan tersebut dihitung koefesien angkat adalah :

$$\begin{aligned}\xi_a &= \frac{W_2^2 - W_\infty^2 + 2 \times g \times (\frac{p}{\gamma} - H_s - \frac{P_{min}}{\gamma} - \gamma_s - \eta_s \times \left( \frac{C_3^2 - C_4^2}{2g} \right))}{k \times W_\infty^2} \\ &= \frac{19,38^2 - 19,35^2 + 2 \times 9,81 \times (10 - 0,85 - 2 - 0,8 \times \left( \frac{60,36^2 - 0,2^2}{2 \times 9,81} \right))}{2,6 \times 19,35^2} \\ &= 0,115\end{aligned}$$

#### 4.4.3.2 Perbandingan l/t (Panjang Sudu Gerak dengan Jarak Antara Sudu)

Ketika koefesien angkat diketahui untuk menentukan ketebalan sudu, maka perbandingan l/t dapat ditentukan sebagai berikut:

$$\frac{l}{t} = \frac{\eta \times g \times H}{W_\infty} \times \frac{c_m}{u} \times \frac{\cos \lambda}{\sin(180 - \beta - \lambda)} \times \frac{1}{\xi_a}$$

$$\eta h = 0,8$$

$$H = 1,054$$

$$C_m = w_m = 5,507 \text{ m/s}$$

$$w_\infty = 19,35 \text{ m/s}$$

$$u = 18,817 \text{ m/s}$$

$$\beta_\infty = 163^\circ$$

$$\xi_a = 0,115$$

$$\lambda = 3^\circ \text{ (asumsi)}$$

$$\begin{aligned}\frac{l}{t} &= \frac{\eta \times g \times H}{W_\infty} \times \frac{c_m}{u} \times \frac{\cos \lambda}{\sin(180 - \beta - \lambda)} \times \frac{1}{\xi_a} \\ &= \frac{0,8 \times 9,81 \times 1,054}{19,35} \times \frac{5,507}{18,817} \times \frac{\cos 3}{\sin(180 - 163 - 3)} \times \frac{1}{0,115} \\ &= 1,115\end{aligned}$$

Untuk nilai l/t tidak sama persis dengan nilai secara teoritis, pada teoritis nilai l/t dipakai satu, namun nilai yang sebenarnya adalah 0,95. Nilai tersebut didapat menggunakan metoda numerik, namun dalam perhitungan di atas data numerik dibulatkan, nilai l/t dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$\frac{l}{t} = 1,115$$

$$\frac{l}{t} = \frac{1}{l/t}$$

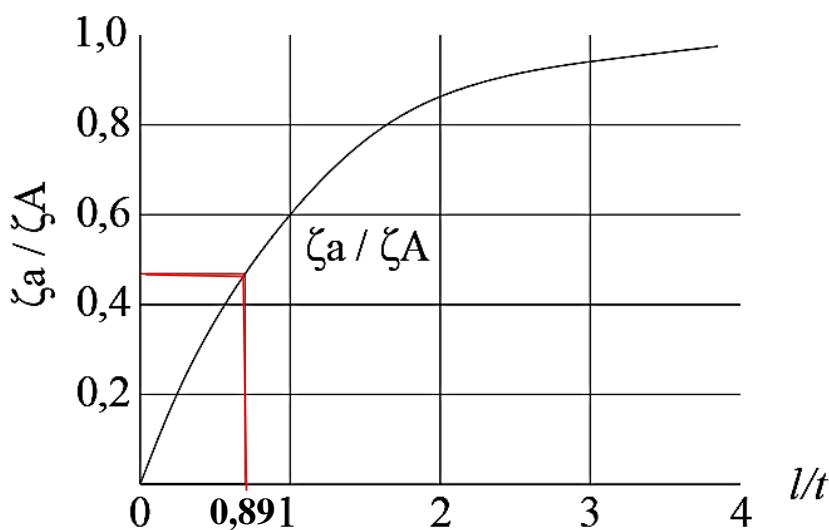
$$\frac{l}{t} = \frac{1}{1,115}$$

$$= 0,89$$

$$\frac{l}{t} (\text{maximum allowed}) = 0,9 - 1,05$$

#### 4.4.3.3 Perhitungan Koefisien Gaya Angkat $\zeta$

Nilai timbal balik dari perbandingan  $l/t$  harus ditetapkan. Melalui nilai timbal balik, rasio koefisien gaya angkat  $\zeta_a/\zeta_A$  dapat dibaca dalam mengikuti Gambar (4.8) Menggunakan rasio ini maka koefisien  $\zeta_A$  dapat dibentuk.



Gambar 4.9 Grafik Menentukan Nilai  $\zeta_a / \zeta_A$

Sumber: Perencanaan Penulis, 2017

Dari gambar 4.8 maka dapat ditentukan nilai dari  $\zeta_a / \zeta_A$  dimana  $\zeta_a$  adalah koefisien gaya angkat setiap radius sedangkan  $\zeta_A$  adalah koefesien gaya angkat setiap sudu.

