EVALUASI KINERJA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKRO HIDRO BANTAL PADA PABRIK GULA ASSEMBAGOES KABUPATEN SITUBONDO

SKRIPSI

KONSENTRASI TEKNIK ENERGI ELEKTRIK

Diajukan Untuk Memenuhi Persyaratan

Memperoleh Gelar Sarjana Teknik

Disusun oleh:

FEBRIANANDA MULYA PRATAMA

NIM. 0810633048 - 63

KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

FAKULTAS TEKNIK

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO

MALANG

2014

repository.ub.ac.id

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

LEMBAR PERSETUJUAN

EVALUASI KINERJA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKRO HIDRO BANTAL PADA PABRIK GULA ASSEMBAGOES KABUPATEN SITUBONDO

SKRIPSI

KONSENTRASI TEKNIK ENERGI ELEKTRIK

Diajukan untuk memenuhi persyaratan

memperoleh gelar Sarjana Teknik

Disusun oleh:

FEBRIANANDA MULYA PRATAMA

NIM. 0910633048 - 63

Telah diperiksa dan disetujui oleh :

Dosen Pembimbing I	Dosen Pembimbing II
Ir. Hari Santoso, MS.	**Ir. Teguh Utomo, MT.**
NIP. 19531205 198503 1 001	**NIP. 19650913 199103 1 003**

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

LEMBAR PENGESAHAN

EVALUASI KINERJA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKRO HIDRO BANTAL PADA PABRIK GULA ASSEMBAGOES KABUPATEN SITUBONDO

SKRIPSI

KONSENTRASI TEKNIK ENERGI ELEKTRIK

Diajukan Untuk Memenuhi Persyaratan

Memperoleh Gelar Sarjana Teknik

Disusun oleh:

FEBRIANANDA MULYA PRATAMA

NIM. 0910633048 - 63

Majelis Penguji:

Ir. Unggul Wibawa, M.Sc	**Dr. Ir. Harry S. Dachlan., M.S**
NIP. 19630106 198802 1 001	**NIP. 19490309 198602 1 001**

Hadi Suyono, S.T., M.T., Ph.D
NIP. 19730520 200801 1 013

Mengetahui

Ketua Jurusan Teknik Elektro

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

KATA PENGANTAR

Puji Syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT karena hanya dengan berkat rahmat, barokah dan hidayah-Nya penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan baik yang berjudul **" Evaluasi Kinerja Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro Bantal Pada Pabrik Gula Assembagoes Kabupaten Situbondo**". Skripsi tersebut disusun dalam rangka untuk memenuhi persyaratan memperoleh gelar Sarjana Teknik, di Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.

Penulisan skripsi ini tidak dapat terselesaikan dengan baik dan lancar tanpa dukungan dan bantuan dari berbagai pihak baik secara langsung maupun tidak langsung. Secara khusus penulis ingin mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya kepada Ibunda Tercinta Sudarti dan Ayahanda Mulyadi yang dengan penuh kasih sayang dan kesabaran telah mengasuh, membesarkan, mendidik, memberikan pelajaran hidup yang tak ternilai harganya.

Selain itu, tak lupa penulis mengucapkan terima kasih kepada berbagai pihak yang telah membantu dan mendukung dalam penyelesaian skripsi ini. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak M. Aziz Muslim, S.T., M.T, Ph.D. selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro.
2. Bapak Hadi Suyono, S.T., M.T., Ph.D. selaku Sekretaris Jurusan Teknik Elektro.
3. Bapak Mochammad Rif'an S.T., M.T. selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro.
4. Ibu Dr. Rini Nur Hasanah, ST., M.Sc selaku KKDK konsentrasi Teknik energi elektrik Teknik Elektro.
5. Bapak Ir. Hari Santoso, M.S dan Bapak Ir. Teguh Utomo, M.T selaku dosen pembimbing skripsi yang selalu membimbing dengan penuh kesabaran dan memberi pengarahan penulis dalam penelitian ini.
6. PG. Assembagoes yang menjadi lokasi penelitian skripsi, terutama Bapak Agus Widodo, Bapak Ali Yasin dan operator PLTMH Bantal yang telah

banyak membantu dan memberi ijin dalam pengambilan data dan survey lapangan di lokasi pembangkit.

7. Teman seperjuangan skripsi khususnya Joseph Kristian Triyoga, Asfari Hariz S, Priya Surya H, Ikhsan, Temmy, Chenny dan Budi yang saling bantu membantu dalam penyelesaian skripsi ini.
8. Edita Rosana Widasari, S.T yang selalu memberi perhatian, semangat, doa, dukungan dan dengan setia mendampingi.
9. Rekan-rekan mahasiswa Teknik Elektro angkatan Ampere 2009, khususnya rekan-rekan mahasiswa konsentrasi (A) Teknik Energi Elektrik.
10. Rekan-rekan di Laboratorium Tegangan Tinggi, Ayu, Desinta, Fadly, Galuh, Agung, Amel, Mega, Ajiz, Iqbal dan Riza telah menjadi rekan kerja yang baik di laboratorium.
11. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu sehingga skripsi ini dapat diselesaikan dengan baik.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini belum sempurna, karena keterbatasan ilmu dan kendala-kendala lain yang terjadi selama pengerjaan skripsi ini. Oleh karena itu saran dan kritik mengenai penelitian ini diharapkan oleh penulis agar penelitian ini dapat menjadi karya tulis yang lebih baik dan berguna. Semoga tulisan ini dapat bermanfaat dan dapat digunakan untuk pengembangan lebih lanjut.

Malang, 03 Februari 2014

Penulis

DAFTAR ISI

Halaman

KATA PENGANTAR i
DAFTAR ISI iii
DAFTAR TABEL vi
DAFTAR GAMBAR vii
DAFTAR LAMPIRAN ix
ABSTRAK x
BAB I PENDAHULUAN 1
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Rumusan Masalah 2
1.3 Batasan Masalah 3
1.4 Tujuan 3
1.5 Sistematika Penulisan 3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA 5
2.1 Sumber Energi 5
2.2 Tenaga Air 5
2.3 Klasifikasi Pembangkit Listrik Tenaga Air 6
2.4 Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) 7
2.5 Daya PLTMH 8
2.6 Debit Air 9
2.7 Tinggi Jatuh Air 15
2.8 Saluran Penyadap (*intake*) 18
2.9 Bak Pengendap (*Settling Basin*) 19
2.10 Saringan (*Trashrack*) 19
2.11 Bak Penenang (*Forebay*) 20
2.12 Pipa Pesat (*Penstock*) 22
2.12.1 Kehilangan Tinggi Akibat Gesekan Pipa 23
2.12.2 Kehilangan Minor pada Jaringan Pipa 25
2.12.2.1 Kehilangan Tinggi Akibat Penyempitan Mendadak 25
2.12.2.2 Kehilangan Tinggi Akibat Belokan 26
2.12.2.3 Kehilangan Tinggi Akibat Katup dan Sambungan 26
2.12.2.4 Kehilangan Tinggi Pada Pelebaran 27

2.12.2.5 Kehilangan Tinggi Pada Saringan 28
2.13 Saluran Pembuangan (*tailrace*) 29
2.14 Turbin Air 29
2.14.1 Jenis-jenis turbin air 30
2.14.2 Turbin Crossflow 31
2.15 Peralatan Mekanik 33
2.16 Transmisi Mekanik 34
2.16.1 Kopling 34
2.16.2 Puli (*Pulley*) 35
2.16.3 Sabuk (*belt*) 36
2.16.4 Gearbox 39
2.17 Generator 40
2.17.2 Konversi Energi Elektromekanik 41
2.17.3 Hubungan Generator AC Tiga Fasa 41
2.17.4 Efesiensi Generator 43
BAB III METODE PENELITIAN 44
3.1 Studi Literatur 44
3.2 Pengambilan Data 44
3.3 Analisis Data dan Pembahasan 46
3.4 Kesimpulan 47
BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN 49
4.1 Kondisi Komponen Bangunan Sipil Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro Bantal 49
4.1.1 Saluran Penyadap (*Intake*) 49
4.1.2 Saluran Pembawa (*headrace*) 50
4.1.3 Saluran Pengendap (*settling basin*) 51
4.1.4 Saringan (*trashrack*) 52
4.1.5 Kolam Penenang (*forebay*) 52
4.1.6 Pipa Pesat (*penstock*) 53
4.1.7 Saluran Pembuangan (*tailrace*) 54
4.2 Komponen Mekanikal Elektrikal Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro Bantal 55
4.2.1 Turbin 55
4.2.2 Transmisi Mekanik 55
4.2.3 Peralatan Mekanik 56
4.2.4 Regulator 56

4.2.5 Generator 57
4.3 Potensi Energi Aliran Air Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) Bantal 57
4.4 Pengujian Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro 69
4.5 Kehilangan Energi (*losses*) Pada Peralatan Mekanikal Elektrikal 72
4.6 Pembahasan 73
BAB V PENUTUP 75
5.1 Kesimpulan 75
5.2 Saran 75
DAFTAR PUSTAKA 78
LAMPIRAN 80

DAFTAR TABEL

No	Judul	Halaman
Tabel 2.1	Nilai-Nilai Koefisien CH Hazen-Williams	24
Tabel 2.2	Nilai-Nilai $KL1$ Akibat Penyempitan Mendadak	25
Tabel 2.3	Nilai-Nilai $KL2$ Akibat Belokan	26
Tabel 2.4	Nilai-Nilai $KL3$ Akibat Katup dan Sambungan	27
Tabel 2.5	Nilai-Nilai $KL4$ Akibat Pelebaran Pipa	27
Tabel 2.6	Besarnya φ Menurut Profilnya	28
Tabel 2.7	Klasifikasi Turbin Berdasarkan Tinggi Tekan	31
Tabel 2.8	Efisiensi Kincir dan Turbin	32
Tabel 4.1	Hasil Pembacaan Kecepatan Air Dengan Menggunakan Current Meter Pada Saluran KP 2	58
Tabel 4.2	Debit Air Pada Setiap Segment Saluran KP 2	59
Tabel 4.3	Hasil Pembacaan Kecepatan Air Dengan Menggunakan Current Meter Pada Saluran Bantal	60
Tabel 4.4	Debit Air Pada Setiap Segment Saluran Bantal	61
Tabel 4.5	Hasil Pembacaan Kecepatan Air Dengan Menggunakan Current Meter Pada Saluran KP 3	61
Tabel 4.6	Debit Air Pada Setiap Segment Saluran KP 3	62
Tabel 4.7	Hasil Pembacaan Kecepatan Air Dengan Menggunakan Current Meter Pada Saluran KP 3 Ketika PLTMH Beroperasi	63
Tabel 4.8	Debit air Pada Saluran KP 3 Ketika PLTMH Beroperasi	64
Tabel 4.9	Hasil Pengukuran Tegangan Pada Generator	70
Tabel 4.10	Tegangan Fasa Pada Generator	70
Tabel 4.11	Hasil Pengukuran Arus Pada Generator	71

DAFTAR GAMBAR

No	Judul	Halaman
Gambar 2.1	Sistem Konversi Energi Air	7
Gambar 2.2	Pengukuran Luas Penampang Melintang Sungai	11
Gambar 2.3	Titik Pengukuran Kecepatan Air dengan Current Meter	15
Gambar 2.4	Metode Pengukuran Water-Filled Tube 1	17
Gambar 2.5	Metode Pengukuran Water-Filled Tube 2	17
Gambar 2.6	Metode Pengukuran Water-Filled Tube 3	18
Gambar 2.7	Bak Penenang (Forebay) Tampak Samping	22
Gambar 2.8	Bak Penenang (Forebay) Tampak Atas	22
Gambar 2.9	Pipa Pesat	23
Gambar 2.10	Penampang Saringan Air dan Profilnya	28
Gambar 2.11	Kriteria Pemilihan Jenis Turbin	30
Gambar 2.12	Model Rangkaian Turbin Crossflow	32
Gambar 2.13	Jenis-Jenis Bantalan	34
Gambar 2.14	Macam-Macam Kopling Tetap	35
Gambar 2.15	Sistem Transmisi Puli dan Sabuk	36
Gambar 2.16	Macam-Macam Sabuk Transmisi Daya	37
Gambar 2.17	Macam-Macam Roda Gigi	39
Gambar 2.18	Bagian-Bagian Generator Sinkron	40
Gambar 2.19	Bagan Proses Konversi Energi	41
Gambar 2.20	Skema dan Fasor Diagram Hubungan Bintang	41
Gambar 2.21	Skema dan Fasor Diagram Hubungan Segitiga	42
Gambar 3.1	Diagram Alir Metode Penelitian	48
Gambar 4.1	Pintu Air Pada Intake	50
Gambar 4.2	Saluran Pembawa Pada PLTMH Bantal	51
Gambar 4.3	Tumpukan Sedimen Pada Guide Van Turbin	52
Gambar 4.4	Turbin Pada Kolam Penenang	53
Gambar 4.5	Korosi Pada Dinding Pipa Pesat	54
Gambar 4.6	Kondisi Saluran Pembuangan Pada PLTMH Bantal	55
Gambar 4.7	Denah Saluran Irigasi Parseh	58
Gambar 4.8	Penampang Saluran KP 2	59

