

**STUDI PERENCANAAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKRO
HIDRO DI DANAU ANDEMAN, DESA SANANKERTO,
KECAMATAN TUREN, KABUPATEN MALANG**

SKRIPSI

**TEKNIK PENGAIRAN KONSENTRASI PEMANFAATAN DAN
PENDAYAGUNAAN SUMBERDAYA AIR**

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan
Memperoleh gelar Sarjana Teknik



YOGGIE AZHARY AUGUSTIMAN
NIM. 145060401111001

UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
MALANG
2018

LEMBAR PENGESAHAN

STUDI PRENCANAAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKRO HIDRO DI DANAU ANDEMAN, DESA SANANKERTO, KECAMATAN TUREN, KABUPATEN MALANG

SKRIPSI

TEKNIK PENGAIRAN KONSENTRASI PEMANFAATAN DAN PENDAYAGUNAAN SUMBERDAYA AIR

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



YOGGIE AZHARY AUGUSTIMAN
NIM. 145060401111001

Skripsi ini telah direvisi dan disetujui oleh dosen pembimbing
Pada tanggal 4 juli 2018:

Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Pengairan

Dosen Pembimbing

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

Dr. Very Dermawan, ST., MT.
NIP. 19730217 199903 1 001

PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI

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

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



Malang, 19 Juli 2018
Mahasiswa,

Nama : Yoggie Azhary Augustiman
NIM : 145060401111001
Jurusan : Teknik Pengairan



TURNITIN



UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM SARJANA



SERTIFIKAT BEBAS PLAGIASI

Nomor : 54 /UN10.F07.14.11/TU/2018

Sertifikat ini diberikan kepada :

YOGGIE AZHARY AUGUSTIMAN

Dengan Judul Skripsi :

STUDI PERENCANAAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKRO HIDRO DI DANAU ANDEMAN, DESA SANANKERTO, KECAMATAN TUREN, KABUPATEN MALANG

Telah dideteksi tingkat plagiasinya dengan kriteria toleransi $\leq 20\%$, dan dinyatakan Bebas dari Plagiasi pada tanggal 17 JULI 2018



Ketua Jurusan Teknik Pengajaran

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

Ketua Program Studi S1 Teknik Pengajaran

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

*Saya Ucapkan Terima kasih Kepada:
Papa, Mama, Kaka Dan Adik Saya Yang Selalu
Mendoakan Dan Motivasi Sehingga Saya Dapat
Menyelesaikan Tugas Akhir Ini
Dan Juga Teruntuk Sahabat Dan Teman - Teman
Teknik Pengairan 2014
"Jangan Menyerah dan Selalu Bekerja"
Yogie Azhary Augustiman Pengairan 2014*

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT karena atas rahmat dan karunia-Nya, penyusun dapat menyelesaikan Skripsi ini. Serta sholawat dan salam penyundi tujukan kepada junjungan kita Nabi Muhammad SAW yang telah memberikannya faat-Nya bagikitadalam penyusunan skripsi ini.

Tujuan dari pembuatan skripsi ini adalah untuk memenuhi salah satu syarat yang harus ditempuh mahasiswa Jurusan Pengairan Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang.

Dengan kesungguhan serta rasa rendah hati, penyusun mengucapkan terima kasih kepada:

1. Kedua orang tua yang selalu memberikan doa serta dukungan penuh.
2. Dr. Ir. Ussy Andawayanti, MS. selaku ketua Jurusan Teknik Pengairan.
3. Dr. Ery Suhartanto, ST., MT. selaku Sekretaris Jurusan Teknik Pengairan.
4. Dr. Very Dermawan, ST., MT. selaku dosen pembimbing pengerjaan Skripsi.
5. Emma Yuliani, ST., MT. selaku dosen penguji I.
6. Dr. Ir. Pitojo Tri Juwono, MT., selaku dosen penguji II.
7. Ir. Heri Suprijanto, MS., selaku dosen penguji III.
8. Pengabdian masyarakat Fakultas Teknik yang telah memberitempatsayaskripsi di Desa Sanankerto.
9. M. Suburselaku kepala Desa Sanankerto sertapengurus Desa Sanankerto yang telah mendukung penuh dalam pengerjaan Skripsi.
10. Bapak Sukardiselaku bapak kosan yang telah menyediakan tempat untuk pulang dan beristirahat.
11. Fegy, Nia, dan Fanisekalu kaka saya yang selalumemberikandoasertadukungan penuh.
12. Atikselaku adiksaya yang selalumemberikandoasertadukungan penuh semogabisamembrikan motivasi untuk meraih gelarsarjana.
13. Himpunan Mahasiswa Pengairan yang telah mendukung penuh dan memberisemangat dalam pengerjaan skripsi.
14. Keluarga Besar Mahasiswa Pengairan.
15. Angkatan 2014 Teknik Pengairan.

Laporan yang penyusun buat ini mungkin masih banyak kekurangan dan jauh dari kesempurnaan.

Oleh karena itu penyusun harapkan kepada para pembaca untuk memberikankritik dan saran

yang bersifat membangun untuk dapat penyusun dijadikan evaluasi. Agar dapat memperbaiki kekurangan dan kesalahan dalam skripsi ini di pembuatan laporan selanjutnya. Selamat membaca.

Agar
di

Malang, Juli 2018

Penyusun





DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR LAMPIRAN	xi
RINGKASAN	xii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Indetifikasi Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Rumusan Masalah	3
1.5 Tujuan dan Manfaat	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Umum.....	5
2.2 Pintu Skot Balok	6
2.3 Pintu Sorong.....	7
2.4 Saluran Pembawa.....	9
2.4.1 Tipe-tipe Saluran Pembawa untuk Pembangkit Listrik Tenaga Air Skala Kecil	9
2.4.2 Tipe-tipe Saluran Pembawa untuk Pembangkit Listrik Tenaga Air Skala Kecil	11
2.5 Kehilangan Tinggi Tekan Aliran	15
2.6 Tinggi Jatuh Efektif.....	19
2.7 Pipa Pesat	20
2.8 Turbin.....	22
2.8.1 Turbin Pelton	23
2.8.2 Turbin Francis.....	24
2.8.3 Turbin Baling-baling	26
2.8.4 Turbin Crossflow	28
2.8.5 Turbin Whirlpool.....	29
2.8.6 Karakteristik Turbin.....	30
2.9 Generator.....	32
2.9.1 Karakteristik Generator	32
2.9.2 Perhitungan Energi dan Daya	33
2.10 Saluran Pembuang Akhir (<i>Tail Race</i>)	34
2.11 Analisa Kelayakan Ekonomi.....	37
2.11.1 Cost.....	37
2.11.2 <i>Benefit</i> (Komponen Manfaat)	41
2.11.3 Indikator Kelayakan Ekonomi.....	41
2.11.3.1 BCR (<i>Benefit Cost Ratio</i>)	41
2.11.3.2 NPV (<i>Net Present Value</i>)	42
2.11.3.3 IRR (<i>Internal Rate of Return</i>).....	42



2.11.3.4	<i>Payback Periode</i>	42
BAB III	METODOLOGI PENELITIAN	45
3.1	Deksripsi Daerah Studi	45
3.2	Kebutuhan Data	48
3.3	Tahap Perencanaan	50
3.4	<i>Flow Chart</i> Perencanaan.....	52
BAB VI	ANALISIS DATA DAN PERENCANAAN	53
4.1	Data Debit	53
4.2	Perencanaan Lokasi Turbin 1	59
4.2.1	Saluran Pembawa	64
4.2.2	Kehilangan Tinggi Tekan Aliran.....	65
4.3	Perencanaan Lokasi Turbin 2	68
4.3.1	Saluran Pembawa	72
4.3.2	Kehilangan Tinggi Tekan Aliran.....	73
4.4	Perencanaan Lokasi Turbin 3	75
4.4.1	Saluran Pembawa	78
4.4.2	Kehilangan Tinggi Tekan Aliran.....	79
4.5	Saluran Pembuang (<i>Tail Race</i>)	80
4.6	Tinggi Jatuh Efektif	81
4.7	Analisa Mekanikal Elektrikal	82
4.7.1	Turbin Air	82
4.7.2	Pemilihan Turbin	82
4.7.3	Perhitungan Daya dan Energi.....	82
4.7.4	Produksi Energi Tahunan	84
4.8	Analisa Kelayakan Ekonomi	87
4.8.1	<i>Cost</i> (biaya)	87
4.8.2	<i>Benefit</i> (Manfaat).....	89
4.8.3	PV (<i>Present Value</i> /Nilai Sekaran).....	90
4.8.4	Indikator Kelayakan Ekonomi.....	92
4.8.4.1	BCR (<i>Benefit Cost Ratio</i>)	92
4.8.4.2	NPV (<i>Net Present Value</i>)	93
4.8.4.3	IRR (<i>Internal Rate of Return</i>).....	93
4.8.4.4	<i>Payback Periode</i>	96
4.9	Perhitungan Daya dan Energi	97
4.9.1	Produksi Energi Tahunan	98
4.10	Analisa Kelayakan Ekonomi	100
4.10.1	<i>Cost</i> (biaya)	100
4.10.2	<i>Benefit</i> (Manfaat).....	102
4.10.3	PV (<i>Present Value</i> /Nilai Sekaran).....	103
4.10.4	Indikator Kelayakan Ekonomi.....	105
4.10.4.1	BCR (<i>Benefit Cost Ratio</i>)	105
4.10.4.2	NPV (<i>Net Present Value</i>)	106
4.10.4.3	IRR (<i>Internal Rate of Return</i>).....	106
4.10.4.4	<i>Payback Periode</i>	109

BAB V PENUTUP	111
5.1 Kesimpulan	111
5.2 Saran.....	113
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	





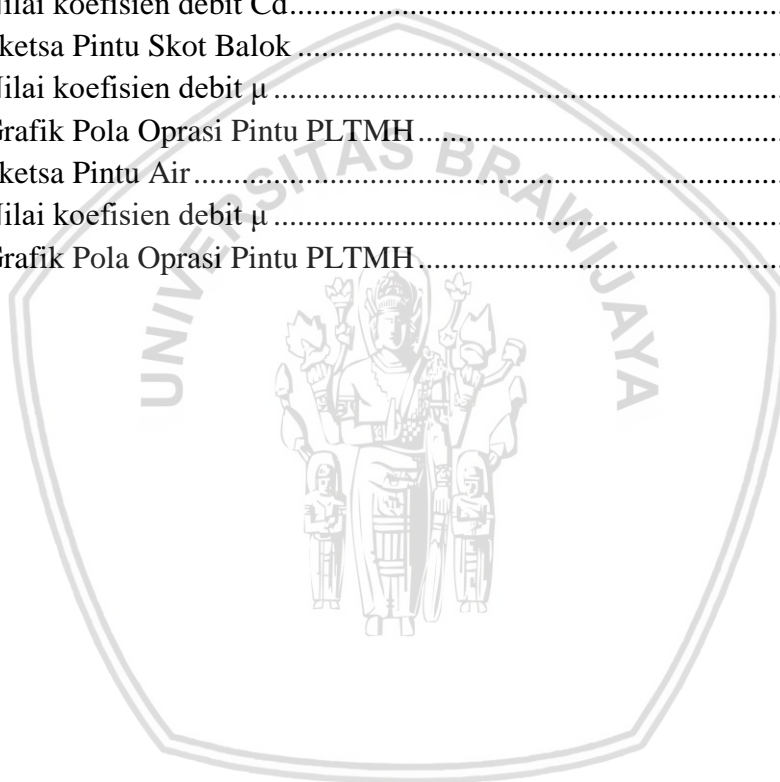
Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR GAMBAR

No.	Judul	Halaman
Gambar 2.1	Koefisien debit untuk aliran diatas skot balok potongan segi empat ($C_v = 1$)	6
Gambar 2.2	Aliran bawah pintu sorong dengan dasar horizontal	8
Gambar 2.3	Koefisien k untuk debit tenggelam (dari Schmidt).....	8
Gambar 2.4	Koefisien debit μ masuk permukaan pintu datar atau lengkung.....	8
Gambar 2.5	Saluran Terbuka.....	9
Gambar 2.6	Pipa tertutup atau saluran tertutup	10
Gambar 2.7	Saluran tanah sederhana	11
Gambar 2.8	Saluran lajur (batu dan batu keras)	11
Gambar 2.9	Saluran pasang batu basah	12
Gambar 2.10	Saluran beton	13
Gambar 2.11	Saluran berpagar kayu	13
Gambar 2.12	Saluran <i>box culvert</i>	14
Gambar 2.13	Saluran pipa hume	15
Gambar 2.14	Nilai f berdasarkan bentuk inlet.....	16
Gambar 2.15	Profil kisi saringan	16
Gambar 2.16	Kisaran nilai ξ berdasarkan tipe kontraksi.....	18
Gambar 2.17	Sketsa situasi kehilangan tinggi akibat penyempitan dan pelebaran	18
Gambar 2.18	Kisaran nilai ξ akibat belokan.....	19
Gambar 2.19	Kisaran nilai ξ akibat pintu dan katup	19
Gambar 2.20	Sketsa tinggi jatuh efektif	20
Gambar 2.21	Grafik Hubungan <i>Head</i> dan <i>Discharge</i>	23
Gambar 2.22	Turbin pelton	24
Gambar 2.23	Turbin Francis.....	25
Gambar 2.24	Beberapa bentuk runner pada turbin Francis	26
Gambar 2.25	Konstruksi turbin aliran diagonal dan turbin Kaplan	27
Gambar 2.26	Turbin tabung (turbin Kaplan jenis poros mendatar)	28
Gambar 2.27	Turbin Crossflow	28
Gambar 2.28	Turbin whirlpool.....	29
Gambar 2.29	Turbin whirlpool <i>long bypass</i>	29
Gambar 2.30	Turbin whirlpool <i>short bypass/drop</i>	30
Gambar 2.31	Turbin whirlpool <i>in river</i>	30
Gambar 2.32	Kisaran dari percepatan spesifik dengan tipe turbin.....	31
Gambar 2.33	Klasifikasi generator menurut posisi bantalannya.....	33
Gambar 2.34	Pondasi rumah pembangkit untuk turbin impulse (Turbin <i>Crossflow</i>) ..	35
Gambar 2.35	Pondasi rumah pembangkit untuk turbin <i>rection</i> (Turbin Francis)	36
Gambar 2.36	Cara pemasangan ke bagian lebih rendah.....	36
Gambar 3.1	Kondisi saluran di hulu danau Andeman (Oktober 2017).....	46
Gambar 3.2	Kondisi danau Andeman (Oktober 2017).....	46
Gambar 3.3	Kondisi Saluran irigasi danau Andeman (Oktober 2017).....	47
Gambar 3.4	Survei debit saluran irigasi danau Andeman (Oktober 2017)	47



Gambar 3.5	Peta desa Sanankerto	48
Gambar 4.1	Sketsa saluran	53
Gambar 4.2	Sketsa lokasi pengukuran	54
Gambar 4.3	Lokasi Pengukuran titik 1	54
Gambar 4.4	Lokasi Pengukuran titik 2	55
Gambar 4.5	Lokasi Pengukuran titik 3	55
Gambar 4.6	Sketsa Pintu Air	60
Gambar 4.7	Nilai koefisien debit C_d	61
Gambar 4.8	Sketsa Pintu Skot Balok	62
Gambar 4.9	Nilai koefisien debit μ	62
Gambar 4.10	Grafik Pola Oprasi Pintu PLTMH	64
Gambar 4.11	Sketsa Pintu Air	68
Gambar 4.12	Nilai koefisien debit C_d	69
Gambar 4.13	Sketsa Pintu Skot Balok	70
Gambar 4.14	Nilai koefisien debit μ	70
Gambar 4.15	Grafik Pola Oprasi Pintu PLTMH	71
Gambar 4.16	Sketsa Pintu Air	75
Gambar 4.17	Nilai koefisien debit μ	76
Gambar 4.18	Grafik Pola Oprasi Pintu PLTMH	77



DAFTAR LAMPIRAN

No.	Judul	Halaman
Lampiran 1.	Gambar perencanaan PLTMH Turbin <i>Whirlpool</i>	115



Halaman ini sengaja dikosongkan



RINGKASAN

Yoggie Azhary Augustiman, Jurusan Teknik Pengairan, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Juni 2018, *Studi Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro di Danau Andeman, Desa Sanankerto Kecamatan Turen, Kabupaten Malang*, Dosen Pembimbing: Very Dermawan.

Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro disebut Mikro-Hidro, biasanya tidak untuk menyuplai listrik ke jaringan nasional (*Nasional Grid*) tetapi digunakan untuk daerah-daerah terpencil, yang jaringan listrik tidak ada tetapi masih banyak manfaat yang didapat dari PLTMH. Rencana pembangunan PLTMH ini berada di Desa Sanankerto Kecamatan Turen Kabupaten Malang. Desa Sanankerto sampai saat ini terjangkau oleh listrik tetapi tujuan utama dibangun PLTMH bukanlah untuk kebutuhan rumah warga tetapi untuk kebutuhan tempat wisata yang sampai saat ini belum terjangkau listrik, rencana pembangunan PLTMH untuk perkembangan tempat wisata Boon Pring dengan memanfaatkan debit air yang ada di danau andeman yang nantinya akan dipakai untuk kebutuhan tempat wisata dan lampu penerang di malam hari.

Debit yang diketahui di danau andeman yaitu sebesar $0.37 \text{ m}^3/\text{det}$ yang diperoleh dari pengukuran di lapangan selama 7 hari dengan pengukuran tiap jam dari jam 09.00 – 16.00 dengan 3 lokasi pengukuran. Pemilihan turbin melihat dengan kondisi di lapangan dan mana yang lebih efisien dari segi bangunan sipil yang digunakan maka dipilih turbin *whirlpool*. Pada perencanaan PLTMH Desa Sanankerto mempunyai dua alternatif yang dibedakan dari jumlah turbin yang direncanakan, dari ketiga turbin yang direncanakan mempunyai daya listrik tiap harinya dihasilkan berbeda – beda dimana turbin pertama menghasilkan daya listrik 3.410 kW dengan tinggi jatuh 1.415 m, turbin kedua menghasilkan daya listrik 1.133 kW dengan tinggi jatuh 0.470 m, turbin ketiga menghasilkan daya listrik 5.510 kW dengan tinggi jatuh 1.854 m. Dari dua alternatif yang direncanakan pada alternatif satu direncanakan tiga turbin daya listrik tiap tahun yang dihasilkan sebesar 88072.47 kWh, alternatif dua direncanakan dua turbin daya listrik tiap tahunnya yang dihasilkan sebesar 78146.90 kWh dari dua alternatif mempunyai anggaran biaya yang berbeda, pada alternatif satu anggaran biaya sebesar Rp. 1.096.833.252 dan pada alternatif dua anggaran biaya sebesar Rp. 797.853.083. Dari segi kelayakan pada alternatif satu dengan nilai BCR = 0.40; NPV = -Rp. 1.116.242.437,28; dan IRR = -0.0754% tidak memenuhi syarat kelayakan ekonomi dan alternatif dua dengan nilai BCR = 0.49; NPV = -Rp.692.771.953,14; dan IRR = -0.0519%.

Kata kunci: PLTMH, Pengukuran Debit, Turbin *Whirlpool*, Daya Listrik, Kelayakan Ekonomi



Halaman ini sengaja dikosongkan



SUMMARY

Yoggie Azhary Augustiman, Water Resources Engineering Department, Engineering Faculty, Brawijaya University, June 2018, *The Planning Study of Micro Hydro Power Plant in Andeman Lake, Sanankerto Village Turen Subdistrict, Malang Regency*, Advisor: Very Dermawan.

MicroHydro Power Plants are called Micro-Hydro, usually not to supply electricity to the national network (National Grid) but are used for remote areas, which the electricity network does not exist but there are still many benefits obtained from MHPP. MHPP development plan is located in Sanankerto Village Turen Subdistrict Malang Regency. Sanankerto village recently already reached by electricity but the main purpose of MHPP development is not for the needs of residential houses but for the needs of tourist attraction that until now has not reached the electricity, MHPP construction plan for the development of Boon Pring tourism by utilizing the water discharge in the andeman lake which will be used for the needs of tourist attraction and lights at night.

Known discharge in lake andeman is $0.37 \text{ m}^3/\text{s}$ obtained from field measurements for 7 days with hourly measurements from 09.00 - 16.00 hours with 3 measurement locations. The turbine selection to see with the conditions in the field and which is more efficient in terms of civil structure used then selected whirlpool turbine. In the MHPP planning of Sanankerto Village has two alternatives which distinguished from the number of planned turbines, from the three turbines that are planned have electric power each day are generated differently where the first turbine produces 3,410 kW with falling head 1.415 m, the second turbine generates 1,133 kW of electric power with a falling head of 0.470 m, the third turbine generates 5,510 kW of electric power with a falling head of 1,854 m. From the two planned alternatives in the first alternative planned three electric power turbines each year generated in the amount of 88072.47 kWh, the second alternative planned two electric power turbines each year generated amounted to 78146.90 kWh from the two alternatives have different budgets cost, in the first alternative budget cost amounted Rp. 1.096.833.252 and in the second alternative budget cost amounted Rp. 797.853.083. In terms of feasibility in the first alternative with the value of BCR = 0.40; NPV = -Rp. 1.116.242.437,28; and IRR = -0.0754% not qualified for economic feasibility and the second alternative with the value of BCR = 0.49; NPV = -Rp.692.771.953,14; and IRR = -0.0519%.

Keyword : Micro Hydro Power Plant, Discharge Measurement, Whirlpool Turbine, Electric power, Economic Feasibility



Halaman ini sengaja dikosongkan



LEMBAR PENGESAHAN

**STUDI PRENCANAAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKRO
HIDRO DI DANAU ANDEMAN, DESA SANANKERTO,
KECAMATAN TUREN, KABUPATEN MALANG**

SKRIPSI

**TEKNIK PENGAIRAN KONSENTRASI PEMANFAATAN DAN
PENDAYAGUNAAN SUMBERDAYA AIR**

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



**YOGGIE AZHARY AUGUSTIMAN
NIM. 145060401111001**

Skripsi ini telah direvisi dan disetujui oleh dosen pembimbing
Pada tanggal 4 juli 2018:

**Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Pengairan**



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

Dosen Pembimbing

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'V. Dermawan', written over a circular stamp.

**Dr. Very Dermawan, ST., MT.
NIP. 19730217 199903 1 001**

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Air merupakan bagian dari sumber daya alam juga sebagai bagian dari ekosistem secara keseluruhan. Mengingat keberadaannya di suatu tempat dan di suatu waktu tidak tetap, bisa berlebih atau kurang, maka air harus dikelola dengan bijak dengan pendekatan terpadu dan menyeluruh (Kodoatie dan Sjarief, 2008). Dengan demikian air harus dikelola dengan baik dan benar sesuai prosedur yang ada dengan tujuan agar manfaat dari air untuk kehidupan bisa terpenuhi.

Sumber daya air di Indonesia sangatlah melimpah. Sumberdaya air sangat berguna bagi kehidupan manusia, yaitu untuk pemenuhan air pertanian, pemenuhan kebutuhan air bersih rumah tangga, sumber tenaga listrik, media kebersihan, sebagai indikator kelestarian lingkungan, memperlancar perekonomian masyarakat, sarana transportasi, dan masih banyak lagi manfaat dari sumberdaya air.

Salah satu pemanfaatan sumber daya air adalah sebagai pembangkit listrik tenaga air dengan skala yang besar. Pembangunan pembangkit listrik tenaga air biasa dibangun di bendungan yang mempunyai debit air dan listrik yang dihasilkan juga cukup besar, tetapi disamping itu juga ada selain pembangkit listrik tenaga air yang skalanya lebih kecil yaitu PLTMH (Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro).

Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro disebut Mikro-Hidro, biasanya tidak untuk menyuplai listrik ke jaringan nasional (*Nasional Grid*) tetapi digunakan untuk daerah-daerah terpencil, yang jaringan listrik tidak ada tetapi masih banyak manfaat yang didapat dari PLTMH. PLTMH mempunyai keunggulan seperti ramah terhadap lingkungan, lebih awet, biaya operasional lebih kecil, mengurangi bahan bakar fosil dan sesuai dengan daerah terpencil, perawatan mekanik lebih mudah. Maka dari itu banyak yang memilih PLTMH sebagai salah satu energi alternatif.

Pada tahapan ini PLTMH air danau diarahkan dalam saluran pembawa kemudian dialirkan ke bak vortex menuju turbin. Selepas dari turbin air dikembalikan lagi ke aliran semula sehingga hal ini tidak banyak mempengaruhi ekologi sekitarnya. Air akan dialirkan ke dalam turbin melalui sudut-sudut *runner* yang akan memutar poros turbin. Proses putaran ini yang akan di ubah oleh generator untuk menghasilkan energi listrik.

Rencana pembangunan PLTMH ini berada di Desa Sanankerto Kecamatan Turen Kabupaten Malang dengan potensi debit yang mencukupi, khususnya di tempat wisata Boon Pring. Tujuan dari pembangun PLTMH ditempat wisata tersebut untuk membantu penerangan dan bisa memajukan tempat wisata tersebut. Desa Sanankerto memiliki danau yang diairi langsung oleh sumber mata air dengan debit yang konstan sepanjang tahun dan kontur yang sesuai dengan teknis perencanaan untuk dibangun PLTMH, maka diharapkan daya listrik yang dihasilkan akan mampu untuk menerangi jalan desa menuju tempat wisata, penerangan di tempat wisata tersebut dan untuk memenuhi kebutuhan energi listrik lainnya. Energi listrik yang dihasilkan dari danau di Desa Sanankerto ini termasuk dalam skala kecil.

1.2 Identifikasi Masalah

Desa Sanankerto memiliki tujuan menjadi desa wisata. Namun, saat ini tempat wisata masih kurang dikenal oleh banyak orang, penerangan pada malam hari di tempat wisata tersebut seadanya karena memperhitungkan biaya ekonomi. Untuk saat ini penggunaan listrik di tempat wisata Desa Sanankerto berasal dari PLN. Harapan dari Desa Sanankerto bisa dibangun PLTMH yang bertujuan untuk mengurangi anggaran pengeluaran biaya listrik.

Tempat wisata Boonpring di Desa Sanankerto Kecamatan Turen Kabupaten Malang mempunyai luas 14 hektar dan Danau Andeman yang menjadi aset penting Desa Sanankerto, dengan pemanfaatan hanya untuk kebutuhan air bersih rumah tangga, dan irigasi di Desa Sanankerto. Wisata pada desa tersebut akan beroperasi di malam hari. Dengan dibangunnya PLTMH, maka diharapkan listrik yang dihasilkan oleh PLTMH dapat menambah pemenuhan kebutuhan listrik di tempat wisata tersebut, sehingga menjadi lebih baik penerangannya dan semakin menarik minat wisatawan.

1.3 Batasan Masalah

Agar permasalahan tidak meluas dan sesuai dengan sasaran yang ingin dicapai, dalam kajian studi ini diberikan batasan masalah sebagai berikut:

1. Lingkup studi dilakukan di Danau Andeman Desa Sanankerto Kecamatan Turen Kabupaten Malang, Provinsi Jawa Timur.
2. Analisa Hidrologi, khususnya tentang ketersediaan debit aliran, dilakukan pengukuran langsung di lapangan selama 7 hari berturut-turut, setiap jam mulai jam 07.00 – 16.00 WIB.
3. Jenis turbin yang digunakan adalah jenis whirlpoll.
4. Menganalisa ekonomi untuk mengetahui kelayakan dari segi ekonomi dengan parameter yang digunakan adalah BCR, NPV, IRR dan *Payback Period*.

1.4 Rumusan Masalah

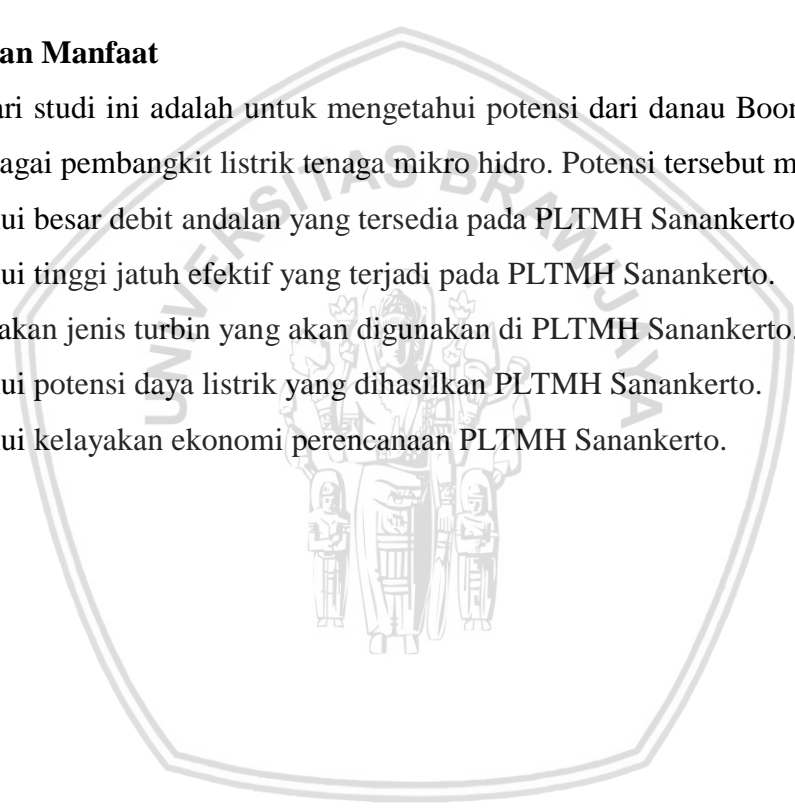
Dengan adanya batasan masalah pada hal-hal yang akan dibahas pada studi ini, maka permasalahan yang hendak dibahas itu dapat dirumuskan sebagai berikut:

1. Berapa debit andalan yang tersedia dalam perencanaan PLTMH Sanankerto?
2. Berapa tinggi jatuh efektif yang terjadi pada perencanaan PLTMH Sanankerto?
3. Bagaimana perencanaan turbin yang digunakan?
4. Berapa potensi daya yang dihasilkan dari PLTMH Sanankerto?
5. Bagaimana kelayakan ekonominya?

1.5 Tujuan dan Manfaat

Tujuan dari studi ini adalah untuk mengetahui potensi dari danau Boon Pring apabila digunakan sebagai pembangkit listrik tenaga mikro hidro. Potensi tersebut meliputi:

1. Mengetahui besar debit andalan yang tersedia pada PLTMH Sanankerto.
2. Mengetahui tinggi jatuh efektif yang terjadi pada PLTMH Sanankerto.
3. merencanakan jenis turbin yang akan digunakan di PLTMH Sanankerto.
4. Mengetahui potensi daya listrik yang dihasilkan PLTMH Sanankerto.
5. Mengetahui kelayakan ekonomi perencanaan PLTMH Sanankerto.





Halaman ini sengaja di kosongkan



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Umum

Peningkatan kebutuhan suplai energi di beberapa Negara untuk daerah-daerah pedesaan, sebagian untuk mendukung industri dan sebagian lain untuk penerangan di malam hari. Kemampuan pemerintah terhalang oleh tingginya harga dari jaringan-jaringan listrik yang terpasang. Sering mikro-hidro menyediakan alternatif ekonomi untuk jaringan nasional. Hal ini karena skema mikro-hidro yang mandiri menghemat biaya dari jaringan transmisi dan karena skema perluasan jaringan sering memerlukan biaya dan staf yang mahal. Kisaran dalam ukuran dari beberapa kilowatt, yang hanya cukup menyediakan penerangan lokal ke beberapa kelompok rumah sampai 200 kilowatt yang dapat digunakan untuk pabrik-pabrik kecil dan untuk menyuplai jaringan kecil (*mini-grid*) lokal yang mandiri yang jaringan itu bukan menjadi bagian dari jaringan nasional (Electric dan Koei, 2003).

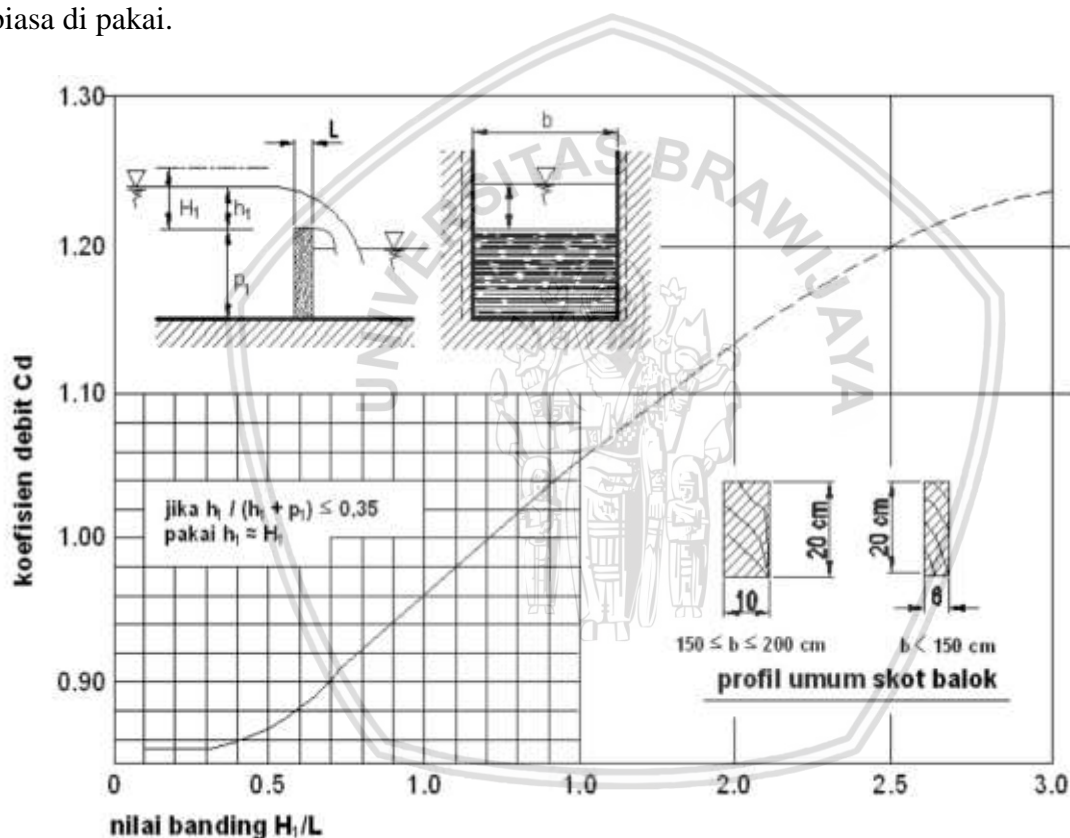
Mikrohidro atau yang dimaksud dengan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) adalah suatu pembangkit listrik skala kecil yang menggunakan tenaga air sebagai tenaga penggerak seperti saluran irigasi, sungai atau air terjun alam dengan cara memanfaatkan tinggi terjun (*head*) dan jumlah debit air. Secara teknis mikrohidro mempunyai tiga komponen utama yaitu air sumber energi, turbin dan generator. Air yang mengalir dengan kapasitas tertentu disalurkan dengan ketinggian tertentu melalui pipa pesat menuju rumah instalasi (*powerhouse*). Di rumah instalasi air tersebut akan menumbuk turbin sehingga akan menghasilkan energi mekanik berupa berputarnya poros turbin. Putaran poros turbin ini akan memutar generator sehingga dihasilkan energi listrik. Tidak seluruh potensi energi air mampu diubah menjadi energi listrik, karena sebagian energi air hilang akibat adanya gesekan pemanasan, maupun *noise*.

Mikrohidro merupakan sebuah istilah yang terdiri dari kata mikro yang berarti kecil dan hidro yang berarti air. Ada juga yang sama dengan mikrohidro yaitu Pembangkit Listrik Tenaga Minihidro, dari kedua jenis tersebut yang membedakan hanyalah daya listrik yang dihasilkan. Dalam prakteknya istilah ini tidak merupakan suatu yang baku namun bisa dibayangkan bahwa mikro hidro, menggunakan air sebagai sumber energi. Jadi output daya listrik yang dihasilkan oleh minihidro berkisar antara 100 kW sampai 1000 kW, sedangkan untuk mikrohidro daya listrik yang dikeluarkan 200 kW. Perbandingan daya listrik antara

minihidro dan mikrohidro maka daya listrik minihidrolah yang menghasilkan lebih besar. Secara teknis mikrohidro memiliki tiga komponen utama yaitu air (sumber energi), turbin dan generator.

2.2 Pintu Skot Balok

Pintu skot balok merupakan peralatan sangat sederhana. Balok – balok profil segi empat itu ditempatkan tegak lurus terhadap potongan segi empat saluran. Balok – balok tersebut disangga di dalam sponeng/alur yang lebih besar 0.03 m sampai 0.05 dari tebal balok – balok itu sendiri. Dalam bangunan – bangunan saluran irigasi, dengan lebar bukaan pengontrol 2 m atau lebih kecil lagi, profil – profil balok seperti yang diperlihatkan pada (gambar 2.1) biasa di pakai.



Gambar 2.1 Koefisien debit untuk aliran diatas skot balok potongan segi empat ($C_v = 1$)

Sumber: Anonim (1983, p.53)

Aliran pada skot balok dapat diperkirakan dengan menggunakan persamaan tinggi debit sebagai berikut (Anonim, 1983, p.53):

$$Q = C_d C_v \frac{2}{3} \sqrt{2/3} b h_1^{1.5} \dots\dots\dots (2-1)$$

Dengan:

Q = debit (m^3/det).

C_d = koefisien debit.

C_v = koefisien kecepatan datang.

g = percepatan gravitasi, (m/det) (9.8).

b = lebar normal, (m).

h_1 = kedalaman air di atas skot balok, m.