Berdasarkan hasil perhitungan dari  $l/t$  dengan cara setelah mengetahui nilai  $l/t$  ditarik garis hingga ujung garis menyentuh dari penentuan nilai  $\zeta_a / \zeta_A$  untuk selanjutnya dapat diketahui nilai  $\zeta_a / \zeta_A$  dengan grafik tersebut, maka nilai  $\zeta_A$  dapat diperoleh dengan persamaan berikut:

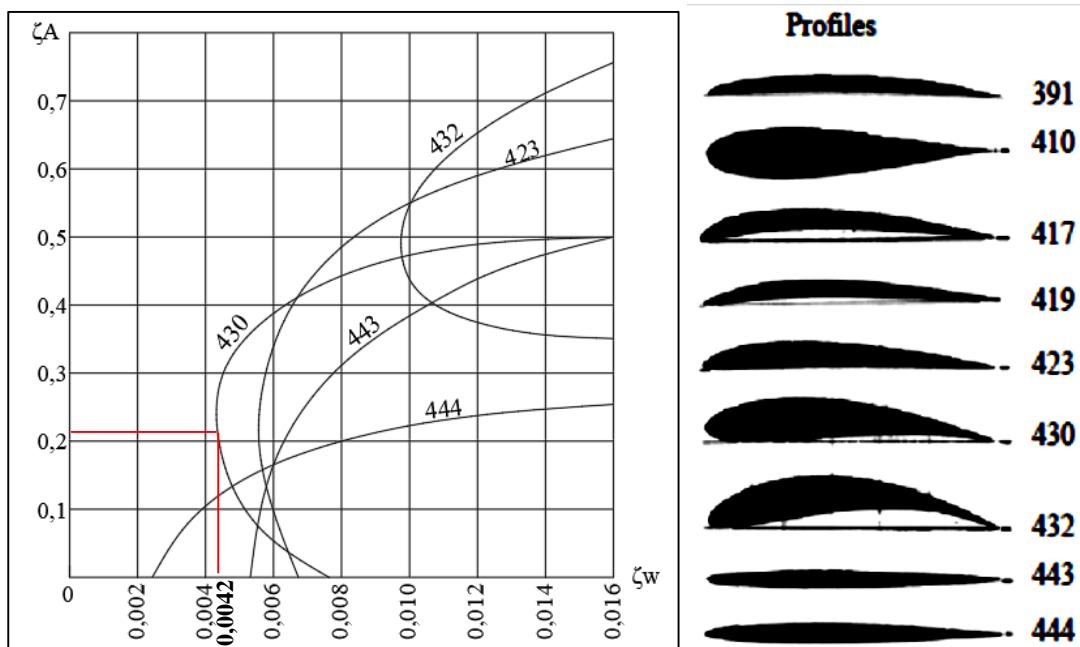
$$\zeta_a / \zeta_A = 0,47$$

$$\zeta_A = 0,115/0,47$$

$$= 0,24$$

#### 4.4.3.4 Perhitungan Koefisien Gaya Gesek ( $\zeta_W$ )

Grafik pada gambar berikut memberikan informasi tentang hambatan koefisien gaya gesek ( $\zeta_W$ ) dari profil yang berbeda. Profil sudu dapat dipilih berdasarkan tingkat kesulitan dari bentuk sudu tersebut dan berdasarkan dimensi turbin yang direncanakan, dapat dilihat pada Gambar (4.9)



Gambar 4.10 Grafik Untuk Menentukan Profil Yang Akan Digunakan

Sumber: Perencanaan Penulis, 2017

Dari grafik diatas setelah diperoleh nilai  $\zeta_A = 0,24$  ditarik garis hingga ujung garis menyentuh dari penentuan profil, maka dapat ditentukan profil sudu yang akan digunakan, pada perancangan kali ini profil sudu yang buat profil dengan nomor 430 dan nilai koefisien gaya gesek ( $\zeta_W$ )=0,0042.

#### 4.4.3.5 Perhitungan Sudut Luncur ( $\lambda$ )

Sudut luncur dihitung untuk menentukan ketebalan dari diameter dalam sudu turbin, digunakan persamaan berikut:

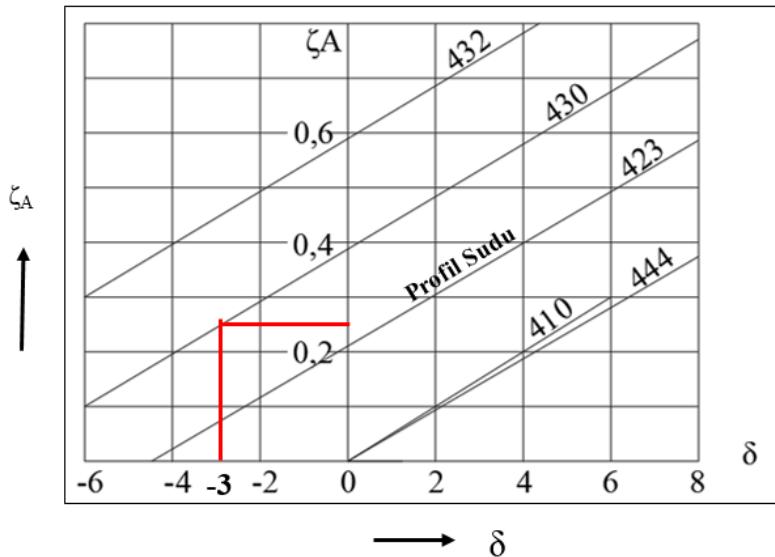
$$\lambda = \tan^{-1} \frac{\zeta_w}{\zeta_A}$$

$$\lambda = \tan^{-1} \frac{0,0042}{0,24}$$

$$= 1^0$$

#### 4.4.3.6 Perhitungan Sudut Serang ( $\delta$ )

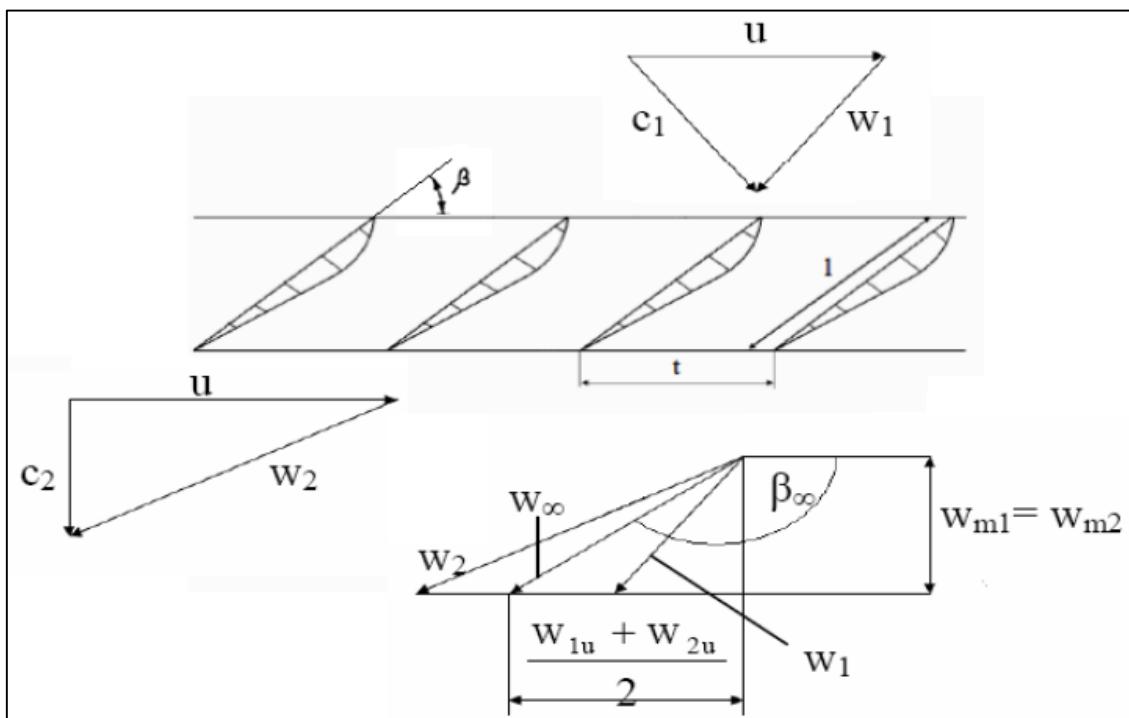
Sudut serang dihitung untuk menentukan ketebalan dari diameter luar sudu turbin, untuk menentukan ketebalan dari sudu turbin maka dapat digunakan dari Gambar (4.12) .



Gambar 4.11 Grafik Untuk Menentukan Sudut Serang

Sumber: Perencanaan Penulis, 2017

Berdasarkan grafik diatas untuk menentukan sudut serang sudah diketahui nilai  $\zeta_A=0,24$  dan profil sudu yang dibuat adalah profil dengan nomor 430, maka didapatkan sudut serang  $\delta = -3^0$  dan sudut distorsi  $(180^0 - \beta_\infty - \delta) = 180^0 - 163^0 - (-3)^0 = 20^0$



Gambar 4.12 Bentuk Segi Tiga Kecepatan

Sumber: Anonim (2015, p.72)

#### 4.4.4 Perhitungan Daya dan Energi

Perhitungan daya dan energi Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) Cikeusik ditentukan dari besarnya daya yang dibangkitkan dan jumlah energi yang dibangkitkan. Daya listrik dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

- Daya teoritis

$$\begin{aligned} P_{\text{turbin}} &= 9,81 \times Q \times H_{\text{eff}} \\ &= 9,81 \times 1,509 \times 1,054 \\ &= 15,676 \text{ kW} \end{aligned}$$