Gambar 4.9 Penampang Saluran Bantal 61
Gambar 4.10 Penampang Saluran KP 3 62
Gambar 4.11 Elektroda Yang Digunakan Dalam Pengujian 69

DAFTAR LAMPIRAN

No	Judul	Halaman
LAMPIRAN 1	HASIL PENGUKURAN KETINGGIAN JATUH AIR (HEAD) DENGAN MENGGUNAKAN METODE WATER FILLED-TUBE	81
LAMPIRAN 2	TABEL PERKIRAAN DAYA DAN DIMENSI TURBIN PLTM	82
LAMPIRAN 3	LAPORAN PEMBUKUAN PLTMH BANTAL	98
LAMPIRAN 4	FOTO – FOTO PENELITIAN	103

repository.ub.ac.id

ABSTRAK

Febriananda Mulya Pratama (0910633048), Jurusan Teknik Elektro, Konsentrasi Teknik Energi Elektrik, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Malang, 03 Februari 2014, ***Evaluasi Kinerja Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro Bantal Pada Pabrik Gula Assembagoes Kabupaten Situbondo***. Dosen Pembimbing: **Ir. Hari Santoso, MS. dan Ir. Teguh Utomo, MT.**

Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) Bantal adalah pembangkit listrik yang dikelola oleh Pabrik Gula Assembagoes Kabupaten Situbondo untuk menambah pasokan energi listrik. PLTMH ini terletak di Desa Bantal Kelurahan Bantal Kecamatan Asembagus Kabupaten Situbondo dengan memanfaatkan saluran irigasi Parseh yang merupakan sumber dari Gunung Ijen kemudian bermuara di dam Lewung dan selanjutnya dialirkan menuju Desa Bantal. Namun sistem pembangkitan pada PLTMH Bantal kurang optimum dikarenakan ada banyak faktor yang menyebabkan terjadinya *losses*. Hasil evaluasi menunjukkan bahwa potensi daya yang dapat dibangkitkan pada PLTMH Bantal secara teori adalah sebesar 107,1862 kW dengan debit air yang digunakan sebesar 2,8934 m^3/s dan ketinggian jatuh air bersih (*head nett*) 6,37977 meter. Sedangkan potensi daya yang dapat dibangkitkan secara keseluruhan pada saluran irigasi Parseh adalah sebesar 311,0305 kW dengan debit air yang digunakan adalah pada saluran KP 3 sebesar 8,3960 m^3/s. Dalam melakukan pengujian pembangkit dengan media air garam dan plat aluminium sebagai elektroda, didapatkan kapasitas daya yang dapat dibangkitkan oleh generator sebesar 101,1123 kW. Hal ini terdapat perbedaan antara daya yang dihasilkan secara teori lebih besar dibandingkan dengan daya yang dihasilkan ketika melakukan pengujian pembangkit dikarenakan terjadi *losses* pada peralatan mekanik dan generator.

Kata Kunci: debit air, ketinggian jatuh air (*head*), PLTMH Bantal, potensi daya.

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Gula merupakan komoditas yang penting karena selain menjadi bahan pokok yang dikonsumsi langsung, gula juga diperlukan oleh berbagai industri pangan dan minuman. Konsumsi gula di Indonesia terus meningkat seiring bertambahnya jumlah penduduk, meningkatnya taraf hidup dan pertumbuhan jumlah industri yang memerlukan gula sebagai bahan bakunya. Meningkatnya konsumsi gula harus diimbangi dengan meningkatkan produksi gula.

Untuk meningkatkan produksi gula pada pabrik gula membutuhkan pasokan energi listrik yang besar pula. Namun peningkatan pemanfaatan energi listrik tersebut tidak diimbangi dengan peningkatan penyediaan energi listrik oleh Perusahaan Listrik Negara. Penyediaan energi listrik oleh Perusahaan Listrik Negara cenderung tidak mencukupi permintaan akan energi listrik yang ada. Oleh karena itu, pabrik gula harus bisa memanfaatkan sumber energi alternatif yang ada seperti matahari, air, angin, geothermal, biomassa dan biogas agar tidak bergantung dengan Perusahaan Listrik Negara.

Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) Bantal adalah salah satu cara yang diterapkan oleh Pabrik Gula Assembagoes Kabupaten Situbondo untuk menambah pasokan energi listrik. Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro ini terletak di Desa Bantal Kelurahan Bantal Kecamatan Asembagus Kabupaten Situbondo dengan memanfaatkan saluran irigasi Parseh yang merupakan sumber dari Gunung Ijen kemudian bermuara di dam Lewung dan selanjutkan dialirkan menuju Desa Bantal. Pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro Bantal dibangun pada tahun 1978 dan mulai beroperasi pada bulan Maret 1979. Generator yang digunakan pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro ini adalah generator sinkron 3 fasa *type DIB 80 EF/4D* dengan daya yang tertera pada papan nama sebesar 290 kVA, tegangan teraan sebesar 400 Volt dan arus teraan sebesar 418 Ampere. Putaran *sinkron* pada generator 1500 rpm dengan faktor daya ($\cos \varphi$) sebesar 0,8. Energi listrik yang dihasilkan oleh generator didistribusikan melalui kabel bawah tanah sejauh 8 km dengan menggunakan *step-up transformer* 6,6 kV, sampai di tempat tegangan diturunkan menjadi 380 Volt dengan menggunakan *step-*

down transformer. Energi listrik dari Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro Bantal digunakan untuk menyuplai 3 motor pompa air yang berfungsi untuk mengairi lahan tebu. Motor pompa tersebut memiliki *rating* daya yang berbeda-beda yaitu 75 kW, 37 kW dan 11 kW. Namun sistem pembangkitan pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro Bantal diperkirakan kurang optimum dikarenakan ada banyak faktor yang menyebabkan terjadinya *losses*.

Berdasarkan survei awal di lapangan, ditemukan ada banyak kasus yang mengakibatkan sistem pembangkitan pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro Bantal kurang optimum, yaitu diantaranya adalah adanya sebuah turbin bekas tinggalan jaman Belanda yang menancap pada dasar kolam penenang bangunan sipil, kemudian timbul panas pada bantalan (*bearing*) yang menghubungkan antara *gearbox* dengan generator yang kemungkinan diakibatkan oleh gesekan. Kasus-kasus tersebut menyebabkan putaran generator berada dibawah nilai putaran nominalnya sehingga tegangan, arus dan daya yang dihasilkan oleh generator juga berada dibawah nilai nominalnya.

Hal ini diperkuat ketika Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro Bantal melakukan *running test* pada tanggal 27 April 2013 pukul 08.00 menunjukkan bahwa nilai keluaran daya dari generator di *control panel* berkisar 60 kW. Hal ini menunjukkan bahwa daya keluaran yang dibangkitkan oleh generator tidak mencapai daya keluaran maksimal yang mampu dibangkitkan oleh generator.

Dengan memperhatikan beberapa hal yang telah disebutkan di atas maka perlu diadakan evaluasi terhadap Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) Bantal Kabupaten Situbondo sehingga potensi sumber daya air yang tersedia dapat dimanfaatkan secara optimal untuk memenuhi kebutuhan daya pada pabrik gula Assembagoes.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah yang akan dibahas dalam skripsi ini adalah

1. Berapa potensi sumber daya air yang dibangkitkan pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro Bantal Kabupaten Situbondo.
2. Bagaimana kesesuaian antara potensi daya listrik yang dibangkitkan secara teoritis dengan kondisi nyata di lapangan.

3. Bagaimana cara mengatasi *losses-losses* yang ditimbulkan oleh Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro Bantal dan faktor-faktor apa saja yang dapat menimbulkan *losses* tersebut.

1.3 Batasan Masalah

Skripsi ini dibatasi oleh hal-hal sebagai berikut

1. Pembahasan evaluasi dilakukan pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro Bantal Kabupaten Situbondo.
2. Pembahasan ditinjau dari segi teknis saja.
3. Pembahasan bangunan sipil hanya dibahas secara umum.
4. Tidak membahas saluran transmisi, sisi beban dan ketidaksetimbangan daya karena pembagian beban yang tidak merata.
5. Tidak membahas masalah ekonomis.
6. Tidak membahas masalah aspek sosial.

1.4 Tujuan

Tujuan dari penulisan skripsi ini adalah

1. Mengetahui potensi sumber daya air yang tersedia pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro Bantal Kabupaten Situbondo.
2. Mengetahui kesesuaian antara potensi daya listrik yang dibangkitkan secara teoritis dengan kondisi nyata di lapangan.
3. Mengevaluasi faktor-faktor apa saja yang bisa menimbulkan *losses* dan dapat mengatasi *losses* tersebut sehingga sistem pembangkitan pada pembangkit ini dapat bekerja secara optimum.

1.5 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan yang digunakan dalam penyusunan skripsi ini adalah sebagai berikut:

BAB I : PENDAHULUAN

Memuat latar belakang, rumusan masalah, ruang lingkup, tujuan, dan sistematika penulisan hasil skripsi.

BAB II : TINJAUAN PUSTAKA

Berisi tinjauan pustaka atau dasar teori yang digunakan untuk dasar penelitian yang dilakukan dan untuk mendukung permasalahan yang diungkapkan.

BAB III : METODE PENELITIAN

Memberikan penjelasan tentang metode yang digunakan dalam skripsi ini, meliputi metode pengambilan data, pengolahan data, dan analisis data.

BAB IV : ANALISIS dan PEMBAHASAN

Berisi pembahasan dan analisis terhadap hasil evaluasi.

BAB V : PENUTUP

Berisi penutup yang terdiri dari kesimpulan dan saran.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sumber Energi

Sumber daya energi primer pada dasarnya semua berasal dari proses alamiah yang terjadi sebagai akibat dari pancaran radiasi energi dari matahari. Sumber daya energi primer dapat diklasifikasikan menjadi 2 (dua) jenis energi, yaitu (Wibawa, 2001:1-13):

1. Energi Tak Terbarukan (*unrenewable energy*), yang dikenal pula dengan istilah energi fosil, adalah jenis sumber daya energi primer yang habis dipakai, dan tidak dapat diperbaharui lagi, baik secara alamiah maupun dengan bantuan teknologi. Termasuk di sini antara lain: minyak bumi, batubara, dan gas alam.
2. Energi Terbarukan (*renewable energy*), yang dikenal pula dengan istilah energi regeneratif, adalah jenis sumber daya energi primer yang tidak habis dipakai, dalam artian dapat diperbaharui lagi, baik secara alamiah maupun dengan bantuan teknologi (regenerasi). Termasuk disini antara lain: matahari, air, angin, geothermal, biomassa, dan biogas.

Sumber daya energi primer tersebut pada proses selanjutnya, baik langsung maupun tidak langsung, diubah menjadi energi sekunder dalam bentuk: panas, mekanik dan elektrik yang dapat dimanfaatkan untuk memenuhi berbagai kebutuhan hidup manusia.

2.2 Tenaga Air

Sumber daya paling penting setelah tenaga uap atau panas adalah tenaga air. Hampir 30 % dari seluruh kebutuhan tenaga di dunia dipenuhi oleh pusat-pusat listrik tenaga air. Berdasarkan perkiraan kasar, jika memanfaatkan seluruh potensi tenaga air di dunia dapat menghasilkan daya sebesar 5000 GW. Namun hingga saat ini, jumlah seluruh kapasitas terpasang hanya mendekati 200 GW (Dandekar, 1991:7).

Tenaga air mempunyai beberapa keuntungan, yaitu:

- Bahan bakar untuk PLTA adalah air. Sehingga bahan bakar ini bersifat terbarukan (*renewable*) dan tidak dapat habis.
- Biaya pengoperasian dan pemeliharaan PLTA sangat rendah jika dibandingkan dengan PLTU atau PLTN.
- Turbin-turbin pada PLTA bisa dioperasikan atau dihentikan setiap saat. Hal ini sangat berbeda pada PLTU dan PLTN.
- PLTA cukup sederhana untuk dimengerti dan cukup mudah untuk dioperasikan. Ketangguhan sistemnya dapat lebih diandalkan dibandingkan dengan sumber daya lainnya.
- Peralatan PLTA yang mutakhir, sehingga bisa dioperasikan lebih dari 50 tahun.
- PLTA bisa dimanfaatkan sebagai cadangan pada sistem kelistrikan terpadu antara PLTU dan PLTN.
- PLTA dapat menghasilkan tenaga dengan efisiensi yang sangat tinggi meskipun fluktuasi beban cukup besar.
- Pengembangan PLTA dengan memanfaatkan arus sungai dapat menghasilkan manfaat lainnya seperti pariwisata, perikanan dan lain-lain.

Namun PLTA memiliki kelemahan, yaitu (Dandekar, 1991:8):

- PLTA merupakan proyek padat modal sehingga laju pengembalian modal proyek PLTA sangat rendah.
- Pada umumnya, masa persiapan suatu proyek PLTA memakan waktu yang relatif lama.
- PLTA sangat tergantung pada aliran sungai secara alamiah. Sedangkan aliran sungai sangat bervariasi, sehingga tenaga andalan atau tenaga mantap pada umumnya sangat kecil jika dibandingkan dengan kapasitas totalnya.