2.3 Pintu Sorong

Kegunaan pintu sorong sangat bermanfaat bagi bangunan pengambil. Pintu sorong dapat digunakan untuk membuka, mengatur dan menutup aliran air di saluran baik saluran terbuka maupun saluran tertutup. Pintu sorong dengan bentuk yang sederhana dan kinerjanya pun sangat sederhana, apabila membuka atau menutup cukup dengan menggeser ke atas untuk membuka ke bawah untuk menutup dan pintu sorong ini banyak digunakan untuk bangunan pengambil dengan debit yang kecil.

Perencanaan pintu sorong dipakai tinggi maksimum sampai 3 m dan lebar tidak lebih dari 3 m. Pintu sorong ini hanya digunakan untuk bukaan pintu yang kecil, karena untuk bukaan pintu yang besar akan berakibatkan alat-alat angkatnya akan terlalu berat untuk menanggulangi gaya gesekan pada sponeng. Untuk bukaan yang besar dapat menggunakan jenis pintu yang lain seperti memakai pintu rol, kelebihan dari pintu rol ini mempunyai gesekan yang lebih sedikit di bagian atas dan pintu dapat juga diangkat dengan kabel baja atau rantai baja (Anonim, 1983, p.132).

Rumus yang dipakai untuk pintu sorong adalah:

$$Q = k \mu a b \sqrt{2 g h_1} \dots \dots \dots (2-2)$$

Dengan:

Q = debit, (m³/dt).

k = factor aliran tenggelam (lihat Gambar 2.19).

μ = koefisien debit (lihat Gambar 2.20).

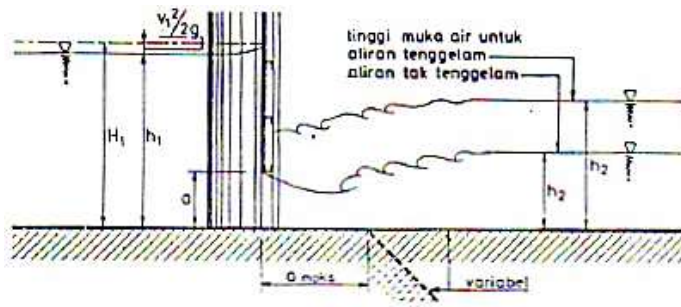
a = bukaan pintu, m.

b = lebar pintu, m.

g = percepatan gravitasi, m/dt² (=9,8).

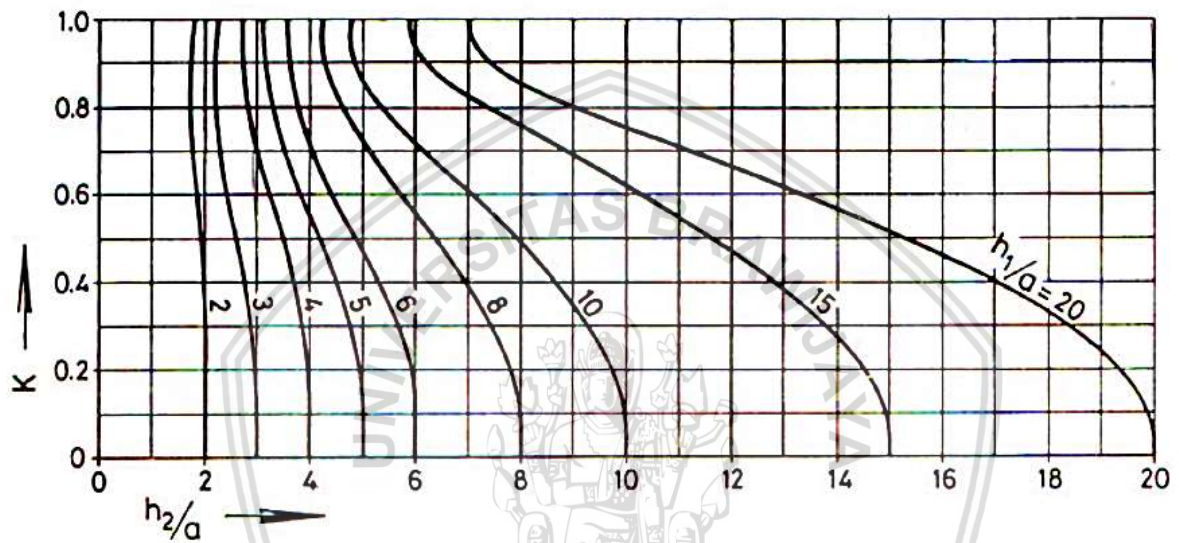
h_1 = kedalaman air di depan pintu di atas ambang, m.

lebar standar untuk pintu pembilas bawah (undersluice) adalah 0,50 ; 0,75 ; 1,00 ; 1,25 dan 1,50 m. kedua ukuran yang terakhir memerlukan dua stang pengangkat.



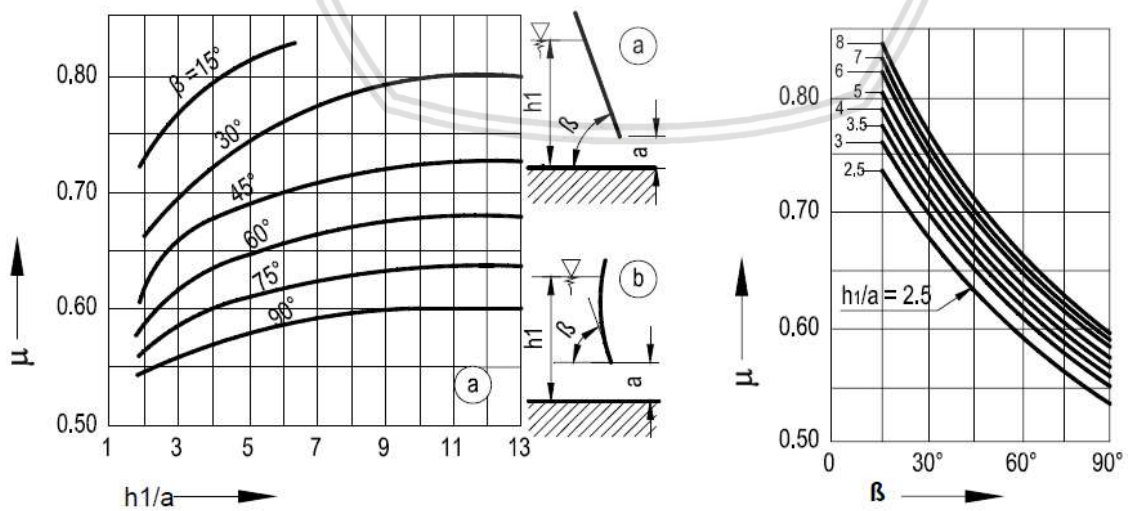
Gambar 2.2 Aliran bawah pintu sorong dengan dasar horizontal

Sumber: Anonim (1983, p.56)



Gambar 2.3 Koefisien k untuk debit tenggelam (dari Schmidt)

Sumber: Anonim (1983, p.57)



Gambar 2.4 Koefisien debit μ masuk permukaan pintu datar atau lengkung

Sumber: Anonim (1983, p.57)

2.4 Saluran Pembawa

Fungsi saluran pembawa ini untuk mengalirkan air menuju bak penenang dengan perhitungan debit di saluran dihitung sebagai berikut:

$$Q = V \times A \dots\dots\dots (2-3)$$

Kecepatan dihitung dengan formula Manning – Strickler:

$$V = 1/n \times R^{2/3} \times S^{1/2} \dots\dots\dots (2-4)$$

Dengan:

Q = debit (m³/det).

V = kecepatan rata-rata (m/det).

R = jari – jari hidrolis (m).

S = kemiringan dasar saluran.

n = koefisien kekasaran.

Jari – jari hidrolis (R) adalah rasio luas basah dengan keliling basah.

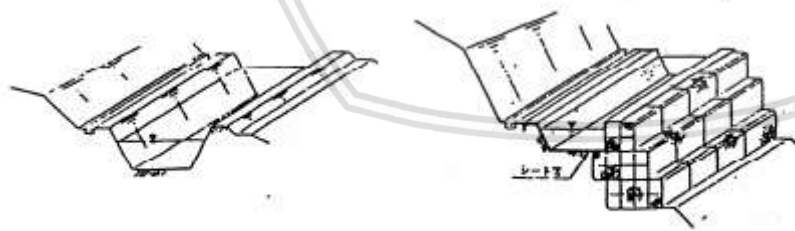
$$R = \frac{A}{p} \dots\dots\dots (2-5)$$

Kedalaman hidrolis (D) adalah rasio luas basah dengan lebar puncak

$$R = \frac{A}{T} \dots\dots\dots (2-6)$$

2.4.1 Tipe-tipe Saluran Pembawa untuk Pembangkit Listrik Tenaga Air Skala Kecil

a. Saluran Terbuka



Gambar 2.5 Saluran Terbuka

Sumber: JICA (2009, p.6-14)

Keuntungan dan permasalahan

- (i) Relative murah
- (ii) Mudah mengkonstruksinya
- (iii) Kemungkinan aliran sedimen dari lereng di atasnya
- (iv) Tingginya tingkat jatuh daun – daunan, dll.

Kekhasan struktur

- (i) Saluran tanah sederhana
- (ii) Jalur saluran (jalur pasangan batu basah atau kering, jalur beton)
- (iii) Pagar saluran (terbuat dari kayu, beton atau tembaga)
- (iv) Jalur saluran berbentuk lembaran
- (v) Saluran berbentuk setengah tabung (seperti pipa – pipa yang berbelok – belok, dll).

b. Pipa tertutup atau saluran tertutup



Gambar 2.6 Pipa tertutup atau saluran tertutup

Sumber: JICA (2009, p.6-14)

Keuntungan dan permasalahan

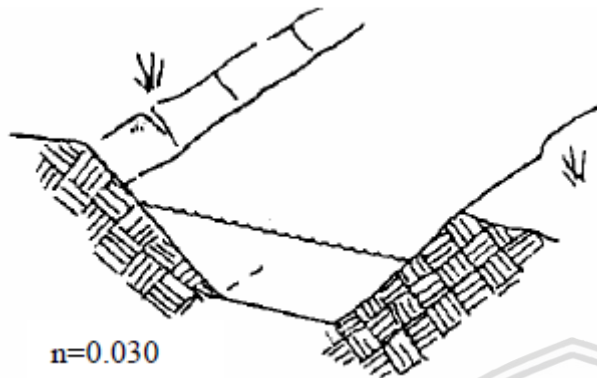
- (i) Pada umumnya volume pekerjaan tanahnya besar.
- (ii) Rendahnya rata – rata sedimen dan daun – daunan yang jatuh di saluran.
- (iii) Sulitnya merawat dan meninjau saluran, termasuk pembersihan dan perbaikannya.

Kekhasan strukturnya

- (i) Tabungan yang dipendam (Hume, PVC atau FRPM).
- (ii) Box culvert.
- (iii) Pagar saluran dengan tutupnya.

2.4.2 Tipe-tipe Saluran Pembawa untuk Pembangkit Listrik Tenaga Air Skala Kecil

a. Saluran tanah



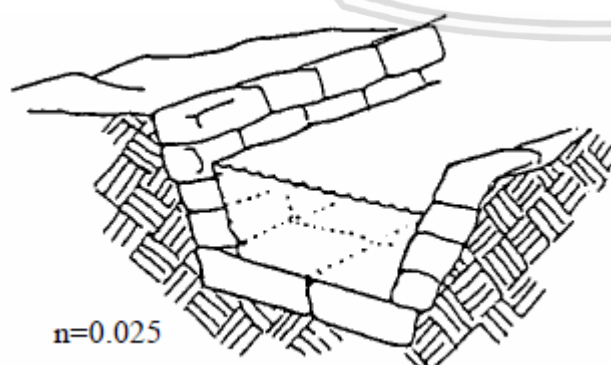
Gambar 2.7 Saluran tanah sederhana

Sumber: JICA (2009, p.6-15)

Keuntungan dan permasalahan

- (i) Mudah dikonstruksi.
- (ii) Mudah.
- (iii) Mudah diperbaiki.
- (iv) Mudah mengalami kerusakan pada dindingnya.
- (v) Tidak dapat diterapkan pada tanah yang tinggi tingkat permeabelnya (permeable = mudah ditembus air).
- (vi) Sulit untuk membersihkan timbunan sedimennya.

b. Saluran lajur (batu dan batu keram)



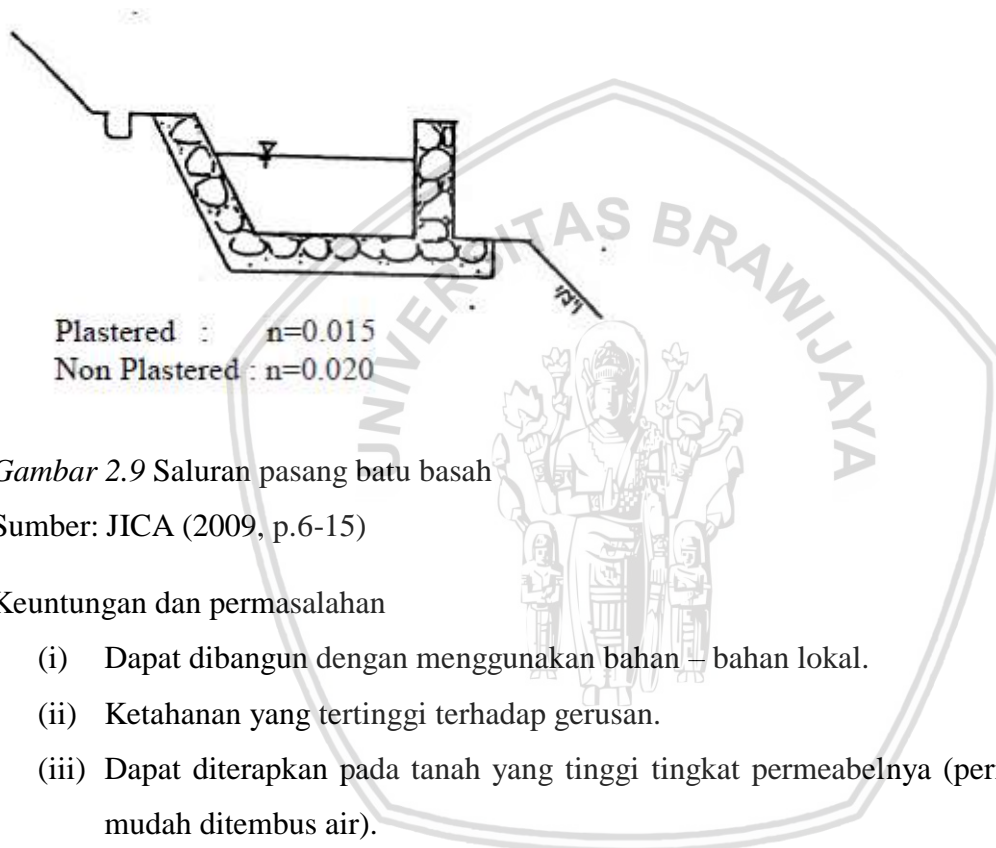
Gambar 2.8 Saluran lajur (batu dan batu keras)

Sumber: JICA (2009, p.6-15)

Keuntungan dan permasalahan

- (i) Konstruksinya relative mudah.
- (ii) Dapat dibangun dengan menggunakan bahan – bahan local.
- (iii) Ketahanan tinggi terhadap gerusan.
- (iv) Relatif mudah diperbaiki.
- (v) Tidak dapat diterapkan pada tanah yang tinggi tingkat permeablenya (permeablenya = mudah ditembus air).

c. Saluran pasang batu basah



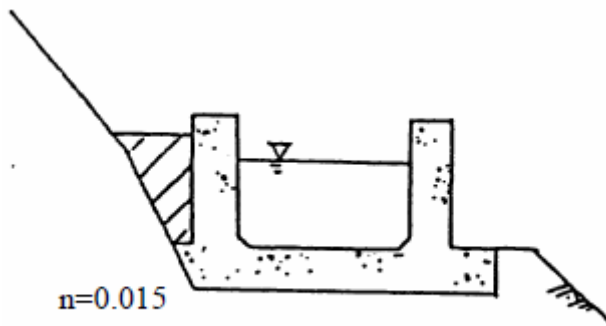
Gambar 2.9 Saluran pasang batu basah

Sumber: JICA (2009, p.6-15)

Keuntungan dan permasalahan

- (i) Dapat dibangun dengan menggunakan bahan – bahan lokal.
- (ii) Ketahanan yang tertinggi terhadap gerusan.
- (iii) Dapat diterapkan pada tanah yang tinggi tingkat permeabelnya (permeabelnya = mudah ditembus air).
- (iv) Lebih mahal daripada saluran tanah sederhana atau saluran pasang batu kering (saluran lajur batu/batu keras).
- (v) Relatif banyak memerlukan tenaga kerja.

d. Saluran beton



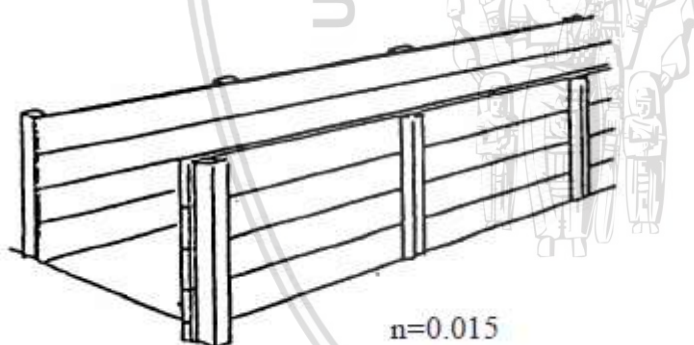
Gambar 2.10 Saluran beton

Sumber: JICA (2009, p.6-15)

Keuntungan dan permasalahan

- (i) Tingkat kebebasannya yang cukup tinggi untuk desain potongan melintang.
- (ii) Konstruksi sulit jika diameter dalamnya kecil.
- (iii) Masa konstruksinya relatif lama.

e. Saluran berpagar kayu

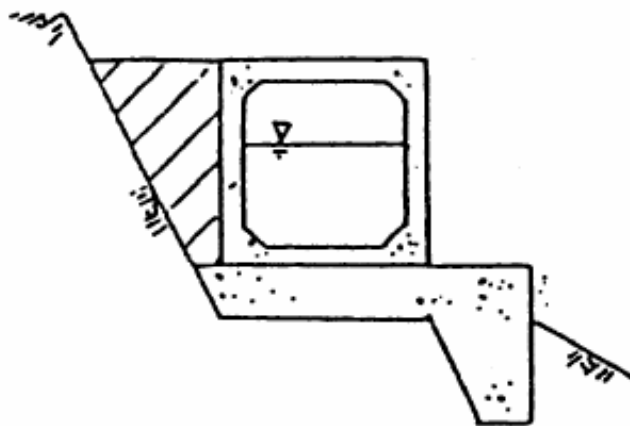


Gambar 2.11 Saluran berpagar kayu

Sumber: JICA (2009, p.6-16)

Keuntungan dan permasalahan

- (i) Lebih murah bila dibandingkan dengan saluran dari beton.
- (ii) Susunannya fleksible jika terjadi deformasi tanah kecil.
- (iii) Penggunaan yang terbatas jika menggunakan fondasi tanah (*earth*).
- (iv) Kurang cocok untuk *cross – section* yang cukup besar.
- (v) Sulit untuk memastikan kerapatan air (*water – tightness*) yang sempurna.
- (vi) Mudah rusak.

f. Saluran *box culvert*

$n=0.015$

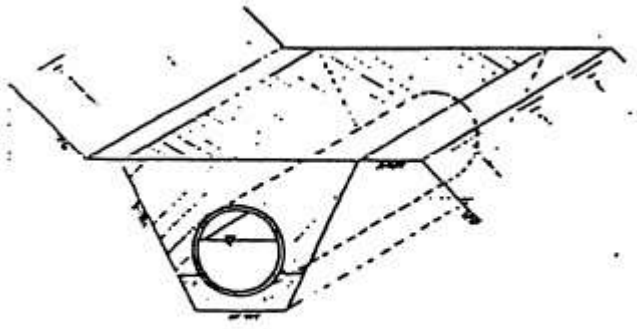
Gambar 2.12 Saluran *box culvert*

Sumber: JICA (2009, p.6-16)

Keuntungan dan permasalahan

- (i) Konstruksi yang mudah bila dibandingkan dengan pipa hume pada lereng curam dengan kemiringan potongan melintang.
- (ii) Periode konstruksi yang relatif singkat dapat diterapkan pada potongan melintang yang kecil, jika produk siap pakai digunakan.
- (iii) Kaya dengan berbagai jenis variasi produk siap pakai.
- (iv) Beban yang berat.
- (v) Biaya transportasi yang cukup tinggi, jika menggunakan produk siap pakai.
- (vi) Periode konstruksi yang cukup lama, jika dibuat langsung di daerah yang bersangkutan.

g. Saluran pipa hume



$n=0.015$

Gambar 2.13 Saluran pipa hume

Sumber: JICA (2009, p.6-16)

Keuntungan dan permasalahan

- (i) Mudah dikonstruksikan di daerah tidak terlalu curam.
- (ii) Periode konstruksinya relatif singkat.
- (iii) Ketahanan yang tinggi.
- (iv) Dapat diterapkan pada potongan melintang yang kecil.
- (v) Memungkinkan untuk konstruksi yang tinggi dengan bentangan yang pendek.

2.5 Kehilangan Tinggi Tekan Aliran

Kehilangan tinggi tekan aliran adalah menurunnya besaran energi yang ada akibat gesekan maupun kontraksi selama proses pengaliran. Kehilangan energi dalam perencanaan pembangkit listrik tenaga mikro hidro dapat dibagi menjadi dua saluran yaitu kehilangan energi di saluran tertutup dan saluran terbuka.

a. Kehilangan pada bangunan pengambil (Liu, 2003, p.32):

$$h_1 = f \times \frac{V^2}{2g} \dots\dots\dots (2-7)$$

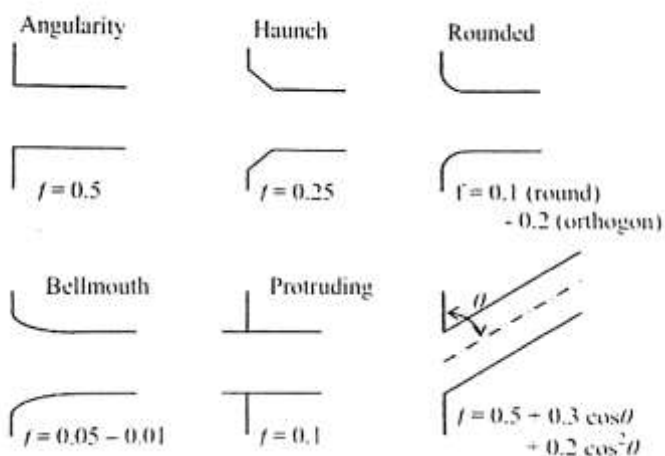
Dengan:

h_1 = jumlah kehilangan tinggi (m).

f = nilai koefisien kehilangan tinggi.

V = kecepatan aliran (m/dt).

g = percepatan gravitasi (m/dt²).



Gambar 2.14 Nilai f berdasarkan bentuk inlet

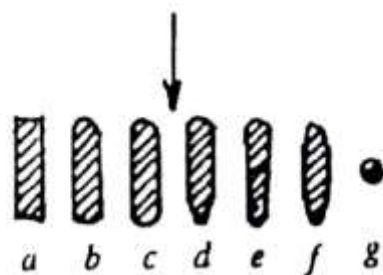
Sumber: JICA (2009, p.6-10)

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

$$h_s = \varphi \times \sin \alpha \times \left(\frac{t}{b}\right)^{4/3} \times \frac{v^3}{2g} \dots \dots \dots (2-8)$$

Dengan:

- h_s = kehilangan tinggi energi.
- V = kecepatan datang (m/dt).
- g = percepatan gravitasi (9.81 m/dt²).
- φ = bentuk profil kisi saringan.
- α = sudut kemiringan dari horizontal dalam derajat.
- t = tebal jeruji (m).
- b = jarak bersih antar jeruji b ($b > 50$ mm) (m).



Gambar 2.15 Profil kisi saringan

Sumber: Patty (1995, p.40)

Tabel 2.1
Profil Kisi Saringan

Profil	a	b	c	d	e	f	g
φ	2.42	1.83	1.67	1.03	0.92	0.76	1.79

Sumber: Patty (1995, p.40)

c. Kehilangan tinggi tekan akibat gesekan

Besarnya kehilangan mayor pada saluran tertutup

$$h_g = f \times \frac{L_p}{d} \times \frac{v^2}{2g} \dots\dots\dots (2-9)$$

$$f = \frac{124,5 \times n^2}{d^{1/2}} \dots\dots\dots (2-10)$$

Dengan:

h_g = kehilangan tinggi akibat gesekan (m).

f = kofisien pada diameter pipa pesat.

L_p = panjang pipa pesat (m).

V = kecepatan aliran pada pipa pesat (m/dt).

d = diameter dalam pipa (m).

g = percepatan gravitasi (m/dt²).

n = koefisien kekasaran.

sedangkan untuk perhitungan minor (Ramos, 2000, p.64):

$$h_f = \xi \times \frac{v^2}{2g} \dots\dots\dots (2-11)$$

Dengan:

ξ = koefisien berdasarkan kontraksi.

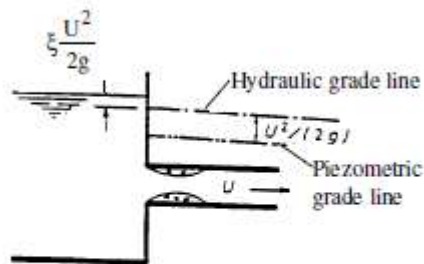
V = kecepatan masuk (m/det).

g = percepatan gravitasi (m/det²).

Nilai ξ dicari dengan jenis kontraksi atau hambatan yang terjadi pada pengaliran, berikut jenis kontraksi dan hambatan yang diperhitungkan (Ramos, 2000, p.64).

d. Kontraksi

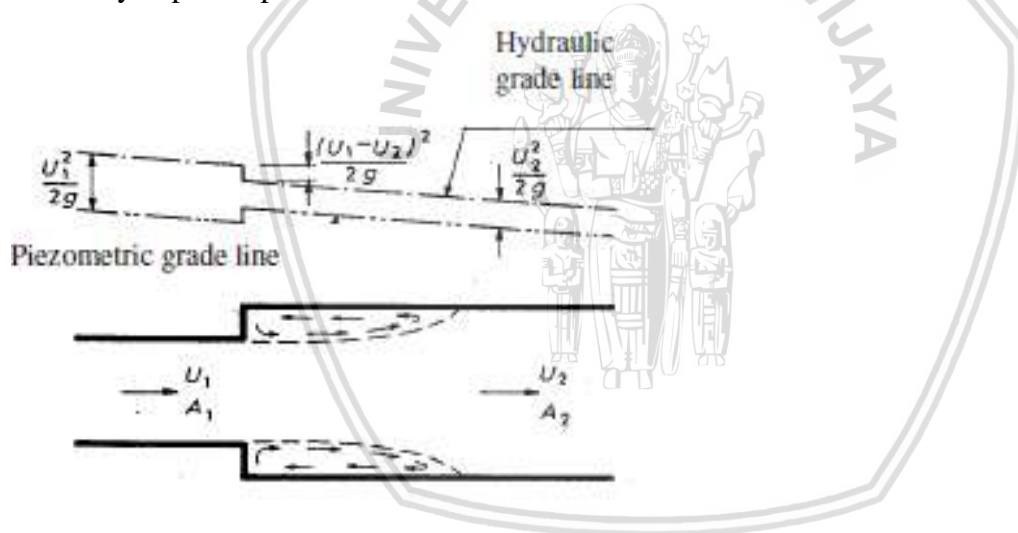
Type of contraction	ξ
sharp edge	0.50
rounded edge	0.25
conical horn	0.10
gradual	
$\alpha < 5^\circ$	0.06
$\alpha = 20^\circ$	0.20
$\alpha = 45^\circ$	0.30
$\alpha = 60^\circ$	0.32
$\alpha = 75^\circ$	0.34



Gambar 2.16 Kisaran nilai ξ berdasarkan tipe kontraksi

Sumber: Ramos (2000, p.64)

e. Penyempitan / pelebaran



Gambar 2.17 Sketsa situasi kehilangan tinggi akibat penyempitan dan pelebaran

Sumber: Ramos (2000, p.64)

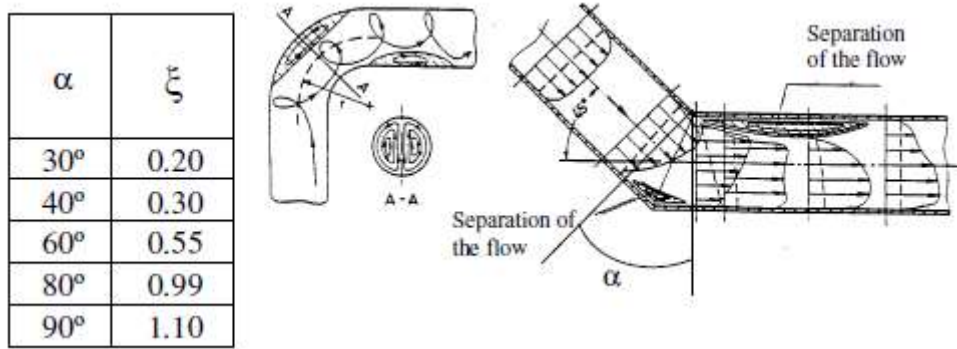
$$\xi = \left(1 - \frac{A_1}{A_2}\right)^2 \dots\dots\dots (2-12)$$

Dengan:

ξ = koefisien

A = luas penampang (m²)

f. Tikungan / belokan



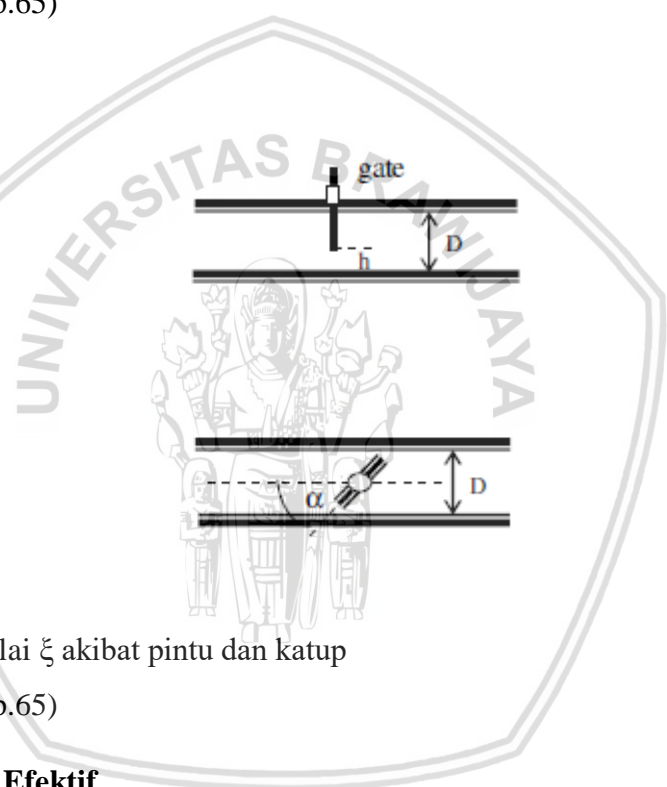
Gambar 2.18 Kisaran nilai ξ akibat belokan

Sumber: Ramos (2000, p.65)

g. Pintu dan katup

h/D	ξ
0.20	31.4
0.50	3.3
0.70	0.8

α	ξ
5°	0.24
20°	1.54
40°	10.8
60°	118



Gambar 2.19 Kisaran nilai ξ akibat pintu dan katup

Sumber: Ramos (2000, p.65)

2.6 Tinggi Jatuh Efektif

Tinggi jatuh efektif bias dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$H_{\text{eff}} = \text{EMAW} - \text{TWL} - h_1 \dots\dots\dots (2-13)$$

Dengan:

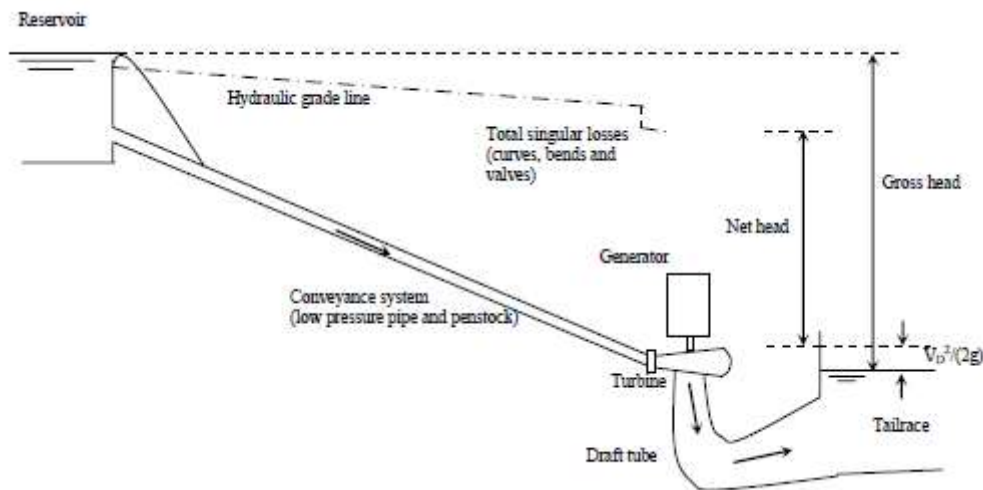
H_{eff} = tinggi jatuh efektif (m).

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

TWL = tail water level (m).

h_1 = total kehilangan tinggi tekan (m).





Gambar 2.20 Sketsa tinggi jatuh efektif

Sumber: Ramos (2000, p.61)

2.7 Pipa Pesat

Pipa tekan yang dipakai untuk mengalirkan air dari tangki atas (*head tangk*) atau langsung dari bangunan ambil air ke turbin air tersebut pipa pesat (*penstock*). Saluran pipa tekan adalah umumnya bagi dasar atau terowongan yang dipakai untuk menempatkan pipa pesat, blok anker (*anchor block*) dan pelana (*saddle*), yang akan menahan pipa pesat tersebut. Apabila suatu pusat listrik dibangun di atas permukaan tanah. Sesuai dengan keadaan geografis dan geologi setempat pipa pesat ini dapat dipasang tanpa penutup atau dipasang dengan dibungkus beton dalam terowongan. Apabila pipa pesat ini dihubungkan dengan pusat listrik bawah tanah (*underground*), maka cara ini banyak dipergunakan. Kadang-kadang pipa pesat ini di pasang dalam tanggul, terutama dalam hal pusat listrik jenis bendungan (Arismunandar dan Kuwahara, 2004, p.41).

Dewasa ini untuk pipa pesat biasanya digunakan pipa baja. Pipa-pipa dengan panjang 6 m dilas di tempat, kemudian dipasang. Bagian yang dilas harus diperiksa dengan sinar-X. Sampai sekarang dianut pendapat bahwa pipa baja bertekanan tinggi cocok untuk suatu rencana (*design*), meskipun masih ada persoalan mengenai pengelasannya. Akhir-akhir ini cara ini banyak dipakai karena kemajuan dalam teknik pengelasan. Nila pipa pesat dipasang dalam terowongan di pegunungan yang berbatu dasar (*betrock*) baik, maka dapatkanlah dibuat rencana tertentu sehingga pipa baja, batu dan pembungkus beton merupakan satu kesatuan dalam menahan tekanan air. Karena itu dewasa ini metoda penanaman pipa seringkali dipakai karena pertimbangan ekonomismya (Arismunandar dan Kuwahara, 2004, p.41).

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

$$d = 2.69 \times \left(\frac{n^2 \times Q^2 \times L}{H} \right)^{0.1875} \dots\dots\dots (2-14)$$

Dengan:

- d = diameter pipa pesat (m).
- n = nilai kekasaran Manning (gambar 2.).
- Q = debit pembangkit (m³/dt).
- L = panjang pipa pesat (m).
- H = tinggi jatuh total/kotor (m).

Untuk menentukan tebal pipa pesat digunakan persamaan *Cylinder formulae* (Varshney, 1977, p.411):

$$t = \frac{p \times r \times 1000}{q} \dots\dots\dots (2-15)$$

$$P = p \times g \times h \dots\dots\dots (2-16)$$

Dengan:

- t = tebal pipa pesat (m).
- p = gaya (ton/m²).
- r = jari – jari pipa pesat (m).
- q = tegangan material pipa pesat yang digunakan (ton/m²).
- p = massa jenis air (ton/m³).
- g = percepatan gravitasi (9.81 m/dt²).
- h = tinggi jatuh total/kotor (m).

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

$$d \leq 1 \text{ m} \longrightarrow h \geq 1.0 \text{ d} \dots\dots\dots (2-17)$$

$$d > 1 \text{ m} \longrightarrow h \geq d^2 \dots\dots\dots (2-18)$$

Dengan:

- h = kedalaman tenggelam untuk pengambilan (m).
- d = diameter pipa pesat (m).