- Daya turbin

$$\begin{aligned} P_{\text{turbin}} &= 9,81 \times \eta_t \times Q \times H_{\text{eff}} \\ &= 9,81 \times 0,85 \times 1,509 \times 1,054 \\ &= 13,325 \text{ kW} \end{aligned}$$

- Daya generator

$$\begin{aligned} P_{\text{generator}} &= 9,81 \times \eta_g \times \eta_t \times Q \times H_{\text{eff}} \\ &= 9,81 \times 0,85 \times 0,90 \times 1,509 \times 1,054 \\ &= 11,934 \text{ kW} \end{aligned}$$

#### 4.4.5 Produksi Energi Tahunan

Perhitungan produksi energi tahunan dengan memperhitungkan banyaknya daya yang dihasilkan per satuan waktu dalam kurun waktu satu tahun. Perhitungan banyaknya energi yang dihasilkan pembangkit dalam satu tahun menggunakan persamaan berikut:

$$E = P \times 24 \times n$$

contoh perhitungan untuk bulan Januari:

$$\begin{aligned} Q_{90} &= 1,509 \text{ m}^3/\text{dt} \\ P &= 11,934 \text{ kW} \\ n &= 31 \text{ hari} \\ E &= P \times 24 \times n \\ &= 11,934 \text{ kW} \times 24 \times 31 \\ &= 8879,178 \text{ kWh} \end{aligned}$$

Untuk perhitungan energi total yang dihasilkan dapat dilihat pada tabel 4.18.

Tabel 4.18  
Nilai Daya dan Energi

Bulan	Jumlah Hari	Qsungai ( $m^3/dt$ )	$Q_{90}$ ( $m^3/dt$ )	Head loss (m)	Heff (m)	$\eta_{turbin}$	$\eta_{generator}$	Daya (kW)	Energi (kWH)
1	2	3	4	6	7	8	9	10	11
Januari	31	42,301	1,509	0,446	1,054	0,850	0,900	11,934	8879,178
Februari	28	51,940	1,509	0,446	1,054	0,850	0,900	11,934	8019,903
Maret	31	51,950	1,509	0,446	1,054	0,850	0,900	11,934	8879,178
April	30	43,966	1,509	0,446	1,054	0,850	0,900	11,934	8592,753
Mei	31	27,825	1,509	0,446	1,054	0,850	0,900	11,934	8879,178
Juni	30	15,443	1,509	0,446	1,054	0,850	0,900	11,934	8592,753
Juli	31	10,705	1,509	0,446	1,054	0,850	0,900	11,934	8879,178
Agustus	31	4,066	1,509	0,446	1,054	0,850	0,900	11,934	8879,178
September	30	5,633	1,509	0,446	1,054	0,850	0,900	11,934	8592,753
Oktober	31	6,297	1,509	0,446	1,054	0,850	0,900	11,934	8879,178
November	30	11,794	1,509	0,446	1,054	0,850	0,900	11,934	8592,753
Desember	31	28,320	1,509	0,446	1,054	0,850	0,900	11,934	8879,178
Rerata					1,054			11,934	
Jumlah									104545,17

Sumber: Hasil Perhitungan, 2017

#### Keterangan:

- |                               |                           |
|-------------------------------|---------------------------|
| 1. Bulan                      | 6. Data Heff (m)          |
| 2. Jumlah Hari                | 7. Efisiensi Turbin       |
| 3. Data Qsungai ( $m^3/dt$ )  | 8. Efisiensi Generator    |
| 4. Data $Q_{90}$ ( $m^3/dt$ ) | 9. (4) x (6) x (7) x 9,81 |
| 5. Data Head loss (m)         | 10. (8) x 24 x (2)        |

#### 4.5 Rencana Anggaran Biaya (RAB)

Menurut Firmansyah (2011, p.25) dalam buku Rancang Bangun Aplikasi Rencana Anggaran Biaya Dalam Pembangunan Rumah. Rencana Anggaran Biaya (RAB) merupakan perhitungan banyaknya biaya yang diperlukan untuk bahan dan upah, serta biaya-biaya lain yang berhubungan dengan pelaksanaan proyek pembangunan.