2.3 Klasifikasi Pembangkit Listrik Tenaga Air

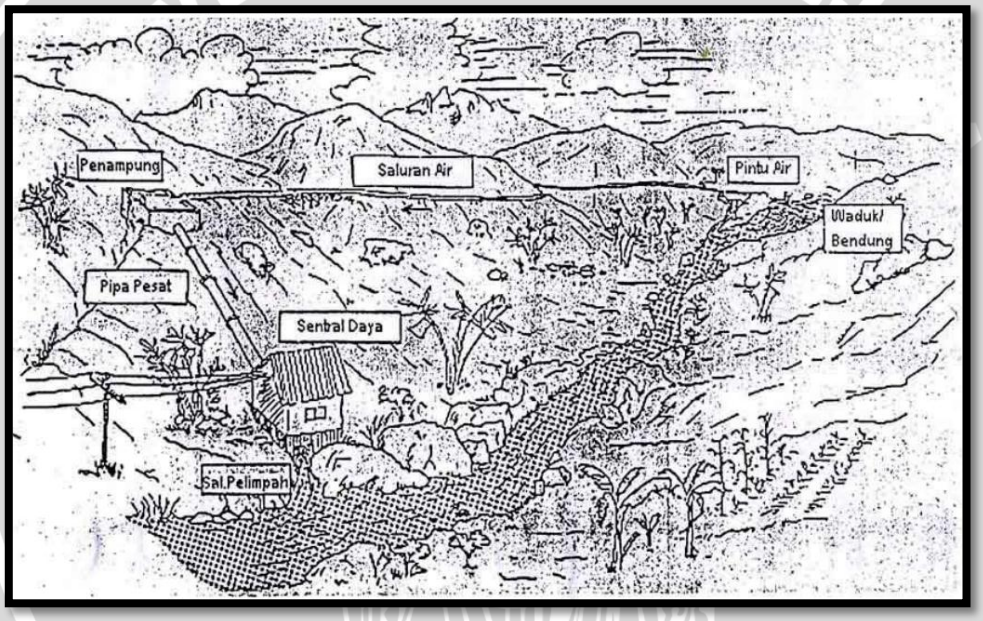
Berdasarkan daya yang dihasilkan, Pembagkit listrik Tenaga Air dibedakan menjadi (Kurniawan,2009:6):

1. Large-hydro : lebih dari 100 MW
2. Medium-hydro : antara 15 – 100 MW

3. Small-hydro : antara 1 – 15 MW
4. Mini-hydro : antara 100 kW – 1 MW
5. Micro-hydro : antara 5 kW – 100 kW
6. Pico-hydro : dibawah 5 kW

2.4 Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH)

Pembangkit listrik tenaga mikro hidro pada prinsipnya memanfaatkan beda ketinggian dan jumlah debit per detik yang ada pada aliran air saluran irigasi, sungai atau air terjun. Aliran ini akan memutar poros turbin sehingga menghasilkan energi mekanik. Energi ini selanjutnya menggerakkan generator dan generator menghasilkan listrik.



Gambar 2.1 Sistem Konversi Energi Air

Sumber: Wibawa, 2001:6-12

Gambar 2.1 menunjukkan bagian-bagian terpenting pada proses konversi energi air menjadi energi elektrik, antara lain adalah (Wibawa, 2001: 6-13):

1. Waduk/Bendung, berfungsi untuk menyimpan air yang akan dialihkan ke turbin air, sekaligus dapat digunakan untuk meningkatkan kapasitas penyimpanan air, khususnya di musim kemarau, serta menentukan ketinggian jatuh air apabila dari waduk/bendung tersebut air langsung dialirkan menuju turbin.

2. Pintu air, berfungsi membatasi jumlah atau debit air yang akan dialirkan melalui saluran.
3. Saluran air, berfungsi untuk menyalurkan air yang akan melalui pipa pesat, terutama apabila air dari pintu air tidak langsung masuk ke pipa pesat dengan alasan geografis, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2.1.
4. Bak penampung, berfungsi untuk mengendalikan volume dan debit air yang akan dialirkan ke turbin melalui pipa pesat, sekaligus sebagai penentu ketinggian jatuh air.
5. Pipa pesat, berfungsi sebagai media penyalur air dari bak penampung ke turbin. Ada dua jenis pipa pesat yaitu: (a) tekanan tinggi, terbuat dari bahan logam/baja dan (b) tekanan rendah, terbuat dari kanal beton/pipa non baja. Efisiensi pipa pesat dipengaruhi oleh permukaan penampang aliran serta jumlah belokan.
6. Rumah pembangkit, merupakan bangunan tempat kedudukan seluruh perangkat konversi energi, mulai dari turbin air lengkap dengan governornya sebagai pengatur tekanan air, sistem transmisi mekanik, generator, perangkat pendukung lain, seperti: panel control, panel distribusi daya, beban komplemen, dan sebagainya.
7. Saluran pelimpah, berfungsi sebagai penyalur air yang sudah digunakan, untuk dikembalikan ke sungai atau saluran irigasi.

2.5 Daya PLTMH

Untuk mendapatkan daya hidrolik (P_h) yang merupakan potensi sumber daya energi air pada suatu wilayah, didapatkan dengan persamaan (Patty, 1995:14):

$$P_h = Q \,.\, \rho \,.\, g \,.\, h \quad (W) \qquad (2.1)$$

Apabila nilai gravitasi bumi g dan massa jenis air ρ dimasukkan di Persamaan 2.1, maka persamaannya menjadi

$$P_h = 9.8 \,.\, Q \,.\, h \quad (kW) \qquad (2.2)$$

Dimana:

P_h = Daya hidrolik (kW)
Q = Debit air (m^3/s)
ρ = Massa jenis air (= 1000 kg/m^3)
g = Gravitasi bumi (= 9.8 m/s^2)
h = Tinggi jatuh air (m)

Jika efisiensi pipa pesat (η_{pp}) dan efisiensi turbin (η_{tb}) diketahui, maka besar daya mekanik turbin adalah (Wibawa,2001:6-16)

$$P_{mekanik} = \eta_{pp} \cdot \eta_{tb} \cdot P_h \quad (kW) \quad \text{.....(2.3)}$$

Apabila antara turbin dan generator ada perangkat sistem tranmisi mekanik (η_{tm}) dan efisiensi generator (η_g) diketahui, maka besar daya keluaran elektrik dari generator adalah

$$P_{elektrik} = \eta_{tm} \cdot \eta_g \cdot P_{tb} \quad (kW) \quad \text{.....(2.4)}$$

$$P_{elektrik} = \eta_{total} \cdot P_h \quad (kW) \quad \text{.....(2.5)}$$

Dimana efisiensi total (η_{total}) adalah efisiensi total dari seluruh sistem dari efisiensi turbin sampai efisiensi generator ($\eta_{total} = \eta_{pp} \cdot \eta_{tb} \cdot \eta_{tm} \cdot \eta_g$), sedangkan perkalian antara efisiensi pipa pesat (η_{pp}) dan efisiensi turbin (η_{tb}) dapat disebut juga sebagai efisiensi mekanik (η_{mek}).

2.6 Debit Air

Debit air merupakan jumlah air yang mengalir melalui suatu penampang sungai tertentu per satuan waktu. Debit air dipengaruhi oleh beberapa faktor misalnya curah hujan, keadaan geologi, flora, temperatur dan lain-lain. Debit selalu berubah dari musim ke musim dan dari hari ke hari (Arismunandar, 2004:9).

Untuk mengurangi potensi energi air yang terbuang percuma atau yang tidak termanfaatkan dan kekurangan debit air ketika musim kemarau maka harus menggunakan debit andalan dalam merencanakan. Debit andalan adalah debit minimum sungai untuk

kemungkinan terpenuhi yang sudah ditentukan yang dapat dipakai untuk irigasi. Kemungkinan terpenuhi ditetapkan 80 % (kemungkinan bahwa debit sungai lebih rendah daripada debit andalan sungai 20 %) debit andalan ditentukan untuk periode tengah bulanan. Debit minimum sungai dianalisis atas dasar data debit harian sungai (Anonim/KP-01, 1986:82).

Prosedur perhitungan debit andalan adalah sebagai berikut:

1. Menghitung total debit andalan dalam satu tahun untuk tiap tahun data yang diketahui.
2. Mengurutkan data mulai dari yang terbesar hingga yang terkecil.
3. Menghitung probabilitas untuk masing-masing data dengan menggunakan persamaan weilbull.

$$P = \frac{m}{n+1}\ x\ 100\ \% \quad \text{.....(2.6)}$$

Dimana:

P = probabilitas (%)

m = nomor urut data debit

n = jumlah data debit

2.6.1 Metode Pengukuran Debit Air

Ada tiga metode utama untuk pengukuran debit air dimana dua diantaranya tergantung kepada besarnya sungai, yaitu (Mismail, 1991/1992:108):

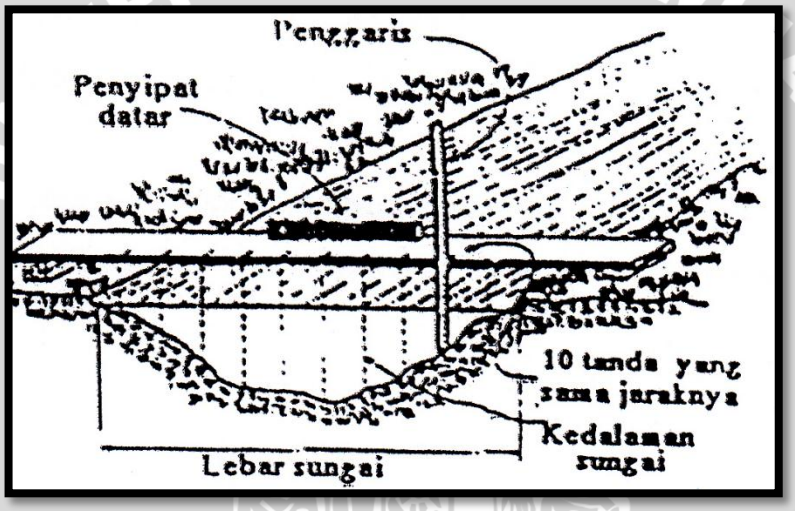
A) Metode Tampung

Untuk mengetahui debit air dari sungai atau saluran air yang kecil dapat menggunakan metode tampung yaitu dengan cara membendung sementara aliran air kemudian mengalirkan aliran air yang di bendung ke suatu wadah atau bak yang sudah diketahui volumenya. Kemudian hitung waktu yang dibutuhkan untuk mengisi penuh wadah tersebut. Apabila waktu yang dibutuhkan untuk mengisi penuh wadah adalah $t\ detik$ dengan volume wadah $V\ liter$ maka debitnya Q adalah $V/t\ \ (liter/detik)$.

B) Metode Apungan

Untuk saluran air atau sungai yang lebih besar dapat menggunakan metode apungan. Apabila melakukan pengukuran secara berulang-ulang dengan metode ini, maka hasilnya cukup akurat. Dengan menggunakan metode ini, luas penampang melintang sungai dan kecepatan aliran harus diketahui.

Luas penampang melintang sungai harus ditentukan pada suatu tempat yang mudah dan di tengah aliran sungai yang lurus untuk melakukan pengukuran. Untuk dapat menghitung luas penampang melintang sungai maka yang harus dilakukan pengukuran adalah menghitung lebar sungai dan kedalaman sungai tersebut, seperti ditunjukkan pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Pengukuran Luas Penampang Melintang Sungai

Sumber: Mismail, 1991/1992:109

Kedalaman sungai tersebut diambil rata-ratanya kemudian dikalikan dengan lebar sungai untuk mendapatkan luas penampang melintang sungai A dengan persamaan (Mismail, 1991/1992:111):

$$A = w \,.\, d \qquad (2.7)$$

Dimana:

$A =$ Luas penampang melintang (m^2)

$w =$ Lebar sungai (m)

d = Kedalaman rata − rata sungai (m)

Untuk menentukan kecepatan aliran sungai yaitu dengan cara memilih aliran sungai yang mendekati lurus dan memiliki luas penampang yang hampir sama untuk jarak yang cukup. Beri tanda pada titik awal dan titik akhir. Letakkan pelampung di titik awal, kemudian mencatat waktu yang diperlukan pelampung untuk menempuh lintasan untuk sampai di titik akhir. Sehingga kecepatan aliran dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan (Mismail, 1991/1992:112):

$$v = \frac{l}{t} \quad \text{.....(2.8)}$$

Dimana:

v = Kecepatan aliran air $(m/detik)$

l = Jarak antara titik awal dengan titik akhir (m)

t = Waktu tempuh $(detik)$

Sehingga debit air dapat diketahui dengan mengaliran kecepatan aliran air v dengan luas penampang melintang A sesuai dengan persamaan (Mismail, 1991/1992:114):

$$Q = v \,.\, A \quad \text{.....(2.9)}$$

Dimana:

Q = Debit air $(m^3/detik)$

v = Kecepatan aliran air $(m/detik)$

A = Luas penampang melintang (m^2)

Tetapi kecepatan pelampung itu tidak mewakili kecepatan air di semua titik di sungai. Ditepian dan dasar sungai, air mengalir lebih lambat dibandingkan dengan aliran di tengah atau di dekat permukaan air karena gesekan dengan dasar dan tepian sungai. Oleh karena itu, perlu dikalikan dengan sebuah faktor koreksi (f_k) yang tergantung kepada kekasaran atau kehalusan dasar dan tepian sungai. Faktor koreksi tersebut berkisar antara 0.6 untuk sungai pegunungan yang berbatu-

batu sampai 0.86 untuk sungai dengan tepian dan dasar yang licin (Mismail, 1991/1992:112).