2.8 Turbin

Jenis-jenis turbin air secara prinsip dikelompokkan ke dalam dua jenis dengan beberapa tambahan klasifikasi sebagai berikut:

1. Turbin impulse

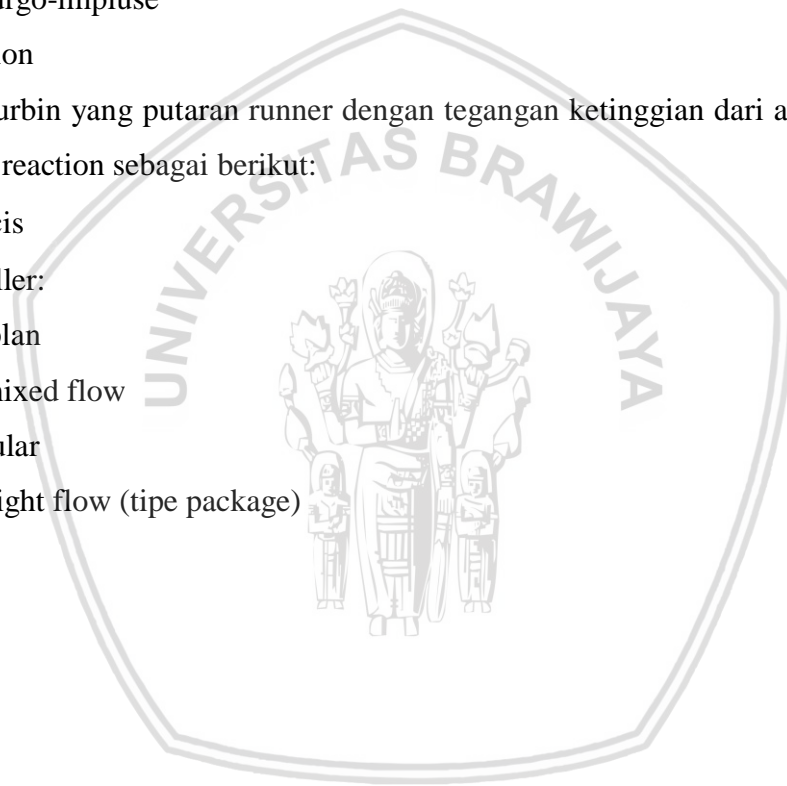
Konstruksi turbin yang putaran runner dengan pukulan dari pancar air yang memiliki kecepatan ketinggian dimana telah dikumpulkan dari tegangan ketinggian pada saat pemancaran dari nozzle dengan klasifikasi turbin impulse sebagai berikut:

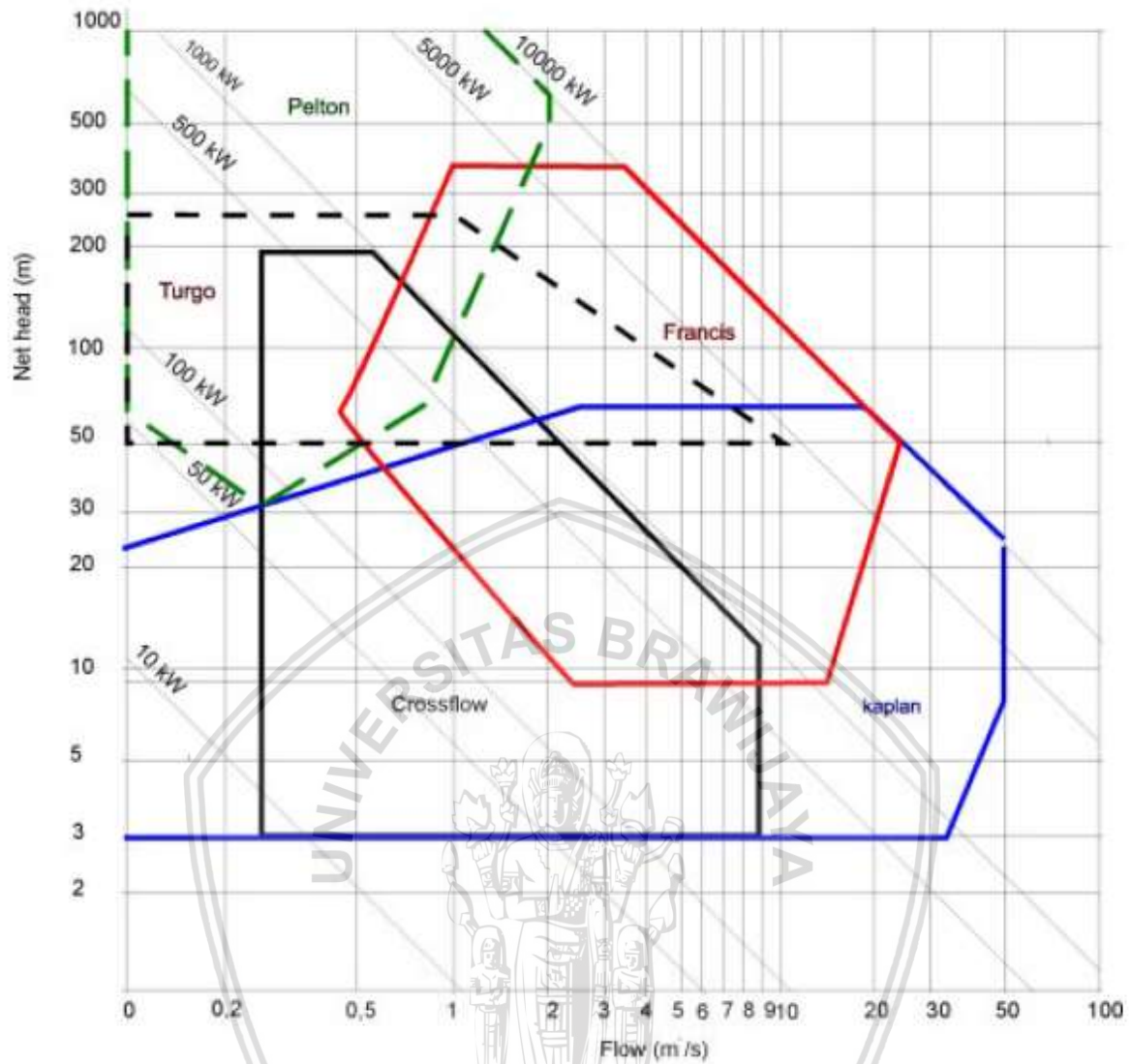
- Turbin Pelton
- Turbin Crossflow
- Turbin Turgo-impluse

2. Turbin reaction

Konstruksi turbin yang putaran runner dengan tegangan ketinggian dari aliran dengan klasifikasi turbin reaction sebagai berikut:

- Turbin Francis
- Turbin Propeller:
 - Turbin Kaplan
 - Diagonal mixed flow
 - Turbin tubular
 - Turbin straight flow (tipe package)





Gambar 2.21 Grafik Hubungan Head dan Discharge

Sumber: ESHA (1998, p.76)

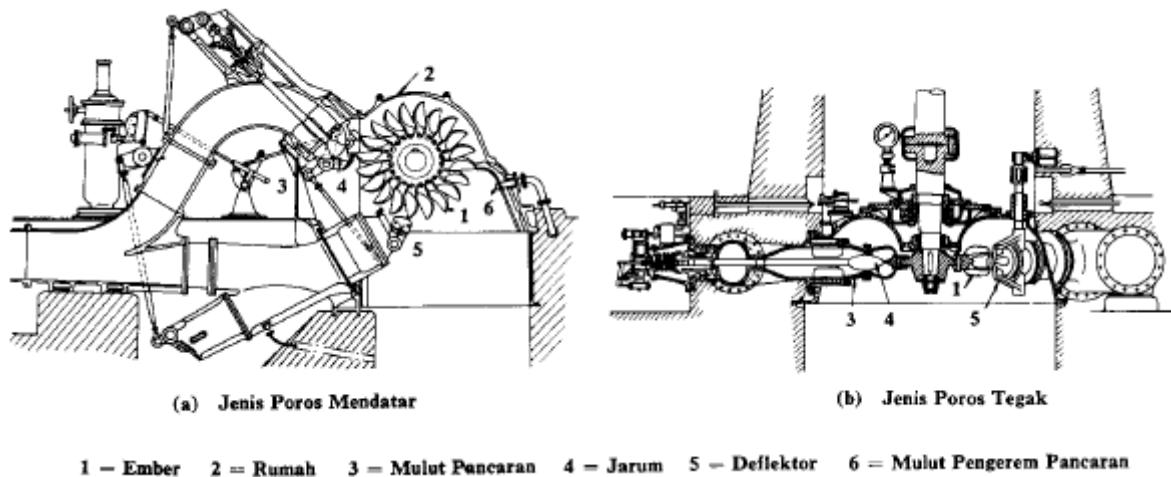
2.8.1 Turbin Pelton

Turbin pelton sangat baik bagi PLTA dengan tinggi yang besar pada debit yang kecil. Banyaknya pancaran dapat dibuat satu hingga empat kapasitas pipa pancaran ditentukan oleh diameternya yang umumnya diambil sebesar 20 m (Patty, 1995, p.95).

Diameter runner ditentukan oleh syarat mesim antara lain penempatan timba dan gaya sentrifugal yang diperbolehkan yang ditentukan oleh kekuatan bahan.

Bagian-bagian utama dari turbin pelton adalah:

- Pipa nozzle dan lain-lain yang diperlukan untuk mengarahkan aliran jet air.
- Runner yang menggunakan energy kinetis aliran jet (semburan) air.
- Kotak penutup untuk mengamankan runner dan nozzle.
- Alat pengatur kecepatan (*governor*) agar kecepatan tetap sama pada beberapa beban.



Gambar 2.22 Turbin pelton

Sumber: Arismunandar dan Kuwahara (2004, p.95)

Rotornya dilengkapi dengan ember (*buckets*) yang dipasang di sekeliling piringannya (*disc*). Ember-ember tersebut menerima semprotan air dari mulut-mulut pancaran (*nozzles*), yang kemudian mengembalikan pancaran air ini setelah membaginya ke arah kiri dan kanan dengan bantuan sebuah punggung (*ridge*) yang terdapat di tengah ember, ember ini mengalihkan tenaga impuls yang didapatnya pada piringan. Ada dua macam ember yaitu yang terpasang pada piringan dengan baut dan yang dicor menjadi satu dengan piringnya. Sebuah jarum dipasang di pusat mulut pancaran untuk mengatur jumlah aliran air yaitu dengan menggerakannya maju dan mundur dan untuk mengisi lubang ke luar dari mulut pancaran ini digerakkan oleh pengatur kecepatan (*speed governor*) sesuai dengan perubahan beban (Arismunandar dan Kuwahara, 2004, p.54).

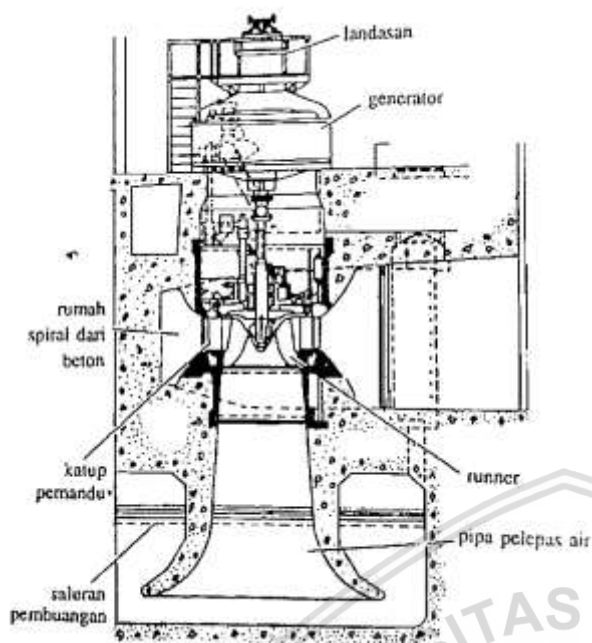
Deflector adalah alat untuk membelokkan pancaran air dan dipasang antara mulut pancaran dan rotor. Bila beban tiba-tiba dibuang (*rejected*), deflector secara darurat menghalang-halangi pancaran air. Kemudian, tempat ke luar mulut pancaran dengan perlahan-lahan disumbat oleh jarumnya. Kenaikan kecepatan turbin air dan kenaikan tekanan pada pipa pesat dikendalikan oleh sebuah katup kecil (Arismunandar dan Kuwahara 2004, p.54).

2.8.2 Turbin Francis

Bagian-bagian utama dari turbin Francis adalah:

- Rumah spiral (*scroll-case*) yang menerima air dari pipa pesat dan mengarahkan aliran air ke turbin (*runner*).
- Bagian turbin yang berputar (*runner*).

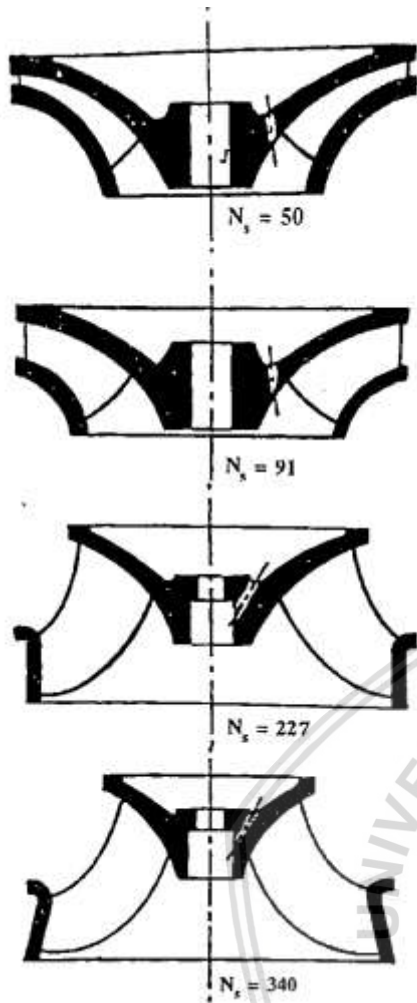
- c. Pipa pelepas air (*draft-tube*) yang meneruskan air dari turbin ke saluran pembuang.



Gambar 2.23 Turbin Francis

Sumber: Patty (1995, p.96)

Fungsi rumah spiral ialah membagi rata air yang diterima dari pipa pesat ke sekeliling turbin. Agar dapat mencapai maksud ini, maka jalan aliran air harus sebaik mungkin, yang dapat dicapai dengan mengadakan model tes. Di dalam rumah spiral ini terdapat sayap tegak (*stay-vane*) yang selain berfungsi memperkuat konstruksinya harus memenuhi persyaratan hidrolis aliran air ke turbin harus sebaik mungkin. Pada PLTA dengan tekanan rendah yang banyak air ratusan, bahkan ribuan m^3/detik , rumah spiral dan pipa pelepas air dibuat dari beton. Rumah spiral dibuat dari besi cor untuk tekanan air sebesar 50 – 60 m dan pada tekanan yang lebih tinggi bahannya adalah baja. Bila dibuat dari baja, maka rumah spiral terdiri dari beberapa segmen yang kemudian dihubungkan satu dengan yang lain dengan cara las atau memakai baut (Patty, 1995, p.97).



Gambar 2.24 Beberapa bentuk runner pada turbin Francis

Sumber: Patty (1995, p.97)

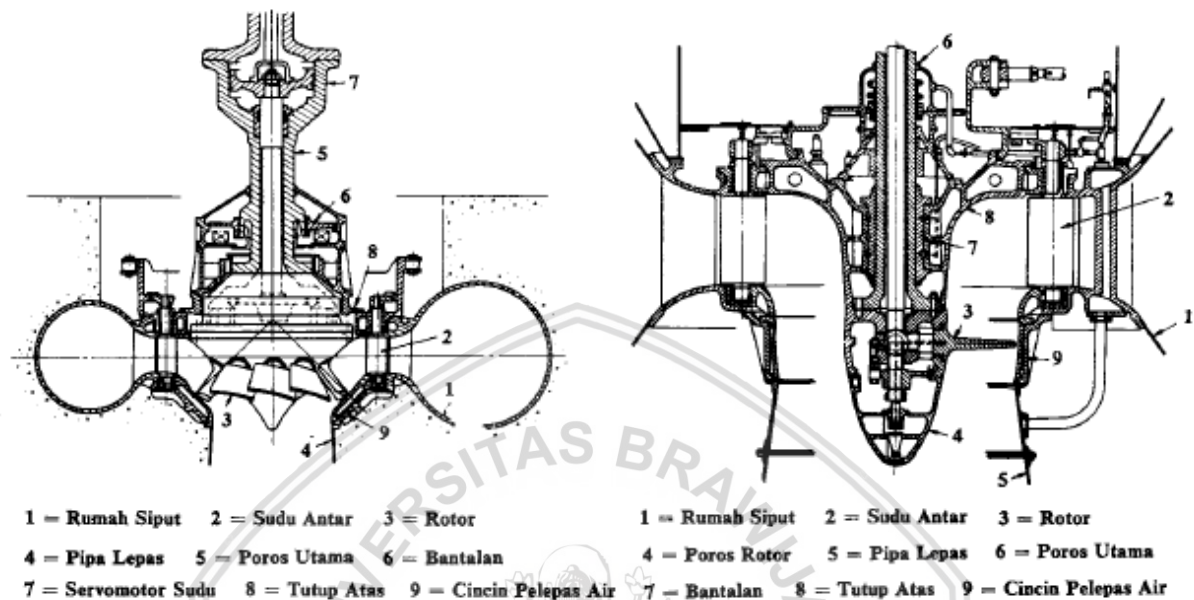
Yang dinamakan turbin terdiri dari:

- Katup pemandu (*guide vane*).
- Bagian yang berputar (*runner*).
- Kotak roda (*wheel case*).
- Poros (*shaft*).
- Bantalan poros (*bearings*).

2.8.3 Turbin Baling-baling

Turbin ini dipakai untuk tinggi terjun yang rendah. Turbin baling-baling digolongkan menjadi dua menurut konstruksi bilah rotornya yaitu turbin baling-baling dengan rotor tetap dan turbin Kaplan dengan bilah sudut yang dapat digerakan secara otomatis dan hidrolik. Sudu rotor pada turbin Kaplan mempunyai konstruksi yang dapat digerakkan dan dapat merubah arah sudut bilahnya dengan tangan (manual) atau otomatis sesuai dengan

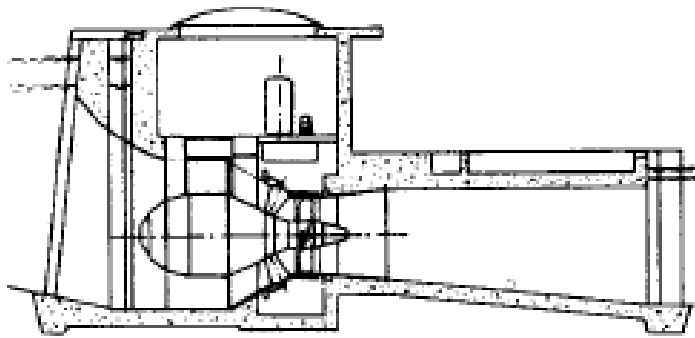
pembukaan sudut antaranya. Bilah rotor dibuka dan ditutup oleh tekanan minyak melalui katup pengontrol rotor dari alat pengatur kecepatan. Hubungan antara pembukaan sudu antara dan sudut bilah rotor biasanya dipertahannya oleh alat penghubung (*cam*) dan pengatur kecepatan, agar turbin dapat bekerja dengan daya-guna (*efficiency*) yang tinggi.



Gambar 2.25 Konstruksi turbin aliran diagonal dan turbin Kaplan

Sumber: Arismunandar dan Kuwahara (2004, p.55)

Ada lagi turbin baling-baling macam lain yang disebut turbin tabung (*tubular*), yang dipakai untuk terjun yang rendah sekali. Turbin ini mempunyai rumah (*case*) berupa silinder, sehingga aliran air mengalir melalui arah aksial pada selubung silinder. Turbin jenis ini kebanyakan bejenis poros mendatar dan bagian peralatannya dipasang pada suatu garis mulai dari tempat masuk turbin sampai ke tempat keluarnya pada pipa lepas (*draft tube*). Katup tempat masuk, rotor dan generatornya dirangkaikan langsung dengan turbin, pipa lepas dan lain sebagainya. Beberapa dari turbin jenis ini dilengkapi dengan roda gigi percepatan (*speed increasing gear*) yang terpasang antara kopling (*coupling*) turbin air dan generator, untuk memperbesar kecepatan putar generator, sehingga generator berwujud pampat (*compact*).

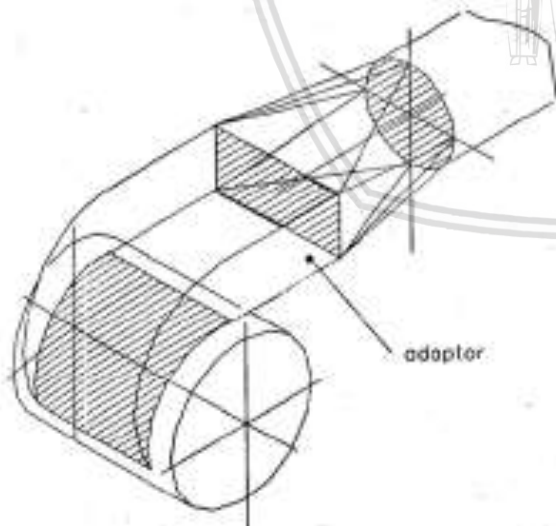


Gambar 2.26 Turbin tabung (turbin Kaplan jenis poros mendatar)

Sumber: Arismunandar dan Kuwahara (2004, p.56)

2.8.4 Turbin Crossflow

Turbin crossflow terdiri atas empat bagian utama: *nosel*, *runner*, *guide vane* dan *casing* (rumah turbin). Air dialirkan masuk turbin melalui pipa pesat berpenampang bulat. Pada ujung pipa pesat, yaitu sebelum masuk ke turbin, dipasang adaptor, tempat perubahan penampang lingkaran menjadi persegi, menjelang masuk rumah turbin. Dari adaptor air masuk ke nosel. Nosel berpenampang persegi dan mengeluarkan pancaran air ke selebar runner. Bentuk pancaran adalah persegi, lebar dan tidak terlalu tebal. Sebelum mencapai runner, aliran disesuaikan kecepatan masuk dan sudut masuknya. Konstruksi runner terdiri dari dua buah piringan sejajar yang disatukan pada lingkar luarnya oleh sejumlah sudut. Sudut-sudut diperkuat oleh piringan tambahan yang dilas setiap 10-15 cm sepanjang runner.



Gambar 2.27 Turbin Crossflow

Sumber: Electric dan Koei (2003, p.6-8)

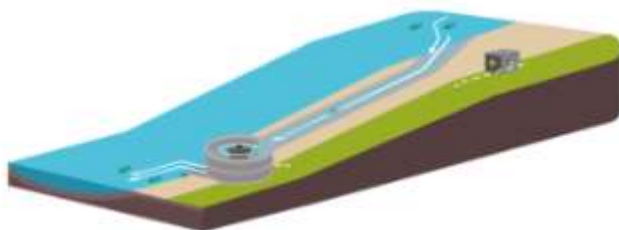
2.8.5 Turbin Whirlpool

Turbin Whirlpool ini mulai dikembangkan oleh perusahaan Turbulent asal Spanyol. Berat dari turbin ini 700 kg tidak termasuk basin, tinggi 1,5 – 3 m dengan riam turbin untuk kepala yang lebih besar dengan maksimal daya yang dihasilkan 100 kW. Turbin Whirlpool teknologi yang dapat menggunakan semua air terjun kecil atau jeram ini dengan cara aman bagi lingkungan. Turbin ini juga sangat aman bagi ikan dengan biaya pembangunan yang murah karena strukur sipil yang dirancang untuk mudah dipasang, dan elektronik serta kekuatan lepas landas yang kuat dirancanga untuk tetap bekerja dengan pemeliharaan minimal. Pemasangan turbin whirlpool ada 3 jenis di lapangan yaitu *long bypass*, *short bypass/drop*, *in river*.



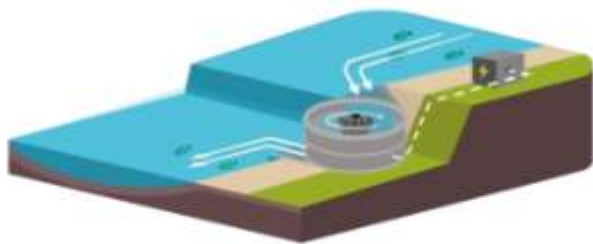
Gambar 2.28 Turbin whirlpool

Sumber: Turbulent (2017)



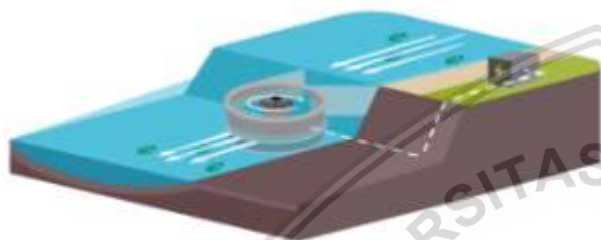
Gambar 2.29 Turbin whirlpool *long bypass*

Sumber: Turbulent (2017)



Gambar 2.30 Turbin whirlpool short bypass/drop

Sumber: Turbulent (2017)



Gambar 2.31 Turbin whirlpool in river

Sumber: Turbulent (2017)

2.8.6 Karakteristik Turbin

1. Kecepatan spesifik dan kecepatan putaran dari turbin

Kecepatan yang spesifik adalah perbandingan antara kecepatan putaran dari dua runner secara geometric sama satu dengan lainnya, dimana diambil dari kondisi hukum persamaan dan kecepatan spesifik dari runner yang mirip dalam sebuah grup dengan kecepatan putaran diperoleh ketika satu runner memiliki head efektif $H = 1$ m dan output $P = 1$ kW. Output turbin dan kecepatan putaran sebagai berikut (Electric dan Koei, 2003, p.6-3):

$$N_s = (N \times P^{1/2})/H^{5/4} \dots\dots\dots (2-19)$$

$$N = (N_s \times H^{5/4})/P^{1/2} \dots\dots\dots (2-20)$$

Dengan:

N_s = kecepatan spesifik (m-kW).

N = kecepatan putaran turbin (rpm).

P = output turbin (kW) = $9,8 \times Q \times H \times \eta$

H = head efektif (m).

Q = debit (m^3/s).

η = efisiensi maksimum (% , tetapi sebuah decimal digunakan dalam perhitungan).

$\eta = 82\%$ untuk Turbin Pelton.

$\eta = 84\%$ untuk Turbin Francis.

$\eta = 77\%$ untuk Turbin Crossflow.

$\eta = 84\%$ untuk Turbin Tubular S-type.

Kecepatan spesifikasi dari setiap turbin adalah dikhususkan dan dikisarkan menurut konstruksi dari setiap tipe dengan berdasarkan pada percobaan dan contoh-contoh pembuktian nyata. Batasan dari kecepatan spesifik turbin (N_s -max) dapat diperiksa dengan rumus berikut:

$$\text{Turbin Pelton} \quad N_s\text{-max} \leq 85,49 H^{-0,243} \dots\dots\dots (2-21)$$

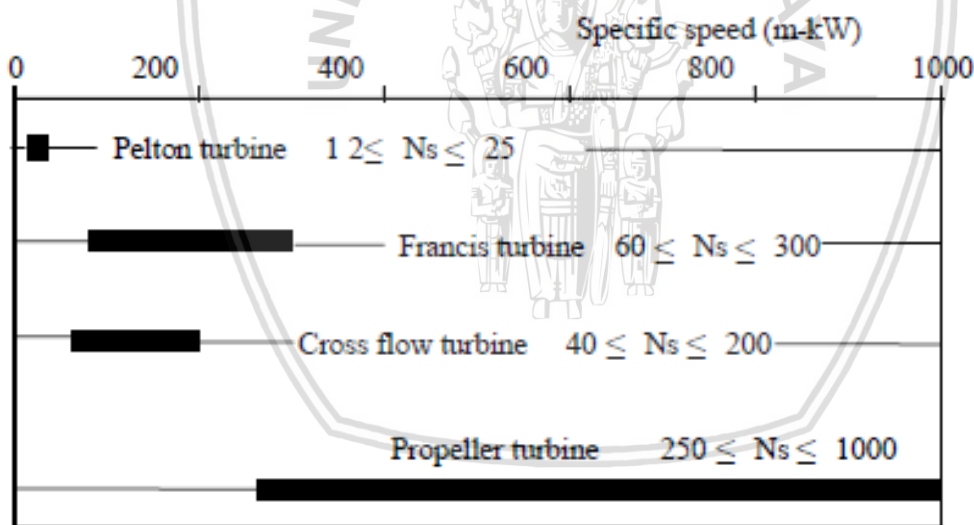
$$\text{Turbin Crossflow} \quad N_s\text{-max} \leq 650 H^{-0,5} \dots\dots\dots (2-22)$$

$$\text{Turbin Francis} \quad N_s\text{-max} \leq (20000/(H + 20)) + 30 \dots\dots\dots (2-23)$$

$$\text{Turbin Tubular} \quad N_s\text{-max} \leq (20000/(H + 16)) \dots\dots\dots (2-24)$$

$$\text{Turbin Propeller} \quad N_s\text{-max} \leq (20000/(H + 20)) + 50 \dots\dots\dots (2-25)$$

Kisaran dari kecepatan spesifik juga terlihat dalam Gambar 2.32)



Gambar 2.32 Kisaran dari percepatan spesifik dengan tipe turbin

Sumber: Electric dan Koei (2003, p.6-4)

2. Efisiensi

Setiap turbin memiliki angka efisiensi yang berbeda-beda. Agar efisiensi turbin maksimum maka biasanya tinggi jatuh yang di perbolehkan dibatasi, misalnya deviasi beberapa persen dari tinggi air jatuh yang direncanakan sesuai dengan turbin yang digunakan. Untuk turbin Pelton efisiensi maksimumnya 82%, Untuk turbin francis efisiensi

maksimumnya 84%, untuk turbin Crossflow efisiensi maksimumnya 70% dan untuk turbin tubular S-Type efisiensi maksimumnya 84% (Arismunandar dan Kuwahara, 2004, p.71).

3. Kecepatan lari

Kecepatan lari (*runaway speed*) suatu turbin adalah kecepatan putar turbin tanpa beban dengan debit tertentu. Kecepatan maksimum yang mungkin terjadi dinamakan kecepatan jari maksimum. Pada turbin yang memiliki rotor yang dapat digerakkan, ini akan terjadi bila kedudukan sudu rotor (*runner blade*) dan baling-baling antar (*guide vane*) yang berbeda-beda dan tak ada hubungannya satu sama lain. Apabila tinggi jatuh air berubah-ubah, maka dipakai kecepatan lari yang tersebar yaitu sesuai dengan H yang terbesar. Pada umumnya, kecepatan lari adalah 1,85 kali kecepatan putar normal (kecepatan putar yang direncanakan) untuk turbin Pelton, 1,6 – 2,2 kali untuk turbin Francis, 1,8 – 2,3 kali untuk turbin air diagonal dan 2,2 – 3,2 kali untuk turbin Kaplan (Arismunandar dan Kuwahara, 2004, p.68).

2.9 Generator

Generator berfungsi untuk mengubah energy mekanik putaran poros menjadi energi listrik. Konversi energy tersebut berlangsung melalui medium medan magnet. Utama instalasi PLTMH dapat digunakan generator sinkron dan generator induksi.

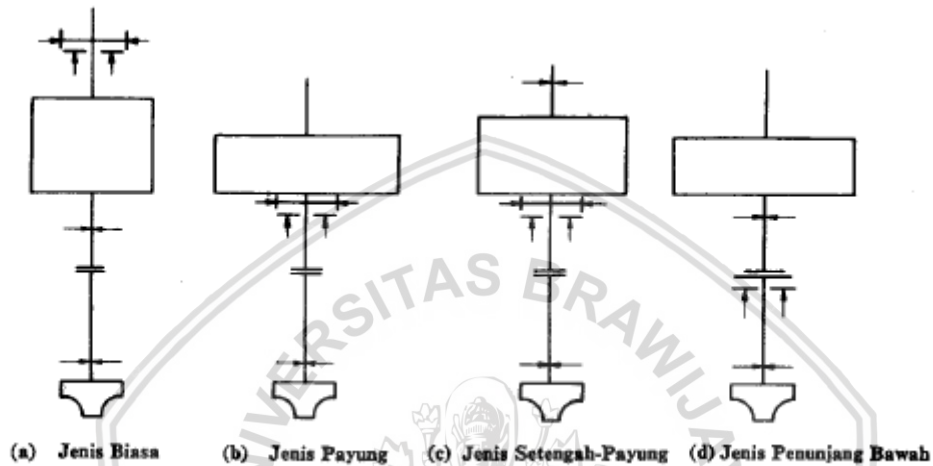
Bagian utama generator terdiri dari bagian yang berputar disebut rotor dan bagian yang diam disebut stator. Diantara rotor dan stator terdapat celah udara. Pada generator sinkron kumparan medan terdapat pada rotor, sedangkan kumparan jangkarnya merupakan bagian yang diam. Generator induksi (asingron) mempunyai kumparan jangkar pada stator dan tidak dapat kumparan medan karena generator iduksi menggunakan prinsip imbas elektromagnet (JICA 2009, p.8-5).

2.9.1 Karakteristik Generator

Berdasarkan arah porosnya, generator turbin air dibagi dalam golongan poros datar (*horizontal*) dan golongan poros tegak (*vertical*). Golongan poros datar sesuai untuk mesin-mesin bedaya kecil atau mesin-mesin berputaran tinggi, sedang golongan poros tegak sesuai untuk mesin-mesin berdaya besar atau mesin-mesin berputaran rendah. Penggunaan golongan poros tegak sangat baik bagi generator-turbin air, antara lain, karena golongan poros tegak memerlukan luas ruangan kecil dibandingkan dengan golongan poros datar. Ditinjau dari letak bantalannya (*bearing*), golongan poros tegak ini dibagi pula dalam empat bentuk berikut (Arismunandar dan Kuwahara, 2004, p.77):

1. Bentuk biasa (*conventional*), yang dilengkapi dengan bantalan poros-dorong (*thrust bearing*) di atas rotor.

2. Bentuk patung (*umbrella*), yang dilengkapi dengan bantalan poros-dorong di bawah rotor.
3. Bentuk setengah payung (*semi umbrella*), yang dilengkapi dengan bantalan poros-dorong dan bantalan antar (*guide bearing*) bawah di bawah rotor dan bantalan antar atas di atas rotor.
4. Bentuk penunjang bawah (*support type*), yang dilengkapi dengan bantalan poros-dorong di atas tudung turbin air.



Gambar 2.33 Klasifikasi generator menurut posisi bantalannya

Sumber: Arismunandar dan Kuwahara (2004, p.77).

Generator yang dipakai pada PLTM pada umumnya adalah 3 fasa dengan frekuensi 50 Hz.

Tabel 2.2
Efisiensi Generator

Rated Power (kW)	Best Efficiency
10	0.910
50	0.940
100	0.950
250	0.955
500	0.960
1000	0.970

Sumber: Anonim (2009, p.187)

2.9.2 Perhitungan Energi dan Daya

Jika tinggi jatuh efektif maksimum adalah H_{eff} (m), debit maksimum turbin adalah Q (m^3/s), efisiensi dari turbin dan generator masing-masing adalah η_T dan η_G maka daya yang

dihasilkan mikro hidro ini dapat dihitung dengan rumus (Arismunandar dan Kuwahara 2004, p.77):

$$\text{Daya Teoritis} = 9,81 \times P \times Q \times H_{\text{eff}} (w) \dots\dots\dots (2-26)$$

$$\text{Daya Turbin} = 9,81 \times \rho \times \eta_T \times Q \times H_{\text{eff}} (w) \dots\dots\dots (2-27)$$

$$\text{Daya Generator} = 9,81 \times \rho \times \eta_G \times \eta_T \times Q \times H_{\text{eff}} (w) \dots\dots\dots (2-28)$$

Dengan:

P = daya yang dihasilkan (kW).

η_T = efisiensi turbin (ppm).

η_G = efisiensi generator (rpm).

ρ = massa jenis air = 1000 (kg/m³).

Q = debit pembangkit (m³/dtk).

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

Banyaknya energi yang dihasilkan pembangkit dalam satu tahun menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$E = P \times 24 \times n \dots\dots\dots (2-29)$$

Dengan:

E = energi yang dihasilkan (kWH).

P = daya yang dihasilkan (kW).

n = jumlah hari.

2.10 Saluran Pembuang Akhir (*Tail Race*)

Debit air yang keluar dari turbin yang berfluktuasi mengakibatkan perubahan tinggi air dalam saluran. Perubahan tinggi air tersebut dihitung dengan menggunakan rumus Manning-Stickler (Patty, 1995, p.46).

$$Q = V \times A \dots\dots\dots (2-30)$$

$$V = 1/n \cdot (A/P)^{2/3} \cdot S^{1/2} \dots\dots\dots (2-31)$$

Dengan:

Q = debit air yang keluar dari turbin (m³/dtk).

V = kecepatan air (m/dtk).

R = jari-jari hidrolis (m).