Untuk mempersiapkan pembangunan PLTMH Cikeusik dari segi finansial, maka diperlukan analisis terkait biaya yang diperlukan untuk membangun PLTMH Cikeusik. Analisis estimasi biaya pembangunan ini menggunakan pendekatan rumus empiris dari (RETscreen Canada, 2005, p.42). Dengan parameter untuk perhitungan adalah:

- ✓ Debit rencana (Q) = 1,509  $m^3/detik$
- ✓ Tinggi jatuh efektif ( $H_g$ ) = 1,054 meter
- ✓ Daya dibangkitkan (MW) = 0,0119 MW

- ✓ Jumlah turbin (n) = 1 unit
- ✓ Diameter pipa pesat = 0,97 meter
- ✓ Panjang pipa pesat = 19,14 meter
- ✓ Ketebalan pipa pesat = 3 mm
- ✓ Diameter runner turbin (d) = 0,618 meter
- ✓ Panjang saluran pembawa = 8 meter
- ✓ Kemiringan saluran pembawa = 0,1%
- ✓ Kurs Kanada ke rupiah = Rp. 10.556,11 (Tertanggal 19 Desember 2017)

Berdasarkan data-data tersebut di atas, akan dihitung biaya estimasi dari PLTMH Sindupraja, untuk parameter yang tidak tercantum akan disesuaikan kemudian pada perhitungan. Biaya dari masing-masing komponen adalah sebagai berikut:

- ✓ Teknis (C1) (menurut persamaan 2-58)

$$\begin{aligned}
 &= 0,37n^{0,1} \left( \frac{MW}{H_g^{0,3}} \right)^{0,9} \times 10^6 \\
 &= 0,37 \cdot 1^{0,1} \left( \frac{0,0119}{0,994^{0,3}} \right)^{0,9} \times 10^6 \\
 &= 4.362,92 \text{ (dalam \$ kanada)} \\
 &= Rp. 46.055.463,07
 \end{aligned}$$

- ✓ Elektromekanikal (C2) (menurut persamaan 2-62)

Untuk biaya elektromekanikal nilai  $J_t = 1,00$  (Untuk tinggi jatuh efektif < 25 meter), nilai  $K_t = 0,3$  (Untuk diameter runner < 1,8 meter). Perhitungan:

$$\begin{aligned}
 &= 0,125J_t K_t d^{1,47} \{ 1,17 \cdot H_g^{0,12} + 4 \} \times 10^6 \\
 &= 0125 \cdot 1^{0,96} \cdot 1 \cdot 0,3 \cdot 0,97^{1,47} \{ 1,17 \times 1,054^{0,12} + 4 \} \times 10^6 \\
 &= 53.303,37 \text{ (dalam \$ kanada)} \\
 &= Rp. 562.676.237,17
 \end{aligned}$$

- ✓ Instalasi peralatan C2 (C3) (menurut persamaan 2-66)

$$\begin{aligned}
 &= 0,15(C2) \\
 &= 0,15 \cdot (53303,37) \\
 &= 7.995,51 \text{ (dalam \$ kanada)} \\
 &= Rp. 84.401.435,58
 \end{aligned}$$

- ✓ Kabel transmisi (C4) (menurut persamaan 2-67)

Kabel transmisi ditentukan faktor kesulitan pemasangannya  $D = 1,5$ . Voltase direncanakan sebesar  $V = 10$  kV, untuk kabel transmisi karena  $V < 69$  kV maka

$P = 0,85$  sedangkan kabel transmisi diperkirakan sepanjang 1 km. Sehingga, biayanya adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} &= 0,0011 \cdot D.P.l_T^{0,95} \cdot V \times 10^6 \\ &= 0,0011 \cdot 1,5 \cdot 0,85 \cdot 1^{0,95} \cdot 10 \times 10^6 \\ &= 14.025 \text{ (dalam \$ kanada)} \\ &= Rp. 148.049.442,75 \end{aligned}$$

- ✓ Substansi dan transformer (C5) (menurut persamaan 2-68)

$$\begin{aligned} &= (0,0025n^{0,95} + 0,002(n+1)) \cdot \left(\frac{MW}{0,95}\right)^{0,9} \cdot V^{0,3} \times 10^6 \\ &= (0,0025 \cdot 1^{0,95} + 0,002(1+1)) \cdot \left(\frac{0,0117}{0,95}\right)^{0,9} \cdot 10^{0,3} \times 10^6 \\ &= 10.853,22 \text{ (dalam \$ kanada)} \\ &= Rp. 114.567.765,05 \end{aligned}$$

- ✓ Instalasi C5 (C6) (menurut persamaan 2-69)

$$\begin{aligned} &= 0,15 \cdot (C6) \\ &= 0,15 \cdot 10853,22 \\ &= 1.627,98 \text{ (dalam \$ kanada)} \\ &= Rp. 17.185.164,76 \end{aligned}$$

- ✓ Uraian Biaya Pekerjaan sipil (C7) (menurut persamaan 2-70)

Faktor biaya sipil ditentukan  $C = 1$ , Faktor batuan ditentukan = 1, dan jarak ke *borrow area* ditentukan sebesar 1 kilo meter, jika sudah terdapat bendung maka nilai  $C = 0,44$  jika belum nilai  $C = 1$ . Sehingga biaya pekerjaan sipil adalah

$$\begin{aligned} &= 1,97n^{-0,04} \cdot C.R \cdot \left(\frac{MW}{H_g^{0,3}}\right)^{0,82} \cdot (1 + 0,01l_b) \cdot (1 + 0,005 \frac{l_d}{H_g}) \times 10^6 \\ &= 1,97 \cdot 2^{-0,04} \cdot 0,44 \cdot 1 \cdot \left(\frac{0,01173}{0,994^{0,3}}\right)^{0,82} \cdot (1 + 0,01 \cdot 0) \cdot (1 + 0,005 \frac{1}{0,994}) \times 10^6 \\ &= 10.313.10 \text{ (dalam \$ kanada)} \\ &= Rp. 109.440.834,09 \end{aligned}$$