C) Metode Bendung (W*eir*)

Apabila untuk menghitung debit air pada sungai yang dangkal dengan menggunakan metode pelampung terlalu sulit, dapat menerapkan dengan metode bendung. Metode ini sama akuratnya dengan metode apungan tetapi cukup sulit untuk dilaksanakan. Awalnya dibuat bendung pengukur yang tegak lurus terhadap aliran sungai dengan bukaan pelimpah segi empat ditengah-tengahnya dan perlu memperkirakan besar debit air sebelum membangun bendung tersebut. Lebar bukaan W harus sekurang-kurangnya tiga kali tingginya dan tepi bawahnya harus benar-benar mendatar. Alas dan tepi samping bukaan harus dimiringkan dengan sudut kurang lebih 45 derajat dengan bagian yang tajam terletak di hulu. Bangunan bendung dapat dibuat dari kayu dengan semua tepi dan alasnya dilapisi dengan tanah liat dan karung pasir. Penduga kedalaman dapat dilakukan dengan memasang tongkat meteran di hulu yang tingginya kurang lebih dua meter dari bendung. Titik nol penduga dibuat sama dengan tinggi alas bukaan. Kedalaman air d dihitung dari alas bukaan bendung sampai dengan tinggi muka air. Sehingga debit air dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (Mismail, 1991/1992:115):

$$Q = 0{,}544 \,.\, W \,.\, d\sqrt{2 \,.\, g \,.\, d} \quad (m^3/detik) \qquad \text{.....(2.10)}$$

D) Metode Kecepatan Area

Metode kecepatan area adalah suatu cara yang digunakan untuk mengetahui debit aliran dengan mengukur luas penampang basah aliran dan kecepatan aliran. Luas penampang basah aliran didapatkan dengan cara mengukur lebar permukaan air dan kedalaman air. Kecepatan aliran air dapat diperoleh dengan cara menggunakan *current meter*. Berikut ini adalah beberapa metode untuk menghitung kecepatan aliran rata-rata (Subagyo, 2008:204):

1. Metode satu titik

   Metode ini digunakan untuk kedalaman aliran kurang dari 80 cm dan untuk pengukuran yang cepat.

$V_v = V_{0,6}$ dimana $V_{0,6}$ adalah kecepatan pada jarak 0,6 dari kedalaman aliran.

Selain itu juga bisa dipergunakan:

$V_v = 0{,}96\, V_{0,5}$

$V_v = 0{,}88\, V_{0,2}$

2. Metode dua titik

Metode ini memberikan hasil yang lebih baik daripada metode satu titik. Metode ini digunakan untuk kedalaman aliran lebih dari 60 cm.

$V_v = {}^1/_2 \left[V_{0,8} + V_{0,2}\right]$

3. Metode tiga titik

Metode ini digunakan untuk kecepatan aliran yang berbuah-ubah dan tidak teratur

$V_v = {}^1/_4 \left[V_{0,2} + 2\, V_{0,6} + V_{0,8}\right]$

4. Metode lima titik

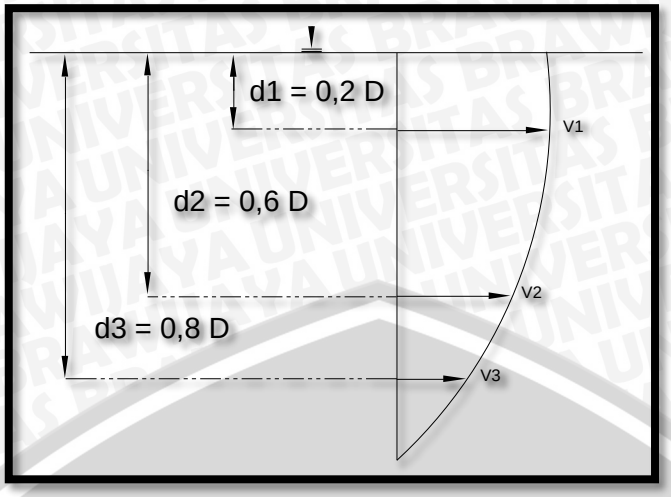
Metode ini digunakan untuk kecepatan yang tidak normal dimana kecepatan aliran sangat tidak beraturan.

$V_v = {}^1/_{10} \left[V_s + 3\, V_{0,2} + 2\, V_{0,6} + 3\, V_{0,8} + V_b\right]$ dimana V_s adalah kecepatan pada permukaan air dan V_b adalah kecepatan pada dasar air.

5. Metode semi-integrasi

Pengukuran dilakukan setiap 20 cm dari kedalaman aliran.

Gambar 2.3 menunjukkan letak dari *current meter* dimana titik pengukuran pada kedalaman sungai 0,2; 0,6 dan 0,8 dari permukaan air.



Gambar 2.3 Titik Pengukuran Kecepatan Air dengan *Current Meter*

Sumber: Kurniawan, 2009:26

Sehingga besar debit air adalah

$$Q = W_1 \,.\, h_1 \,.\, V_1 + W_2 \,.\, h_2 \,.\, V_2 + \cdots + W_n \,.\, h_n \,.\, V_n \quad \text{.....(2.11)}$$

Dimana:

$Q =$ Debit sungai $(m^3/detik)$

$W =$ Lebar Penampang $(meter)$

$V =$ Kecepatan rata − rata $(m/detik)$

$h =$ Tinggi aliran $(meter)$

$n =$ Banyaknya pengukuran arah horisontal

2.7 Tinggi Jatuh Air

Untuk memperoleh tinggi jatuh efektif adalah dengan mengurangi tinggi jatuh total (dari permukaan air pada pengambilan sampai permukaan air saluran bawah) dengan kehilangan tinggi pada saluran air. Tinggi jatuh penuh (*full head*) adalah tinggi air yang bekerja efektif pada turbin yang sedang berjalan. Faktor yang mempengaruhi kehilangan tinggi pada saluran air adalah besar penampang saluran air, besar kemiringan saluran air dan besar luas penampang pipa pesat (Arismunandar, 2004:17).

2.7.1 Metode Menentukan Tinggi Jatuh Air

Ada beberapa cara yang dapat digunakan untuk mengukur tinggi jatuh air (*head*) yaitu (Mismail, 1991/1992:116):

A) Peta Topografi

Peta topografi dapat digunakan apabila tinggi jatuh air yang besar, namun ketepatan dalam membaca peta sangat terbatas sehingga cara ini hanya dapat digunakan untuk perkiraan saja. Peta topografi dari tempat atau lokasi yang diselidiki dapat memberikan identifikasi besarnya selisih antara tinggi air masuk yang direncanakan dan tinggi air pada tempat pembuangan.

B) Sigi Fotografi

Sigi fotografi merupakan cara yang dapat memberikan hasil yang cukup akurat. Dari gambar yang diambil pada lokasi dapat ditentukan tingginya sesuai dengan skalanya. Namun cara ini memerlukan keahlian dan pelatihan yang khusus dalam menggunakan sigi fotografi sehingga tidak dapat dipakai oleh semua orang.

C) Altimeter

Altimeter dapat memberikan perkiraan perbedaan tinggi antara tempat air masuk dan air yang keluar pada pembuangan. Namun alat ini kurang akurat untuk perhitungan teknik.

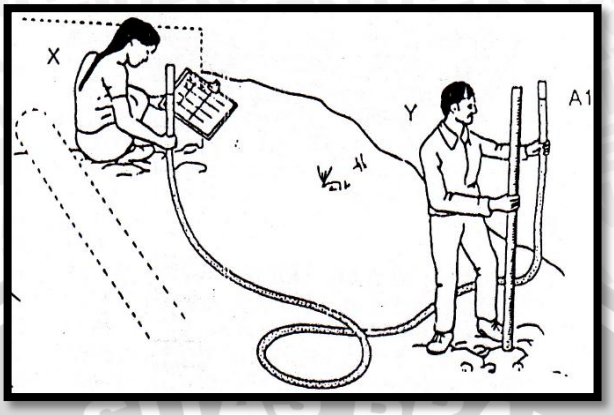
D) Peralatan Geodesi

Peralatan ini sangat akurat apabila dipergunakan untuk menghitung suatu beda ketinggian suatu tempat. Peralatan ini biasa digunakan oleh para ahli geodesi namun peralatan ini susah didapatkan dan mahal karena alat ini hanya dimiliki oleh para ahli geodesi.

E) Metode *Water-Filled Tube*

Metode ini digunakan untuk tempat dengan ketinggian yang rendah. Peralatan yang dibutuhkan adalah selang, air, meteran, batang kayu sebagai penanda dan alat tulis. Cara melakukan pengukuran beda ketinggian dengan menggunakan metode ini adalah sebagai berikut (Harvey, 1993:45):

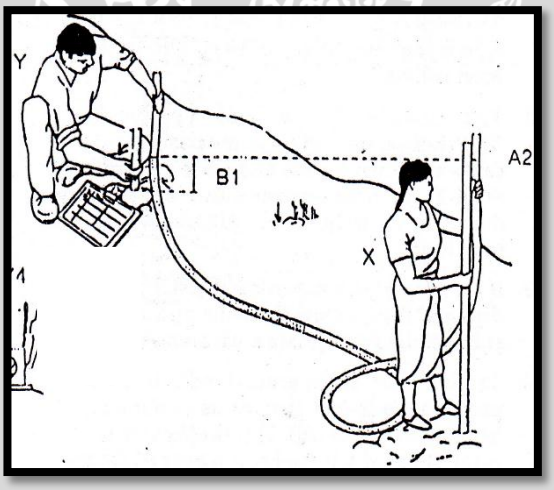
1. Pengamat Y mengukur ketinggian A1 pada tempat yang sudah ditentukan.



Gambar 2.4 Metode Pengukuran *Water-Filled Tube* 1

Sumber: Harvey, 1993: 45

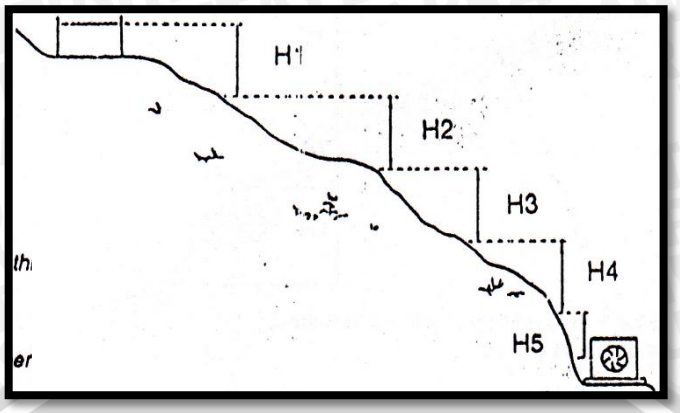
2. Pengamat Y tetap pada tempat yang sebelumnya dan mengukur ketinggian B1. Sedangkan pengamat X turun pada tempat yang sudah ditentukan kedua dan mengukur ketinggian A2.



Gambar 2.5 Metode Pengukuran *Water-Filled Tube* 2

Sumber: Harvey, 1993: 45

3. Ulangi langkah-langkah diatas sampai menuju titik pembungan air.
4. Jumlahkan ketinggian yang sudah diukur mulai dari titik atas yang sudah ditentukan hingga titik bawah pembuangan air.
5. Head = H1 + H2 + H3 + H4 + H5



Gambar 2.6 Metode Pengukuran *Water-Filled Tube* 3

Sumber: Harvey, 1993: 45

2.8 Saluran Penyadap (*intake*)

Saluran penyadap merupakan komponen bangunan sipil yang berfungsi untuk mengarahkan dan mengontrol air dari bendungan menuju saluran pembawa. Masalah utama dari bangunan *intake* adalah ketersediaan debit air, baik dari kondisi debit rendah maupun banjir dan seringkali adanya lumpur, pasir dan kerikil atau dahan/cabang pohon tumbang dari sekitar sungai yang terbawa aliran.