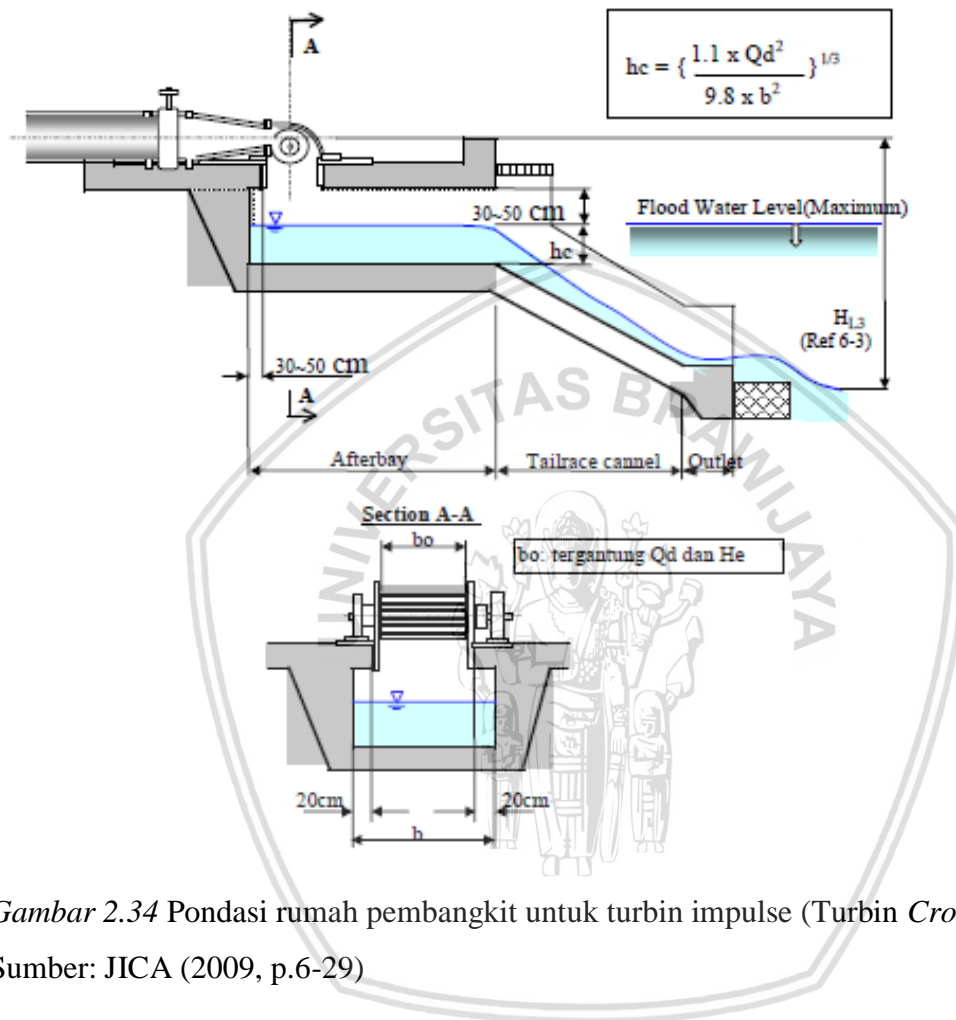
P = keliling basah saluran (m).

A = luas penampang saluran.

S = kemiringan saluran slope.

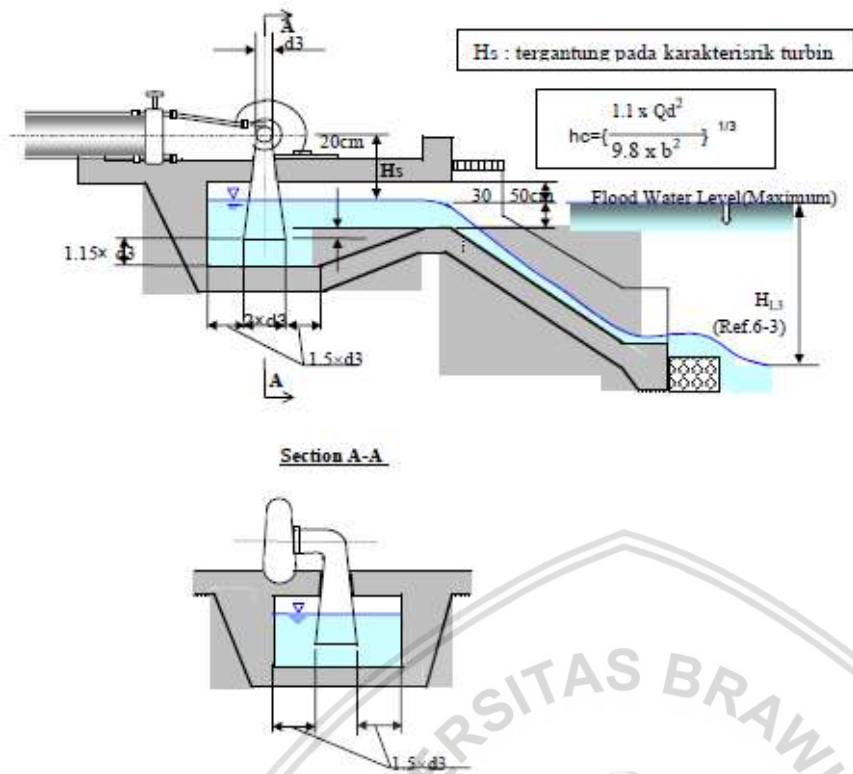
n = koefisien Manning.

Tipe saluran pembuang sangat berbeda-beda tergantung dengan jenis turbin yang digunakan karena tiap turbin mempunyai karakter yang berbeda-beda. Bentuk pondasi bisa dilihat sebagai berikut:



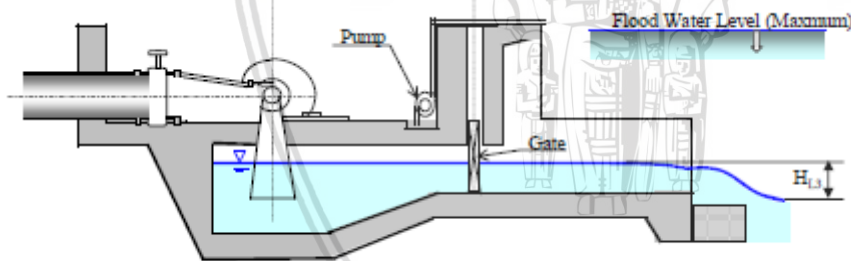
Gambar 2.34 Pondasi rumah pembangkit untuk turbin impulse (Turbin Crossflow)

Sumber: JICA (2009, p.6-29)



Gambar 2.35 Pondasi rumah pembangkit untuk turbin *rection* (Turbin Francis)

Sumber: JICA (2009, p.6-30)



Gambar 2.36 Cara pemasangan ke bagian lebih rendah

Sumber: JICA (2009, p.6-30)

Tabel 2.3

Koefisien Manning

No	Bahan Saluran	n
1	Plastik, kaca, karet halus	0,009
2	Logam halus	0,010
3	Kayu halus, pipa asbes	0,011
4	Besi tempa, Baja las, kanvas	0,012
5	Beton biasa, besi tuang beraspal	0,013
6	Kayu kasar, lempung halus	0,014
7	Pipa besi tuang	0,015
8	Baja dikeliling, batu bata	0,016

Lanjutan Tabel 2.3
Koefisien Manning

No	Bahan Saluran	n
9	Pasang batu	0,017
10	Tanah halus	0,018
11	Pipa logam bergelombang	0,022
12	Kerikil padat	0,023
13	Alur alamiah dalam keadaan baik	0,025
14	Alur alamiah bebatu dan bergulma	0,035
15	Alur alamiah yang sangat	0,060

Sumber: Linsley (1985, p.245)

2.11 Analisa Kelayakan Ekonomi

Analisa ekonomi ini mempunyai tujuan yaitu untuk mengetahui kelayakan suatu proyek dari segi ekonomi. Untuk melakukan analisa ekonomi ini dibutuhkan dua komponen utama yaitu: *cost* (komponen biaya) dan *benefit* (komponen manfaat). Dua komponen ini yang harus dilakukan dalam melakukan analisa ekonomi.

2.11.1 Cost

Pada pelaksanaan pembangunan mulai dari ide, studi kelayakan, perencanaan, pelaksanaan, sampai pada oprasi dan pemeliharaan membutuhkan bermacam-macam biaya dari biaya yang ada dibagi menjadi dua kelompok yaitu biaya modal dan biaya tahunan (Kodoatie, 1995, p.71).

A. Biaya Modal

Definisi dari biaya modal (Kuiper, 1971) adalah jumlah semua pengeluaran yang dibutuhkan mulai dari pra studi sampai proyek selesai di bangun. Pengeluaran yang ada termasuk biaya modal dibagi menjadi dua yaitu biaya langsung dan biaya tak langsung.

- **Biaya Langsung**

Biaya langsung ini lebih ke pembangunan dan biaya konstruksi yang diperlukan untuk pelaksanaan biaya kontruksi PLTMH sebagai fungsi *cost* yang diperhitungkan adalah:

1. Intake
2. Saluran Pembawa
3. Bak Penenang
4. Pipa Pesat
5. Rumah Pembangkit

Biaya konstruksi PLTMH dinyatakan dalam rumus empiris diperkirakan dengan harga satuan dari proyek – proyek PLTMH di Indonesia. Biaya konstruksi sebagai *cost* yang diperhitungkan.

Rumus – rumus yang dipakai untuk perhitungan besarnya biaya adalah sebagai berikut (Anonim dalam RETScreen, 2005: *Appendis B*):

1. Biaya *engineering* (C1)

Biaya yang diperlukan untuk jasa konsultasi dan jasa konstruksi, dengan persamaan empiris untuk estimasi biaya tersebut adalah:

$$C1 = 0.37 \times n^{0.1} \times \left(\frac{MW}{Hg^{0.3}} \right)^{0.54} \times 10^6 \dots\dots\dots (2-32)$$

Dengan:

C1 = estimasi biaya *engineering* (CAD).

MW = total kapasitas terpasang (Mega Watt).

Hg = tinggi jatuh kotor (m).

2. Biaya peralatan hidromekanika (C2)

Biaya peralatan hidromekanik meliputi biaya generator, turbin dan governor, persamaan empiris yang digunakan yaitu untuk persamaan estimasi biaya tersebut:

$$C2 = CG + CT \dots\dots\dots (2-33)$$

Generator

$$CG = 0.82 n^{0.96} G Cg \left(\frac{MW}{Hg^{0.28}} \right)^{0.9} \times 10^6 \dots\dots\dots (2-34)$$

Turbin Kaplan

$$CT = 0.27 n^{0.96} J_t K_t d^{1.47} (1.17 Hg^{0.12} + 2) \times 10^6 \dots\dots\dots (2-35)$$

Turbin Francis

$$CT = 0.17 n^{0.96} J_t K_t d^{1.47} (13 + 0.01 Hg^{0.3}) + 3) \times 10^6 \dots\dots\dots (2-36)$$

Turbin Propeller

$$CT = 0.125 n^{0.96} J_t K_t d^{1.47} (1.17 Hg^{0.12} + 4) \times 10^6 \dots\dots\dots (2-37)$$

Turbin Turgo atau Pelton

$$CT = 3.47 n^{0.96} \left(\frac{MWu}{Hg^{0.5}} \right)^{0.44} \times 10^6 \text{ jika } \left(\frac{MWu}{Hg^{0.5}} \right) > 4 \dots\dots\dots (2-38)$$

$$CT = 5.34 n^{0.96} \left(\frac{MWu}{Hg^{0.5}} \right)^{0.44} \times 10^6 \text{ jika } \left(\frac{MWu}{Hg^{0.5}} \right) < 4 \dots\dots\dots (2-39)$$

Turbin Crossflow

$$CT = \text{Biaya Turbin } pelton/turgo \times 0.5$$

Dengan:

$C2$ = estimasi biaya hidromekanik (CAD).

CG = biaya generator (CAD).

CT = biaya turbin dan governor (CAD).

G = factor koneksi grid (0.9 untuk central grid).

Cg = factor motor generator kecil (0.75 jika $MW < 10$, 1 jika $MW > 10$).

Jt = factor peningkatan tinggi jatuh (1 jika $H < 25$ m; 1.1 jika $H > 25$ m).

Kt = factor penurunan diameter kecil (0.9 jika $s < 1.8$ m; 1 jika $d > 1.8$ m).

d = diameter runner turbin (m).

MW_u = kapasitas daya tiap turbin (Mega Watt).

3. Biaya instalasi peralatan hidromekanik ($C3$)

Biaya pemasangan peralatan hidromekanik, dengan persamaannya adalah:

$$C3 = C2 \times 0.15 \dots\dots\dots (2-40)$$

Dengan:

$C3$ = estimasi biaya instalasi hidromekanika (CAD).

$C2$ = biaya peralatan hidromekanika (CAD).

4. Biaya trafo dan *substation*

Biaya ini yang dimaksud untuk biaya *substation* dan transformer (trafo), dengan persamaan sebagai berikut:

$$C5 = \left(0.0025 \times n^{0.95} + 0.002(n+1) \times \left(\frac{MW}{0.95} \right)^{0.9} \times V^{0.3} \right) \times 10^6 \dots\dots\dots (2-41)$$

Dengan:

$C5$ = estimasi biaya trafo dan *substation* (CAD).

5. Biaya persamaan *substation* (CAD)

Biaya ini yang dimaksud untuk biaya pemasangan *substation* dan transformer (trafo)

$$C6 = 0.15 \times C5 \dots\dots\dots (2-42)$$

Dengan:

$C6$ = estimasi biaya pemasangan *substation* transformer (trafo) (CAD).

6. Biaya pekerjaan sipil ($C7$)

Biaya ini yang dimaksud untuk biaya pekerjaan sipil meliputi pekerjaan galian, timbunan, pembongkaran, dll. Dengan persamaan empiris yang digunakan sebagai berikut:

$$C7 = 1.97 \times n^{-0.04} \times C \times R \times \left(\frac{MW}{Hg^{0.3}} \right)^{0.82} \times \left(1 + 0.005 \frac{Ld}{Hg} \right) \times 10^6 \dots\dots\dots (2-43)$$

Dengan:

- C7 = estimasi biaya pekerjaan sipil (CAD).
- C = koefisien pekerjaan sipil (0,44 jika ada bendungan/bendung eksisting, 1 jika tidak ada bendungan/bendung eksisting).
- R = factor batuan (1 jika terdapat batuanm, 1,05 jika tidak terdapat batuan).
- L_d = panjang bendung/bendug (m).

7. Biaya pekerjaan lain – lain (C11)

$$C11 = 0.25 i Qd^{0.35} \times 1.1 \Sigma C1 \text{ to } C10 + 0.1 \Sigma C1 \text{ to } C10 \dots\dots\dots (2-44)$$

Dengan:

- C11 = estimasi biaya pekerjaan lain – lain (CAD).
- i = suku bunga

• **Biaya Tak Langsung**

Biaya ini dibagi menjadi 3 bagian yang terdiri dari:

1. Kemungkinan yang tidak terduga dari biaya langsung dapat dilihat sebagai berikut:
 - a. Biaya yang timbul, tetapi tidak pasti.
 - b. Biaya yang timbul, tetapi belum terlihat.
 - c. Biaya yang timbul, kibat tidak tetapnya pada waktu yang akan datang atau eskalasi. Biasanya angka yang digunakan adalah angka prosentase dari biaya langsung dengan contoh 5%, 10%, 15% angka tersebut dapat lebih kecil dengan dipengaruhi oleh perencana karena semakin berpengalaman maka semakin kecil angka prosentasenya.
2. Biaya teknik/ *engineering cost* adalah biaya pembuatan perencanaan mulai dari tahap awal (*preliminary study*), para studi kelayakan, studi kelayakan, biaya perencanaan, biaya pengawasan selama waktu pelaksanaan.
3. Bunga (*interest*), periode waktu yang dilaksanakan mulai dari ide sampai pelaksanaan, bunga sangat berpengaruh terhadap biaya langsung, biaya kemungkinan dan biaya teknik.

B. Biaya Tahunan

Pengertian dari biaya tahunan adalah biaya yang masih diperlukan sepanjang umur proyek. Biaya tahunan (A) terdiri dari 3 komponen, yaitu (Kodoatie, 1995, p.74):

- a. Bunga, biaya ini sangat berpengaruh terhadap penyebab terjadinya perubahan dari biaya modal awal karena adanya tingkat suku bunga selama umur proyek. Bunga merupakan hal terbesar selama waktu dari ide sampai pelaksanaan yang diperhitungkan terhadap biaya modal.
- b. Depresiasi atau amortisasi, dua hal ini hampir sama tetapi ada beberapa yang membedakan dari kedua hal tersebut. Depresiasi adalah penyusutan/turunnya suatu harga nilai dari sebuah benda karena pemakaian dan kerusakan dari benda tersebut. Amortisasi adalah pembayaran dalam periode tertentu sehingga hutang yang ada akan lunas pada periode akhir.
- c. Biaya operasi dan pemeliharaan, untuk dapat memenuhi umur proyek sesuai dengan direncanakan pada detail desai yang dibuat, maka untuk kelangsungan dibutuhkan biaya oprasi dan pemeliharaan proyek tersebut maka harus dikeluarkan setiap tahunnya.

2.11.2 *Benefit* (Komponen Manfaat)

Manfaat dari PLTMH didasarkan pada tenaga listrik yang dihasilkan tiap tahun dan tarif dasar biaya listrik disesuaikan yang berlaku.

2.11.3 Indikator Kelayakan Ekonomi

Suatu proyek dikatakan layak apabila memenuhi beberapa indikator kelayakan ekonomi. Menurut Suyanto (2001, p.39), indikator yang sering dipakai dalam analisa ekonomi yaitu:

- Perbandingan manfaat dan biaya (*BCR*).
- Selisih manfaat dan biaya (*Net Present Value*).
- Tingkat pengembalian internal (*Internal Rate of Retrun*).
- *Payback Period*.

2.11.3.1 *BCR* (*Benefit Cost Ratio*)

Benefit Cost Ratio (*BCR*) adalah perbandingan antara nilai sekarang (*present value*) dari manfaat (*benefit*) dengan nilai sekarang (*present value*) dari biaya (*cost*) dengan rumus perhitungan *BCR* yaitu:

$$BCR = \frac{PV \text{ dari manfaat}}{PV \text{ dari biaya}} \dots\dots\dots (2-55)$$

Dengan:

PV = *Present value*.

BCR = Benefit Cost Ratio.

Parameter suatu kelayakan proyek dengan metode BCR yaitu $BCR > 1$ maka proyek dikatakan layak dikerjakan dan jika $BCR < 1$ proyek secara ekonomi tidak layak.

2.11.3.2 NPV (*Net Present Value*)

Komponen *cost* dan *benefit* dihitung *present value*nya berdasarkan *discount rate/interest rate* yang ditentukan. Harga *Net Present Value* diperoleh dari pengurangan *present value* komponen *benefit* dengan *present value* komponen *cost*.

$$NPV = PV \text{ komponen } benefit - PV \text{ komponen } cost \dots\dots\dots (2-56)$$

Dengan:

$PV = Present \text{ value.}$

$NPV = Net \text{ Present Value.}$

Suatu proyek dikatakan ekonomis dan layak dibangun apabila NPV bernilai positif (+) atau $NPV > 0$.

2.11.3.3 IRR (*Internal Rate of Return*)

Internal Rate of Return meruakan nilai suku bunga yang didapat jika BCR bernilai sama dengan 1 atau nilai suku bunga jika NPV bernilai sama dengan 0. IRR dapat dihitung atas dasar penerimaan bersih dan total investasi. Nilai IRR sangat penting diketahui karena bias melihat sejauh mana kemampuan proyek ini dapat dibiayai. Perhitungan IRR dapat diperoleh dengan rumus:

$$IRR = I' + \frac{NPV'}{NPV' - NPV''} (I'' - I') \dots\dots\dots (2-57)$$

Dengan:

$I' =$ suku bunga memberikan nilai NPV positif.

$I'' =$ suku bunga memberikan nilai NPV negatif.

$NPV =$ selisih antara *present value* dari manfaat dan *present value* dari biaya.

$NPV' =$ NPV positif.

$NPV'' =$ NPV negatif.

2.11.3.4 *Payback Periode*

Payback periode merupakan jangka waktu periode yang diperlukan untuk membayar kembali semua biaya – biaya yang telah dikeluarkan dalam investasi proyek. Kelemaha – kelemahan dari metode *Pasback Periode* yaitu diabaikannya nilai waktu dan diabaikannya aliran kas setelah periode *Payback*.

$$\text{Payback Periode} = \frac{I}{A_b} \dots\dots\dots (2-58)$$

Dengan:

I = besarnya biaya investasi yang diperlukan.

A_b = benefit bersih yang dapat diperoleh pada setiap tahun.





Halaman ini sengaja dikosongkan



BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Deskripsi Daerah Studi

Kabupaten Malang mempunyai luas wilayah lebih kurang 3.535 km² dan terdiri dari 33 kecamatan dan 378 desa dan 12 kelurahan sehingga total kelurahan/desa adalah 390 desa/kelurahan. Lokasi PLTMH yang direncanakan berada di kecamatan Turen yang terletak kurang lebih 16 km arah timur dari ibu kota kabupaten Malang (kota kepanjen) dan kurang lebih 26 km arah selatan dari kota Malang kurang lebih 10.914 Ha yang terdiri dari 17 desa yang ada di kecamatan turen. Pada umumnya kecamatan turen terdiri dari dataran tinggi, pegunungan dan kemiringan tanah yang sangat tajam, tentunya sangat mendukung pelaksanaan program pembangunan yang diinginkan, sebaliknya dengan kondisi tanah yang sangat subur tentunya akan mendukung pembangunan dan laju kegiatan perekonomian, misalnya pertanian, pariwisata, agrobisnis serta jasa – jasa dan sebagainya.

Struktur jenis tanah di wilayah kecamatan Turen merupakan jenis tanah pesolik, topografi sebagian besar merupakan dataran dengan ketinggian $\pm 300 - 460$ m diatas permukaan air laut, dengan kemiringan kurang dari 15% dan dataran 85% dengan curah hujan rata – rata 1.419 mm pertahun. Turen dihuni oleh 112.797 jiwa yang dibagi terbagi menjadi 37.140 KK (kepala keluarga). Jumlah itu terdiri dari 55.481 orang laki-laki dan 57.316 orang perempuan. Sebagian besar penduduk Turen bekerja di bidang pertanian dan sebagian lagi di sektor industri, perdagangan angkutan, pertambangan galian c, dll. Dengan letak geografis kecamatan Turen 112°39'85" – 112°44'77" BT dan 8°07'73" – 8°13'53" LS. Adapun batas wilayah sebagai berikut:

- Utara = Kecamatan Wajak dan Bululawang.
- Timur = Kecamatan Wajak dan Dampit.
- Selatan = Kecamatan Sumbermanjing wetan.
- Barat = Kecamatan Gondanglegi dan Pagelaran.

Salah satu desa yang ada di kecamatan Turen adalah desa Sanankerto yang merupakan objek yang akan dikaji dalam studi ini karena lokasi perencanaan PLTMH terletak di Desa Sanankerto Kecamatan Turen Kabupaten Malang.

Ketinggian rata – rata Desa Sanankerto yaitu 450 meter dari permukaan laut dengan letak geografis Desa Sanankerto berada pada koordinat 08°08'52" LS dan 112°43'15,9" BT dengan suhu minimum 27 °C dan 35 °C. Untuk menuju lokasi PLTMH di tempat wisata Andeman dan hutan Bambu, bisa ditempuh dengan kendaraan ataupun sepeda motor. Lokasinya hanya berjarak 8 km dari pusat kota Turen (Pasar Turen) atau 3 km dari Masjid Tiban Sananrejo.



Gambar 3.1 Kondisi saluran di hulu danau Andeman (Oktober 2017)

Sumber: Dokumentasi, 2017



Gambar 3.2 Kondisi danau Andeman (Oktober 2017)

Sumber: Dokumentasi, 2017



Gambar 3.3 Kondisi Saluran irigasi danau Andeman (Oktober 2017)

Sumber: Dokumentasi, 2017



Gambar 3.4 Survei debit saluran irigasi danau Andeman (Oktober 2017)

Sumber: Dokumentasi, 2017



Gambar 3.5 Peta desa Sanankerto

Sumber: Dokumen *Google Earth*, 2017

Desa Sanankerto sampai saat ini terjangkau oleh listrik tetapi tujuan utama dibangun PLTMH bukanlah untuk kebutuhan rumah warga tetapi untuk kebutuhan tempat wisata yang sampai saat ini belum terjangkau listrik, rencana pembangunan PLTMH untuk perkembangan tempat wisata Boon Pring dengan memanfaatkan debit air yang ada di danau andaman yang nantinya akan dipakai untuk kebutuhan tempat wisata dan lampu penerang di malam hari.

3.2 Kebutuhan Data

Melakukan analisa suatu permasalahan maka dibutuhkan data pendukung untuk menyelesaikan masalah. Data dapat digolongkan menjadi dua jenis data yaitu data primer dan data sekunder.

Data primer merupakan data yang didapat dari pengukuran atau hasil dari pengamatan langsung, sedangkan data sekunder merupakan data yang dikutip dari beberapa sumber yang nantinya dapat dipertanggung jawabkan keberadaannya.

Data-data penunjang yang digunakan dalam studi perencanaan pembangkit listrik mikro hidro di Desa Sanankerto ini meliputi:

1. Peta Topografi.
2. Data debit di lapangan dengan pengukuran selama 7 hari, pengukuran debit 3 titik di saluran irigasi.

Data yang digunakan pada studi perencanaan kali ini adalah data debit pengukuran langsung di lapangan selama 7 hari di saluran irigasi danau andeman Desa Sanankerto Kecamatan Turen Kabupaten Malang.

Tabel 3.1
Data debit pengukuran

No	Tanggal	Jam	B			H			V		
			(m)			(m)			(m/dtk)		
			Titik 1	Titik 2	Titik 3	Titik 1	Titik 2	Titik 3	Titik 1	Titik 2	Titik 3
1	13/03/2018	09.00	1.5	1.5	1.5	0.5	0.57	0.62	0.30	0.30	0.30
		10.00	1.5	1.5	1.5	0.5	0.57	0.62	0.30	0.30	0.30
		11.00	1.5	1.5	1.5	0.57	0.58	0.65	0.30	0.40	0.40
		12.00	1.5	1.5	1.5	0.55	0.56	0.62	0.30	0.40	0.40
		13.00	1.5	1.5	1.5	0.55	0.56	0.62	0.30	0.40	0.40
		14.00	1.5	1.5	1.5	0.56	0.6	0.64	0.30	0.40	0.40
		15.00	1.5	1.5	1.5	0.59	0.62	0.68	0.40	0.50	0.50
		16.00	1.5	1.5	1.5	0.6	0.67	0.71	0.40	0.50	0.50
2	14/03/2018	09.00	1.5	1.5	1.5	0.54	0.6	0.65	0.40	0.40	0.40
		10.00	1.5	1.5	1.5	0.54	0.62	0.67	0.40	0.40	0.40
		11.00	1.5	1.5	1.5	0.53	0.61	0.66	0.30	0.40	0.40
		12.00	1.5	1.5	1.5	0.52	0.61	0.65	0.30	0.40	0.40
		13.00	1.5	1.5	1.5	0.52	0.61	0.65	0.40	0.40	0.40
		14.00	1.5	1.5	1.5	0.54	0.64	0.68	0.40	0.40	0.40
		15.00	1.5	1.5	1.5	0.57	0.67	0.7	0.40	0.50	0.50
		16.00	1.5	1.5	1.5	0.59	0.69	0.75	0.40	0.50	0.50
3	15/03/2018	09.00	1.5	1.5	1.5	0.52	0.56	0.6	0.30	0.30	0.30
		10.00	1.5	1.5	1.5	0.53	0.56	0.62	0.30	0.30	0.30
		11.00	1.5	1.5	1.5	0.53	0.57	0.62	0.30	0.40	0.40
		12.00	1.5	1.5	1.5	0.52	0.56	0.61	0.30	0.40	0.40
		13.00	1.5	1.5	1.5	0.53	0.56	0.61	0.30	0.40	0.40
		14.00	1.5	1.5	1.5	0.54	0.58	0.63	0.30	0.40	0.40
		15.00	1.5	1.5	1.5	0.56	0.59	0.65	0.30	0.40	0.50
		16.00	1.5	1.5	1.5	0.57	0.61	0.67	0.40	0.50	0.50
4	16/03/2018	09.00	1.5	1.5	1.5	0.53	0.57	0.6	0.40	0.40	0.40
		10.00	1.5	1.5	1.5	0.53	0.57	0.61	0.30	0.30	0.30

Sumber: Hasil pengukuran di lapangan (2018)

Lanjutan Tabel 3.1 Data debit pengukuran

No	Tanggal	Jam	B			H			V		
			(m)			(m)			(m/dtk)		
			Titik 1	Titik 2	Titik 3	Titik 1	Titik 2	Titik 3	Titik 1	Titik 2	Titik 3
4	16/03/2018	11.00	1.5	1.5	1.5	0.52	0.56	0.62	0.30	0.40	0.40
		12.00	1.5	1.5	1.5	0.52	0.56	0.62	0.30	0.30	0.30
		13.00	1.5	1.5	1.5	0.54	0.58	0.63	0.30	0.40	0.40
		14.00	1.5	1.5	1.5	0.56	0.58	0.63	0.30	0.40	0.40
		15.00	1.5	1.5	1.5	0.56	0.59	0.66	0.40	0.50	0.50
		16.00	1.5	1.5	1.5	0.58	0.63	0.68	0.40	0.50	0.50
5	17/03/2018	09.00	1.5	1.5	1.5	0.58	0.64	0.68	0.40	0.40	0.40
		10.00	1.5	1.5	1.5	0.59	0.65	0.69	0.40	0.40	0.40
		11.00	1.5	1.5	1.5	0.59	0.65	0.69	0.40	0.40	0.40
		12.00	1.5	1.5	1.5	0.57	0.65	0.68	0.30	0.40	0.40
		13.00	1.5	1.5	1.5	0.58	0.67	0.7	0.30	0.40	0.40
		14.00	1.5	1.5	1.5	0.6	0.7	0.73	0.40	0.40	0.40
		15.00	1.5	1.5	1.5	0.64	0.72	0.76	0.40	0.50	0.50
		16.00	1.5	1.5	1.5	0.67	0.75	0.79	0.40	0.50	0.50
6	19/03/2018	09.00	1.5	1.5	1.5	0.56	0.63	0.67	0.40	0.40	0.40
		10.00	1.5	1.5	1.5	0.56	0.63	0.67	0.40	0.40	0.40
		11.00	1.5	1.5	1.5	0.58	0.64	0.67	0.30	0.40	0.40
		12.00	1.5	1.5	1.5	0.57	0.64	0.66	0.30	0.40	0.40
		13.00	1.5	1.5	1.5	0.57	0.65	0.68	0.30	0.40	0.40
		14.00	1.5	1.5	1.5	0.6	0.67	0.7	0.50	0.50	0.60
		15.00	1.5	1.5	1.5	0.66	0.72	0.79	0.50	0.60	0.60
		16.00	1.5	1.5	1.5	0.7	0.77	0.85	0.50	0.60	0.60
7	20/03/2018	09.00	1.5	1.5	1.5	0.57	0.64	0.67	0.30	0.30	0.30
		10.00	1.5	1.5	1.5	0.57	0.64	0.67	0.30	0.34	0.30
		11.00	1.5	1.5	1.5	0.59	0.65	0.67	0.30	0.40	0.40
		12.00	1.5	1.5	1.5	0.58	0.65	0.66	0.30	0.40	0.40
		13.00	1.5	1.5	1.5	0.59	0.66	0.68	0.30	0.40	0.40
		14.00	1.5	1.5	1.5	0.61	0.68	0.7	0.40	0.40	0.50
		15.00	1.5	1.5	1.5	0.62	0.7	0.79	0.40	0.40	0.50
		16.00	1.5	1.5	1.5	0.64	0.7	0.85	0.40	0.50	0.50

Sumber: Hasil pengukuran di lapangan (2018)

3.3 Tahap Perencanaan

Tahap perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) di Desa Sanankerto Kecamatan Turen Kabupaten Malang sebagai berikut:

1. Analisa Peta Topografi

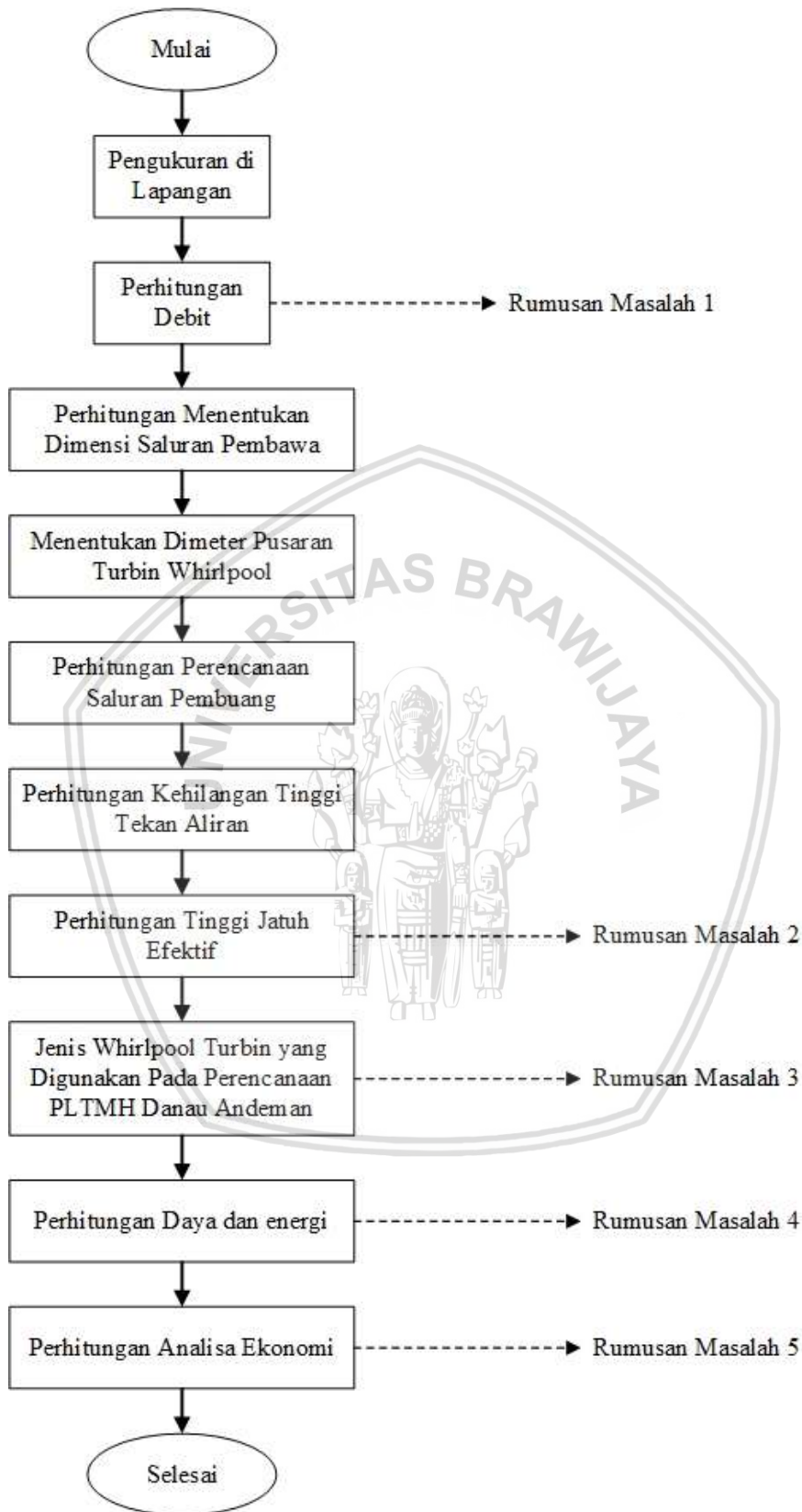
Analisa peta topografi pada calon site bendung untuk PLTMH desa Sanankerto akan digunakan sebagai dasar untuk perencanaan/desain bangunan PLTMH pada lokasi yang direncanakan.

2. Pengukuran langsung di lapangan untuk mengetahui ketinggian muka air dari dasar danau selama 7 hari.

3. Pintu sorong, saluran pembawa dan saluran pembuang.
4. Menentukan diameter saluran pada turbin whirlpool
5. Menentukan tinggi efektif
6. Menghitung daya yang akan dihasilkan.
7. Perhitungan analisa kelayakan ekonomi.