- ✓ Pipa pesat (C8)

Berdasarkan harga pipa terbaru Maret 2018, pipa besi seharga Rp 1.035.000,-/meter dan panjang pipa pesat = 19,14 m. Sehingga  $1.035.000,- \times 19,14 = Rp 19.809.900$

- ✓ Biaya lain-lain (C9) (menurut persamaan 2-71)

Untuk biaya lain-lain menggunakan suku bunga  $i=6,50\%$  (Bank Indonesia *rate* 21 Juli 2016)

$$\begin{aligned}
&= 0,25 \cdot i \cdot Q_d^{0,35} \cdot (1,1 \sum C_1 \text{ sampai } C_{11}) + 0,1 \cdot \sum C_1 \text{ sampai } C_{11} \\
&= 0,25 \cdot 0,065 \cdot 1,509^{0,35} \cdot (1,1 (4.362,92 + 53.303,37 + 7.995,51 + 14.025,00 + \\
&\quad 10.853,22 + 1.627,98 + 29.260,77 + 1.876,62) + (0,1((4.362,92 + 53.303,37 + \\
&\quad 7.995,51 + 14.025,00 + 10.853,22 + 1.627,98 + 29.260,77 + 1.876,62) \\
&= 3.380,82 \text{ (dalam \$ kanada)} \\
&= Rp. 35.688.312,58
\end{aligned}$$

Berdasarkan hasil perhitungan estimasi biaya menggunakan metode dari *RETSscreen* Canada, didapatkan nilai biaya keseluruhan yang ditampilkan pada tabel 4.19 berikut

Tabel 4.19  
Rekapitulasi Biaya PLTMH Cikeusik

No.	Komponen	Biaya
1	2	3
1	Teknis	Rp 46.055.463,07
2	Elektromekanikal	Rp 562.676.237,17
3	Instalasi Peralatan Hidromekanikal	Rp 84.401.435,58
4	Kabel Transmisi	Rp 148.049.442,75
5	Substansi dan Transformer	Rp 114.567.765,05
6	Instalasi Substansi dan Transformer	Rp 17.185.164,76
7	Pekerjaan Sipil	Rp 109.440.834,09
8	Pipa Pesat	Rp 19.809.900,00
9	Biaya Lain-lain	Rp 27.080.128,74
TOTAL		Rp 1.129.266.371,21
PPN 10%		Rp 112.926.637,12
Capital Cost		Rp 1.242.193.008,33

Sumber: Hasil Perhitungan, 2017

**Keterangan:**

1. Nomor
2. Komponen
3. Biaya

Jadi, total biaya langsung = Rp 1.242.193.008,33

## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan hasil analisa dan perhitungan yang telah dilakukan dengan memperhatikan rumusan masalah, maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Hasil analisa debit yang menggunakan data debit selama 11 tahun, yaitu tahun 2004-2014, perencanaan bangunan sampai dengan perhitungan perencanaan dengan debit pembangkitan yang digunakan adalah  $1,509 \text{ m}^3/\text{detik}$  (debit andalan 90%)
2. Komponen mekanik dari PLTMH Cikeusik adalah turbin dan generator, berdasarkan analisa perencanaan yang didapatkan turbin yaitu adalah 1 unit turbin jenis *Axial Flow Pump As Turbine* dengan debit  $1,509 \text{ m}^3/\text{detik}$  dan tinggi jatuh efektif  $1,054 \text{ m}$
3. Untuk hasil perhitungan daya PLTMH Cikeusik akan menghasilkan daya dan energi sebesar daya total yang dihasilkan oleh 1 turbin sebesar  $11,934 \text{ kW}$  dan energi sebesar  $104.545,17 \text{ kWh}$ .
4. Berdasarkan perhitungan dan analisa desain perencanaan untuk komponen PLTMH Cikeusik sebagai berikut:
  - Bangunan pengambilan memiliki lebar pintu 2,2 meter, dengan pintu berjumlah 1 unit. Kapasitas pintu pengambilan 120% dari debit pembangkit atau  $1,811 \text{ m}^3/\text{detik}$ .
  - Saluran pembawa berbentuk persegi yang memiliki lebar sebesar 2,2 meter, dengan tinggi muka air 0,628 meter. Kemiringan saluran pembawa 0,1% dengan panjang 8 meter.
  - Bak penenang memiliki lebar 3 meter dengan panjang 2,01 meter, dengan kapasitas bak penenang sebesar  $18,11 \text{ m}^3$ .
  - Pipa pesat dengan berdiameter 0,97 meter dengan tebal pipa 3 milimeter.
5. Hasil Rencana Anggaran Biaya (RAB) pada perencanaan PLTMH Cikeusik adalah Rp 1.242.193.008,33