Beberapa hal yang perlu dipertimbangkan dalam perencanaan *intake* adalah (Kusdiana, 2008:14):

1. *Drop intake* bisa dipergunakan jika *gradient* sungai lebih dari 5 % jika kurang dari itu *intake lateral* bisa dipergunakan (misalnya *side intake*).
2. Lokasi *intake* harus dipilih di tempat yang mampu menyedot sebanyak mungkin air dan tidak membawa sedimen apung yang akan masuk ke dalam *intake*. Bendung dan *intake* sebaiknya mampu menahan banjir tahunan minimum dengan periode 25 tahunan.
3. Bukaan *intake* harus tenggelam di bawah muka air setiap kondisi aliran.
4. Pintu menutup *intake* diperlukan dalam rangka mengosongkan bangunan pembawa air dan untuk perawatan atau perbaikan.
5. *Trash rack* harus dipasang di intake khususnya untuk sedimen apung berukuran besar.

6. Bangunan *intake* harus dirancang sedemikian rupa sehingga aliran banjir selalu melewati bendung dan tidak mengalir melalui bangunan *intake*.

2.9 Bak Pengendap (*Settling Basin*)

Tujuan bangunan bak pengendap (*settling basin*) adalah sebagai tempat mengendapkan sedimen serta tempat penimbun sedimen yang berupa pasir dan kerikil.

Beberapa hal yang perlu dipertimbangkan dalam perencanaan bak pengendap adalah (Kusdiana, 2008:15):

1. Bak pengendap harus mampu mengendapkan material sedimen seperti tanah, pasir dan bebatuan.
2. Aliran air harus tidak menimbulkan *turbulensi* di dalam bak pengendap sehingga material sedimen bisa dengan mudah diendapkan.
3. Bak pengendap harus dibuat dari konstruksi beton bertulang.
4. Mekanisme pembuangan endapan harus ada dan dapat berupa pintu air atau jenis lain.
5. Jika air yang dipakai adalah mata air yang tidak membawa material sedimen, maka bak pengendap tidak diperlukan.
6. Jika kualitas air yang biasanya buruk dan banyak membawa material sedimen, maka setelah bangunan *intake* harus dilengkapi dengan bak pengendap.
7. Kemiringan lantai bak pengendap paling tidak 1:20 untuk *intake lateral* atau 1:10 untuk *intake type drop* (*river bed intake*)

2.10 Saringan (*Trashrack*)

Saringan (*trashrack*) merupakan komponen bangunan sipil yang berfungsi untuk menyaring sedimen apung agar tidak masuk ke dalam turbin.

Berikut ini yang perlu diperhatikan dalam melakukan perencanaan saringan (Kusdiana, 2008:19):

1. T*rashrack* tidak boleh terbuat dari bambu atau kayu. *Trashrack* harus dibuat dengan menggunakan besi pejal dengan diameter minimal 4 mm atau besi plat dengan ketebalan minimum 3 mm.
2. *Trashrack* dipasang di *intake* dan saluran pembawa awal dengan bukaan yang *relative* lebar tergantung kepada karakter ukuran sampah dengan bukaan minimal 5 cm dan maksimum 10 cm.
3. *Inlet penstock* harus menggunakan *trashrack* yang lebih sempit bukaannya. Bukaan atau jarak antar besi disesuaikan dengan ukuran *nozzle* turbin pada kasus turbin *impulse*.
4. *Trashrack* harus mampu menahan tekanan air karena adanya penyumbatan pada kondisi air penuh.
5. Kemiringan *trashrack* paling tidak adalah 70 derajat dari dataran sehingga memudahkan untuk pembersihan.
6. *Trashrack* harus bisa dilepas dari struktur sipil untuk akses perbaikan dan pembersihan.

2.11 Bak Penenang (*Forebay*)

Fungsi dari bak penenang (*forebay*) adalah sebagai tempat penenangan air, pengendapan akhir sedimen dan penyaringan terakhir setelah *settling basin* untuk menyaring benda-benda yang masih terbawa dalam saluran air. Bak penenang (*forebay*) merupakan tempat permulaan pipa pesat (*penstock*) yang mengendalikan aliran minimum sebagai antisipasi aliran yang cepat pada turbin tanpa menurunkan elevasi muka air yang berlebihan dan menyebabkan arus balik pada saluran.

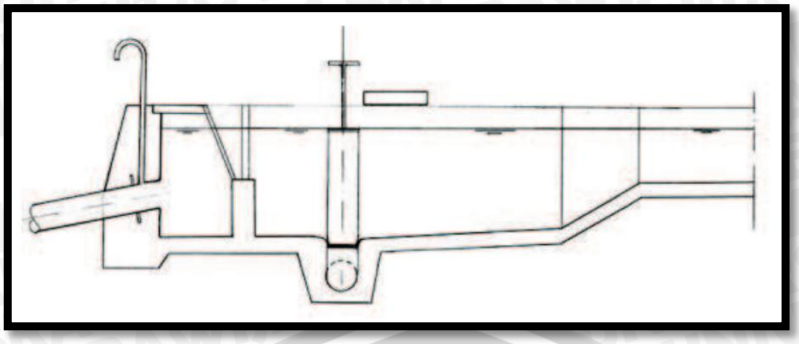
Berdasarkan fungsi dari bak penenang (*forebay*) diatas, ada beberapa yang perlu dipertimbangkan dalam mendesain bak penenang yaitu (Kurniawan, 2009:16):

A. Kegunaan bak penenang terutama untuk mengontrol debit aliran, mengendalikan dan membuang sampah.
B. Dalam merencanakan kapasitas bak penenang harus didesain dengan dua macam pendekatan kasus yaitu dengan beban dikontrol dan beban ditambah debit yang dikontrol.

C. Dalam mendesain diperhatikan juga masalah kedalaman air dan ketinggiannya dari *penstock pipe* untuk menghindari aliran turbulensi, umumnya bereferensi pada diameter pipa pesat. (*penstock pipe*).
D. Kesesuaian ruang saringan dengan jenis, tipe dan dimensi turbin.
E. Dilengkapi dengan instalasi pipa lubang angin.

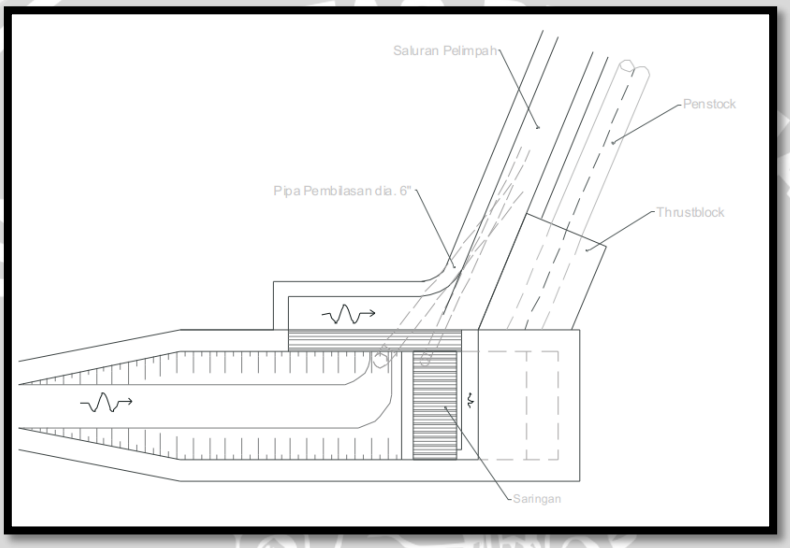
Sebagaimana fungsi dan karakteristik bangunan ini, maka direncanakan sebagai berikut (Kurniawan, 2009:32):

A. Bangunan bak penenang harus dibuat dari konstruksi kedap air dan tahan bocor dan didesain menghubungkan saluran pembawa dan *penstock.*
B. Bangunan bak penenang dalam bentuk tangki bisa dibuat dari pasangan batu atau beton bertulang dengan ketebalan beton minimal 25 cm.
C. Bangunan bak penenang harus dilengkapi dengan:
    - Saringan sampah (*trashrack*) yang lebih halus.
    - Bangunan *spillway* dengan kapasitas 120 % dari debit rancangan.
    - Saluran pembuangan dari *flushgate* untuk membuang endapan lebih baik terpisah dari saluran *spillway*.
    - Saluran pembuang air dari *spillway* dilengkapi dengan struktur pemecah energi air.
D. Lebar bangunan bak penenang setidaknya selebar saringan sampah dan bangunan *spillway* sebaiknya sepanjang bak penenang.
E. Pipa pesat harus terendam air dalam kedalaman minimum dua kali diameter pipa pesat dan jarak pipa pesat dari dasar bangunan bak penenang minimum 30 cm.
F. Endapan direncanakan sedemikian rupa sehingga tidak masuk ke dalam pipa pesat.
G. Harus disediakan tangga untuk melakukan pembersihan tangki bak penenang.



Gambar 2.7 Bak Penenang (*Forebay*) Tampak Samping

Sumber:Kurniawan,dkk, 2009:55

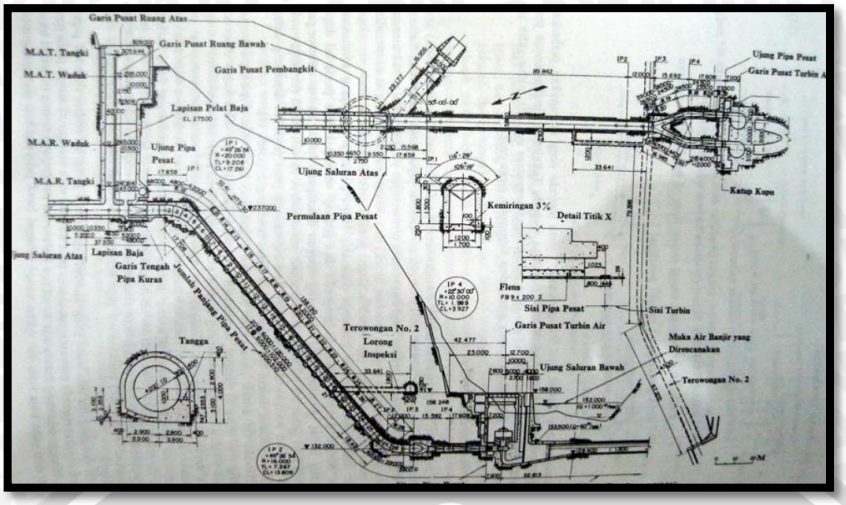


Gambar 2.8 Bak Penenang (*Forebay*) Tampak Atas

Sumber:Kurniawan,dkk, 2009:56

2.12 Pipa Pesat (*Penstock*)

Pipa pesat merupakan pipa tekan yang dipakai untuk mengalirkan air dari tangki atas (*head tank*) atau langsung dari bangunan ambil air ke turbin air. Saluran pipa tekan adalah nama umum bagi dasar atau terowongan yang dipakai untuk menempatkan pipa pesat, blok angker (*anchor block*) dan pelana (*saddle*) yang berfungsi untuk menahan pipa pesat tersebut yang ditunjukkan pada Gambar 2.9 (Arismunandar, 2004:41).



Gambar 2.9 Pipa Pesat

Sumber:Arismunandar, 2004:42

Pipa pesat umumnya terbuat dari baja meskipun berton bertulang dan papan kayu dapat dipergunakan. Bila jarak antara kolam harian dan bangunan PLTA pendek, biasanya dipergunakan pipa pesat yang terpisah untuk masing-masing turbin. Pipa pesat yang panjang biasanya bercabang pada ujung bawahnya untuk dapat melayani beberapa buah turbin belokan tajam pada pipa pesat haruslah dihindari karena besarnya kehilangan tekanan dan besarnya gaya yang dibutuhkan untuk mengikat pipa tersebut. Efisiensi pipa pesat pada umumnya berkisar 95 % (Hakim, 2008:13).

2.12.1 Kehilangan Tinggi Akibat Gesekan Pipa

Suatu persamaan empiris untuk aliran air di dalam pipa banyak digunakan adalah persamaan Hazen-Williams:

$$v = 0.85 \, . C_H \, . R^{0.63} \, . S^{0.54} \quad \text{.....(2.12)}$$

Dimana:

C_H = Koefisien ($pada\ Tabel$ 2.1)

R = Jari − jari hidrolis pipa pesat (m)

S = Kemiringan tinggi (m)

Dengan demikian kehilangan tinggi akibat gesekan pipa dapat dihitung dengan persamaan:

$$h_L = SL = \frac{v^{1.85} \,.\, L}{(1.318 \,.C_H)^{1.85} \,.\, R^{1.17}} \quad \text{.....(2.13)}$$

Dimana:

h_L = Kehilangan tinggi jatuh air (m)

L = Panjang pipa pesat (m)

Tabel 2.1 Nilai-Nilai Koefisien C_H Hazen-Williams

Bahan Pipa	C_H
Beton (tidak terpengaruh umur)	130
Besi tuang:	
Baru	130
Umur 5 tahun	120
Umur 20 tahun	100
Baja las, baru	120
Papan kayu (tidak terpengaruh umur)	120
Lempung	110
Baja keeling, baru	110
Gorong-gorong beton	100
Semen asbes	140

Sumber: Linsley, 1995:273

Kecepatan v yaitu:

$$v = \frac{Q}{A} \quad \text{.....(2.14)}$$

Dengan Q adalah debit air dan A adalah luas penampang.