3.4 Flow Chart Perencanaan

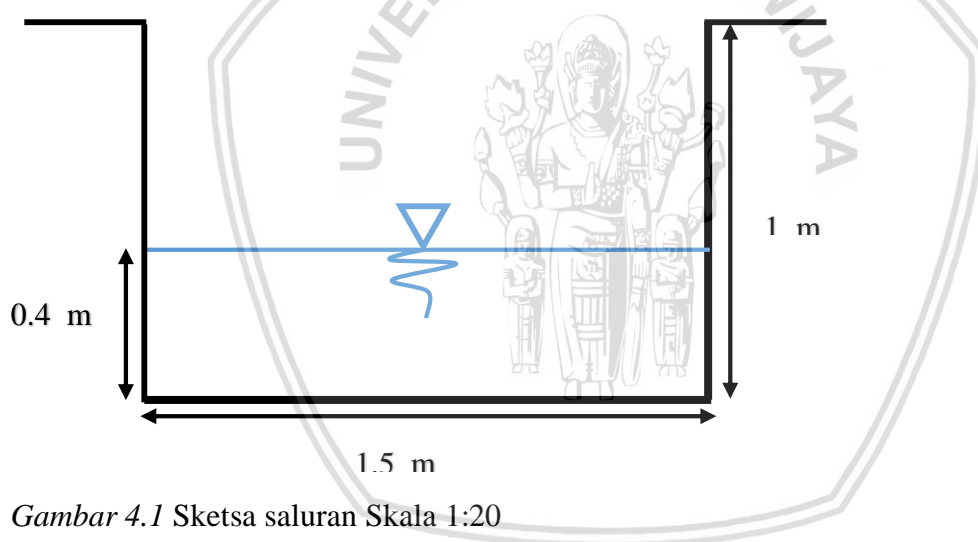


BAB IV

ANALISIS DATA DAN PERENCANAAN

4.1 Data Debit

Data yang diperoleh dari lapangan berupa data tinggi air di saluran, tinggi saluran, lebar saluran dan kecepatan aliran air. Data diambil langsung di lapangan selama 7 hari dengan pengukuran tiap jam dari jam 09.00 – 16.00 dengan 3 lokasi pengukuran. Titik pertama berada di pintu irigasi yang melimpah di lanjut dengan titik ke dua dengan jarak 15 m dan ke tiga dengan jarak 10 m nantinya data tersebut digunakan untuk mengetahui debit andalan yang akan digunakan untuk perencanaan PLTMH Desa Sanankerto dengan contoh perhitungan tanggal 13/03/2018 jam 09.00 di titik 1 sebagai berikut:



Gambar 4.1 Sketsa saluran Skala 1:20

Sumber: Hasil perhitungan (2018)



Gambar 4.2 Sketsa lokasi pengukuran

Sumber: Google Earth (2018)



Gambar 4.3 Lokasi Pengukuran titik 1

Sumber: Dokumentasi (2018)



Gambar 4.4 Lokasi Pengukuran titik 2

Sumber: Dokumentasi (2018)



Gambar 4.5 Lokasi Pengukuran titik 3

Sumber: Dokumentasi (2018)

- Titik 1 di Hulu Saluran
 - Menghitung Luas Penampang Basah (A)

$$\begin{aligned}
 A &= B \times H \\
 &= 1.5 \times 0.50 \\
 &= 0.75 \text{ m}
 \end{aligned}$$

- Hitung Keliling Basah (P)

$$\begin{aligned}
 P &= B + (2H) \\
 &= 1.5 + (2 \times 0.50) \\
 &= 2.50 \text{ m}
 \end{aligned}$$

- Hitung Jari-jari Hidrolis (R)

$$R = A/P$$

$$= 0.75/2.50$$

$$= 0.3 \text{ m}$$

- Kecepatan Aliran didapat dari Lapangan $V = 0.3 \text{ m/dtk}$
- Hitung Debit Saluran

$$Q = A \times V$$

$$= 0.75 \times 0.3$$

$$= 0.23 \text{ m}^3/\text{dtk}$$

Tabel 4.1
Rekapitulasi Data Dari Lapangan

No	Tanggal	Jam	A			P			R			V		
			(m)			(m)			(m)			(m/dtk)		
			Titik 1	Titik 2	Titik 3	Titik 1	Titik 2	Titik 3	Titik 1	Titik 2	Titik 3	Titik 1	Titik 2	Titik 3
1	13/03/2018	09.00	0.75	0.86	0.93	2.50	2.64	2.74	0.30	0.32	0.34	0.30	0.30	0.30
		10.00	0.78	0.86	0.93	2.55	2.64	2.74	0.30	0.32	0.34	0.30	0.30	0.30
		11.00	0.86	0.93	0.98	2.64	2.76	2.80	0.32	0.34	0.35	0.30	0.40	0.40
		12.00	0.83	0.84	0.93	2.60	2.62	2.74	0.32	0.32	0.34	0.30	0.40	0.40
		13.00	0.83	0.84	0.93	2.60	3.56	3.62	0.32	0.24	0.26	0.30	0.40	0.40
		14.00	0.84	0.90	0.96	2.62	2.70	2.78	0.32	0.33	0.35	0.30	0.40	0.40
		15.00	0.89	0.93	1.02	2.68	2.74	2.86	0.33	0.34	0.36	0.40	0.50	0.50
		16.00	0.90	1.01	1.07	2.70	2.84	2.92	0.33	0.35	0.36	0.40	0.50	0.50
2	14/03/2018	09.00	0.81	0.90	0.98	2.58	2.70	2.80	0.31	0.33	0.35	0.40	0.40	0.40
		10.00	0.54	0.93	1.01	2.08	2.74	2.84	0.26	0.34	0.35	0.40	0.40	0.40
		11.00	0.80	0.98	0.99	2.56	2.82	2.82	0.31	0.35	0.35	0.30	0.40	0.40
		12.00	0.78	0.92	0.98	2.54	2.72	2.80	0.31	0.34	0.35	0.30	0.40	0.40
		13.00	0.78	0.92	0.98	2.54	3.61	3.65	0.31	0.25	0.27	0.40	0.40	0.40
		14.00	0.81	0.96	1.02	2.58	2.78	2.86	0.31	0.35	0.36	0.40	0.40	0.40
		15.00	0.86	1.01	1.05	2.64	2.84	2.90	0.32	0.35	0.36	0.40	0.50	0.50
		16.00	0.59	1.04	1.13	2.18	2.88	3.00	0.27	0.36	0.38	0.40	0.50	0.50
3	15/03/2018	09.00	0.78	0.84	0.90	2.54	2.62	2.70	0.31	0.32	0.33	0.30	0.30	0.30
		10.00	0.80	0.84	0.93	2.56	2.62	2.74	0.31	0.32	0.34	0.30	0.30	0.30

Sumber: Hasil Perhitungan (2018)

Lanjutan Tabel 4.1
Rekapitulasi Data Dari Lapangan

No	Tanggal	Jam	A			P			R			V		
			(m)			(m)			(m)			(m/dtk)		
			Titik 1	Titik 2	Titik 3	Titik 1	Titik 2	Titik 3	Titik 1	Titik 2	Titik 3	Titik 1	Titik 2	Titik 3
3	15/03/2018	11.00	0.80	0.91	0.93	2.56	2.74	2.74	0.31	0.33	0.34	0.30	0.40	0.40
		12.00	0.78	0.84	0.92	2.54	2.62	2.72	0.31	0.32	0.34	0.30	0.40	0.40
		13.00	0.80	0.84	0.92	2.56	3.56	3.61	0.31	0.24	0.25	0.30	0.40	0.40
		14.00	0.81	0.87	0.95	2.58	2.66	2.76	0.31	0.33	0.34	0.30	0.40	0.40
		15.00	0.84	0.89	0.98	2.62	2.68	2.80	0.32	0.33	0.35	0.30	0.40	0.50
		16.00	0.86	0.92	1.01	2.64	2.72	2.84	0.32	0.34	0.35	0.40	0.50	0.50
4	16/03/2018	09.00	0.80	0.86	0.90	2.56	2.64	2.70	0.31	0.32	0.33	0.40	0.40	0.40
		10.00	0.80	0.86	0.92	2.56	2.64	2.72	0.31	0.32	0.34	0.30	0.30	0.30
		11.00	0.78	0.90	0.93	2.54	2.72	2.74	0.31	0.33	0.34	0.30	0.40	0.40
		12.00	0.78	0.84	0.93	2.54	2.62	2.74	0.31	0.32	0.34	0.30	0.30	0.30
		13.00	0.81	0.87	0.95	2.58	3.58	3.63	0.31	0.24	0.26	0.30	0.40	0.40
		14.00	0.84	0.87	0.95	2.62	2.66	2.76	0.32	0.33	0.34	0.30	0.40	0.40
		15.00	0.84	0.89	0.99	2.62	2.68	2.82	0.32	0.33	0.35	0.40	0.50	0.50
		16.00	0.87	0.95	1.02	2.66	2.76	2.86	0.33	0.34	0.36	0.40	0.50	0.50
5	17/03/2018	09.00	0.87	0.96	1.02	2.66	2.78	2.86	0.33	0.35	0.36	0.40	0.40	0.40
		10.00	0.89	0.98	1.04	2.68	2.80	2.88	0.33	0.35	0.36	0.40	0.40	0.40
		11.00	0.89	1.04	1.04	2.68	2.90	2.88	0.33	0.36	0.36	0.40	0.40	0.40
		12.00	0.86	0.98	1.02	2.64	2.80	2.86	0.32	0.35	0.36	0.30	0.40	0.40
		13.00	0.87	1.01	1.05	2.66	3.67	3.70	0.33	0.27	0.28	0.30	0.40	0.40
		14.00	0.90	1.05	1.10	2.70	2.90	2.96	0.33	0.36	0.37	0.40	0.40	0.40
		15.00	0.96	1.08	1.14	2.78	2.94	3.02	0.35	0.37	0.38	0.40	0.50	0.50
		16.00	1.01	1.13	1.19	2.84	3.00	3.08	0.35	0.38	0.38	0.40	0.50	0.50
6	19/03/2018	09.00	0.84	0.95	1.01	2.62	2.76	2.84	0.32	0.34	0.35	0.40	0.40	0.40
		10.00	0.84	0.95	1.01	2.62	2.76	2.84	0.32	0.34	0.35	0.40	0.40	0.40
		11.00	0.87	1.02	1.01	2.66	2.88	2.84	0.33	0.36	0.35	0.30	0.40	0.40
		12.00	0.86	0.96	0.99	2.64	2.78	2.82	0.32	0.35	0.35	0.30	0.40	0.40
		13.00	0.86	0.98	1.02	2.64	3.65	3.68	0.32	0.27	0.28	0.30	0.40	0.40
		14.00	0.90	1.01	1.05	2.70	2.84	2.90	0.33	0.35	0.36	0.50	0.50	0.60
		15.00	0.99	1.08	1.19	2.82	2.94	3.08	0.35	0.37	0.38	0.50	0.60	0.60
		16.00	1.05	1.16	1.28	2.90	3.04	3.20	0.36	0.38	0.40	0.50	0.60	0.60
7	20/03/2018	09.00	0.86	0.96	1.01	2.64	2.78	2.84	0.32	0.35	0.35	0.30	0.30	0.30
		10.00	0.86	0.96	1.01	2.64	2.78	2.84	0.32	0.35	0.35	0.30	0.34	0.30
		11.00	0.89	1.04	1.01	2.68	2.90	2.84	0.33	0.36	0.35	0.30	0.40	0.40
		12.00	0.87	0.98	0.99	2.66	2.80	2.82	0.33	0.35	0.35	0.30	0.40	0.40
		13.00	0.89	0.99	1.02	2.68	3.66	3.68	0.33	0.27	0.28	0.30	0.40	0.40
		14.00	0.92	1.02	1.05	2.72	2.86	2.90	0.34	0.36	0.36	0.40	0.40	0.50
		15.00	0.93	1.05	1.19	2.74	2.90	3.08	0.34	0.36	0.38	0.40	0.40	0.50
		16.00	0.96	1.05	1.28	2.78	2.90	3.20	0.35	0.36	0.40	0.40	0.50	0.50

Sumber: Hasil Perhitungan (2018)

Tabel 4.2
Rekapitulasi Debit Dari Lapangan

No.	Tanggal	Jam	Debit di	Debit di	Debit di	Q
			Titik 1	Titik 2	Titik 3	
			m ³ /det	m ³ /det	m ³ /det	m ³ /det
1	13/03/2018	09.00	0.23	0.26	0.28	0.34
		10.00	0.23	0.26	0.28	
		11.00	0.26	0.37	0.39	
		12.00	0.25	0.34	0.37	
		13.00	0.25	0.34	0.37	
		14.00	0.25	0.36	0.38	
		15.00	0.35	0.47	0.51	
		16.00	0.36	0.50	0.53	
2	14/03/2018	09.00	0.32	0.36	0.39	0.37
		10.00	0.22	0.37	0.40	
		11.00	0.24	0.39	0.40	
		12.00	0.23	0.37	0.39	
		13.00	0.31	0.37	0.39	
		14.00	0.32	0.38	0.41	
		15.00	0.34	0.50	0.53	
		16.00	0.24	0.52	0.56	
3	15/03/2018	09.00	0.23	0.25	0.27	0.32
		10.00	0.24	0.25	0.28	
		11.00	0.24	0.36	0.37	
		12.00	0.23	0.34	0.37	
		13.00	0.24	0.34	0.37	
		14.00	0.24	0.35	0.38	
		15.00	0.25	0.35	0.49	
		16.00	0.34	0.46	0.50	
4	16/03/2018	09.00	0.32	0.34	0.36	0.34
		10.00	0.24	0.26	0.27	
		11.00	0.23	0.36	0.37	
		12.00	0.23	0.25	0.28	
		13.00	0.24	0.35	0.38	
		14.00	0.25	0.35	0.38	
		15.00	0.34	0.44	0.50	
		16.00	0.35	0.47	0.51	
5	17/03/2018	09.00	0.35	0.38	0.41	0.41
		10.00	0.35	0.39	0.41	
		11.00	0.35	0.42	0.41	

Sumber: Hasil Perhitungan (2018)

Lanjutan Tabel 4.2
Rekapitulasi Debit Dari Lapangan

No.	Tanggal	Jam	Debit di	Debit di	Debit di	Q
			Titik 1	Titik 2	Titik 3	
			m ³ /det	m ³ /det	m ³ /det	m ³ /det
5	17/03/2018	12.00	0.26	0.39	0.41	0.41
		13.00	0.26	0.40	0.42	
		14.00	0.36	0.42	0.44	
		15.00	0.38	0.54	0.57	
		16.00	0.40	0.56	0.59	
6	19/03/2018	09.00	0.34	0.38	0.40	0.45
		10.00	0.34	0.38	0.40	
		11.00	0.26	0.41	0.40	
		12.00	0.26	0.38	0.40	
		13.00	0.26	0.39	0.41	
		14.00	0.45	0.50	0.63	
		15.00	0.50	0.65	0.71	
		16.00	0.53	0.69	0.77	
7	20/03/2018	09.00	0.26	0.29	0.30	0.38
		10.00	0.26	0.33	0.30	
		11.00	0.27	0.42	0.40	
		12.00	0.26	0.39	0.40	
		13.00	0.27	0.40	0.41	
		14.00	0.37	0.41	0.53	
		15.00	0.37	0.42	0.59	
		16.00	0.38	0.53	0.64	
Q _{rata-rata}						0.38

Sumber: Hasil Perhitungan (2018)

4.2 Perencanaan Lokasi Turbin 1

Pada analisis ini dicari debit yang nantinya akan digunakan untuk PLTMH Desa Sanankerto dengan menggunakan debit lapangan yaitu sebesar 0.37 m³/detik. Dari debit lapangan akan diatur dengan pintu air. Pintu yang pertama berada di hulu saluran, posisinya tepat di Danau Andeman, pintu yang kedua yaitu pintu skot balok berfungsi untuk mengatur tinggi muka air yang ada di saluran untuk mengatur debit ke saluran pembawa PLTMH dan pintu air yang ketiga berfungsi untuk mengatur debit air yang akan dipakai untuk PLTMH. Untuk lebih jelasnya bisa dilihat pada sketsa berikut ini:



Gambar 4.6 Sketsa Pintu Air
Sumber: Hasil Perhitungan (2018)

Melihat gambar 4.6 merencanakan pintu air skot balok berikut data perencanaan yang dibutuhkan untuk perencanaan skot balok:

$$b_{\text{saluran}} = 1.5 \text{ m}$$

$$P_1 = 0.5 \text{ m}$$

$$L = 0.4 \text{ m}$$

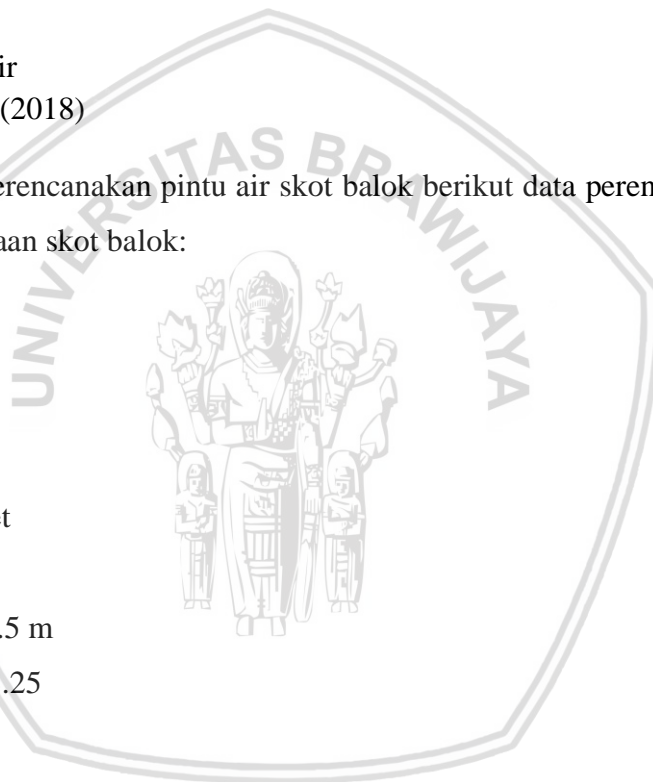
$$C_v = 1$$

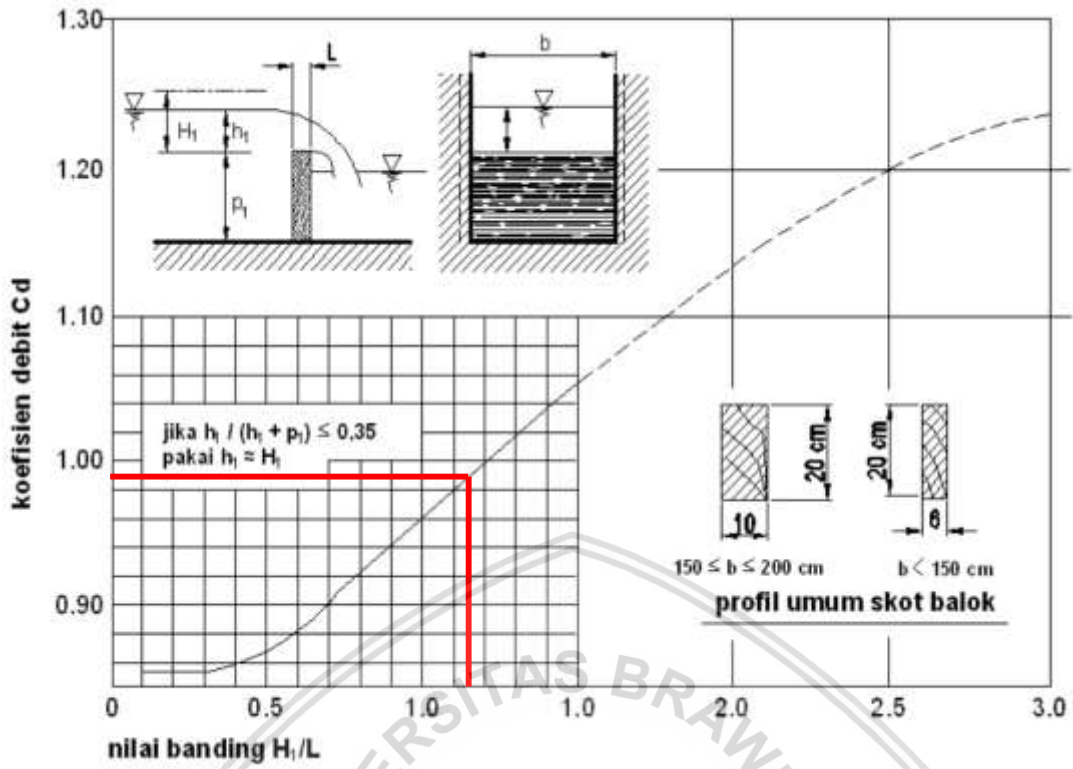
$$Q_{\text{Pintu Skot Balok}} = 0.07 \text{ m}^3/\text{det}$$

$$H = 1 \text{ m}$$

$$H_1 = H - P_1 = 0.5 \text{ m}$$

$$H_1/L = 0.5/0.4 = 1.25$$





Gambar 4.7 Nilai koefisien debit C_d

Sumber: Hasil Perhitungan (2018)

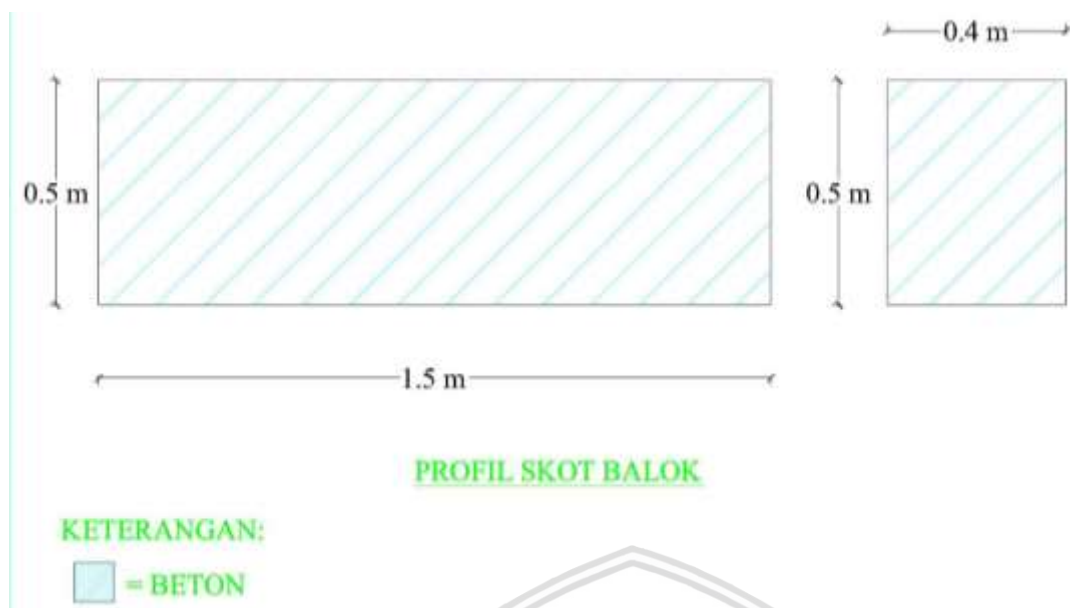
$$C_d = 0.99 \text{ (Gambar 4.7)}$$

$$Q = C_d \times C_v \times \frac{2}{3} \times \sqrt{\frac{2}{3}} \times b \times h_1^{1.5}$$

$$0.07 = 0.99 \times 1 \times \frac{2}{3} \times \sqrt{\frac{2}{3}} \times 1.5 \times h_1^{1.5}$$

Dengan nilai coba – coba (*trial and error*) dapat diketahui kedalaman $h = 0.09 \text{ m}$.



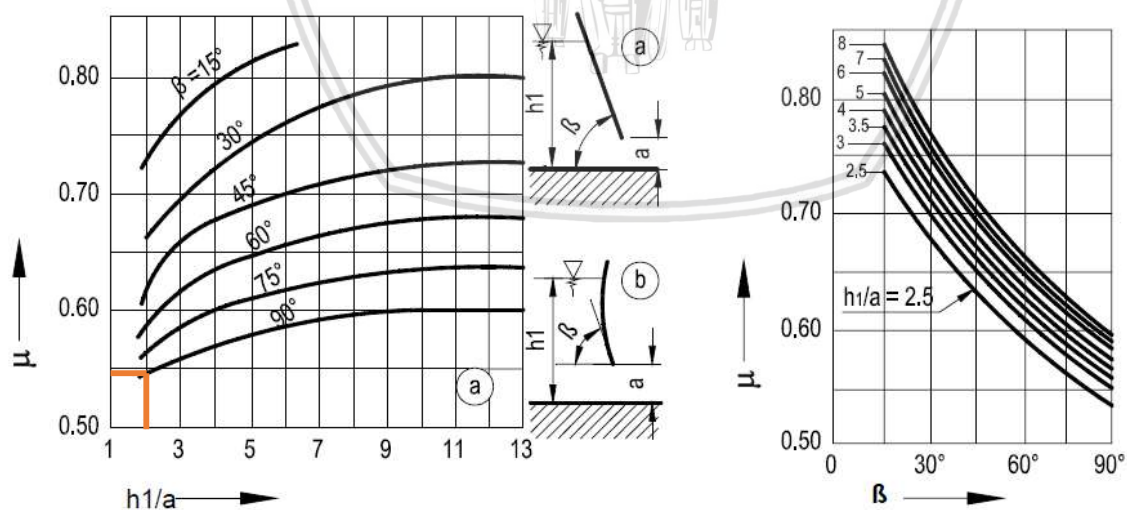


Gambar 4.8 Sketsa Pintu Skot Balok
 Sumber: Hasil Perhitungan (2018)

Adapun langkah-langkah perhitungan operasi pintu debit $0.37 \text{ m}^3/\text{det}$ dengan tinggi air 0.7 m dapat dilihat pada contoh perhitungan di bawah ini:

- Faktor aliran tenggelam (K) = 1
- Nilai koefisien debit (μ) dicari dari hubungan h_1/a

$$\begin{aligned} h_1/a &= 0,4/0,2 \\ &= 2 \end{aligned}$$



Gambar 4.9 Nilai koefisien debit μ
 Sumber: Hasil Perhitungan (2018)

dari Gambar 4.9 Didapat nilai μ sebesar 0,54

- $Q = K \cdot \mu \cdot a \cdot b \cdot \sqrt{2 \cdot 9,8 \cdot h_1}$

$$= 1.0,54.0,2.1.\sqrt{2.9,8.0,4}$$


$$= 0.303 \text{ m}^3/\text{det}$$

Tabel 4.3
Pola Operasi Pintu PLTMH

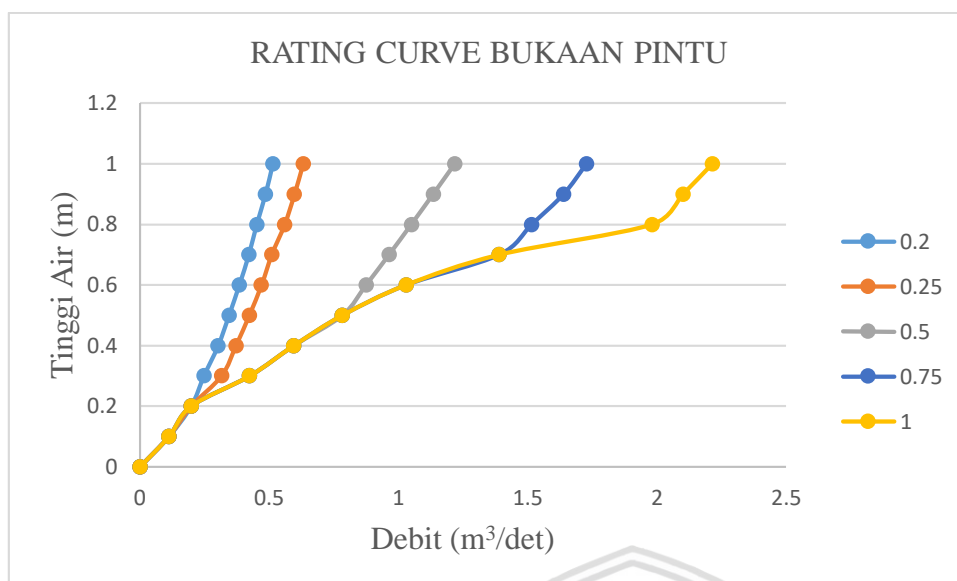
No.	Kedalaman Air di Hulu Pintu	Tinggi Bukaan Pintu (a)				
		0.2	0.25	0.5	0.75	1
	h ₁	Debit Pintu (Q)				
	(m)	m ³ /det				
1	0	0	0	0	0	0
2	0.1	0.112	0.112	0.112	0.112	0.112
3	0.2	0.198	0.198	0.198	0.198	0.198
4	0.3	0.247	0.315	0.425	0.425	0.425
5	0.4	0.303	0.371	0.595	0.595	0.595
6	0.5	0.345	0.423	0.783	0.783	0.783
7	0.6	0.384	0.470	0.875	1.029	1.029
8	0.7	0.421	0.510	0.964	1.390	1.390
9	0.8	0.452	0.560	1.050	1.515	1.981
10	0.9	0.486	0.598	1.135	1.639	2.101
11	1	0.514	0.631	1.218	1.727	2.215

Sumber: Hasil Perhitungan (2018).

Keterangan:

 = Aliran Bebas

 = Aliran Tenggelam



Gambar 4.10 Grafik Pola Operasi Pintu PLTMH

Sumber: Hasil Perhitungan (2018)

4.2.1 Saluran Pembawa

Saluran pembawa (*waterway*) merupakan saluran yang berfungsi untuk membawa debit air yang nantinya akan digunakan untuk PLTMH. Proses sebelum berubahnya debit air menjadi listrik debit tersebut masuk ke dalam bak vortex. Saluran pembawa ini merupakan saluran terbuka karena pembangkit listrik skala kecil pada umumnya menggunakan saluran terbuka. Saluran pembawa ini direncanakan akan membawa debit air sebanyak 0.3 m³/det dan dipilih penampang persegi dan menggunakan beton biasa.

Dimensi yang direncanakan:

- Lebar saluran pembawa = 1 m (desain)
- Kekasaran manning (n) = 0.015 (beton)
- Slope (S) = 0.0005 (desain)
- Q = 0.30 m³/det
- Mencari tinggi muka air disaluran:

$$Q = V \times A$$

$$V = Q/A$$

$$V = \frac{1}{n} \times \left(\frac{A}{P} \right)^{2/3} \times S^{1/2}$$

$$0.30 = \frac{1}{0.015} \times \left(\frac{1 \times h}{2h+1} \right)^{2/3} \times 0.0005^{1/2}$$

$$0.30 = 66.6667 \times \left(\frac{1 \times h}{2h+1} \right)^{2/3} \times 0.022$$

Dengan coba – coba (*Trial and error*) dapat diketahui kedalaman air, $h = 0.500$ m. Dengan tinggi saluran direncanakan setinggi 1 m karena menjaga keamanannya supaya tidak melimpas ketika debit datang diwaktu hujan.

- Mencari luas penampang basah (A)

$$\begin{aligned} A &= B \times h \\ &= 1 \times 0.5 \\ &= 0.504 \text{ m} \end{aligned}$$

- Menghitung keliling basah (P)

$$\begin{aligned} P &= B + (2 \times h) \\ &= 1 + (2 \times 0.5) \\ &= 2.008 \text{ m} \end{aligned}$$

- Menghitung jari – jari hidrolis (R)

$$\begin{aligned} R &= A/P \\ &= 0.504/2.008 \\ &= 0.251 \text{ m} \end{aligned}$$

- Mencari kecepatan air

$$\begin{aligned} V &= \frac{Q}{A} \\ &= \frac{0.30}{1 \times 0.500} \\ &= 0.595 \text{ m/det} \end{aligned}$$

4.2.2 Kehilangan Tinggi Tekan Aliran

Kehilangan tinggi tekan aliran adalah menurunnya besaran energy akibat gesekan maupun kontraksi yang terjadi selama proses pengaliran. Perhitungan *head loss* dibutuhkan untuk tinggi jatuh efektif pada PLTMH.

- a. Kehilangan pada bangunan pengambil

Diketahui:

- $b_{intike} = 1 \text{ m}$
- $h_{intike} = 0.500 \text{ m}$
- $f = (0.5 - 0.3) \times \text{Cos}(46)$ (Gambar 2.14)
 $= 0.139$

$$\begin{aligned} - Q &= 0.30 \text{ m}^3/\text{det} \\ - g &= 9.81 \end{aligned}$$

maka:

$$\begin{aligned} - V_{\text{intike}} &= \frac{Q}{(b_{\text{intake}} \times h_{\text{intake}})} \\ &= \frac{0.30}{(1 \times 0.50)} \\ &= 0.595 \text{ m/det} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} - h_a &= f \times \frac{v^2}{2g} \\ &= 0.139 \times \frac{0.595^2}{2 \times 9.81} \\ &= 0.003 \text{ m} \end{aligned}$$

b. Kehilangan tinggi tekan akibat pintu *intake*

Diketahui:

$$\begin{aligned} - h &= 0.25 \text{ m} \\ - d &= 1 \text{ m} \\ - h/D &= 0.25 \\ - \xi &= 26.7167 \text{ (dari Gambar 2.19)} \end{aligned}$$

Maka:

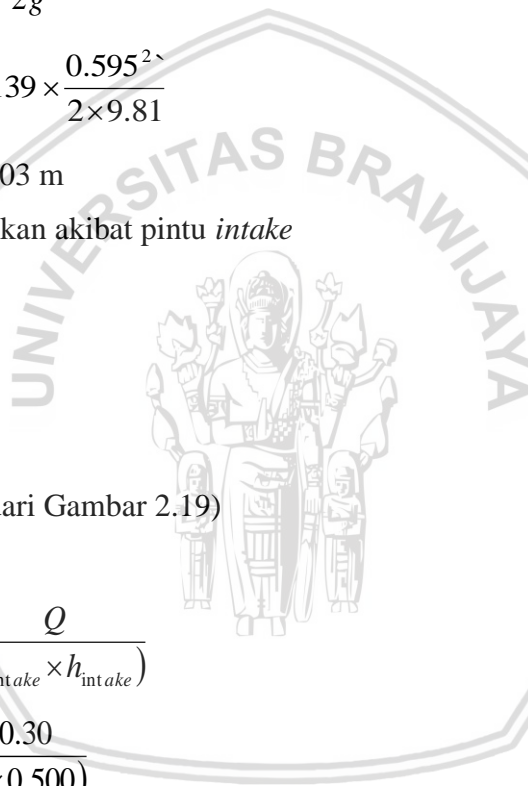
$$\begin{aligned} - V_{\text{intike}} &= \frac{Q}{(b_{\text{intake}} \times h_{\text{intake}})} \\ &= \frac{0.30}{(1 \times 0.500)} \\ &= 0.595 \text{ m/det} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} - h_b &= \xi \times \frac{v^2}{2g} \\ &= 26.7167 \times \frac{0.595^2}{2 \times 9.81} \\ &= 0.48 \text{ m} \end{aligned}$$

c. kehilangan tinggi akibat belokan

Diketahui:

$$- V_{\text{intake}} = 0.595 \text{ m/det}$$



- $\alpha = 48^\circ$
- $\xi = 0.4$ (dari Gambar 2.18)
- $Q = 0.30 \text{ m}^3/\text{det}$
- $h_{\text{intake}} = 0.5 \text{ m}$

Maka:

$$\begin{aligned}
 - h_c &= \xi \times \frac{v^2}{2g} \\
 &= 0.4 \times \frac{0.595^2}{2 \times 9.81} \\
 &= 0.007 \text{ m}
 \end{aligned}$$

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

Diketahui:

- $B_{\text{forebay}} = 1 \text{ m}$
- $h_{\text{forebay}} = 0.5 \text{ m}$
- $\phi = 2.42$ (dari Tabel 2.1)

Maka:

$$\begin{aligned}
 - V_{\text{forebay}} &= \frac{Q}{(B_{\text{forebay}} \times h_{\text{forebay}})} \\
 &= \frac{0.30}{(1 \times 0.5)} \\
 &= 0.595 \text{ m/det} \\
 - h_d &= \phi \times \sin \alpha \times \left(\frac{t}{b}\right)^{\frac{4}{3}} \times \left(\frac{v^2}{2g}\right) \\
 &= 2.42 \times \sin (99) \times \left(\frac{0.05}{0.05}\right)^{\frac{4}{3}} \times \left(\frac{0.595^2}{2 \times 9.81}\right) \\
 &= 0.04314 \text{ m}
 \end{aligned}$$

- kehilangan tinggi tekan total

$$\begin{aligned}
 h_T &= h_a + h_b + h_c + h_d \\
 &= 0.003 + 0.48 + 0.007 + 0.04314 \\
 &= 0.535 \text{ m}
 \end{aligned}$$

4.3 Perencanaan Lokasi Turbin 2

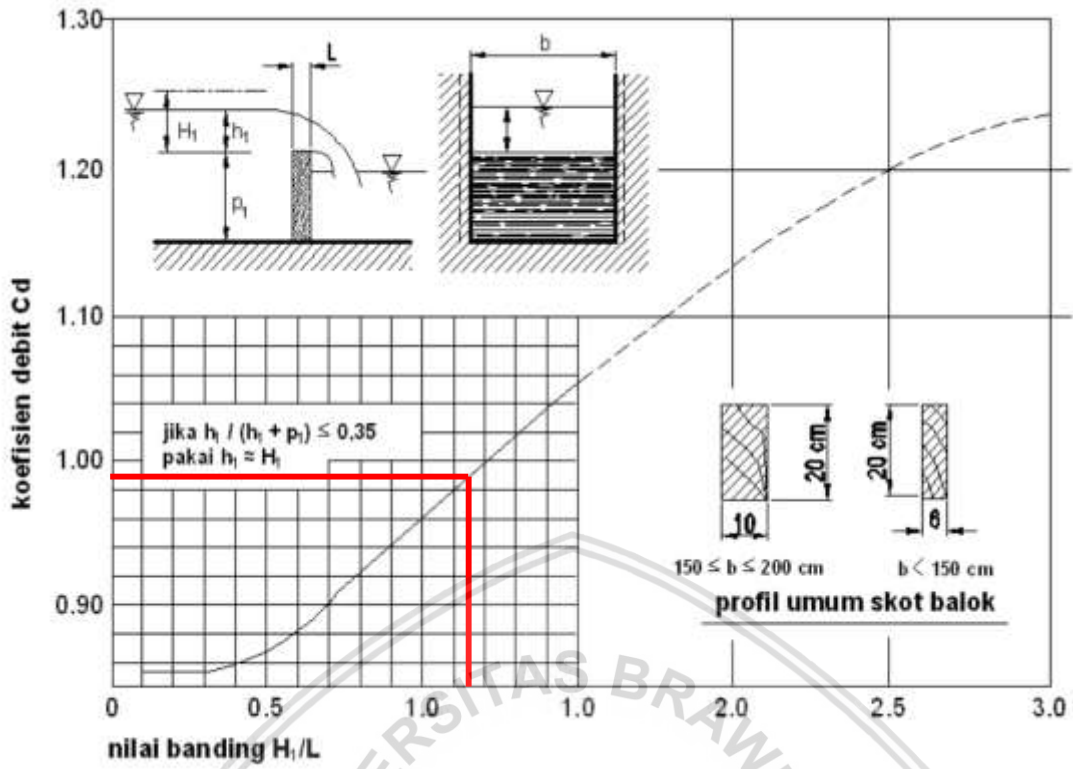
Pada analisis ini dicari debit yang nantinya akan digunakan untuk PLTMH Desa Sanankerto dengan menggunakan debit lapangan yaitu sebesar $0.37 \text{ m}^3/\text{detik}$. Dari debit lapangan akan diatur dengan pintu air. Pintu yang pertama yaitu pintu skot balok berfungsi untuk mengatur tinggi muka air yang ada di saluran untuk mengatur debit ke saluran pembawa PLTMH dan pintu air yang kedua berfungsi untuk mengatur debit air yang akan dipakai untuk PLTMH. Untuk lebih jelasnya bisa dilihat pada sketsa berikut ini:



Gambar 4.11 Sketsa Pintu Air
Sumber: Hasil Perhitungan (2018)

Melihat gambar 4.5 merencanakan pintu air skot balok berikut data perencanaan yang dibutuhkan untuk perencanaan skot balok:

b_{saluran}	$= 1.5 \text{ m}$
P_1	$= 0.5 \text{ m}$
L	$= 0.4 \text{ m}$
C_v	$= 1$
$Q_{\text{Pintu Skot Balok}}$	$= 0.07 \text{ m}^3/\text{det}$
H	$= 1 \text{ m}$
H_1	$= H - P_1 = 0.5 \text{ m}$
H_1/L	$= 0.5/0.4 = 1.25$



Gambar 4.12 Nilai koefisien debit C_d

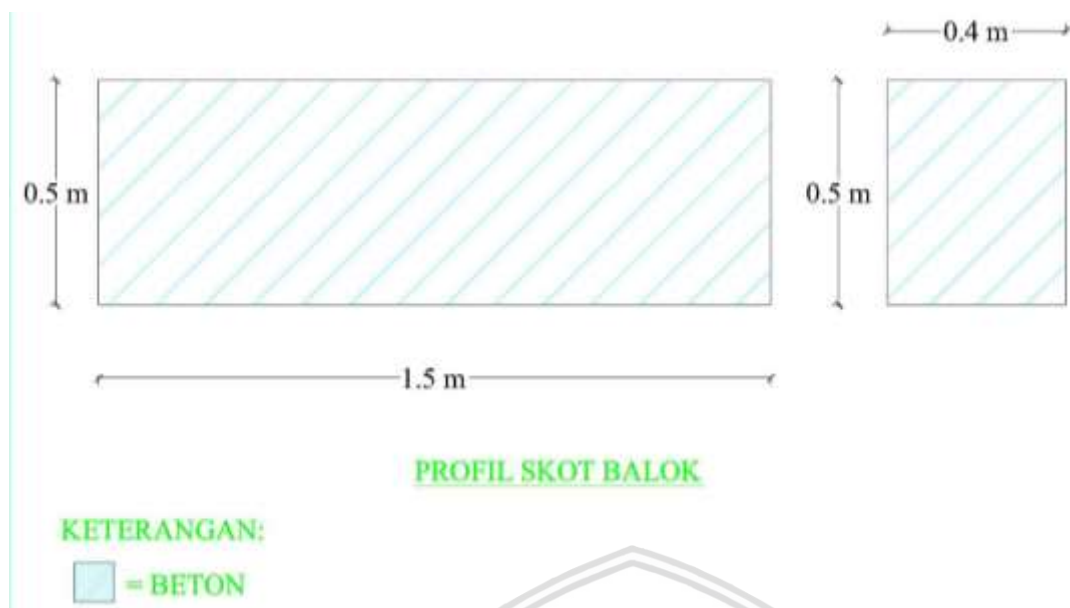
Sumber: Hasil Perhitungan (2018)

$$C_d = 0.99 \text{ (Gambar 4.11)}$$

$$Q = C_d \times C_v \times \frac{2}{3} \times \sqrt{\frac{2}{3}} \times b \times h_1^{1.5}$$

$$0.07 = 0.99 \times 1 \times \frac{2}{3} \times \sqrt{\frac{2}{3}} \times 1.5 \times h_1^{1.5}$$

Dengan nilai coba – coba (*trial and error*) dapat diketahui kedalaman $h = 0.09 \text{ m}$.