## 5.2 Saran

Dalam studi perencanaan ini PLTMH Cikeusik agar rencana yang dijalankan dapat digunakan dalam jangka waktu yang lama, maka perlu diperhatikan beberapa hal di bawah ini:

1. Adanya pihak pemerintah daerah setempat untuk mendukung pembangunan PLTMH Cikeusik ini. Agar warga setempat dapat menggunakan untuk keperluan usaha masyarakat Cikeusik.
2. Alangkah lebihnya kerja sama yang baik antara penduduk setempat dengan pengelola pembangkit listrik tenaga mikro hidro dalam hal pemanfaatan daya listrik yang dihasilkan sehingga daya tersebut dapat dimanfaatkan secara optimal.
3. Pengawasan dan pemeliharaan pembangkit listrik yang dilakukan dalam jangka waktu tertentu, agar apabila terjadi kerusakan pada pembangkit dapat segera diadakan perbaikan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Agusta, Rizky. 2015. *Skema dan Cara Kerja Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA)*. <https://porgas.wordpress.com/2015/06/30/skema-dan-cara-kerja-pembangkit-listrik-tenaga-air-plta/>. Diakses pada 21 Desember 2016
- Anonim. 2003. Teknologi Mikrohidro dalam Pemanfaatan Sumber Daya Air untuk Menunjang Pembangunan Pedesaan. Makasar: Semiloka Produk-produk Penelitian Departemen Kimpraswil.
- Arismunandar, A & Kuwahara, S. 1988. *Teknik Tenaga Listrik Jilid I*. Jakarta: PT. Pradnya Paramita.
- Arismunandar, A & Kuwahara, S. 2004. *Teknik Tenaga Listrik Jilid II*. Jakarta: PT. Pradnya Paramita.
- BPS Kabupaten Kuningan. 2016. *Kabupaten Kuningan Dalam Angka 2016*. Kuningan
- BPS Kecamatan Cidahu. 2016. *Kecamatan Cidahu Dalam Angka 2016*. Kuningan
- Chow, Ven Te. 1984. *Open Channel Hydraulics*. Jakarta: Erlangga
- Dandekar, M.M., dan Sharma, K.N. 1991. *Pembangkit Listrik Tenaga Air*. Jakarta: Universitas Indonesia.
- Direktorat Jendral Listrik dan Pemanfaatan Energi. 2008. *Pedoman Teknis Standarisasi Peralatan dan Komponen Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH)*. Jakarta: Direktorat Jendral Listrik dan Pemanfaatan Energi.
- Direktorat Jendral Listrik dan Pemanfaatan Energi. 2009. *Buku 2 A Pedoman Studi Kelayakan Hidrologi*. Jakarta: Direktorat Jendral Listrik dan Pemanfaatan Energi.
- Direktorat Jendral Listrik dan Pemanfaatan Energi. 2009. *Buku 2 B Pedoman Studi Kelayakan Sipil*. Jakarta: Direktorat Jendral Listrik dan Pemanfaatan Energi.
- Direktorat Jendral Listrik dan Pemanfaatan Energi. 2009. *Buku 2 C Pedoman Studi Mekanikal Elektrikal*. Jakarta: Direktorat Jendral Listrik dan Pemanfaatan Energi.
- Direktorat Jendral Listrik dan Pemanfaatan Energi. 2009. *Buku 2 D Pedoman Studi Ekonomi Financial*. Jakarta: Direktorat Jendral Listrik dan Pemanfaatan Energi.
- Direktur Jendral Pengairan. 1986. *Standar Perencanaan Irigasi Kriteria Perencanaan Bagian Bangunan Utama KP-02*. Jakarta
- Direktur Jendral Sumber Daya Air. 2013. *Standar Perencanaan Irigasi Kriteria Perencanaan Bagian Bangunan Utama (Head Works) KP-02*. Jakarta
- Direktur Jendral Sumber Daya Air. 2013. *Standar Perencanaan Irigasi Kriteria Perencanaan Bagian Saluran KP-03*. Jakarta