2.12.2 Kehilangan Minor pada Jaringan Pipa

Kehilangan minor pada jaringan pipa diakibatkan oleh perubahan-perubahan mendadak dari geometri aliran karena perubahan ukuran pipa, belokan-belokan, katup-katup dan sambungan. Pada pipa yang panjang kehilangan minor dapat diabaikan tanpa kesalahan yang berarti. N pada pipa yang pendek kehilangan minor pada umumnya akan lebih besar bila aliran mengalami perlambatan daripada bila terjadi peningkatan kecepatan akibat adanya pusaran arus yang ditimbulkan oleh pemisahan aliran dari bidang batas pipa (Linsley, 1989:274).

2.12.2.1 Kehilangan Tinggi Akibat Penyempitan Mendadak

Persamaan yang digunakan untuk menghitung besarnya kehilangan tinggi akibat penyempitan mendadak adalah

$$h_{Lm}(1) = K_{L1} \cdot \frac{{v_2}^2}{2 \cdot g} \quad \text{.....(2.15)}$$

Dimana:

$h_{Lm}(1)$ = Kehilangan tinggi akibat penyempitan mendadak (m)

K_{L1} = Konstanta akibat penyempitan mendadak ($pada\ Tabel\ 2.2$)

v_2 = Kecepatan aliran air pada bagian pipa yang menyempit (m/s)

g = Percepatan gravitasi bumi (9.8 m/s^2)

Tabel 2.2 Nilai-Nilai K_{L1} Akibat Penyempitan Mendadak

$\frac{D_2}{D_1}$	K_L
0	0.5
0.4	0.4
0.6	0.3
0.8	0.1
1	0

Sumber: Linsley, 1995: 274

2.12.2.2 Kehilangan Tinggi Akibat Belokan

Persamaan yang digunakan untuk menghitung besarnya kehilangan tinggi akibat belokan adalah

$$h_{Lm}(2) = K_{L2} \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} \quad \text{.....(2.16)}$$

Dimana:

$h_{Lm}(2) = Kehilangan\ tinggi\ akibat\ belokan\ (m)$

$K_{L2} \quad = Konstanta\ akibat\ belokan\ (ditunjukkan\ pada\ Tabel\ 2.3)$

Tabel 2.3 Nilai-Nilai K_{L2} Akibat Belokan

Jari-jari Belokan	Sudut Belokan		
Garis Tengah	90º	45º	22.5º
1	0.5	0.37	0.25
2	0.3	0.22	0.15
4	0.25	0.19	0.12
6	0.15	0.11	0.08
8	0.15	0.11	0.08

Sumber: Linsley, 1995:274

2.12.2.3 Kehilangan Tinggi Akibat Katup dan Sambungan

Persamaan yang digunakan untuk menghitung besarnya kehilangan tinggi akibat katup dan sambungan adalah

$$h_{Lm}(3) = K_{L3} \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} \quad \text{.....(2.17)}$$

Besarnya nilai K_{L3} yang digunakan pada persamaan di atas dapat diketahui pada Tabel 2.4 di bawah ini.

Tabel 2.4 Nilai-Nilai K_{L3} Akibat Katup dan Sambungan

Katup	K_{L3}
Katup bola (terbuka lebar)	10
Katup pengatur ayunan (terbuka lebar)	2.5
Katup pintu (terbuka lebar)	0.2
Katup pintu (terbuka separuh)	5.6
Tikungan balik	2.2
Katup	K_{L3}
T-baku	1.8
Siku-siku 90º baku	0.9

Sumber: Linsley,1995:274

2.12.2.4 Kehilangan Tinggi Pada Pelebaran

Persamaan yang digunakan untuk menghitung besarnya kehilangan tinggi akibat pelebaran pipa adalah

$$h_{LM}(4) = K_L \frac{(V_1 - V_2)^2}{2\,.g} \quad \text{.....(2.18)}$$

Besarnya nilai K_{L4} yang digunakan pada persamaan di atas dapat diketahui pada Tabel 2.5 di bawah ini.

Tabel 2.5 Nilai-Nilai K_{L4} Akibat Pelebaran Pipa

Θ^o	$\frac{D_2}{D_1} = 3$	$\frac{D_2}{D_1} = 1.5$
10	0.17	0.17
20	0.40	0.40
45	0.86	1.06
60	1.02	1.21
90	1.06	1.14
120	1.04	1.07
180	1.00	1.00

Sumber: Linsley,1995:274

Sudut Θ adalah sudut antara sisi-sisi bagian yang lonjong dalam derajat.

2.12.2.5 Kehilangan Tinggi Pada Saringan

Menurut O.Kirschmer dari Gambar 2.10

$$\Delta h_r = \varphi \, . \, \left(\frac{s}{b}\right)^{\frac{4}{3}} \frac{v^2}{2g} \sin \alpha \quad \text{.....(2.19)}$$

Dengan:

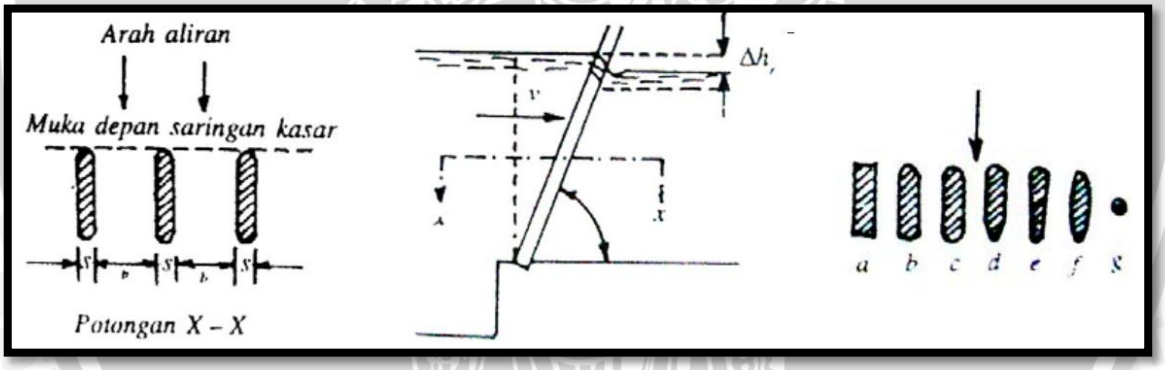
Δh_r = kehilangan tinggi pada saringan (m)

φ = bentuk jeruji saringan

s = jarak antar jeruji (m)

b = tebal jeruji (m)

α = kemiringan saringan



Gambar 2.10 Penampang Saringan Air dan Profilnya

Sumber: Patty, 1995:40

Besarnya φ dapat dilihat pada Tabel 2.6 dibawah ini berdasarkan bentuk dari batang saringannya.

Tabel 2.6 Besarnya φ Menurut Profilnya

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, 1995:40

2.13 Saluran Pembuangan (*tailrace*)

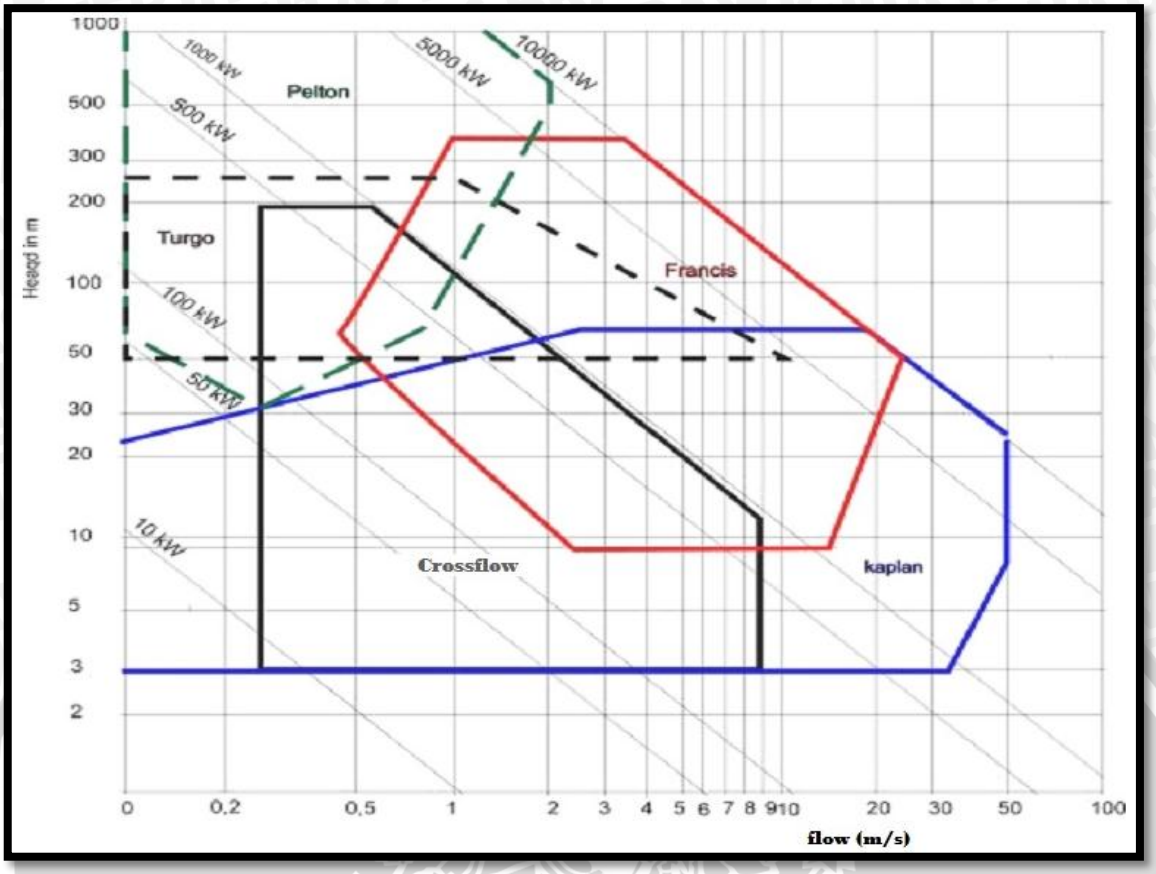
Tujuan dari saluran pembuangan adalah untuk membuang air dari rumah turbin ke saluran utama. Saluran ini bersatu dengan rumah pembangkit dan aliran sungai. Beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam penempatan saluran pembuangan (Kurniawan, 2009:19) adalah:

a. Perkiraan tinggi genangan air pada rumah pembangkit ketika terjadi banjir besar.
b. Menghindari penggenangan bantaran sungai dan permukaan tanah disekitar rumah pembangkit.
c. Fluktuasi dasar sungai pada daerah saluran pembuang.
d. Saluran pembuang harus diarahkan sesuai arah aliran sungai.

2.14 Turbin Air

Turbin air berperan untuk mengubah energi air (energi potensial, tekanan dan energi kinetik) menjadi energi mekanik dalam bentuk putaran poros. Putaran poros turbin ini akan diubah oleh generator menjadi tenaga listrik (Kurniawan, 2009:8).

Ada banyak tipe turbin air yang dapat digunakan pada Pembangkit Tenaga air sesuai dengan karakteristik potensi energi hidrolik yang tersedia. Penentuan jenis turbin yang tepat ditentukan dari kriteria debit dan ketinggian potensi air. Gambar 2.11 menunjukkan grafik untuk menghitung rencana pemilihan turbin.



Gambar 2.11 Kriteria Pemilihan Jenis Turbin

Sumber: Kurniawan, 2009:11

Gambar 2.11 menunjukkan grafik antara *head* dan debit. Untuk suatu *head* tertentu dapat dipilih salah satu jenis turbin, tetapi pemilihan harus dilakukan dengan tepat. Dapat dikatakan bahwa turbin dengan kecepatan spesifik yang lebih tinggi adalah lebih ekonomis karena turbin dengan kecepatan yang lebih tinggi biasanya unit turbinnya lebih kompak, tetapi kecepatan yang tinggi ini juga harus disertai dengan konstruksi yang baik, kekuatan material turbin dan kemampuan generator atau bebannya.

2.14.1 Jenis-jenis turbin air

Berdasarkan perubahan momentum fluida kerjanya, turbin air dibedakan menjadi 2 macam yaitu (Arismunandar, 2004:53):

- Turbin impuls

Turbin impuls bekerja dengan memanfaatkan kecepatan air untuk memutar rotor (*runner*) turbin. Turbin ini pada umumnya digunakan dengan tinggi jatuh yang besar

- Turbin reaksi.

Turbin reaksi umumnya dipilih untuk tinggi jatuh yang rendah sehingga memerlukan volume air yang besar untuk menggerakkannya. Turbin reaksi bekerja dengan mengandalkan tekanan air.