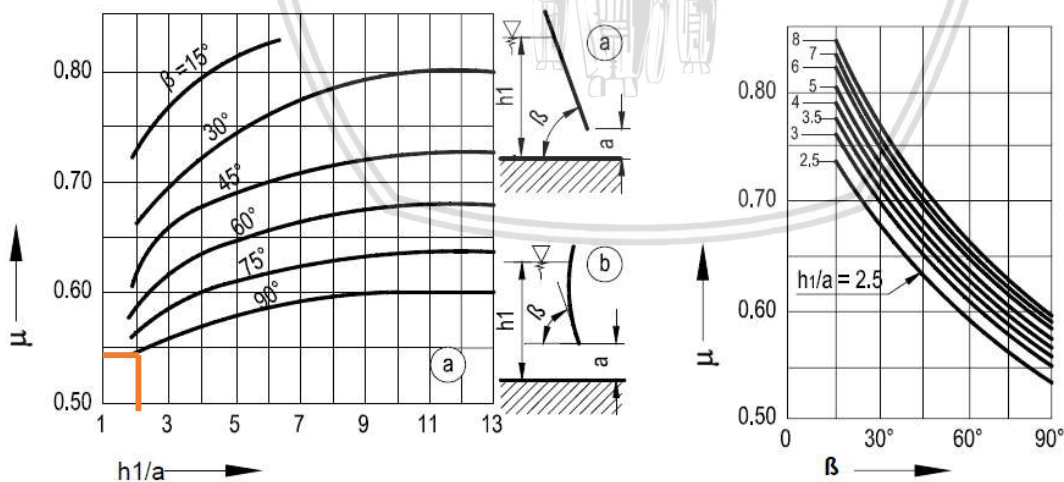


Gambar 4.13 Sketsa Pintu Skot Balok

Sumber: Hasil Perhitungan (2018)

Adapun langkah-langkah perhitungan operasi pintu debit $0.37 \text{ m}^3/\text{det}$ dengan tinggi air 0.76 m dapat dilihat pada contoh perhitungan di bawah ini:

- Faktor aliran tenggelam (K) = 1
- Nilai koefisien debit (μ) dicari dari hubungan h_1/a
 $h_1/a = 0.4/0.2$



Gambar 4.14 Nilai koefisien debit μ

Sumber: Hasil Perhitungan (2018)

dari Gambar 4.14 Didapat nilai μ sebesar 0,54

- $$Q = K \cdot \mu \cdot a \cdot b \cdot \sqrt{2 \cdot 9,8 \cdot h_1}$$

$$= 1.0,54 \cdot 0,2 \cdot 1 \cdot \sqrt{2 \cdot 9,8 \cdot 0,4}$$

$$= 0.303 \text{ m}^3/\text{det.}$$


Tabel 4.4

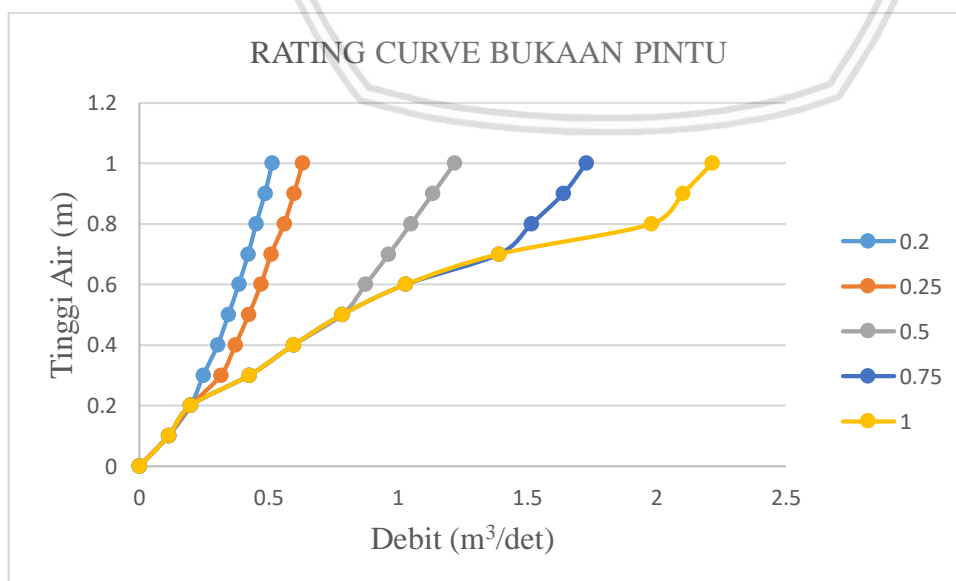
Pola Oprasi Pintu PLTMH

No.	Kedalaman Air di Hulu Pintu	Tinggi Bukaan Pintu (a)				
		0.2	0.25	0.5	0.75	1
	h ₁ (m)	Debit Pintu (Q) m ³ /det				
1	0	0	0	0	0	0
2	0.1	0.112	0.112	0.112	0.112	0.112
3	0.2	0.198	0.198	0.198	0.198	0.198
4	0.3	0.247	0.315	0.425	0.425	0.425
5	0.4	0.303	0.371	0.595	0.595	0.595
6	0.5	0.345	0.423	0.783	0.783	0.783
7	0.6	0.384	0.470	0.875	1.029	1.029
8	0.7	0.421	0.510	0.964	1.390	1.390
9	0.8	0.452	0.560	1.050	1.515	1.981
10	0.9	0.486	0.598	1.135	1.639	2.101
11	1	0.514	0.631	1.218	1.727	2.215

Sumber: Hasil Perhitungan (2018).

Keterangan:

 = Aliran Bebas

 = Aliran Tenggelam


Gambar 4.15 Grafik Pola Oprasi Pintu PLTMH

Sumber: Hasil Perhitungan (2018)

4.3.1 Saluran Pembawa

Saluran pembawa (*waterway*) merupakan saluran yang berfungsi untuk membawa debit air yang nantinya akan digunakan untuk PLTMH. Proses sebelum berubahnya debit air menjadi listrik debit tersebut masuk ke dalam bak vortex. Saluran pembawa ini merupakan saluran terbuka karena pembangkit listrik skala kecil pada umumnya menggunakan saluran terbuka. Saluran pembawa ini direncanakan akan membawa debit air sebanyak $0.3 \text{ m}^3/\text{det}$ dan dipilih penampang persegi dan menggunakan beton biasa.

Dimensi yang direncanakan:

- Lebar saluran pembawa = 1 m (desain)
- Kekasaran manning (n) = 0.015 (beton)
- Slope (S) = 0.0005 (desain)
- Q = $0.30 \text{ m}^3/\text{det}$
- Mencari tinggi muka air disaluran:

$$Q = V \times A$$

$$V = Q/A$$

$$V = \frac{1}{n} \times \left(\frac{A}{P} \right)^{2/3} \times S^{1/2}$$

$$0.30 = \frac{1}{0.015} \times \left(\frac{1 \times h}{2h+1} \right)^{2/3} \times 0.0005^{1/2}$$

$$0.30 = 66.6667 \times \left(\frac{1 \times h}{2h+1} \right)^{2/3} \times 0.022$$

Dengan coba – coba (*Trial and error*) dapat diketahui kedalaman air, $h = 0.500 \text{ m}$. Dengan tinggi saluran direncanakan setinggi 1 m karena menjaga keamanannya supaya tidak melimpas ketika debit datang diwaktu hujan.

- Mencari luas penampang basah (A)

$$A = B \times h$$

$$= 1 \times 0.5$$

$$= 0.504 \text{ m}$$

- Menghitung keliling basah (P)

$$P = B + (2 \times h)$$

$$= 1 + (2 \times 0.5)$$

$$= 2.008 \text{ m}$$

- Menghitung jari – jari hidrolis (R)

$$\begin{aligned} R &= A/P \\ &= 0.504/2.008 \\ &= 0.251 \text{ m} \end{aligned}$$

- Mencari kecepatan air

$$\begin{aligned} V &= \frac{Q}{A} \\ &= \frac{0.30}{1 \times 0.500} \\ &= 0.595 \text{ m/det} \end{aligned}$$

4.3.2 Kehilangan Tinggi Tekan Aliran

Kehilangan tinggi tekan aliran adalah menurunnya besaran energy akibat gesekan maupun kontraksi yang terjadi selama proses pengaliran. Perhitungan *head loss* dibutuhkan untuk tinggi jatuh efektif pada PLTMH.

- Kehilangan pada bangunan pengambil

Diketahui:

- $b_{intike} = 1 \text{ m}$
- $h_{intike} = 0.500 \text{ m}$
- $f = (0.5 - 0.3) \times \text{Cos} (37)$ (Gambar 2.14)
 $= 0.153$
- $Q = 0.30 \text{ m}^3/\text{det}$
- $g = 9.81$

maka:

$$\begin{aligned} - V_{intike} &= \frac{Q}{(b_{intake} \times h_{intake})} \\ &= \frac{0.30}{(1 \times 0.50)} \\ &= 0.595 \text{ m/det} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} - h_a &= f \times \frac{v^2}{2g} \\ &= 0.153 \times \frac{0.595^2}{2 \times 9.81} \\ &= 0.003 \text{ m} \end{aligned}$$

b. Kehilangan tinggi tekan akibat pintu *intake*

Diketahui:

- $h = 0.25$ m
- $d = 1$ m
- $h/D = 0.25$
- $\xi = 26.7167$ (dari Gambar 2.19)

Maka:

$$\begin{aligned}
 - V_{\text{intake}} &= \frac{Q}{(b_{\text{intake}} \times h_{\text{intake}})} \\
 &= \frac{0.30}{(1 \times 0.500)} \\
 &= 0.595 \text{ m/det}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 - h_b &= \xi \times \frac{v^2}{2g} \\
 &= 26.7167 \times \frac{0.595^2}{2 \times 9.81} \\
 &= 0.48 \text{ m}
 \end{aligned}$$

c. kehilangan tinggi akibat belokan

Diketahui:

- $V_{\text{intake}} = 0.595$ m/det
- $\alpha = 20^\circ$
- $\xi = 0.1$ (dari Gambar 2.18)
- $Q = 0.30$ m³/det
- $h_{\text{intake}} = 0.5$ m

Maka:

$$\begin{aligned}
 - h_c &= \xi \times \frac{v^2}{2g} \\
 &= 0.1 \times \frac{0.595^2}{2 \times 9.81} \\
 &= 0.002 \text{ m}
 \end{aligned}$$

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

Diketahui:

- $B_{\text{forebay}} = 1$ m

- $h_{\text{forebay}} = 0.5 \text{ m}$
- $\phi = 2.42$ (dari Tabel 2.1)

Maka:

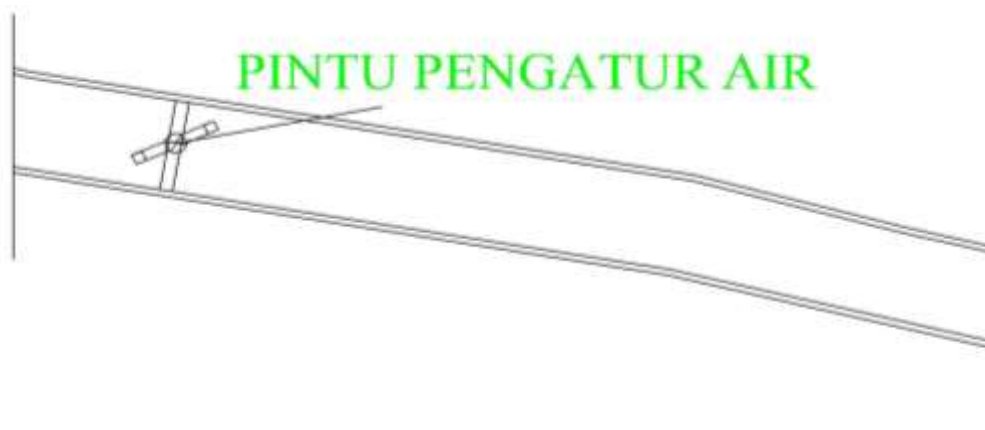
$$\begin{aligned}
 - V_{\text{forebay}} &= \frac{Q}{(B_{\text{forebay}} \times h_{\text{forebay}})} \\
 &= \frac{0.30}{(1 \times 0.5)} \\
 &= 0.595 \text{ m/det} \\
 - h_d &= \phi \times \sin \alpha \times \left(\frac{t}{b}\right)^{\frac{4}{3}} \times \left(\frac{v^2}{2g}\right) \\
 &= 2.42 \times \sin(99) \times \left(\frac{0.05}{0.05}\right)^{\frac{4}{3}} \times \left(\frac{0.595^2}{2 \times 9.81}\right) \\
 &= 0.04314 \text{ m}
 \end{aligned}$$

- kehilangan tinggi tekan total

$$\begin{aligned}
 h_T &= h_a + h_b + h_c + h_d \\
 &= 0.003 + 0.48 + 0.002 + 0.04314 \\
 &= 0.530 \text{ m}
 \end{aligned}$$

4.4 Perencanaan Lokasi Turbin 3

Pada analisis ini dicari debit yang nantinya akan digunakan untuk PLTMH Desa Sanankerto dengan menggunakan debit lapangan yaitu sebesar $0.37 \text{ m}^3/\text{detik}$. Titik lokasi PLTMH di titik 3 hanya merencanakan pintu skot balok di hulu, dikarenakan lokasi perencanaan langsung di saluran irigasi. Untuk lebih jelasnya bisa dilihat pada sketsa berikut ini:



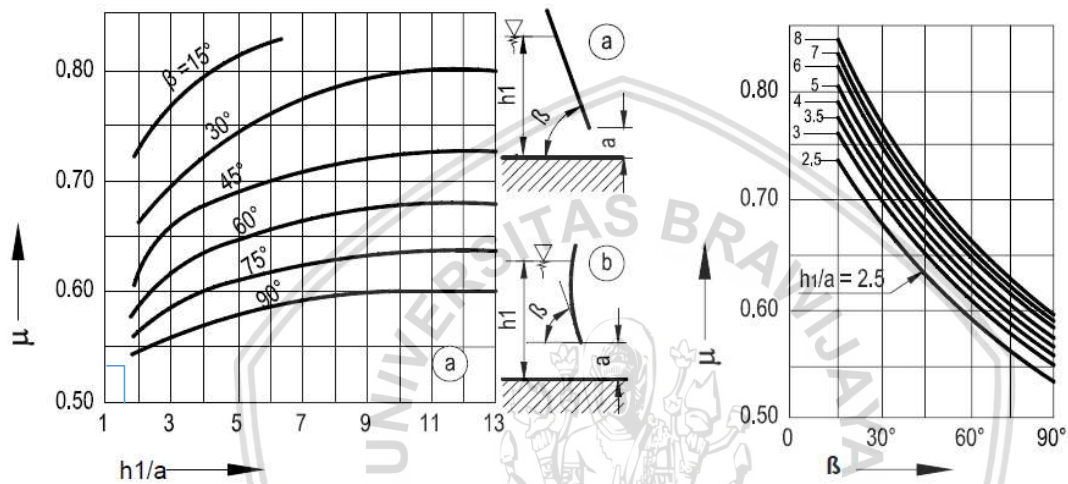
Gambar 4.16 Sketsa Pintu Air
Sumber: Hasil Perhitungan (2018)

Melihat gambar 4.13 merencanakan pintu air berikut data perencanaan yang dibutuhkan untuk perencanaan pintu pengatur air:

Adapun langkah-langkah perhitungan operasi pintu debit $0.37 \text{ m}^3/\text{det}$ dengan tinggi air 0.4 m dapat dilihat pada contoh perhitungan di bawah ini:

- Faktor aliran tenggelam (K) = 1.
- Nilai koefisien debit (μ) dicari dari hubungan h_1/a

$$\begin{aligned} h_1/a &= 0.3/0.2 \\ &= 1.5 \end{aligned}$$



Gambar 4.17 Nilai koefisien debit μ

Sumber: Hasil Perhitungan (2018)

dari Gambar 4.17 Didapat nilai μ sebesar 0,51


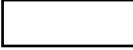
- $Q = K \cdot \mu \cdot a \cdot b \cdot \sqrt{2 \cdot 9,8 \cdot h_1}$
 $= 1.0,51 \cdot 0,2 \cdot 1,5 \cdot \sqrt{2 \cdot 9,8 \cdot 0,3}$
 $= 0.371 \text{ m}^3/\text{det}$

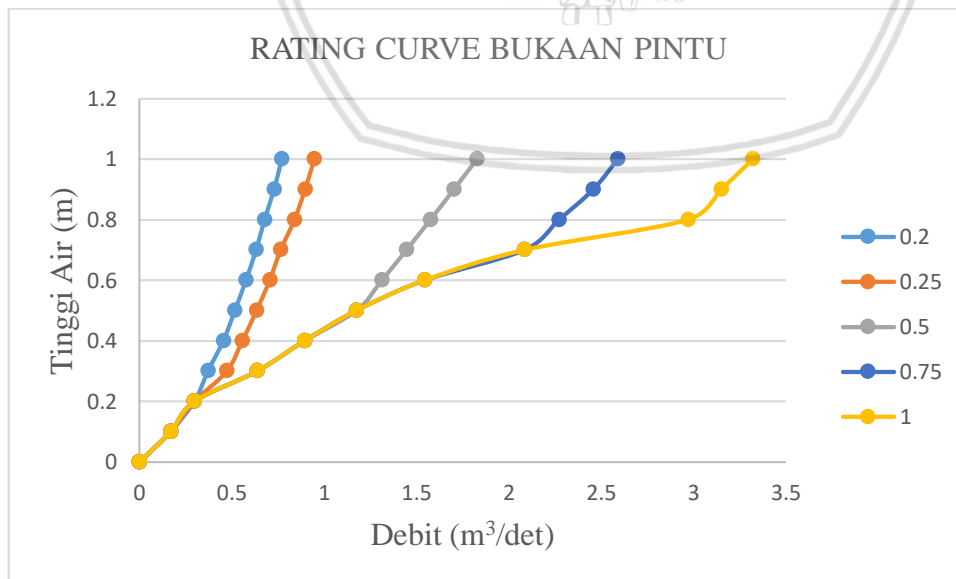
Tabel 4.5
Pola Oprasi Pintu PLTMH

No.	Kedalaman Air di Hulu Pintu	Tinggi Bukaan Pintu (a)				
		0.2	0.25	0.5	0.75	1
	h_1	Debit Pintu (Q)				
	(m)	m^3/det				
1	0	0	0	0	0	0
2	0.1	0.168	0.168	0.168	0.168	0.168
3	0.2	0.297	0.297	0.297	0.297	0.297
4	0.3	0.371	0.473	0.637	0.637	0.637
5	0.4	0.454	0.557	0.893	0.893	0.893
6	0.5	0.517	0.634	1.175	1.175	1.175
7	0.6	0.576	0.705	1.312	1.544	1.544
8	0.7	0.631	0.764	1.445	2.085	2.085
9	0.8	0.677	0.839	1.575	2.273	2.971
10	0.9	0.729	0.897	1.702	2.458	3.152
11	1	0.771	0.947	1.827	2.591	3.322

Sumber: Hasil Perhitungan (2018).

Keterangan:

-  = Aliran Bebas
-  = Aliran Tenggelam



Gambar 4.18 Grafik Pola Oprasi Pintu PLTMH

Sumber: Hasil Perhitungan (2018)

4.4.1 Saluran Pembawa

Saluran pembawa (*waterway*) merupakan saluran yang berfungsi untuk membawa debit air yang nantinya akan digunakan untuk PLTMH. Proses sebelum berubahnya debit air menjadi listrik debit tersebut masuk ke dalam bak vortex. Saluran pembawa ini merupakan saluran terbuka karena pembangkit listrik skala kecil pada umumnya menggunakan saluran terbuka. Saluran pembawa ini direncanakan akan membawa debit air sebanyak $0.37 \text{ m}^3/\text{det}$ dan dipilih penampang persegi dan menggunakan beton biasa.

Dimensi yang direncanakan:

- Lebar saluran pembawa = 1.5 m (desain)
- Kekasaran manning (n) = 0.015 (beton)
- Slope (S) = 0.0005 (desain)
- Q = $0.37 \text{ m}^3/\text{det}$
- Mencari tinggi muka air disaluran:

$$Q = V \times A$$

$$V = Q/A$$

$$V = \frac{1}{n} \times \left(\frac{A}{P} \right)^{2/3} \times S^{1/2}$$

$$0.37 = \frac{1}{0.015} \times \left(\frac{1.5 \times h}{1.5h + 1.5} \right)^{2/3} \times 0.0005^{1/2}$$

$$0.37 = 66.6667 \times \left(\frac{1.5 \times h}{2h + 1.5} \right)^{2/3} \times 0.022$$

Dengan coba – coba (*Trial and error*) dapat diketahui kedalaman air, $h = 0.400 \text{ m}$. Dengan tinggi saluran direncanakan setinggi 1 m karena menjaga keamanannya supaya tidak melimpas ketika debit datang diwaktu hujan.

- Mencari luas penampang basah (A)

$$A = B \times h$$

$$= 1.5 \times 0.4$$

$$= 0.605 \text{ m}$$

- Menghitung keliling basah (P)

$$P = B + (2 \times h)$$

$$= 1.5 + (2 \times 0.4)$$

$$= 2.307 \text{ m}$$

- Menghitung jari – jari hidrolis (R)

$$\begin{aligned} R &= A/P \\ &= 0.605/2.307 \\ &= 0.262 \text{ m} \end{aligned}$$

- Mencari kecepatan air

$$\begin{aligned} V &= \frac{Q}{A} \\ &= \frac{0.37}{1.5 \times 0.400} \\ &= 0.617 \text{ m/det} \end{aligned}$$

4.4.2 Kehilangan Tinggi Tekan Aliran

Kehilangan tinggi tekan aliran adalah menurunnya besaran energy akibat gesekan maupun kontraksi yang terjadi selama proses pengaliran. Perhitungan *head loss* dibutuhkan untuk tinggi jatuh efektif pada PLTMH.

- Kehilangan tinggi tekan akibat saringan (*trashrack*)

Diketahui:

- $B_{\text{forebay}} = 1 \text{ m}$
- $h_{\text{forebay}} = 0.5 \text{ m}$
- $\phi = 2.42$ (dari Tabel 2.1)

Maka:

$$\begin{aligned} - V_{\text{forebay}} &= \frac{Q}{(B_{\text{forebay}} \times h_{\text{forebay}})} \\ &= \frac{0.37}{(1.5 \times 0.4)} \\ &= 0.617 \text{ m/det} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} - h_a &= \phi \times \sin \alpha \times \left(\frac{t}{b}\right)^{\frac{4}{3}} \times \left(\frac{v^2}{2g}\right) \\ &= 2.42 \times \sin (99) \times \left(\frac{0.05}{0.05}\right)^{\frac{4}{3}} \times \left(\frac{0.617^2}{2 \times 9.81}\right) \\ &= 0.0463 \text{ m} \end{aligned}$$

- kehilangan tinggi tekan total

$$h_T = h_a$$

$$= 0.0463 \text{ m}$$

4.5 Saluran Pembuang (*Tail Race*)

Saluran pembuang (*Tail Race*) berfungsi untuk membuang debit air yang telah masuk ke turbin sehingga debit tersebut bisa dialirkan lagi ke saluran primer. Saluran pembuang ini direncanakan dengan bentuk persegi dan beton biasa.

Diketahui data penunjang untuk perencanaan saluran pembuang sebagai berikut:

- El. Dasar Saluran Primer = 446.000
- b = 1 m
- H = 1 m
- n = 0.015 (beton)
- S = 0.0005
- Menghitung tinggi muka air dengan debit 0.30

$$Q = V \times A$$

$$= \frac{1}{n} \times \left(\frac{(b \times h)}{(b + 2h)} \right)^{2/3} \times S^{2/3} \times (b \times h)$$

$$0.30 = \frac{1}{0.015} \times \left(\frac{(1 \times h)}{(1 + 2h)} \right)^{2/3} \times 0.0005^{2/3} \times (1 \times h)$$

Dengan coba – coba maka diperoleh nilai kedalaman air, $h = 0.5 \text{ m}$.

- Menghitung luas penampang basah (A)

$$\begin{aligned} A &= B \times h \\ &= 1 \times 0.5 \\ &= 0.5041 \text{ m} \end{aligned}$$

- Menghitung keliling basah (P)

$$\begin{aligned} P &= B + (2 \times h) \\ &= 1 + (2 \times 0.5) \\ &= 2.0082 \text{ m} \end{aligned}$$

- Menghitung jari-jari hidrolis (R)

$$\begin{aligned} R &= A/P \\ &= 0.5041/2.0082 \\ &= 0.251 \text{ m} \end{aligned}$$

- Menghitung kecepatan air (V)

$$\begin{aligned} V &= \left(\frac{1}{n}\right) \times R^{2/3} \times S^{0.5} \\ &= \left(\frac{1}{0.015}\right) \times 0.251^{2/3} \times 0.0005^{0.5} \\ &= 0.5932 \text{ m/det} \end{aligned}$$

Elevasi dasar *tail water level* ada pada elevasi +446.000

- Menghitung H_{net}

$$\begin{aligned} H_{\text{net}} &= \text{el. Tinggi skot balok} - \text{el. Tail water level} \\ &= +449.000 - +446.000 \\ &= 3 \text{ m} \end{aligned}$$

4.6 Tinggi Jatuh Efektif

Tinggi jatuh efektif adalah tinggi jatuh yang digunakan untuk membangkitkan daya, yang merupakan selisih antara muka air di Saluran Pembawa dan *tail water level* (TWL) dikurangi total kehilangan tinggi tekan aliran.

- Turbin 1

Diketahui:

- Elevasi muka air = +448.45
- TWL = +446.5
- h_T = 0.535 m
- Jadi Tinggi jatuh efektif yang digunakan adalah
 - $H_{\text{eff}} = \text{EFD} - \text{TWL} - h_T$
 - = 448.45 – 446.5 – 0.535
 - = 1.415 m

- Turbin 2

Diketahui:

- Elevasi muka air = +446.5
- TWL = +445.5
- h_T = 0.530 m
- Jadi Tinggi jatuh efektif yang digunakan adalah
 - $H_{\text{eff}} = \text{EFD} - \text{TWL} - h_T$
 - = 446.5 – 445.5 – 0.530
 - = 0.470 m

- Turbin 3

Diketahui:

- Elevasi muka air = +445.4
- TWL = +443.5
- h_T = -0.047 m
- Jadi Tinggi jatuh efektif yang digunakan adalah
 - H_{eff} = $EFD - TWL - h_T$
 - = $445.4 - 443.5 - 0.046$
 - = 1.854 m

4.7 Analisa Mekanikal Elektrikal

4.7.1 Turbin Air

Turbin diperlukan untuk mengubah tinggi jatuh air menjadi energi yang nantinya akan dimanfaatkan. Pemilihan jenis turbin tergantung pada tinggi jatuh dan besarnya debitnya. Dengan tinggi jatuh rata – rata sebesar 1,335 m dan debit 0,30 m³/det dari kondisi di lapangan dipilih turbin jenis Whirlpool.

4.7.2 Pemilihan turbin

Pemilihan turbin melihat dengan kondisi di lapangan dan mana yang lebih efisien dari segi bangunan sipil yang digunakan maka dipilih turbin whirlpool. Karena kondisi lapangan yang tinggi jatuhnya rata – rata 2 m dan air mengalir di saluran irigasi dengan potensi air sepanjang tahun dari danau andeman. Dari segi perencanaan turbin Whirlpool hanya menggunakan saluran pengarah, pintu pengatur, bak untuk aliran vortex, dan saluran pembuang. Untuk penggunaan di bangun PLTMH hanya untuk kebutuhan tempat wisata.

4.7.3 Perhitungan Daya dan Energi

Keuntungan suatu proyek Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) ditentukan dari besar daya yang dibangkitkan dn jumlah energi yang dibangkitkan tiap tahun. Dalam perencanaan PLTMH Desa Sanankerto memiliki 2 alternatif yang dibedakan dari jumlah turbin yang direncanakan. Daya listrik yang dibangkitkan pada alternatif 1 dapat dihitung dengan memakaian persamaan:

- Turbin 1

1. Daya teoritis (desain)

$$\begin{aligned}
 P_{\text{desain}} &= 9.81 \times Q \times H_{\text{eff}} \\
 &= 9.81 \times 0.30 \times 1.415
 \end{aligned}$$

$$= 4.164 \text{ kW}$$

2. Daya turbin

$$\begin{aligned} P_{\text{turbin}} &= 9.81 \times \eta_t \times Q \times H_{\text{eff}} \\ &= 9.81 \times 0.90 \times 0.30 \times 1.415 \\ &= 3.748 \text{ kW} \end{aligned}$$

3. Daya generator

$$\begin{aligned} P_{\text{generator}} &= 9.81 \times \eta_g \times \eta_t \times Q \times H_{\text{eff}} \\ &= 9.81 \times 0.91 \times 0.90 \times 0.30 \times 1.415 \\ &= 3.410 \text{ kW} \end{aligned}$$

• Turbin 2

1. Daya teoritis (desain)

$$\begin{aligned} P_{\text{desain}} &= 9.81 \times Q \times H_{\text{eff}} \\ &= 9.81 \times 0.30 \times 0.470 \\ &= 1.383 \text{ kW} \end{aligned}$$

2. Daya turbin

$$\begin{aligned} P_{\text{turbin}} &= 9.81 \times \eta_t \times Q \times H_{\text{eff}} \\ &= 9.81 \times 0.90 \times 0.30 \times 0.470 \\ &= 1.245 \text{ kW} \end{aligned}$$

3. Daya generator

$$\begin{aligned} P_{\text{generator}} &= 9.81 \times \eta_g \times \eta_t \times Q \times H_{\text{eff}} \\ &= 9.81 \times 0.91 \times 0.90 \times 0.30 \times 0.470 \\ &= 1.133 \text{ kW} \end{aligned}$$

• Turbin 3

1. Daya teoritis (desain)

$$\begin{aligned} P_{\text{desain}} &= 9.81 \times Q \times H_{\text{eff}} \\ &= 9.81 \times 0.37 \times 1.854 \\ &= 6.728 \text{ kW} \end{aligned}$$

2. Daya turbin

$$\begin{aligned} P_{\text{turbin}} &= 9.81 \times \eta_t \times Q \times H_{\text{eff}} \\ &= 9.81 \times 0.90 \times 0.37 \times 1.854 \\ &= 6.055 \text{ kW} \end{aligned}$$

3. Daya generator

$$P_{\text{generator}} = 9.81 \times \eta_g \times \eta_t \times Q \times H_{\text{eff}}$$

$$= 9.81 \times 0.91 \times 0.90 \times 0.37 \times 1.854$$

$$= 5.510 \text{ kW}$$

Rekapitulasi daya listrik yang dihasilkan sebagai berikut:

$$\text{Total} = \text{Turbin 1} + \text{Turbin 2} + \text{Turbin 3}$$

$$= 3.140 \text{ kW} + 1.133 \text{ kW} + 5.510 \text{ kW}$$

$$= 10.054 \text{ kW}$$

4.7.4 Produksi Energi Tahunan

Perhitungan produksi energi tahunan dilakukan dengan memperhitungkan daya yang dihasilkan pertahun waktu dalam kurun waktu satu tahun. Contoh perhitungan banyaknya energi yang dihasilkan pembangkit dalam satu tahun menggunakan persamaan sebagai berikut:

- Turbin 1

$$E = P \times t \times n$$

Contoh perhitungan dibulan Januari

$$Q = 0.30 \text{ m}^3/\text{det}$$

$$P = 3.410 \text{ kW}$$

$$n = 31 \text{ hari}$$

$$t = 24 \text{ jam}$$

$$E = 3.410 \times 24 \times 31$$

$$= 2537.35 \text{ kWh}$$

- Turbin 2

$$E = P \times t \times n$$

Contoh perhitungan dibulan Januari

$$Q = 0.30 \text{ m}^3/\text{det}$$

$$P = 1.133 \text{ kW}$$

$$n = 31 \text{ hari}$$

$$t = 24 \text{ jam}$$

$$E = 1.133 \times 24 \times 31$$

$$= 842.994 \text{ kWh}$$

- Turbin 3

$$E = P \times t \times n$$

Contoh perhitungan dibulan Januari

$$Q = 0.37 \text{ m}^3/\text{det}$$

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



$$P = 5.510 \text{ kW}$$

$$n = 31 \text{ hari}$$

$$t = 24 \text{ jam}$$

$$E = 5.510 \times 24 \times 31 \\ = 4099.78 \text{ kWh}$$

Contoh perhitungan total

$$P = 10.054 \text{ kW}$$

$$n = 31 \text{ hari}$$

$$t = 24 \text{ jam}$$

$$E = 10.054 \times 24 \times 31 \\ = 7480.13 \text{ kWh}$$

Untuk perhitungan total lihat tabel berikut:

Tabel 4.6

Nilai Daya dan Energi Tiap Bulan Turbin 1

Bulan	Jumlah Hari	Debit (m ³)	Head Loss	Heff (m)	Turbin	Generator	Waktu Oprasi	Kapasitas Terpasang	
								Daya (KW)	Energi (kWH)
Januari	31	0.30	0.54	1.41	0.9	0.91	24	3.41	2537.35
Februari	28	0.30	0.54	1.41	0.9	0.91	24	3.41	2291.80
Maret	31	0.30	0.54	1.41	0.9	0.91	24	3.41	2537.35
April	30	0.30	0.54	1.41	0.9	0.91	24	3.41	2455.50
Mei	31	0.30	0.54	1.41	0.9	0.91	24	3.41	2537.35
Juni	30	0.30	0.54	1.41	0.9	0.91	24	3.41	2455.50
Juli	31	0.30	0.54	1.41	0.9	0.91	24	3.41	2537.35
Agustus	31	0.30	0.54	1.41	0.9	0.91	24	3.41	2537.35
September	30	0.30	0.54	1.41	0.9	0.91	24	3.41	2455.50
Oktober	31	0.30	0.54	1.41	0.9	0.91	24	3.41	2537.35
November	30	0.30	0.54	1.41	0.9	0.91	24	3.41	2455.50
Desember	31	0.30	0.54	1.41	0.9	0.91	24	3.41	2537.35
Jumlah									29875.29

Sumber: Hasil Perhitungan (2018)

Tabel 4.7
 Nilai Daya dan Energi Tiap Bulan Turbin 2

Bulan	Jumlah Hari	Debit (m ³)	Head Loss	Heff (m)	Turbin	Generator	Waktu Oprasi	Kapabilitas Terpasang	
								Daya (KW)	Energi (kWH)
Januari	31	0.30	0.53	0.47	0.9	0.91	24	1.13	842.99
Februari	28	0.30	0.53	0.47	0.9	0.91	24	1.13	761.41
Maret	31	0.30	0.53	0.47	0.9	0.91	24	1.13	842.99
April	30	0.30	0.53	0.47	0.9	0.91	24	1.13	815.80
Mei	31	0.30	0.53	0.47	0.9	0.91	24	1.13	842.99
Juni	30	0.30	0.53	0.47	0.9	0.91	24	1.13	815.80
Juli	31	0.30	0.53	0.47	0.9	0.91	24	1.13	842.99
Agustus	31	0.30	0.53	0.47	0.9	0.91	24	1.13	842.99
September	30	0.30	0.53	0.47	0.9	0.91	24	1.13	815.80
Oktober	31	0.30	0.53	0.47	0.9	0.91	24	1.13	842.99
November	30	0.30	0.53	0.47	0.9	0.91	24	1.13	815.80
Desember	31	0.30	0.53	0.47	0.9	0.91	24	1.13	842.99
Jumlah									9925.57

Sumber: Hasil Perhitungan (2018)

Tabel 4.8
 Nilai Daya dan Energi Tiap Bulan Turbin 3

Bulan	Jumlah Hari	Debit (m ³)	Head Loss	Heff (m)	Turbin	Generator	Waktu Oprasi	Kapabilitas Terpasang	
								Daya (KW)	Energi (kWH)
Januari	31	0.37	0.05	1.85	0.9	0.91	24	5.51	4099.78
Februari	28	0.37	0.05	1.85	0.9	0.91	24	5.51	3703.03
Maret	31	0.37	0.05	1.85	0.9	0.91	24	5.51	4099.78
April	30	0.37	0.05	1.85	0.9	0.91	24	5.51	3967.53
Mei	31	0.37	0.05	1.85	0.9	0.91	24	5.51	4099.78
Juni	30	0.37	0.05	1.85	0.9	0.91	24	5.51	3967.53
Juli	31	0.37	0.05	1.85	0.9	0.91	24	5.51	4099.78
Agustus	31	0.37	0.05	1.85	0.9	0.91	24	5.51	4099.78
September	30	0.37	0.05	1.85	0.9	0.91	24	5.51	3967.53
Oktober	31	0.37	0.05	1.85	0.9	0.91	24	5.51	4099.78
November	30	0.37	0.05	1.85	0.9	0.91	24	5.51	3967.53
Desember	31	0.37	0.05	1.85	0.9	0.91	24	5.51	4099.78
Jumlah									48271.61

Sumber: Hasil Perhitungan (2018)

Tabel 4.9
Rekapitulasi Produksi Energi Tahunan

No.	Energi Terpasang			Total Energi terpasang
	Turbin 1 (kWH)	Turbin 2 (kWH)	Turbin 3 (kWH)	(kWH)
1	29875.29	9925.57	48271.61	88072.47

Sumber: Hasil Perhitungan (2018)

Jadi Produksi Energi yang dihasilkan dalam 1 tahun di PLTMH Desa Sanankerto sebesar 88072.47 kWH

4.8 Analisa Kelayakan Ekonomi

4.8.1 Cost (biaya)

Komponen biaya pada studi ini terdiri dari biaya modal dan biaya OP. biaya modal meliputi biaya langsung dan biaya tak langsung (*contingencies* dan biaya *engineering*). Sedangkan biaya OP sebesar 1% dari biaya investasi. Dalam perhitungan ini menggunakan debit sebesar 0.30 m³/det dan di lokasi turbin 3 menggunakan debit sebesar 0.37 m³/det.