- Direktur Jendral Sumber Daya Air. 2013. *Standar Perencanaan Irigasi Kriteria Perencanaan Bagian Bangunan KP-04*. Jakarta
- Direktur Jendral Pengairan. 2010. *Modul Pelatihan Studi kelayakan Pembangunan Mikrohidro*. Jakarta
- European Small Hydropower Association. 2004. *Guide on How to Develop a Small Hydropower Plant Part I*. Belgium: ESHA
- European Small Hydropower Association. 2004. *Guide on How to Develop a Small Hydropower Plant Part II*. Belgium: ESHA
- Gunawan, A., Oktafeni, A. & Khabzali, W. 2013. Pemantauan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH). *Jurnal rekayasa elektrika*. 10 (4): 203
- J.-M. Chapallaz, P. Eichenberger, G. Fischer. 1992. *Manual On Pumps Used As Turbines*.
- Japan International Corporation Agency. [t.th.] . *Manual Pembangunan PLTMH*. [t.t.]. [t.p.]
- Lily Moentarcih L. 2010. *Hidrologi Praktis*. Malang : Tirta Media.
- Liu, Henry 2003. *Pipeline Engineering*. United States of America: Lewis Publishers.
- Patty, O.F. 1995. *Tenaga Air*. Jakarta: Erlangga
- Pujawan, I Nyoman. 1995. *Ekonomi Teknik*. Yogjakarta: Liberty.
- Ramos, Helena. 2000. *Guidelines for design off small hydropower plants*. Ireland : CEHIDRO.
- Soemarto, CD. 1987. *Hidrologi Teknik*. Surabaya: Usaha Nasional
- Sosrodarsono, Suyono 1989. *Bendungan Type Urugan*. Jakarta: PT. Pradnya Paramita.
- Varshney, R. S. 1977. *Hidro Power Structures*: India.
- Warnick, C,C. 1984. *Hydropower engineering*. United States America: Prentice-hall, inc., Englewood Cliffs

Tabel Data Debit Sungai Cisanggarung Bendung Cikeusik

No.	Tahun	Bulan											
		Januari	Februari	Maret	April	Mei	Juni	Juli	Agustus	September	Okttober	Nopember	Desember
1	2004	53,878	29,234	62,643	21,031	19,859	6,060	10,800	1,810	4,174	1,295	8,436	28,935
2	2005	36,918	51,410	49,199	56,813	19,858	23,686	18,200	2,007	4,583	6,691	6,481	26,939
3	2006	58,702	57,836	31,433	42,018	25,971	6,591	1,486	1,781	0,861	0,198	2,892	20,085
4	2007	29,251	47,925	47,884	36,244	24,823	11,788	5,598	3,494	2,259	1,679	2,291	9,305
5	2008	28,163	35,233	35,603	30,037	16,389	6,803	1,641	1,562	1,138	1,203	0,184	23,252
6	2009	54,106	66,380	42,280	32,600	29,039	22,354	4,643	2,226	1,230	3,940	8,062	20,297
7	2010	50,515	72,581	50,553	56,772	61,233	30,352	17,846	17,050	39,641	40,775	61,550	76,202
8	2011	34,634	58,391	74,738	70,380	58,079	21,128	8,307	2,769	1,953	4,316	13,588	23,778
9	2012	37,064	59,719	62,978	40,588	19,716	5,534	2,995	1,054	1,310	2,869	8,295	28,199
10	2013	44,729	41,130	54,358	50,846	31,108	35,582	40,007	5,260	3,070	5,596	14,291	40,082
11	2014	37,358	51,499	59,781	46,301	0,000	0,000	6,238	5,711	1,747	0,710	3,667	14,450

Sumber: Laporan Pekerjaan, 2016

Tabel Data Debit Pada Saluran Induk Bendung Cikeusik

No.	Tahun	Bulan											
		Januari	Februari	Maret	April	Mei	Juni	Juli	Agustus	September	Oktober	Nopember	Desember
1	<b>2004</b>	9,348	8,327	6,638	9,470	8,913	5,025	5,528	1,609	2,669	1,259	5,560	7,663
2	<b>2005</b>	8,378	8,792	8,217	8,767	8,585	8,873	5,275	4,703	4,262	2,481	2,955	7,909
3	<b>2006</b>	8,047	7,965	7,965	8,881	9,273	5,862	3,015	1,801	0,760	0,200	2,060	7,854
4	<b>2007</b>	6,930	9,754	8,011	8,624	9,300	7,667	4,754	1,562	0,835	2,056	3,831	7,325
5	<b>2008</b>	8,091	6,975	5,906	6,784	6,736	3,134	1,253	0,935	0,739	2,881	8,985	8,690
6	<b>2009</b>	8,673	8,906	7,100	6,920	8,994	8,626	4,326	2,214	1,137	3,037	4,742	7,028
7	<b>2010</b>	9,978	9,414	9,280	9,554	9,255	9,614	7,129	4,929	2,882	3,598	7,295	9,781
8	<b>2011</b>	9,819	8,628	8,038	8,506	8,350	9,324	8,853	8,073	6,514	3,587	7,750	9,196
9	<b>2012</b>	9,426	9,545	8,553	8,796	9,466	8,947	8,308	6,310	3,282	3,365	6,375	9,408
10	<b>2013</b>	10,941	10,948	9,504	10,590	10,462	7,502	4,026	2,426	2,067	0,121	5,656	9,610
11	<b>2014</b>	10,656	9,939	7,520	10,003	11,328	9,898	9,536	7,990	11,829	10,555	10,302	11,624

Sumber: Laporan Pekerjaan, 2016