Tabel 2.7 Klasifikasi Turbin Berdasarkan Tinggi Tekan

Turbin Runner	**Head Pressure**		
	High	**Medium**	**Low**
Impulse	Pelton	*Crossflow* (Mitchell/Banki)	*Crossflow* (Mitchell/Banki)
	Turgo	Turgo	
	Multi-jet Pelton	Multi-jet Pelton	
Reaction		Francis	Propeller
		Pump-As-Turbin (PAT)	Kaplan

Sumber: Harvey, 1993:153

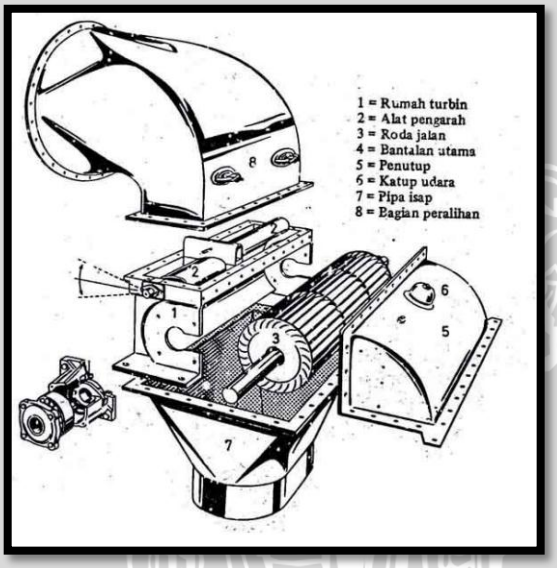
Pada Tabel 2.7 menunjukkan bahwa turbin *crossflow*, turbin propeller dan turbin kaplan dalam katagori tinggi tekan yang rendah. Untuk turbin *crossflow*, turbin turgo, turbin multi-jet pelton, turbin francis dan turbin PAT termasuk dalam katagori tinggi tekan yang menengah sedangkan turbin pelton, turbin turgo dan turbin multi-jet pelton dalam katagori tinggi tekan yang tinggi. Turbin turgo dan turbin multi-jet pelton bisa digunakan pada tinggi tekan yang tinggi dan tinggi tekan menengah sedangkan turbin *crossflow* bisa digunakan untuk tinggi tekan menengah dan tinggi tekan yang rendah.

2.14.2 Turbin Crossflow

Turbin Banki (*crossflow*) menghasilkan pancaran air yang melebar dan tidak melingkar. Pancaran aliran air bertemu dengan roda turbin dan mengenai bagian sudu melengkung dan terjadilah proses konversi energi. Konstruksi turbin Banki relatif sederhana dan mudah untuk disesuaikan dengan volume air yang tersedia. Selain itu,

dengan fleksibilitas pengaturan lebar celah, menyebabkan turbin ini mampu mengantisipasi fluktuasi debit air (Wibawa, 2001:6-10). *Runner* turbin arus-lintang ini berbentuk sangkar bajing dengan sudu-sudu yang melengkung. Air menggerakkan turbin dua kali yaitu pertama-tama memasuki turbin di bagian atasnya dan kemudian air jatuh mengenai sudu-sudu yang terletak dibawah. Aliran air keluar dari sudu-sudu ke arah yang berlawanan dengan arah masuknya air sehingga dengan bentuk semacam itu mempunyai kemampuan untuk membersihkan dirinya sendiri. Sampah yang menempel pada bagian atas *runner* pada saat air masuk akan dibersihkan pada saat sudu-sudu *runner* dengan sampah itu terletak di bagian keluaran air (Mismail, 1991/1992:173).

Bagian-bagian utama dari turbin *crossflow* terdiri dari *rotor*, rumah turbin, *guide vane*, *pulley*, adapter dan *base frame* yang ditunjukkan pada Gambar 2.12.



Gambar 2.12 Model Rangkaian Turbin *Crossflow*

Sumber: Dietzel, 1988:37

Tabel 2.8 berikut menunjukkan efisiensi dari kincir dan turbin:

Tabel 2.8 Efisiensi Kincir dan Turbin

Jenis	Efisiensi (%)
Kincir	
Undershot	25 – 45
Breast	35 – 65

Jenis	Efisiensi (%)
Poncelet	40 – 60
Overshot	60 – 75
Turbin	
Reaksi	80
Impuls	80 – 75
Arus lintang (*Crossflow*)	60 - 80

Sumber: Mismail, 1991/992:160

2.15 Peralatan Mekanik

2.15.1 Bantalan (*bearing*)

Bantalan adalah elemen mesin yang mampu menumpu poros berbeban, sehingga putaran atau gerakan bolak-baliknya dapat berlangsung secara halus, aman, dan bertahan lama. Bantalan harus kokoh untuk memungkinkan poros bisa bekerja dengan baik.

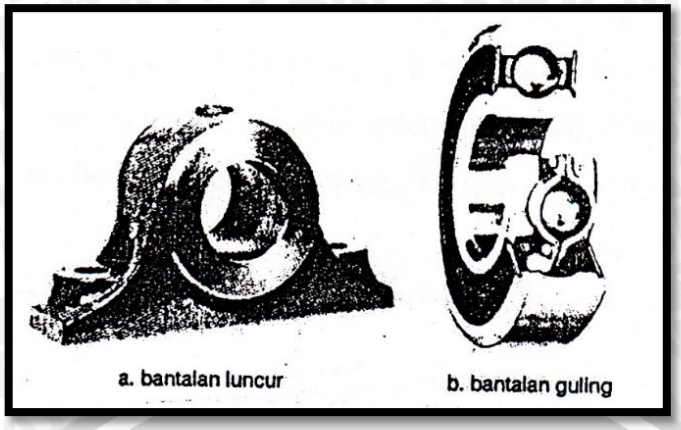
Berdasarkan atas gerakannya terhadap poros, bantalan dapat diklasifikasikan sebagai berikut (Sularso, 1983:103):

A) Bantalan luncur

Pada bantalan ini terjadi gesekan luncur antara poros dan bantalan karena permukaan poros ditumpu oleh permukaan bantalan dengan perantara lapisan pelumas. Bantalan ini mampu menumpu poros yang memiliki kecepatan putar yang tinggi yaitu diatas 1500 rpm dan mampu menahan beban besar yaitu diatas 60 N/cm^2.

B) Bantalan guling atau gelinding

Bantalan ini terjadi gesekan gelinding seperti bola, rol atau rol jarum dan rol bulat. Bantalan ini pada umumnya lebih cocok untuk beban yang lebih kecil daripada beban yang bisa dipikul oleh bantalan luncur atau dibawah 60 N/cm^2 .



Gambar 2.13 Jenis-Jenis Bantalan

Sumber: Thomas,2005:14

2.16 Transmisi Mekanik

2.16.1 Kopling

Kopling dibagi menjadi 2 yaitu kopling tetap dan kopling tak tetap. Kopling tetap adalah suatu elemen mesin yang berfungsi sebagai penerus putaran dan daya dari poros penggerak ke poros yang digerakkan secara pasti (tanpa terjadi slip), dimana sumbu kedua poros tersebut terletak pada satu garis lurus. Berbeda dengan kopling tak tetap yang dapat dilepaskan dan dihubungkan dalam keadaan diam maupun berputar (Sularso, 1983:29).

- **Macam-macam Kopling Tetap**

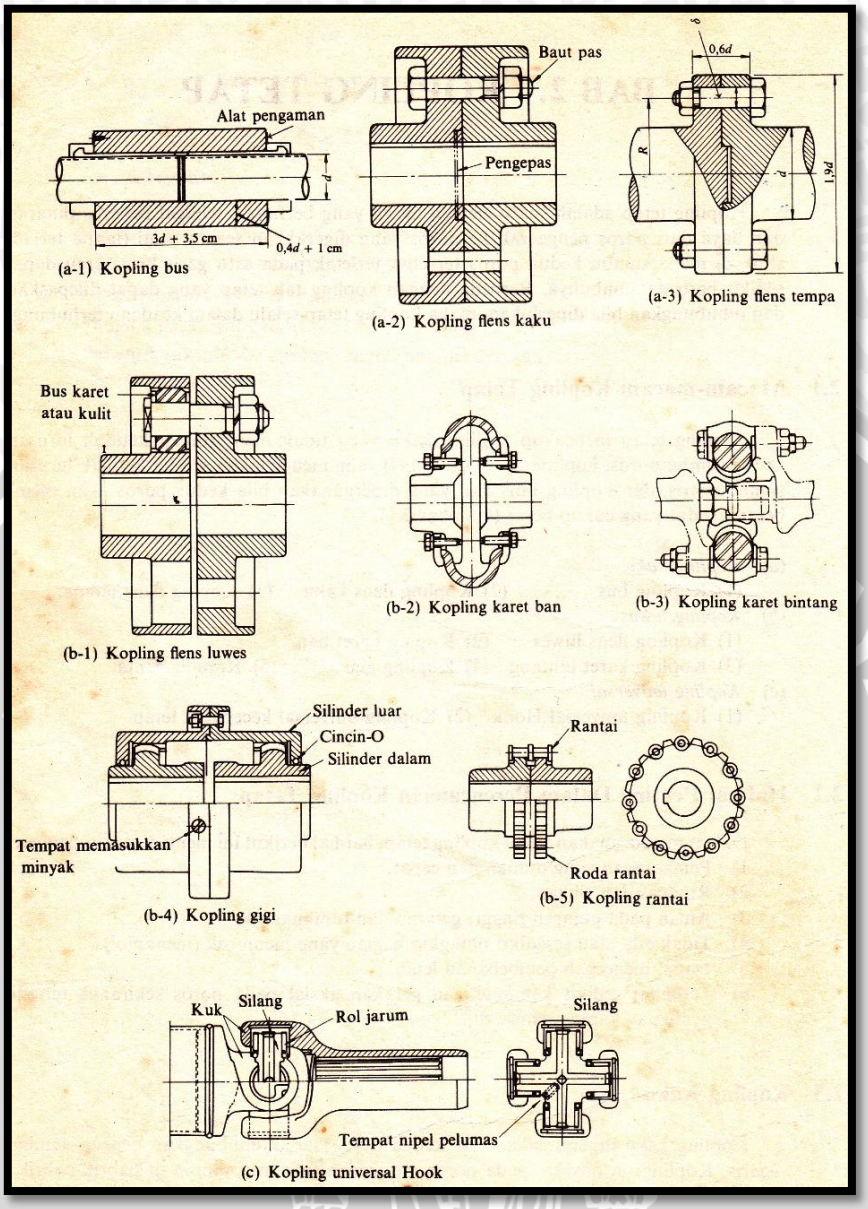
  Kopling tetap terdiri dari 3 macam yaitu (Sularso, 1983:29)

1. Kopling kaku

   Kopling kaku tidak mengijinkan ketidaklurusan pada kedua sumbu poros. Contohnya adalah kopling bus, kopling flens kaku, kopling flens tempa.
2. Kopling luwes

   Kopling luwes (fleksibel) mengijinkan sedikit ketidaklurusan terhadap sumbu poros. Contohnya adalah kopling flens luwes, kopling karet ban, kopling karet bintang, kopling gigi, kopling rantai.
3. Kopling *universal*

   Kopling *universal* dipergunakan bila kedua poros akan membentuk sudut yang cukup besar (Gambar 2.14).



Gambar 2.14 Macam-Macam Kopling Tetap

Sumber: Sularso, 1983:30

2.16.2 Puli (*Pulley*)

Pada sistem transmisi puli (*pulley*) dan sabuk (*belt*) berlaku (Thomas, 2005:15):

$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{r_2}{r_1} \quad \text{.....(2.20)}$$

Dimana:

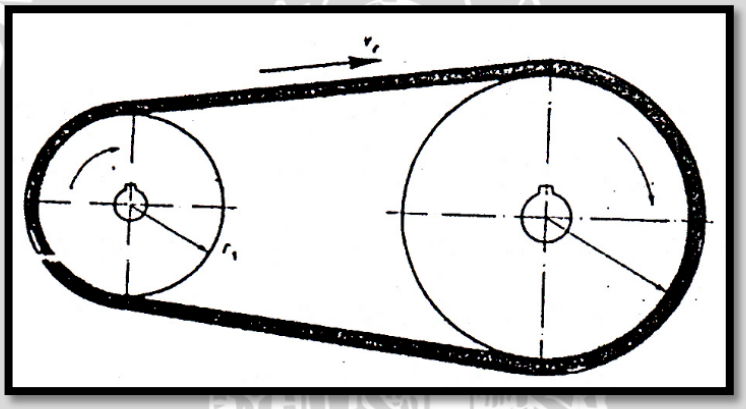
n_1 = Kecepatan putar puli 1 (rpm)

n_2 = Kecepatan putar puli 2 (rpm)

r_1 = Jari − jari puli 1 (m)

r_2 = Jari − jari puli 2 (m)

Dengan sistem transmisi puli dan sabuk yang ditunjukkan pada Gambar 2.15, maka kecepatan putar rotor generator dapat diatur pada nilai tertentu berdasarkan kecepatan putar turbin. Dengan mengubah perbandingan jari-jari puli sistem transmisi, maka akan didapatkan nilai kecepatan putar yang berbeda-beda tergantung dengan nilai perbandingannya. Pada umumnya efisiensi sistem trasmisi mekanik berkisar 85 % (Hakim, 2008:23).