Hasil perhitungan akan bernilai dalam mata uang dollar kanada (CAD) dengan *base rate* tahun 2018 sehingga harus diperhitungkan faktor eskalasi perubahan nilai mata uang tersebut sehingga hasil estimasi harus dikonversikan menjadi nilai mata uang dollar Kanada dengan nilai tukar rupiah sebesar Rp. 10.989,01 per 22 Mei 2018 (Bank Of Canada). Adapun perhitungan biaya sebagai berikut.

1. Biaya *engineering* (menurut Persamaan 2-32)

$$\begin{aligned}
 C1 &= 0.37 \times n^{0.1} \times \left(\frac{MW}{Hg^{0.3}} \right)^{0.54} \times 10^6 \\
 &= 0.37 \times 1^{0.1} \times \left(\frac{0.01}{3^{0.3}} \right)^{0.54} \times 10^6 \\
 &= 4380.07 \text{ CAD} \\
 &= \text{Rp. } 48.132.678
 \end{aligned}$$

2. Peralatan Hidromekanika (menurut Persamaan 2-32)

$$\begin{aligned}
 C2 &= 5.34 n^{0.96} \left(\frac{MWu}{Hg^{0.5}} \right)^{0.91} \times 10^6 \\
 &= 5.34 1^{0.96} \left(\frac{0.01}{3^{0.5}} \right)^{0.91} \times 10^6 \\
 &= 49269.36 \text{ CAD}
 \end{aligned}$$

$$= \text{Rp. } 541.421.487,07$$

3. Instalasi Peralatan Hidromekanika (menurut Persamaan 2-40)

$$\begin{aligned} C3 &= C2 \times 0.15 \\ &= 49269.36 \text{ CAD} \times 0.15 \\ &= 7390.40 \text{ CAD} \\ &= \text{Rp. } 81.213.223,06 \end{aligned}$$

4. Trafo dan Substation (Menurut Persamaan 2-41)

$$\begin{aligned} C4 &= \left(0.0025 \times n^{0.95} + 0.002(n+1) \times \left(\frac{MW}{0.95} \right)^{0.9} \times V^{0.3} \right) \times 10^6 \\ &= \left(0.0025 \times 1^{0.95} + 0.002(3+1) \times \left(\frac{0.01}{0.95} \right)^{0.9} \times 10^{0.3} \right) \times 10^6 \\ &= 2766.22 \text{ CAD} \\ &= \text{Rp. } 30.398.023 \end{aligned}$$

5. Pemasangan Trafo dan Substation (menurut Persamaan 2-42)

$$\begin{aligned} C5 &= 0.15 \times C5 \\ &= 0.15 \times 2766.22 \text{ CAD} \\ &= 414.93 \text{ CAD} \\ &= \text{Rp. } 4.559.703 \end{aligned}$$

6. Biaya Pekerjaan Sipil (menurut Persamaan 2-43)

$$\begin{aligned} C6 &= 1.97 \times n^{-0.04} \times C \times R \times \left(\frac{MW}{Hg^{0.3}} \right)^{0.82} \times 10^6 \\ &= 1.97 \times 1^{-0.04} \times 1 \times 1.05 \times \left(\frac{0.01}{3^{0.3}} \right)^{0.82} \times 10^6 \\ &= 34762.77 \text{ CAD} \\ &= \text{Rp. } 382.008.477 \end{aligned}$$

7. Lain – lain (menurut Persamaan 2-44)

$$\begin{aligned} C7 &= 0.25 \text{ i Qd}^{0.35} \times 1.1 \Sigma C1 \text{ to } C6 + 0.1 \Sigma C1 \text{ to } C6 \\ &= 0.25 \times 4.25\% \times 0.3^{0.35} \times 1.1 \times 104781.39 + 0.1 \times 104781.39 \\ &= 876.570 \text{ CAD (2018)} \\ &= \text{Rp } 9.632.640,83 \end{aligned}$$

Tabel 4.10
Biaya PLTMH Desa Sanankerto

No.	Komponen	Biaya (Rupiah)
1	Biaya Engineering	Rp 48,132,678
2	Biaya Elektromekanikal	Rp 541,421,487.07
3	Instalasi Biaya Elektromekanikal	Rp 81,213,223.06
4	Biaya Substansi dan Transformer	Rp 30,398,023
5	Biaya Instalasi Substansi dan Transformer	Rp 4,559,703
6	Biaya Pekerjaan Sipil	Rp 382,008,477
7	Biaya Lain-lain	Rp 9,099,659.98
Total		Rp 1,096,833,252
PPN 10%		Rp 109,683,325.15
Biaya Total		Rp 1,206,516,576.68

Sumber: Hasil Perhitungan (2018)

4.8.2 *Benefit* (Manfaat)

Komponen benefit dari studi ini didasarkan atas harga jual listrik yang dikeluarkan oleh Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral No. 12 Tahun 2014. Pada tahun 2014 untuk wilayah Jawa sebesar $1.075 \times 1.00 = 1.075$. Jika produksi energi pertahun yang dihasilkan PLTMH sebesar 88072,47 kWh, Maka dari data tersebut diperoleh *benefit* tahunan (untuk tahun pertama) sebesar.

$$\begin{aligned}
 \text{Benefit PLTMH} &= \text{produksi energi tahunan} \times \text{harga jual listrik} \\
 &= 88072.47 \times \text{Rp. } 1.075 \\
 &= \text{Rp. } 94.677.907,35
 \end{aligned}$$

Tabel 4.11
Manfaat Tahunan PLTMH Desa Sanankerto

No	Tahun	Energi	Harga Jual Listrik	Manfaat Tahunan
		kWh	(Rp.)	(Rp.)
1	2018	88072.47	1,075	94677907.35
2	2019	88072.47	1,075	94677907.35
3	2020	88072.47	1,075	94677907.35
4	2021	88072.47	1,075	94677907.35
5	2022	88072.47	1,075	94677907.35
6	2023	88072.47	1,075	94677907.35
7	2024	88072.47	1,075	94677907.35
8	2025	88072.47	1,075	94677907.35
9	2026	88072.47	1,075	94677907.35
10	2027	88072.47	1,075	94677907.35
11	2028	88072.47	1,075	94677907.35
12	2029	88072.47	1,075	94677907.35
13	2030	88072.47	1,075	94677907.35
14	2031	88072.47	1,075	94677907.35
15	2032	88072.47	1,075	94677907.35
16	2033	88072.47	1,075	94677907.35
17	2034	88072.47	1,075	94677907.35
18	2035	88072.47	1,075	94677907.35
19	2036	88072.47	1,075	94677907.35
20	2037	88072.47	1,075	94677907.35
Total				Rp 1,893,558,147
Rerata				Rp 94,677,907

Sumber: Hasil Perhitungan (2018)

4.8.3 PV (*Present Value*/Nilai Sekarang)

Agar perhitungan analisa ekonomi lebih mudah dan mendekati kenyataan maka harus dihitung pada titik waktu yang sama. Dalam studi ini analisa biaya ataupun analisa manfaat dijadikan nilai sekarang (*present value*). Tahun dasar yang digunakan adalah tahun selesainya pengerjaan proyek, yaitu tahun 2018. Apabila suku bunga yang berlaku saat ini sebesar 11.18% (berdasarkan bank Indonesia Maret 2018) maka *present value* untuk biaya dan manfaat adalah sebagai berikut:

- Biaya Investasi = Rp. 1.206.516.576,68
- Pendanaan = 40% Modal awal dan 60% Pinjaman
- Biaya Modal = Rp. 482.606.631
- Biaya Pinjam = Rp. 723.909.946

- Biaya O&P (1% biaya total) = Rp. 12.065.165,77
- Periode Pinjaman = 5 tahun

a. Biaya modal

Apabila besar biaya modal Rp. 482.606.631 dan faktor konversi (F/P,11.18,1) adalah 1.1118 maka:

$$\begin{aligned}
 PV \text{ biaya modal} &= \text{Biaya modal} \times (F/P,11.18,1) \\
 &= \text{Rp. } 482.606.631 \times 1.1118 \\
 &= \text{Rp. } 563.562.051,98
 \end{aligned}$$

b. Biaya O&P

Biaya O&P dikeluarkan setiap tahun atau disebut *Annuity* dengan periode 20 tahun dan bunga 11.18%. sehingga untuk mendapatkan *present valuenya* digunakan faktor konversi P/A.

Apabila besar biaya O&P 1% tiap tahun dari biaya modal yaitu sebesar Rp. 12.065.165,77 dan faktor konversi (P/A,11.18,20) adalah 7.89745, maka:

$$\begin{aligned}
 PV \text{ biaya O\&P} &= \text{biaya O\&P} \times (P/A,11.18,20) \\
 &= \text{Rp. } 12.065.165,77 \times 7.89745 \\
 &= \text{Rp. } 95.284.043
 \end{aligned}$$

c. Cicilan hutang

Cicilan hutang untuk pendanaan PLTMH Sanankerto direncanakan 60% dari jumlah investasi Rp. 723.909.946 dengan lama pelunasan 5 tahun. Sehingga total biaya yang harus dilunasi:

$$\begin{aligned}
 PV \text{ biaya cicilan hutang} &= \text{Biaya Hutang} \times (F/P,11.18,5) \\
 &= \text{Rp. } 723.909.946 \times 1.699 \\
 &= \text{Rp. } 1.229.920.102.63
 \end{aligned}$$

Dari hasil seluruh perhitungan pengeluaran maka berikut ini adalah rekapitulasi pengeluaran ditampilkan pada Tabel 2.12 berikut ini.

Tabel 4.12

PV Biaya Keseluruhan PLTMH Desa Sanankerto

Uraian	Biaya (Rupiah)	Faktor Konversi	Biaya Skrang (Rupiah)
Modal	Rp 482,606,630.67	1.1118	Rp 536,562,051.98
Cicilan	Rp 723,909,946	1.698996	Rp 1,229,920,102.63
O&P	Rp 12,065,165.77	7.89745	Rp 95,284,043.39
Total Biaya			Rp 1,861,766,198.00

Sumber: Hasil Perhitungan (2018)

Selain pengeluaran, ada pula manfaat dari PLTMH Sanankerto. Sebagai berikut contoh perhitungan pada tahun 2018.

$$\begin{aligned} \text{PV manfaat pada tahun ke 1} &= \text{Rp. } 94.677.907 \times (\text{P/F}, 11.18, 1) \\ &= \text{Rp. } 94.677.907 \times 0.8995 \\ &= \text{Rp. } 85.158.990,55 \end{aligned}$$

Untuk lebih jelasnya manfaat sampai tahun ke 20 lihat Tabel 4.13 sebagai berikut:

Tabel 4.13

PV Manfaat PLTMH Desa Sanankerto

No.	Tahun	Produksi Energi (kWH)	Harga Jual	Manfaat Tahunan	Faktor Konversi	Nilai Faktor Konversi	PV Manfaat
				(Rupiah)			
1	2018	88072.47	1,075	Rp 94,677,907	(P/F,4.25,1)	0.8995	Rp 85,158,990.55
2	2019	88072.47	1,075	Rp 94,677,907	(P/F,4.25,2)	0.8090	Rp 76,595,184.47
3	2020	88072.47	1,075	Rp 94,677,907	(P/F,4.25,3)	0.7277	Rp 68,897,870.60
4	2021	88072.47	1,075	Rp 94,677,907	(P/F,4.25,4)	0.6545	Rp 61,968,962.63
5	2022	88072.47	1,075	Rp 94,677,907	(P/F,4.25,5)	0.5888	Rp 55,746,541.21
6	2023	88072.47	1,075	Rp 94,677,907	(P/F,4.25,6)	0.5296	Rp 50,137,632.62
7	2024	88072.47	1,075	Rp 94,677,907	(P/F,4.25,7)	0.4764	Rp 45,105,312.49
8	2025	88072.47	1,075	Rp 94,677,907	(P/F,4.25,8)	0.4285	Rp 40,569,483.30
9	2026	88072.47	1,075	Rp 94,677,907	(P/F,4.25,9)	0.3854	Rp 36,493,220.68
10	2027	88072.47	1,075	Rp 94,677,907	(P/F,4.25,10)	0.3468	Rp 32,830,889.87
11	2028	88072.47	1,075	Rp 94,677,907	(P/F,4.25,11)	0.3119	Rp 29,533,447.71
12	2029	88072.47	1,075	Rp 94,677,907	(P/F,4.25,12)	0.2806	Rp 26,563,023.04
13	2030	88072.47	1,075	Rp 94,677,907	(P/F,4.25,13)	0.2524	Rp 23,897,271.88
14	2031	88072.47	1,075	Rp 94,677,907	(P/F,4.25,14)	0.2271	Rp 21,498,323.07
15	2032	88072.47	1,075	Rp 94,677,907	(P/F,4.25,15)	0.2043	Rp 19,339,477.42
16	2033	88072.47	1,075	Rp 94,677,907	(P/F,4.25,16)	0.1838	Rp 17,398,390.97
17	2034	88072.47	1,075	Rp 94,677,907	(P/F,4.25,17)	0.1653	Rp 15,648,364.53
18	2035	88072.47	1,075	Rp 94,677,907	(P/F,4.25,18)	0.1487	Rp 14,078,226.11
19	2036	88072.47	1,075	Rp 94,677,907	(P/F,4.25,19)	0.1338	Rp 12,669,040.14
20	2037	88072.47	1,075	Rp 94,677,907	(P/F,4.25,20)	0.1203	Rp 11,394,107.44
Total		1761449.44		Rp 1,893,558,147			Rp 745,523,760.72
Rerata				Rp 94,677,907			Rp 37,276,188.04

Sumber: Hasil Perhitungan (2018)

4.8.4 Indikator Kelayakan Ekonomi

4.8.4.1 BCR (*Benefit Cost Ratio*)

Benefit Cost Ratio (BCR) adalah perbandingan antara nilai sekarang (*present value*) dari manfaat (*benefit*) dengan nilai sekarang (*present value*) dari biaya (*cost*).

Besarnya *benefit-cost ratio* berdasarkan nilai biaya dan manfaat di atas adalah sebagai berikut:

$$B/C = \frac{PV_{\text{manfaat}}}{PV_{\text{biayamodal}}}$$

$$\begin{aligned} B/C &= \frac{Rp. 745.523.760,72}{Rp. 1.861.766.198} \\ &= 0.40 \end{aligned}$$

4.8.4.2 NPV (*Net Present Value*)

Besarnya *Net Present Value* berdasarkan nilai biaya dan manfaat di atas adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} NPV &= PV \text{ manfaat} - PV \text{ biaya modal} \\ &= Rp. 745.523.760,72 - Rp. 1.861.766.198 \\ &= -Rp. 1.116.242.437,28 \end{aligned}$$

4.8.4.3 IRR (*Internal Rate of Return*)

Untuk mendapatkan nilai *internal rate of return* maka dihitung nilai sekarang untuk biaya dan manfaat menggunakan beberapa suku bunga, sehingga factor pengalinya akan berbeda. Dengan cara yang sama, akan dihitung nilai sekarang dari manfaat dan biaya dengan suku bunga 11.18%, 12%, 13%, 14%, dan 16%. Akan ditampilkan pada tabel berikut:

Tabel 4.14
Nilai IRR Pembangunan PLTMH

Tingkat Suku Bunga	11.18%	12%	13%	14%	15%
Manfaat PLTMH per tahun (tahun pertama) (Rp)	Rp 94,677,907.35	Rp 94,677,907.35	Rp 94,677,907.35	Rp 94,677,907.35	Rp 94,677,907.35
P/F(i,1)	0.8995	0.8929	0.885	0.8772	0.8696
PV manfaat	Rp 85,158,990.55	Rp 84,537,903.48	Rp 83,789,948.01	Rp 83,051,460.33	Rp 82,331,908.23
Manfaat PLTMH per tahun (tahun kedua) (Rp)	Rp 94,677,907.35	Rp 94,677,907.35	Rp 94,677,907.35	Rp 94,677,907.35	Rp 94,677,907.35
P/F(i,2)	0.8090	0.7972	0.7831	0.7695	0.7561
PV manfaat	Rp 76,595,184.47	Rp 75,477,227.74	Rp 74,142,269.25	Rp 72,854,649.71	Rp 71,585,965.75
Manfaat PLTMH per tahun (tahun ketiga) (Rp)	Rp 94,677,907.35	Rp 94,677,907.35	Rp 94,677,907.35	Rp 94,677,907.35	Rp 94,677,907.35
P/F(i,3)	0.7277	0.7118	0.6931	0.675	0.6575
PV manfaat	Rp 68,897,870.60	Rp 67,391,734.45	Rp 65,621,257.59	Rp 63,907,587.46	Rp 62,250,724.08
Manfaat PLTMH per tahun (tahun keempat) (Rp)	Rp 94,677,907.35	Rp 94,677,907.35	Rp 94,677,907.35	Rp 94,677,907.35	Rp 94,677,907.35
P/F(i,4)	0.6545	0.6355	0.6133	0.5921	0.5718
PV manfaat	Rp 61,968,962.63	Rp 60,167,810.12	Rp 58,065,960.58	Rp 56,058,788.94	Rp 54,136,827.42

Sumber: Hasil Perhitungan (2018)

Lanjutan Tabel 4.14
 Nilai IRR Pembangunan PLTMH

Tingkat Suku Bunga	11.18%	12%	13%	14%	15%
Manfaat PLTMH per tahun (tahun kelima) (Rp)	Rp 94,677,907.35	Rp 94,677,907.35	Rp 94,677,907.35	Rp 94,677,907.35	Rp 94,677,907.35
P/F(i,5)	0.5888	0.5674	0.5428	0.5194	0.4972
PV manfaat	Rp 55,746,541.21	Rp 53,720,244.63	Rp 51,391,168.11	Rp 49,175,705.08	Rp 47,073,855.54
Manfaat PLTMH per tahun (tahun keenam) (Rp)	Rp 94,677,907.35	Rp 94,677,907.35	Rp 94,677,907.35	Rp 94,677,907.35	Rp 94,677,907.35
P/F(i,6)	0.5296	0.5066	0.4803	0.4556	0.4323
PV manfaat	Rp 50,137,632.62	Rp 47,963,827.87	Rp 45,473,798.90	Rp 43,135,254.59	Rp 40,929,259.35
Manfaat PLTMH per tahun (tahun ketujuh) (Rp)	Rp 94,677,907.35	Rp 94,677,907.35	Rp 94,677,907.35	Rp 94,677,907.35	Rp 94,677,907.35
P/F(i,7)	0.4764	0.4523	0.4251	0.3996	0.3759
PV manfaat	Rp 45,105,312.49	Rp 42,822,817.50	Rp 40,247,578.42	Rp 37,833,291.78	Rp 35,589,425.37
Manfaat PLTMH per tahun (tahun kedelapan) (Rp)	Rp 94,677,907.35	Rp 94,677,907.35	Rp 94,677,907.35	Rp 94,677,907.35	Rp 94,677,907.35
P/F(i,8)	0.4285	0.4039	0.3762	0.3506	0.3269
PV manfaat	Rp 40,569,483.30	Rp 38,240,406.78	Rp 35,617,828.75	Rp 33,194,074.32	Rp 30,950,207.91
Manfaat PLTMH per tahun (tahun kesembilan) (Rp)	Rp 94,677,907.35	Rp 94,677,907.35	Rp 94,677,907.35	Rp 94,677,907.35	Rp 94,677,907.35
P/F(i,9)	0.3854	0.3606	0.3329	0.3075	0.2843
PV manfaat	Rp 36,493,220.68	Rp 34,140,853.39	Rp 31,518,275.36	Rp 29,113,456.51	Rp 26,916,929.06
Manfaat PLTMH per tahun (tahun kesepuluh) (Rp)	Rp 94,677,907.35	Rp 94,677,907.35	Rp 94,677,907.35	Rp 94,677,907.35	Rp 94,677,907.35
P/F(i,10)	0.3468	0.322	0.2946	0.2697	0.2472
PV manfaat	Rp 32,830,889.87	Rp 30,486,286.17	Rp 27,892,111.51	Rp 25,534,631.61	Rp 23,404,378.70
Manfaat PLTMH per tahun (tahun kesebelas) (Rp)	Rp 94,677,907.35	Rp 94,677,907.35	Rp 94,677,907.35	Rp 94,677,907.35	Rp 94,677,907.35
P/F(i,11)	0.3119	0.2875	0.2607	0.2366	0.2149
PV manfaat	Rp 29,533,447.71	Rp 27,219,898.36	Rp 24,682,530.45	Rp 22,400,792.88	Rp 20,346,282.29
Manfaat PLTMH per tahun (tahun keduabelas) (Rp)	Rp 94,677,907.35	Rp 94,677,907.35	Rp 94,677,907.35	Rp 94,677,907.35	Rp 94,677,907.35
P/F(i,12)	0.2806	0.2567	0.2307	0.2076	0.1869
PV manfaat	Rp 26,563,023.04	Rp 24,303,818.82	Rp 21,842,193.23	Rp 19,655,133.57	Rp 17,695,300.88
Manfaat PLTMH per tahun (tahun ketigabelas) (Rp)	Rp 94,677,907.35	Rp 94,677,907.35	Rp 94,677,907.35	Rp 94,677,907.35	Rp 94,677,907.35
P/F(i,13)	0.2524	0.2292	0.2042	0.1821	0.1625
PV manfaat	Rp 23,897,271.88	Rp 21,700,176.37	Rp 19,333,228.68	Rp 17,240,846.93	Rp 15,385,159.94

Sumber: Hasil Perhitungan (2018)

Lanjutan Tabel 4.14
 Nilai IRR Pembangunan PLTMH

Tingkat Suku Bunga	11.18%	12%	13%	14%	15%
Manfaat PLTMH per tahun (tahun keempatbelas) (Rp)	Rp 94,677,907.35	Rp 94,677,907.35	Rp 94,677,907.35	Rp 94,677,907.35	Rp 94,677,907.35
P/F(i,14)	0.2271	0.2046	0.1807	0.1597	0.1413
PV manfaat	Rp 21,498,323.07	Rp 19,371,099.84	Rp 17,108,297.86	Rp 15,120,061.80	Rp 13,377,988.31
Manfaat PLTMH per tahun (tahun kelimabelas) (Rp)	Rp 94,677,907.35	Rp 94,677,907.35	Rp 94,677,907.35	Rp 94,677,907.35	Rp 94,677,907.35
P/F(i,15)	0.2043	0.1827	0.1599	0.1401	0.1229
PV manfaat	Rp 19,339,477.42	Rp 17,297,653.67	Rp 15,138,997.39	Rp 13,264,374.82	Rp 11,635,914.81
Manfaat PLTMH per tahun (tahun keenambelas) (Rp)	Rp 94,677,907.35	Rp 94,677,907.35	Rp 94,677,907.35	Rp 94,677,907.35	Rp 94,677,907.35
P/F(i,16)	0.0418	0.1631	0.1415	0.1229	0.1069
PV manfaat	Rp 3,961,891.71	Rp 15,441,966.69	Rp 13,396,923.89	Rp 11,635,914.81	Rp 10,121,068.30
Manfaat PLTMH per tahun (tahun ketujuhbelas) (Rp)	Rp 94,677,907.35	Rp 94,677,907.35	Rp 94,677,907.35	Rp 94,677,907.35	Rp 94,677,907.35
P/F(i,17)	0.0246	0.1456	0.1252	0.1078	0.0929
PV manfaat	Rp 2,332,863.64	Rp 13,785,103.31	Rp 11,853,674.00	Rp 10,206,278.41	Rp 8,795,577.59
Manfaat PLTMH per tahun (tahun kedelapanbelas) (Rp)	Rp 94,677,907.35	Rp 94,677,907.35	Rp 94,677,907.35	Rp 94,677,907.35	Rp 94,677,907.35
P/F(i,18)	0.0222	0.13	0.1108	0.0946	0.0808
PV manfaat	Rp 2,104,689.88	Rp 12,308,127.96	Rp 10,490,312.13	Rp 8,956,530.04	Rp 7,649,974.91
Manfaat PLTMH per tahun (tahun kesembilanbelas) (Rp)	Rp 94,677,907.35	Rp 94,677,907.35	Rp 94,677,907.35	Rp 94,677,907.35	Rp 94,677,907.35
P/F(i,19)	0.0146	0.1161	0.0981	0.0829	0.0703
PV manfaat	Rp 1,377,942.26	Rp 10,992,105.04	Rp 9,287,902.71	Rp 7,848,798.52	Rp 6,655,856.89
Manfaat PLTMH per tahun (tahun keduapuluh) (Rp)	Rp 94,677,907.35	Rp 94,677,907.35	Rp 94,677,907.35	Rp 94,677,907.35	Rp 94,677,907.35
P/F(i,20)	0.0051	0.1037	0.0868	0.0728	0.0611
PV manfaat	Rp 478,880.86	Rp 9,818,098.99	Rp 8,218,042.36	Rp 6,892,551.66	Rp 5,784,820.14

Sumber: Hasil Perhitungan (2018)

Tabel 4.15
 Nilai Biaya Untuk Beberapa Suku Bunga

Tingkat Suku Bunga	11.18%	12%	13%	14%	15%
Modal PLTMH (Rp)	Rp 482,606,630.67	Rp 482,606,630.67	Rp 482,606,630.67	Rp 482,606,630.67	Rp 482,606,630.67
F/P(i,1)	1.1118	1.06	1.07	1.08	1.09
PV manfaat	Rp 536,562,051.98	Rp 511,563,028.51	Rp 516,389,094.82	Rp 521,215,161.13	Rp 526,041,227.43
Cicilan	Rp 723,909,946	Rp 723,909,946	Rp 723,909,946	Rp 723,909,946	Rp 723,909,946
F/P(i,5)	1.698996	1.7623	1.8424	1.9254	2.0114
PV manfaat	Rp 1,229,920,102.63	Rp 1,275,746,497.85	Rp 1,333,731,684.53	Rp 1,393,816,210.05	Rp 1,456,072,465.41
Investasi O & P	Rp 12,065,165.77	Rp 12,065,165.77	Rp 12,065,165.77	Rp 12,065,165.77	Rp 12,065,165.77
F/P(i,1)	7.89745	7.469	7.161	6.71	6.259
PV manfaat	Rp 95,284,043.39	Rp 90,114,723.11	Rp 86,398,652.06	Rp 80,957,262.30	Rp 75,515,872.53
Total Biaya	Rp 1,861,766,198.00	Rp 1,877,424,249.48	Rp 1,936,519,431.41	Rp 1,995,988,633.47	Rp 2,057,629,565.37
Total Manfaat	Rp 745,523,761	Rp 707,187,161.19	Rp 665,112,299.16	Rp 627,080,183.78	Rp 592,617,425.50
Benefit Cost Ratio	Rp 0.40	Rp 0.38	Rp 0.34	Rp 0.31	Rp 0.29
Net Present Value	-Rp1,116,242,437.28	-Rp 1,170,237,088.29	Rp1,271,407,132.25	-Rp 1,368,908,449.70	-Rp1,465,012,139.88

Sumber: Hasil Perhitungan (2018)

Untuk mendapatkan nilai IRR (*Internal rate of return*) maka diinterpolasikan suku bunga yang memiliki nilai BCR dengan kisaran 1. Pada tabel dapat terlihat suku bunga 12% dan 13% dapat diinterpolasikan. Oleh karena itu nilai IRR adalah:

$$\begin{aligned}
 \text{IRR} &= \frac{NPV - NPV_{6\%}}{NPV_{5\%} - NPV_{6\%}} \times (5\% - 6\%) + 5\% \\
 &= \frac{0 - (-Rp.1.271.407.132,25)}{(-Rp. 1.170.237.088,29 - (-Rp. 1.271.407.132,25))} \times (12\% - 13\%) + 12\% \\
 &= -0.0754\%
 \end{aligned}$$

Sehingga nilai *rate of return* PLTMH Sanankerto yaitu pada suku bunga -0.0754%

4.8.4.4 Payback Periode

Payback Periode merupakan jang waktu periode yang diperlukan untuk membayar kembali semua biaya-biaya yang telah dikeluarkan dalam investasi suatu proyek.

Apabila biaya modal PLTMH Rp. 1.861.766.198 dan manfaat rerata tahunan Rp. 37.276.188,04, maka dengan menggunakan persamaan sebagai berikut diperoleh nilai *Payback Periode* sebagai berikut.

$$\text{Payback Periode} = \frac{I}{A_b}$$

$$= \frac{Rp. 1.861.766.198}{Rp. 37.276.188.04}$$

$$= 49.95 \text{ Tahun}$$

Dari perhitungan di atas dapat diketahui, biaya modal dapat terbayar seluruh pada tahun ke-50.

4.9 Perhitungan Daya dan Energi

Keuntungan suatu proyek Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) ditentukan dari besar daya yang dibangkitkan dan jumlah energi yang dibangkitkan tiap tahun. Dalam perencanaan PLTMH Desa Sanankerto memiliki 2 alternatif yang dibedakan dari jumlah turbin yang direncanakan. Daya listrik yang dibangkitkan pada alternatif 2 dapat dihitung dengan memakai persamaan:

- Turbin 1

1. Daya teoritis (desain)

$$\begin{aligned} P_{\text{desain}} &= 9.81 \times Q \times H_{\text{eff}} \\ &= 9.81 \times 0.30 \times 1.415 \\ &= 4.164 \text{ kW} \end{aligned}$$

2. Daya turbin

$$\begin{aligned} P_{\text{turbin}} &= 9.81 \times \eta_t \times Q \times H_{\text{eff}} \\ &= 9.81 \times 0.90 \times 0.30 \times 1.415 \\ &= 3.748 \text{ kW} \end{aligned}$$

3. Daya generator

$$\begin{aligned} P_{\text{generator}} &= 9.81 \times \eta_g \times \eta_t \times Q \times H_{\text{eff}} \\ &= 9.81 \times 0.91 \times 0.90 \times 0.30 \times 1.415 \\ &= 3.410 \text{ kW} \end{aligned}$$

- Turbin 2

1. Daya teoritis (desain)

$$\begin{aligned} P_{\text{desain}} &= 9.81 \times Q \times H_{\text{eff}} \\ &= 9.81 \times 0.37 \times 1.854 \\ &= 6.728 \text{ kW} \end{aligned}$$

2. Daya turbin

$$\begin{aligned} P_{\text{turbin}} &= 9.81 \times \eta_t \times Q \times H_{\text{eff}} \\ &= 9.81 \times 0.90 \times 0.37 \times 1.854 \\ &= 6.055 \text{ kW} \end{aligned}$$

3. Daya generator

$$\begin{aligned}
 P_{\text{generator}} &= 9.81 \times \eta_g \times \eta_t \times Q \times H_{\text{eff}} \\
 &= 9.81 \times 0.91 \times 0.90 \times 0.37 \times 1.854 \\
 &= 5.510 \text{ kW}
 \end{aligned}$$

Rekapitulasi daya listrik yang dihasilkan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \text{Total} &= \text{Turbin 1} + \text{Turbin 2} + \text{Turbin 3} \\
 &= 3.410 \text{ kW} + 5.510 \text{ kW} \\
 &= 8.921 \text{ kW}
 \end{aligned}$$

4.9.1 Produksi Energi Tahunan

Perhitungan produksi energi tahunan dilakukan dengan memperhitungkan daya yang dihasilkan pertahun waktu dalam kurun waktu satu tahun. Contoh perhitungan banyaknya energi yang dihasilkan pembangkit dalam satu tahun menggunakan persamaan sebagai berikut:

- Turbin 1

$$E = P \times t \times n$$

Contoh perhitungan dibulan Januari

$$Q = 0.30 \text{ m}^3/\text{det}$$

$$P = 3.410 \text{ kW}$$

$$n = 31 \text{ hari}$$

$$t = 24 \text{ jam}$$

$$\begin{aligned}
 E &= 3.410 \times 24 \times 31 \\
 &= 2537.35 \text{ kWh}
 \end{aligned}$$

- Turbin 2

$$E = P \times t \times n$$

Contoh perhitungan dibulan Januari

$$Q = 0.37 \text{ m}^3/\text{det}$$

$$P = 5.510 \text{ kW}$$

$$n = 31 \text{ hari}$$

$$t = 24 \text{ jam}$$

$$\begin{aligned}
 E &= 5.510 \times 24 \times 31 \\
 &= 4099.78 \text{ kWh}
 \end{aligned}$$

Contoh perhitungan total

$$P = 8.921 \text{ kW}$$

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



$$n = 31 \text{ hari}$$

$$t = 24 \text{ jam}$$

$$E = 8.921 \times 24 \times 31$$

$$= 6637.13 \text{ kWh}$$

Untuk perhitungan total lihat tabel berikut:

Tabel 4.16

Nilai Daya dan Energi Tiap Bulan Turbin 1

Bulan	Jumlah Hari	Debit (m ³)	Head Loss	Heff (m)	Turbin	Generator	Waktu Oprasi	Kapasitas Terpasang	
								Daya (KW)	Energi (kWH)
Januari	31	0.30	0.54	1.41	0.9	0.91	24	3.41	2537.35
Februari	28	0.30	0.54	1.41	0.9	0.91	24	3.41	2291.80
Maret	31	0.30	0.54	1.41	0.9	0.91	24	3.41	2537.35
April	30	0.30	0.54	1.41	0.9	0.91	24	3.41	2455.50
Mei	31	0.30	0.54	1.41	0.9	0.91	24	3.41	2537.35
Juni	30	0.30	0.54	1.41	0.9	0.91	24	3.41	2455.50
Juli	31	0.30	0.54	1.41	0.9	0.91	24	3.41	2537.35
Agustus	31	0.30	0.54	1.41	0.9	0.91	24	3.41	2537.35
September	30	0.30	0.54	1.41	0.9	0.91	24	3.41	2455.50
Oktober	31	0.30	0.54	1.41	0.9	0.91	24	3.41	2537.35
NoVember	30	0.30	0.54	1.41	0.9	0.91	24	3.41	2455.50
Desember	31	0.30	0.54	1.41	0.9	0.91	24	3.41	2537.35
Jumlah									29875.29

Sumber: Hasil Perhitungan (2018)

Tabel 4.17

Nilai Daya dan Energi Tiap Bulan Turbin 2

Bulan	Jumlah Hari	Debit (m ³)	Head Loss	Heff (m)	Turbin	Generator	Waktu Oprasi	Kapasitas Terpasang	
								Daya (KW)	Energi (kWH)
Januari	31	0.37	0.05	1.85	0.9	0.91	24	5.51	4099.78
Februari	28	0.37	0.05	1.85	0.9	0.91	24	5.51	3703.03
Maret	31	0.37	0.05	1.85	0.9	0.91	24	5.51	4099.78
April	30	0.37	0.05	1.85	0.9	0.91	24	5.51	3967.53
Mei	31	0.37	0.05	1.85	0.9	0.91	24	5.51	4099.78
Juni	30	0.37	0.05	1.85	0.9	0.91	24	5.51	3967.53
Juli	31	0.37	0.05	1.85	0.9	0.91	24	5.51	4099.78

Sumber: Hasil Perhitungan (2018)

Terusan Pada Tabel 4.17
 Nilai Daya dan Energi Tiap Bulan Turbin 2

Bulan	Jumlah Hari	Debit (m ³)	Head Loss	Heff (m)	Turbin	Generator	Waktu Operasi	Kapasitas Terpasang	
								Daya (KW)	Energi (kWH)
Agustus	31	0.37	0.05	1.85	0.9	0.91	24	5.51	4099.78
September	30	0.37	0.05	1.85	0.9	0.91	24	5.51	3967.53
Oktober	31	0.37	0.05	1.85	0.9	0.91	24	5.51	4099.78
NoVember	30	0.37	0.05	1.85	0.9	0.91	24	5.51	3967.53
Desember	31	0.37	0.05	1.85	0.9	0.91	24	5.51	4099.78
Jumlah									48271.61

Sumber: Hasil Perhitungan (2018)

Tabel 4.18
 Rekapitulasi Produksi Energi Tahunan

No.	Energi Terpasang		Total Energi terpasang (kWH)
	Turbin 1 (kWH)	Turbin 2 (kWH)	
1	29875.29	48271.61	78146.90

Sumber: Hasil Perhitungan (2018)

Jadi Produksi Energi yang dihasilkan dalam 1 tahun di PLTMH Desa Sanankerto sebesar 78146.90 kWH

4.10 Analisa Kelayakan Ekonomi

4.10.1 Cost (biaya)

Komponen biaya pada studi ini terdiri dari biaya modal dan biaya OP. biaya modal meliputi biaya langsung dan biaya tak langsung (*contingencies* dan biaya *engineering*). Sedangkan biaya OP sebesar 1% dari biaya investasi. Dalam perhitungan ini menggunakan debit sebesar 0.30 m³/det dan di lokasi turbin 3 menggunakan debit sebesar 0.37 m³/det.

Hasil perhitungan akan bernilai dalam mata uang dollar kanada (CAD) dengan *base rate* tahun 2018 sehingga harus diperhitungkan faktor eskalasi perubahan nilai mata uang tersebut sehingga hasil estimasi harus dikonversikan menjadi nilai mata uang dollar Kanada dengan nilai tukar rupiah sebesar Rp. 10.989,01 per 22 Mei 2018 (Bank Of Canada). Adapun perhitungan biaya sebagai berikut.

1. Biaya *engineering* (menurut Persamaan 2-32)

$$C1 = 0.37 \times n^{0.1} \times \left(\frac{MW}{Hg^{0.3}} \right)^{0.54} \times 10^6$$

$$= 0.37 \times 1^{0.1} \times \left(\frac{0.009}{3^{0.3}} \right)^{0.54} \times 10^6$$

$$= 4380.07 \text{ CAD}$$

$$= \text{Rp. } 48.132.678$$

2. Peralatan Hidromekanika (menurut Persamaan 2-32)

$$C2 = 3.51 n^{0.96} \left(\frac{MW_u}{Hg^{0.5}} \right)^{0.91} \times 10^6$$

$$= 3.51 1^{0.96} \left(\frac{0.009}{3^{0.5}} \right)^{0.91} \times 10^6$$

$$= 29046.11 \text{ CAD}$$

$$= \text{Rp. } 319.187.951,50$$

3. Instalasi Peralatan Hidromekanika (menurut Persamaan 2-40)

$$C3 = C2 \times 0.15$$

$$= 29046.11 \text{ CAD} \times 0.15$$

$$= 4356.92 \text{ CAD}$$

$$= \text{Rp. } 47.878.192,73$$

4. Trafo dan Substation (Menurut Persamaan 2-41)

$$C4 = \left(0.0025 \times n^{0.95} + 0.002 (n+1) \times \left(\frac{MW}{0.95} \right)^{0.9} \times V^{0.3} \right) \times 10^6$$

$$= \left(0.0025 \times 1^{0.95} + 0.002 (3+1) \times \left(\frac{0.009}{0.95} \right)^{0.9} \times 10^{0.3} \right) \times 10^6$$

$$= 2739.06 \text{ CAD}$$

$$= \text{Rp. } 30.099.550$$

5. Pemasangan Trafo dan Substation (menurut Persamaan 2-42)

$$C5 = 0.15 \times C4$$

$$= 0.15 \times 2739.06 \text{ CAD}$$

$$= 410.86 \text{ CAD}$$

$$= \text{Rp. } 4.514.933$$

6. Biaya Pekerjaan Sipil (menurut Persamaan 2-43)

$$C6 = 1.97 \times n^{-0.04} \times C \times R \times \left(\frac{MW}{Hg^{0.3}} \right)^{0.82} \times 10^6$$

$$= 1.97 \times 1^{-0.04} \times 1 \times 1.05 \times \left(\frac{0.009}{3^{0.3}} \right)^{0.82} \times 10^6$$

$$= 31516.15 \text{ CAD}$$

$$= \text{Rp. } 346.331.266$$

7. Lain – lain (menurut Persamaan 2-44)

$$C7 = 0.25 i Qd^{0.35} \times 1.1 \Sigma C1 \text{ to } C6 + 0.1 \Sigma C1 \text{ to } C6$$

$$= 0.25 \times 4.25\% \times 0.3^{0.35} \times 1.1 \times 72002.29 + 0.1 \times 72002.29$$

$$= 602.3500008 \text{ CAD (2018)}$$

$$= \text{Rp } 6.619.230,18$$

Tabel 4.19

Biaya PLTMH Desa Sanankerto

No.	Komponen	Biaya (Rupiah)
1	Biaya Engineering	Rp 43,221,960
2	Biaya Elektromekanikal	Rp 319,187,951.50
3	Instalasi Biaya Elektromekanikal	Rp 47,878,192.73
4	Biaya Substansi dan Transformer	Rp 30,099,550
5	Biaya Instalasi Substansi dan Transformer	Rp 4,514,933
6	Biaya Pekerjaan Sipil	Rp 346,331,266
7	Biaya Lain-lain	Rp 6,619,230.18
Total		Rp 797,853,083
PPN 10%		Rp 79,785,308.25
Biaya Total		Rp 877,638,390.77

Sumber: Hasil Perhitungan (2018)

4.10.2 *Benefit* (Manfaat)

Komponen benefit dari studi ini didasarkan atas harga jual listrik yang dikeluarkan oleh Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral No. 12 Tahun 2014. Pada tahun 2014 untuk wilayah Jawa sebesar $1.075 \times 1.00 = 1.075$. Jika produksi energi pertahun yang dihasilkan PLTMH sebesar 78146.90 kWh, Maka dari data tersebut diperoleh *benefit* tahunan (untuk tahun pertama) sebesar.

$$\text{Benefit PLTMH} = \text{produksi energi tahunan} \times \text{harga jual listrik}$$

$$= 78146.90 \times \text{Rp. } 1.075$$

$$= \text{Rp. } 84.007.920,73$$

Tabel 4.20
Manfaat Tahunan PLTMH Desa Sanankerto

No	Tahun	Energi	Harga Jual Listrik	Manfaat Tahunan
		kWh	(Rp.)	(Rp.)
1	2018	78146.90	1,075	84007920.73
2	2019	78146.90	1,075	84007920.73
3	2020	78146.90	1,075	84007920.73
4	2021	78146.90	1,075	84007920.73
5	2022	78146.90	1,075	84007920.73
6	2023	78146.90	1,075	84007920.73
7	2024	78146.90	1,075	84007920.73
8	2025	78146.90	1,075	84007920.73
9	2026	78146.90	1,075	84007920.73
10	2027	78146.90	1,075	84007920.73
11	2028	78146.90	1,075	84007920.73
12	2029	78146.90	1,075	84007920.73
13	2030	78146.90	1,075	84007920.73
14	2031	78146.90	1,075	84007920.73
15	2032	78146.90	1,075	84007920.73
16	2033	78146.90	1,075	84007920.73
17	2034	78146.90	1,075	84007920.73
18	2035	78146.90	1,075	84007920.73
19	2036	78146.90	1,075	84007920.73
20	2037	78146.90	1,075	84007920.73
Total				Rp 1,680,158,415
Rerata				Rp 84,007,921

Sumber: Hasil Perhitungan (2018)

4.10.3 PV (*Present Value*/Nilai Sekarang)

Agar perhitungan analisa ekonomi lebih mudah dan mendekati kenyataan maka harus dihitung pada titik waktu yang sama. Dalam studi ini analisa biaya ataupun analisa manfaat dijadikan nilai sekarang (*present value*). Tahun dasar yang digunakan adalah tahun selesainya pengerjaan proyek, yaitu tahun 2018. Apabila suku bunga yang berlaku saat ini sebesar 11.18% (berdasarkan bank Indonesia Maret 2018) maka *present value* untuk biaya dan manfaat adalah sebagai berikut:

- Biaya Investasi = Rp. 1.206.516.576,68
- Pendanaan = 40% Modal awal dan 60% Pinjaman
- Biaya Modal = Rp. 351.055.356
- Biaya Pinjam = Rp. 526.583.034

- Biaya O&P (1% biaya total) = Rp. 8.776.383,91
- Periode Pinjaman = 5 tahun

a. Biaya modal

Apabila besar biaya modal Rp. 351.055.356 dan faktor konversi (F/P,11.18,1) adalah 1.1118 maka:

$$\begin{aligned} PV \text{ biaya modal} &= \text{Biaya modal} \times (F/P, 11.18, 1) \\ &= \text{Rp. } 351.055.356 \times 1.1118 \\ &= \text{Rp. } 390.303.345,14 \end{aligned}$$

b. Biaya O&P

Biaya O&P dikeluarkan setiap tahun atau disebut *Annuity* dengan periode 20 tahun dan bunga 11.18%. sehingga untuk mendapatkan *present valuenya* digunakan faktor konversi P/A.

Apabila besar biaya O&P 1% tiap tahun dari biaya modal yaitu sebesar Rp. 8.776.383,91 dan faktor konversi (P/A,11.18,20) adalah 7.89745, maka:

$$\begin{aligned} PV \text{ biaya O\&P} &= \text{biaya O\&P} \times (P/A, 11.18, 20) \\ &= \text{Rp. } 8.776.383,91 \times 7.89745 \\ &= \text{Rp. } 69.311.053,09 \end{aligned}$$

c. Cicilan hutang

Cicilan hutang untuk pendanaan PLTMH Sanankerto direncanakan 60% dari jumlah investasi Rp. 526.583.034 dengan lama pelunasan 5 tahun. Sehingga total biaya yang harus dilunasi:

$$\begin{aligned} PV \text{ biaya cicilan hutang} &= \text{Biaya Hutang} \times (F/P, 11.18, 5) \\ &= \text{Rp. } 526.583.034 \times 1.699 \\ &= \text{Rp. } 894.662.469,22 \end{aligned}$$

Dari hasil seluruh perhitungan pengeluaran maka berikut ini adalah rekapitulasi pengeluaran ditampilkan pada Tabel 2.12 berikut ini.

Tabel 4.21

PV Biaya Keseluruhan PLTMH Desa Sanankerto

Uraian	Biaya (Rupiah)	Faktor Konversi	Biaya Skrang (Rupiah)
Modal	Rp 351,055,356.31	1.1118	Rp 390,303,345.14
Cicilan	Rp 526,583,034	1.698996	Rp 894,662,469.22
O&P	Rp 8,776,383.91	7.89745	Rp 69,311,053.09
Total Biaya			Rp 1,354,276,867.45

Sumber: Hasil Perhitungan (2018)

Selain pengeluaran, ada pula manfaat dari PLTMH Sanankerto. Sebagai berikut contoh perhitungan pada tahun 2018.

$$\begin{aligned} \text{PV manfaat pada tahun ke 1} &= \text{Rp. } 84.007.921 \times (\text{P/F}, 11.18, 1) \\ &= \text{Rp. } 84.007.921 \times 0.8995 \\ &= \text{Rp. } 75.561.764,38 \end{aligned}$$

Untuk lebih jelasnya manfaat sampai tahun ke 20 lihat Tabel 4.13 sebagai berikut:

Tabel 4.22

PV Manfaat PLTMH Desa Sanankerto

No.	Tahun	Produksi Energi (kWH)	Harga Jual	Manfaat Tahunan (Rupiah)	Faktor Konversi	Nilai Faktor Konversi	<i>PV</i> Manfaat
1	2018	78146.90	1,075	Rp 84,007,921	(P/F,4.25,1)	0.8995	Rp 75,561,764.38
2	2019	78146.90	1,075	Rp 84,007,921	(P/F,4.25,2)	0.8090	Rp 67,963,079.93
3	2020	78146.90	1,075	Rp 84,007,921	(P/F,4.25,3)	0.7277	Rp 61,133,235.98
4	2021	78146.90	1,075	Rp 84,007,921	(P/F,4.25,4)	0.6545	Rp 54,985,200.31
5	2022	78146.90	1,075	Rp 84,007,921	(P/F,4.25,5)	0.5888	Rp 49,464,031.74
6	2023	78146.90	1,075	Rp 84,007,921	(P/F,4.25,6)	0.5296	Rp 44,487,234.50
7	2024	78146.90	1,075	Rp 84,007,921	(P/F,4.25,7)	0.4764	Rp 40,022,045.50
8	2025	78146.90	1,075	Rp 84,007,921	(P/F,4.25,8)	0.4285	Rp 35,997,394.03
9	2026	78146.90	1,075	Rp 84,007,921	(P/F,4.25,9)	0.3854	Rp 32,380,517.01
10	2027	78146.90	1,075	Rp 84,007,921	(P/F,4.25,10)	0.3468	Rp 29,130,922.62
11	2028	78146.90	1,075	Rp 84,007,921	(P/F,4.25,11)	0.3119	Rp 26,205,094.76
12	2029	78146.90	1,075	Rp 84,007,921	(P/F,4.25,12)	0.2806	Rp 23,569,430.26
13	2030	78146.90	1,075	Rp 84,007,921	(P/F,4.25,13)	0.2524	Rp 21,204,103.24
14	2031	78146.90	1,075	Rp 84,007,921	(P/F,4.25,14)	0.2271	Rp 19,075,510.54
15	2032	78146.90	1,075	Rp 84,007,921	(P/F,4.25,15)	0.2043	Rp 17,159,961.94
16	2033	78146.90	1,075	Rp 84,007,921	(P/F,4.25,16)	0.1838	Rp 15,437,631.54
17	2034	78146.90	1,075	Rp 84,007,921	(P/F,4.25,17)	0.1653	Rp 13,884,829.14
18	2035	78146.90	1,075	Rp 84,007,921	(P/F,4.25,18)	0.1487	Rp 12,491,641.78
19	2036	78146.90	1,075	Rp 84,007,921	(P/F,4.25,19)	0.1338	Rp 11,241,267.89
20	2037	78146.90	1,075	Rp 84,007,921	(P/F,4.25,20)	0.1203	Rp 10,110,017.23
Total		1562938.06		Rp 1,680,158,415			Rp 661,504,914.31
Rerata				Rp 84,007,921			Rp 33,075,245.72

Sumber: Hasil Perhitungan (2018)

4.10.4 Indikator Kelayakan Ekonomi

4.10.4.1 BCR (*Benefit Cost Ratio*)

Benefit Cost Ratio (BCR) adalah perbandingan antara nilai sekarang (*present value*) dari manfaat (*benefit*) dengan nilai sekarang (*present value*) dari biaya (*cost*).

Besarnya *benefit-cost ratio* berdasarkan nilai biaya dan manfaat di atas adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} B/C &= \frac{PV_{\text{manfaat}}}{PV_{\text{biayamodal}}} \\ B/C &= \frac{Rp. 661.504.914,31}{Rp. 1.354.276.867,45} \\ &= 0.49 \end{aligned}$$

4.10.4.2 NPV (*Net Present Value*)

Besarnya *Net Present Value* berdasarkan nilai biaya dan manfaat di atas adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} NPV &= PV \text{ manfaat} - PV \text{ biaya modal} \\ &= Rp. 661.504.914,31 - Rp. 1.354.276.867,45 \\ &= -Rp. 692.771.953,14 \end{aligned}$$

4.10.4.3 IRR (*Internal Rate of Return*)

Untuk mendapatkan nilai *internal rate of return* maka dihitung nilai sekarang untuk biaya dan manfaat menggunakan beberapa suku bunga, sehingga factor pengalinya akan berbeda. Dengan cara yang sama, akan dihitung nilai sekarang dari manfaat dan biaya dengan suku bunga 11.18%, 12%, 13%, 14%, dan 16%. Akan ditampilkan pada tabel berikut:

Tabel 4.23
Nilai IRR Pembangunan PLTMH

Tingkat Suku Bunga	11.18%	12%	13%	14%	15%
Manfaat PLTMH per tahun (tahun pertama) (Rp)	Rp 84,007,920.73	Rp 84,007,920.73	Rp 84,007,920.73	Rp 84,007,920.73	Rp 84,007,920.73
P/F(i,1)	0.8995	0.8929	0.885	0.8772	0.8696
PV manfaat	Rp 75,561,764.38	Rp 75,010,672.42	Rp 74,347,009.84	Rp 73,691,748.06	Rp 73,053,287.86
Manfaat PLTMH per tahun (tahun kedua) (Rp)	Rp 84,007,920.73	Rp 84,007,920.73	Rp 84,007,920.73	Rp 84,007,920.73	Rp 84,007,920.73
P/F(i,2)	0.8090	0.7972	0.7831	0.7695	0.7561
PV manfaat	Rp 67,963,079.93	Rp 66,971,114.40	Rp 65,786,602.72	Rp 64,644,095.00	Rp 63,518,388.86
Manfaat PLTMH per tahun (tahun ketiga) (Rp)	Rp 84,007,920.73	Rp 84,007,920.73	Rp 84,007,920.73	Rp 84,007,920.73	Rp 84,007,920.73
P/F(i,3)	0.7277	0.7118	0.6931	0.675	0.6575
PV manfaat	Rp 61,133,235.98	Rp 59,796,837.97	Rp 58,225,889.86	Rp 56,705,346.49	Rp 55,235,207.88

Sumber: Hasil Perhitungan (2018)

Lanjutan Pada Tabel 4.23
 Nilai IRR Pembangunan PLTMH

Tingkat Suku Bunga	11.18%	12%	13%	14%	15%
Manfaat PLTMH per tahun (tahun keempat) (Rp)	Rp 84,007,920.73	Rp 84,007,920.73	Rp 84,007,920.73	Rp 84,007,920.73	Rp 84,007,920.73
P/F(i,4)	0.6545	0.6355	0.6133	0.5921	0.5718
PV manfaat	Rp 54,985,200.31	Rp 53,387,033.62	Rp 51,522,057.78	Rp 49,741,089.86	Rp 48,035,729.07
Manfaat PLTMH per tahun (tahun kelima) (Rp)	Rp 84,007,920.73	Rp 84,007,920.73	Rp 84,007,920.73	Rp 84,007,920.73	Rp 84,007,920.73
P/F(i,5)	0.5888	0.5674	0.5428	0.5194	0.4972
PV manfaat	Rp 49,464,031.74	Rp 47,666,094.22	Rp 45,599,499.37	Rp 43,633,714.03	Rp 41,768,738.19
Manfaat PLTMH per tahun (tahun keenam) (Rp)	Rp 84,007,920.73	Rp 84,007,920.73	Rp 84,007,920.73	Rp 84,007,920.73	Rp 84,007,920.73
P/F(i,6)	0.5296	0.5066	0.4803	0.4556	0.4323
PV manfaat	Rp 44,487,234.50	Rp 42,558,412.64	Rp 40,349,004.33	Rp 38,274,008.68	Rp 36,316,624.13
Manfaat PLTMH per tahun (tahun ketujuh) (Rp)	Rp 84,007,920.73	Rp 84,007,920.73	Rp 84,007,920.73	Rp 84,007,920.73	Rp 84,007,920.73
P/F(i,7)	0.4764	0.4523	0.4251	0.3996	0.3759
PV manfaat	Rp 40,022,045.50	Rp 37,996,782.54	Rp 35,711,767.10	Rp 33,569,565.12	Rp 31,578,577.40
Manfaat PLTMH per tahun (tahun kedelapan) (Rp)	Rp 84,007,920.73	Rp 84,007,920.73	Rp 84,007,920.73	Rp 84,007,920.73	Rp 84,007,920.73
P/F(i,8)	0.4285	0.4039	0.3762	0.3506	0.3269
PV manfaat	Rp 35,997,394.03	Rp 33,930,799.18	Rp 31,603,779.78	Rp 29,453,177.01	Rp 27,462,189.29
Manfaat PLTMH per tahun (tahun kesembilan) (Rp)	Rp 84,007,920.73	Rp 84,007,920.73	Rp 84,007,920.73	Rp 84,007,920.73	Rp 84,007,920.73
P/F(i,9)	0.3854	0.3606	0.3329	0.3075	0.2843
PV manfaat	Rp 32,380,517.01	Rp 30,293,256.21	Rp 27,966,236.81	Rp 25,832,435.62	Rp 23,883,451.86
Manfaat PLTMH per tahun (tahun kesepuluh) (Rp)	Rp 84,007,920.73	Rp 84,007,920.73	Rp 84,007,920.73	Rp 84,007,920.73	Rp 84,007,920.73
P/F(i,10)	0.3468	0.322	0.2946	0.2697	0.2472
PV manfaat	Rp 29,130,922.62	Rp 27,050,550.47	Rp 24,748,733.45	Rp 22,656,936.22	Rp 20,766,758.00
Manfaat PLTMH per tahun (tahun kesebelas) (Rp)	Rp 84,007,920.73	Rp 84,007,920.73	Rp 84,007,920.73	Rp 84,007,920.73	Rp 84,007,920.73
P/F(i,11)	0.3119	0.2875	0.2607	0.2366	0.2149
PV manfaat	Rp 26,205,094.76	Rp 24,152,277.21	Rp 21,900,864.93	Rp 19,876,274.04	Rp 18,053,302.16
Manfaat PLTMH per tahun (tahun kedua belas) (Rp)	Rp 84,007,920.73	Rp 84,007,920.73	Rp 84,007,920.73	Rp 84,007,920.73	Rp 84,007,920.73
P/F(i,12)	0.2806	0.2567	0.2307	0.2076	0.1869
PV manfaat	Rp 23,569,430.26	Rp 21,564,833.25	Rp 19,380,627.31	Rp 17,440,044.34	Rp 15,701,080.38

Sumber: Hasil Perhitungan (2018)

Lanjutan Pada Tabel 4.23
 Nilai IRR Pembangunan PLTMH

Tingkat Suku Bunga	11.18%	12%	13%	14%	15%
Manfaat PLTMH per tahun (tahun ketigabelas) (Rp)	Rp 84,007,920.73	Rp 84,007,920.73	Rp 84,007,920.73	Rp 84,007,920.73	Rp 84,007,920.73
P/F(i,13)	0.2524	0.2292	0.2042	0.1821	0.1625
PV manfaat	Rp 21,204,103.24	Rp 19,254,615.43	Rp 17,154,417.41	Rp 15,297,842.36	Rp 13,651,287.12
Manfaat PLTMH per tahun (tahun keempatbelas) (Rp)	Rp 84,007,920.73	Rp 84,007,920.73	Rp 84,007,920.73	Rp 84,007,920.73	Rp 84,007,920.73
P/F(i,14)	0.2271	0.2046	0.1807	0.1597	0.1413
PV manfaat	Rp 19,075,510.54	Rp 17,188,020.58	Rp 15,180,231.28	Rp 13,416,064.94	Rp 11,870,319.20
Manfaat PLTMH per tahun (tahun kelimabelas) (Rp)	Rp 84,007,920.73	Rp 84,007,920.73	Rp 84,007,920.73	Rp 84,007,920.73	Rp 84,007,920.73
P/F(i,15)	0.2043	0.1827	0.1599	0.1401	0.1229
PV manfaat	Rp 17,159,961.94	Rp 15,348,247.12	Rp 13,432,866.52	Rp 11,769,509.69	Rp 10,324,573.46
Manfaat PLTMH per tahun (tahun keenambelas) (Rp)	Rp 84,007,920.73	Rp 84,007,920.73	Rp 84,007,920.73	Rp 84,007,920.73	Rp 84,007,920.73
P/F(i,16)	0.0418	0.1631	0.1415	0.1229	0.1069
PV manfaat	Rp 3,515,395.45	Rp 13,701,691.87	Rp 11,887,120.78	Rp 10,324,573.46	Rp 8,980,446.73
Manfaat PLTMH per tahun (tahun ketujuhbelas) (Rp)	Rp 84,007,920.73	Rp 84,007,920.73	Rp 84,007,920.73	Rp 84,007,920.73	Rp 84,007,920.73
P/F(i,17)	0.0246	0.1456	0.1252	0.1078	0.0929
PV manfaat	Rp 2,069,955.17	Rp 12,231,553.26	Rp 10,517,791.68	Rp 9,056,053.85	Rp 7,804,335.84
Manfaat PLTMH per tahun (tahun kedelapanbelas) (Rp)	Rp 84,007,920.73	Rp 84,007,920.73	Rp 84,007,920.73	Rp 84,007,920.73	Rp 84,007,920.73
P/F(i,18)	0.0222	0.13	0.1108	0.0946	0.0808
PV manfaat	Rp 1,867,496.08	Rp 10,921,029.69	Rp 9,308,077.62	Rp 7,947,149.30	Rp 6,787,839.99
Manfaat PLTMH per tahun (tahun kesembilanbelas) (Rp)	Rp 84,007,920.73	Rp 84,007,920.73	Rp 84,007,920.73	Rp 84,007,920.73	Rp 84,007,920.73
P/F(i,19)	0.0146	0.1161	0.0981	0.0829	0.0703
PV manfaat	Rp 1,222,651.28	Rp 9,753,319.60	Rp 8,241,177.02	Rp 6,964,256.63	Rp 5,905,756.83
Manfaat PLTMH per tahun (tahun kedelapanbelas) (Rp)	Rp 84,007,920.73	Rp 84,007,920.73	Rp 84,007,920.73	Rp 84,007,920.73	Rp 84,007,920.73
P/F(i,20)	0.0051	0.1037	0.0868	0.0728	0.0611
PV manfaat	Rp 424,912.06	Rp 8,711,621.38	Rp 7,291,887.52	Rp 6,115,776.63	Rp 5,132,883.96

Sumber: Hasil Perhitungan (2018)

Tabel 4.24
Nilai Biaya Untuk Beberapa Suku Bunga

Tingkat Suku Bunga	11.18%	12%	13%	14%	15%
Modal PLTMH (Rp)	Rp 351,055,356.31	Rp 351,055,356.31	Rp 351,055,356.31	Rp 351,055,356.31	Rp 351,055,356.31
F/P(i,1)	1.1118	1.06	1.07	1.08	1.09
PV manfaat	Rp 390,303,345.14	Rp 372,118,677.69	Rp 375,629,231.25	Rp 379,139,784.81	Rp 382,650,338.37
Cicilan	Rp 526,583,034	Rp 526,583,034	Rp 526,583,034	Rp 526,583,034	Rp 526,583,034
F/P(i,5)	1.698996	1.7623	1.8424	1.9254	2.0114
PV manfaat	Rp 894,662,469.22	Rp 927,997,281.63	Rp 970,176,582.69	Rp1,013,882,974.55	Rp1,059,169,115.51
Investasi O & P	Rp 8,776,383.91	Rp 8,776,383.91	Rp 8,776,383.91	Rp 8,776,383.91	Rp 8,776,383.91
F/P(i,1)	7.89745	7.469	7.161	6.71	6.259
PV manfaat	Rp 69,311,053.09	Rp 65,550,811.41	Rp 62,847,685.16	Rp 58,889,536.02	Rp 54,931,386.88
Total Biaya	Rp1,354,276,867.45	Rp 1,365,666,770.72	Rp1,408,653,499.10	Rp1,451,912,295.38	Rp1,496,750,840.77
Total Manfaat	Rp 661,504,914	Rp 627,488,763.08	Rp 590,155,643.11	Rp 556,409,661.35	Rp 525,830,778.21
Benefit Cost Ratio	Rp 0.49	Rp 0.46	Rp 0.42	Rp 0.38	Rp 0.35
Net Present Value	-Rp 692,771,953.14	-Rp 738,178,007.64	-Rp 818,497,855.99	-Rp 895,502,634.03	-Rp 970,920,062.56

Sumber: Hasil Perhitungan (2018)

Untuk mendapatkan nilai IRR (*Internal rate of return*) maka diinterpolasikan suku bunga yang memiliki nilai BCR dengan kisaran 1. Pada tabel dapat terlihat suku bunga 12% dan 13% dapat diinterpolasikan. Oleh karena itu nilai IRR adalah:

$$\begin{aligned}
 \text{IRR} &= \frac{NPV - NPV_{6\%}}{NPV_{5\%} - NPV_{6\%}} \times (5\% - 6\%) + 5\% \\
 &= \frac{0 - (-Rp. 818.497.855,99)}{(-Rp. 738.178.007,64 - (-Rp. 818.497.855,99))} \times (12\% - 13\%) + 12\% \\
 &= -0.0519\%
 \end{aligned}$$

Sehingga nilai *rate of return* PLTMH Sanankerto yaitu pada suku bunga -0.0519%

4.10.4.4 Payback Periode

Payback Periode merupakan jang waktu periode yang diperlukan untuk membayar kembali semua biaya-biaya yang telah dikeluarkan dalam investasi suatu proyek.

Apabila biaya modal PLTMH Rp. 1.354.276.867,45 dan manfaat rerata tahunan Rp. 33.075.245,72, maka dengan menggunakan persamaan sebagai berikut diperoleh nilai *Payback Periode* sebagai berikut.

$$\text{Payback Periode} = \frac{I}{A_b}$$

$$= \frac{Rp. 1.354.276.867,45}{Rp. 33.075.245,72}$$
$$= 40.95 \text{ Tahun}$$

Dari perhitungan di atas dapat diketahui, biaya modal dapat terbayar seluruh pada tahun ke-41.



BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

1. Saluran irigasi danau andeman mempunyai lebar 1.5 meter, tinggi 1 meter, bahan saluran batu pasang, kecepatan rata – rata saluran 0.39 m/det dengan debit yang dilakukan pengukuran selama 7 hari secara berturut dan diukur setiap jam dari jam 07.00 – 16.00 WIB yaitu sebesar 0,37 m³/det. Debit andalan yang digunakan untuk PLTMH yaitu sebesar 0,30 m³/det yang diatur pada pintu saluran yang dipakai pada turbin 1 dan turbin 2 dengan lebar saluran 1 meter dan tinggi air 0,5 meter, pada turbin 3 memakai debit 0,37 m³/det dengan lebar saluran 1.5 meter dan tinggi air 0,4 meter.
2. Dari hasil analisa, kehilangan tinggi tekan aliran pada setiap turbin mempunyai nilai yang berbeda – beda. Berikut ini merupakan nilai kehilangan tinggi tekan aliran:

Turbin 1:

- Kehilangan pada bangunan pengambil = 0.003 m
- Kehilangan tinggi tekan akibat pintu *intake* = 0.48 m
- kehilangan tinggi akibat belokan = 0.007 m
- Kehilangan tinggi tekan akibat saringan (*trashrack*) = 0.04314 m
- kehilangan tinggi tekan total = 0.535 m

Turbin 2:

- Kehilangan pada bangunan pengambil = 0.003 m
- Kehilangan tinggi tekan akibat pintu *intake* = 0.48 m
- kehilangan tinggi akibat belokan = 0.002 m
- Kehilangan tinggi tekan akibat saringan (*trashrack*) = 0.04314 m
- kehilangan tinggi tekan total = 0.530 m

Turbin 3:

- Kehilangan tinggi tekan akibat saringan (*trashrack*) = 0.04314 m
- kehilangan tinggi tekan total = 0.04314 m

Dari hasil analisa kehilangan tinggi tekan aliran diperoleh tinggi jatuh efektif yang terjadi pada setiap turbin. Bisa dilihat pada berikut:

- Turbin 1 = 1.415 m

- Turbin 2 = 0.470 m
- Turbin 3 = 1.854 m

3. Turbin yang digunakan pada ketiga perencanaan turbin adalah turbin whirlpool, pada turbin whirlpool ini terdapat bangunan penunjang yaitu bangunan saluran pembawa, pintu pengatur air, *trashrack*, bak aliran vortex, dan tail race.
4. Potensi daya yang dihasilkan pada PLTMH desa sanankerto keseluruhan sebesar 10.054 kW, dengan detail sebagai berikut:

Turbin 1:

- Daya teoritis (desain) = 4.164 kW
- Daya turbin = 3.748 kW
- Daya generator = 3.410 kW
- Produksi Energi Tahunan = 29875.29 kWh

Turbin 2:

- Daya teoritis (desain) = 1.383 kW
- Daya turbin = 1.245 kW
- Daya generator = 1.133 kW
- Produksi Energi Tahunan = 9925.57 kWh

Turbin 3:

- Daya teoritis (desain) = 6.728 kW
- Daya turbin = 6.055 kW
- Daya generator = 5.510 kW
- Produksi Energi Tahunan = 48271.61 kWh

Jadi Produksi Energi yang dihasilkan dalam 1 tahun di PLTMH Desa Sanankerto sebesar 88072.47 kWh.

5. Berdasarkan analisa ekonomi di PLTMH Desa Sanankerto tidak layak di bangun baik alternatif 1 atau alternatif 2 dari segi ekonomi, berikut nilai dari masing – masing metode analisis kelayakan ekonomi:

Alternatif 1:

- Berdasarkan nilai Benefit Cost Ratio adalah 0.40, $BCR > 1$ maka tidak layak ekonomi
- Besar nilai Net Present Value adalah - Rp. 1.116.242.437,28, $NPV > 0$ maka tidak layak ekonomi

- Besar nilai Internal Rate of Return adalah -0.0757% sedangkan suku bunga yang digunakan adalah 11.18% , $IRR (-0.0754\%) > MARR (11.18\%)$ maka tidak layak ekonomi.
- Waktu payback period adalah 50 tahun..

Alternatif 2:

- Berdasarkan nilai Benefit Cost Ratio adalah 0.49 , $BCR > 1$ maka tidak layak ekonomi
- Besar nilai Net Present Value adalah $-Rp. 692.771.953,14$, $NPV > 0$ maka tidak layak ekonomi
- Besar nilai Internal Rate of Return adalah -0.0519% sedangkan suku bunga yang digunakan adalah 11.18% , $IRR (-0.0519\%) > MARR (11.18\%)$ maka tidak layak ekonomi.
- Waktu payback period adalah 41 tahun..

4.2 Saran

Agar perencanaan PLTM atau PLTMH berikutnya lebih optimal, penulis memberikan saran sebagai berikut:

- Ikuti terus perkembangan teknologi untuk PLTM atau PLTMH agar konsep perencanaan mengikuti teknologi yang terus berkembang dari waktu ke waktu. Tujuannya agar konsep perencanaan dari PLTM atau PLTMH mempunyai konsep yang baru agar menambah refrensi.
- Untuk memilih lokasi PLTM harus survei langsung ke lapangan agar tau kondisi lapangan sekaligus untuk memilih lokasi bangunan PLTM.



Halaman ini sengaja di kosongkan



DAFTAR PUSTAKA

- Arismunandar, A. & Kuswahara, S. 1988. *Buku Pegangan Teknik Tenaga Listrik*. Jakarta: Pradya Pramita.
- Dandekar, M.M. & Sharma, K.N. 1979. *Pembangkit Listrik Tenaga Air*. Terjemah D. Bambang Setyadi. Jakarta: Universitas Indonesia.
- Direktorat Jendral Listrik dan Pemanfaatan Energi. 2008. *Pedoman Teknis Standardisasi Peralatan dan Komponen Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH)*. Jakarta: Direktorat Jenderal Listrik dan Pemanfaatan Energi Departemen Energi dan Sumber Daya Air.
- 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 Saluran KP-03*. Jakarta.
- Direktur Jendral Sumber Daya Air. 2013. *Standar Perencanaan Irigasi Kriteria Perencanaan Bagian Bangunan KP-04*. Jakarta.
- European Small Hydropower Association. 1998. *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.
- JICA. 2009. *Manual Pembangunan PLTMH*. IBEKA.
- Kementerian ESDM. 2014. *Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral No. 12 Tahun 2004*.
- Kodoatie, Robert, J. 1995. *Analisa Ekonomi Teknik*. Yogyakarta: Andi Yogyakarta.
- Liu, Henry. 2003. *Pipeline Engineering*. London: CRC Press LLC.
- Patty, O. F. 1995. *Tenaga Air*. Jakarta: Erlangga.
- Pujawan, I Nyoman. 1995. *Ekonomi Teknik*. Yogyakarta: Liberty.
- Raju, K. G. Ranga. 1988. *Aliran Melalui Saluran Terbuka*. Jakarta: Erlangga.
- Ramos, Helena. 2000. *Guidelines for Design of Small Microhydro Plants*. Ireland: CEHIDRO.
- RETSscreen. 2005. *RETSscreen Engineering & Cases Textbook*. Kanada: RETSscreen Internasional.

Turbulent. 2018. *Micro Hydro Power Plant*. <https://www.turbulent.be/>. (diakses 27 April 2018).