Gambar 2.15 Sistem Transmisi Puli dan Sabuk

Sumber: Thomas, 2005:15

2.16.3 Sabuk (*belt*)

Jarak yang jauh antara dua buah poros sering tidak memungkinkan transmisi langsung dengan roda gigi. Dalam hal demikian, cara transmisi putaran daya yang lain dapat diterapkan, dimana sebuah sabuk luwes atau rantai dibelitkan sekeliling puli atau sprocket pada poros. Secara umum terdapat 3 jenis sabuk yaitu (Sularso, 1983:163):

1. Sabuk rata

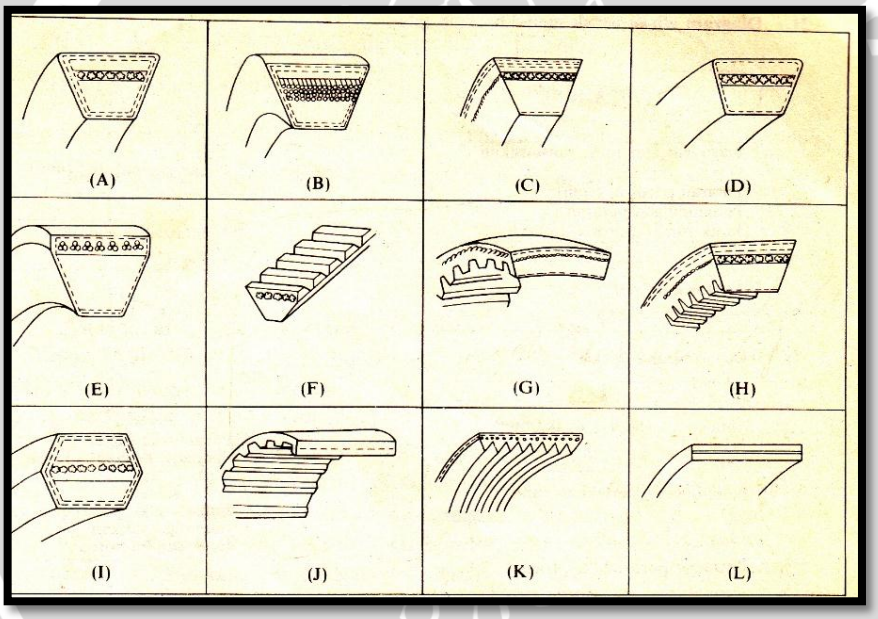
   Sabuk rata dipasang pada puli silinder dan meneruskan momen antara dua poros yang jaraknya dapat mencapai 10 meter dengan perbandingan putaran antara 1/1 sampai 6/1.

2. Sabuk Trapesium (V)

   Sabuk dengan penampang trapesium dipasang pada puli dengan alur dan meneruskan momen antara dua poros yang jaraknya dapat mencapai 5 meter dengan perbandingan putaran antara 1/1 sampai 7/1.

3. Sabuk gigi

   Sabuk dengan gigi yang digerakkan oleh puli pada jarak pusat mencapai 2 meter dan meneruskan putaran secara tepat dengan perbandingan antara 1/1 sampai 6/1.



Gambar 2.16 Macam-Macam Sabuk Transmisi Daya

Sumber: Sularso, 1983:187

Gambar 2.16:

(A) Merupakan sabuk V standard (berlapis tunggal dan banyak), sabuk ini digunakan pada mesin-mesin industry umum dengan batas temperatur mencapai 60ºC.

(B) Merupakan sabuk V unggul (berlapis tunggal dan banyak), sabuk ini memiliki keunggulan yaitu tahan panas, minyak dan listrik statis (memiliki kekuatan yang tinggi) dengan batas temperatur mencapai 90ºC.

(C) Merupakan sabuk V dengan penampang yang pendek, sabuk ini memiliki keunggulan yaitu tahan terhadap lenturan dan kecepatan tinggi dengan batas temperatur mencapai 90ºC.

(D) Merupakan sabuk V tipe L yang memiliki keunggulan yaitu tahan lenturan dan kecepatan tinggi, biasanya digunakan untuk mesin-mesin pertanian dengan batas temperatur mencapai 60ºC.

(E) Merupakan sabuk V sempit yang dapat mentransmisikan daya besar dengan batas temperatur mencapai 90ºC.

(F) Merupakan sabuk V dengan sudut besar yang mempunyai keunggulan yaitu dapat mentransmisikan daya besar dengan puli sempit dan kecil serta mampu untuk mentransmisikan dengan kecepatan tinggi dengan batas temperatur mencapai 80ºC.

(G) Merupakan sabuk V dengan putaran variable yang memiliki kelebihan tahan lentur dan tekanan samping dengan batas temperatur mencapai 90ºC.

(H) Merupakan sabuk gigi penampang pendek yang memiliki kelebihan tahan terhadap lenturan dan kecepatan tinggi dengan batas temperatur mencapai 90ºC.

(I) Merupakan sabuk segi-enam yang digunakan untuk menggerakkan poros yang banyak dan biasanya digunakan untuk mesin pertanian, mesin industry dengan batas temperatur mencapai 60ºC.

(J) Merupakan sabuk bergigi (sabuk gilir) yang memiliki kelebihan tidak slip dan dapat dipakai untuk penggerak sinkron dengan batas temperatur mencapai 80ºC.

(K) Merupakan sabuk berusuk banyak yang dapat menghasilkan putaran dengan kecepatan sudut yang hampir tetap dengan batas temperatur mencapai 80ºC.

(L) Merupakan sabuk berlapis kulit dan nilon yang digunakan untuk mentransmisikan putaran tinggi dengan jarak poros yang tetap, sabuk ini memiliki batas temperatur mencapai 80ºC.

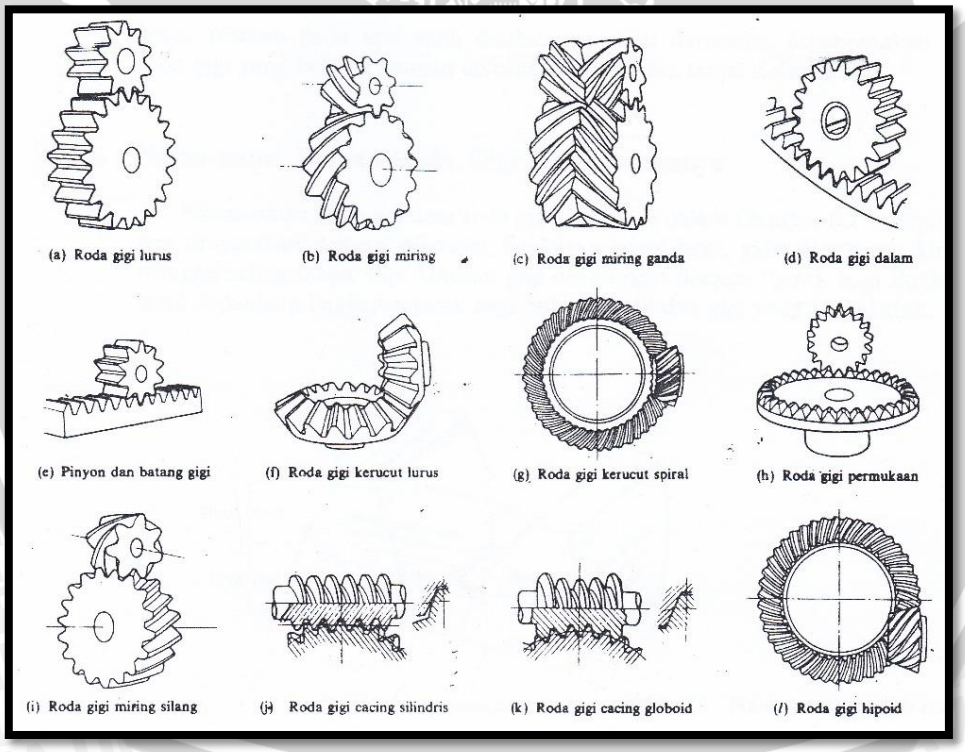
Sabuk V terbuat dari karet dan mempunyai penampang trapesium. Sabuk V dibelitkan dikeliling alur puli yang terbentuk V pula. Karena terjadi slip antara puli dan

sabuk, sabuk V tidak dapat meneruskan putaran dengan perbandingan yang tepat. Slip yang terjadi antara 1 % - 2 % (Thomas, 2005:16).

2.16.4 Gearbox

Gearbox merupakan kumpulan dari roda gigi yang berfungsi untuk mentransmisikan daya dan putaran. Mentransmisikan daya dan putaran dengan menggunakan roda gigi mempunyai keuntungan dibandingkan dengan sabuk atau rantai karena lebih ringkas, putaran lebih tinggi dan daya yang lebih besar. Kelebihan ini tidak selalu menyebabkan dipilihnya roda gigi di samping cara yang lain karena memerlukan ketelitian yang lebih besar dalam pembuatan, pemasangan maupun pemeliharaan (Sularso, 1983:211).

Berikut ini macam-macam dari roda gigi yang ditunjukkan pada Gambar 2.17



Gambar 2.17 Macam-Macam Roda Gigi

Sumber: Sularso, 1983:213

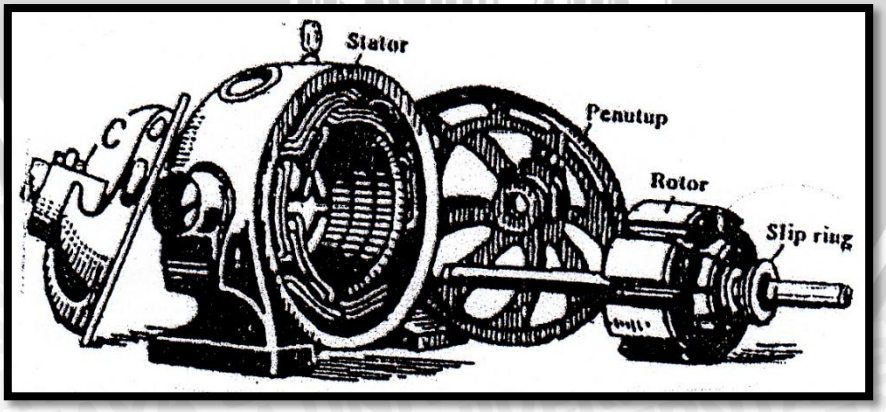
Rasio pengurangan pada penggerak gigi *spur* dan heliks biasanya: 1:8 (*max* 1:20) untuk *single stage*, 1:45 (*max* sampai 1:60) untuk *double stage* dan 1:200 (*max* hingga 1:300) untuk *triple stage*.

Tergantung pada jumlah *stage*, jenis desain dan ukuran, jenis gigi dapat memiliki output mencapai 18000 kW, kecepatan mencapai 100000 rpm dan kecepatan melingkar mencapai 200 meter/detik, umumnya efisiensi keseluruhan mencapai 96-99% (Maitra, 2001:1.2).

2.17 Generator

Generator adalah sebuah mesin yang berfungsi untuk mengubah energi mekanis dari turbin menjadi energi listrik. Komponen utama dari generator adalah rotor dan stator. Rotor merupakan bagian yang berputar, yang dikopel dengan poros turbin sebagai tenaga putarnya. Stator merupakan bagian generator yang tidak bergerak. Stator akan menghasilkan tegangan apabila rotor diberi penguatan atau magnetisasi (Mismail, 1991/1992:176).

Biasanya yang digunakan sebagai generator untuk suatu PLTM adalah generator serempak (alternator) tanpa sikat yang biasanya dijual untuk digerakkan oleh motor bakar dengan putaran 1500 rpm. Tegangan nominal generator yang disarankan adalah 400/231 volt dengan frekuensi 50 Hz. Generator semacam ini tidak memerlukan penguatan luar dan dapat bekerja tanpa ditunggu operator (Mismail,1991/1992:177).



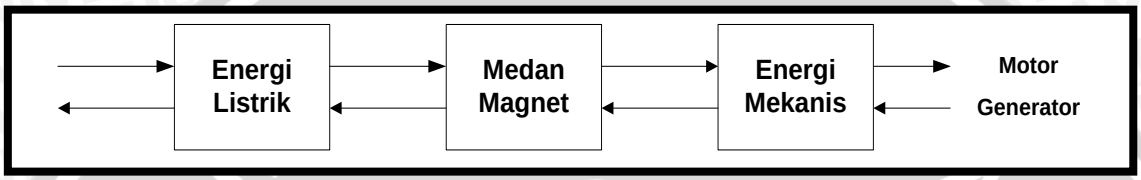
Gambar 2.18 Bagian-Bagian Generator Sinkron

Sumber: Mismail, 1991/1992:178

2.17.2 Konversi Energi Elektromekanik

Konversi energi baik dari energi listrik menjadi energi mekanik (motor) maupun sebaliknya dari energi mekanik menjadi energi listrik (generator) berlangsung melalui medium medan magnet (Zuhal, 1991:56).

Energi yang akan diubah dari satu ke lain sistem, sementara akan tersimpan pada medium medan magnet untuk kemudian dilepaskan menjadi energi sistem lainnya. Dengan demikian medan magnet disini selain berfungsi sebagai tempat penyimpanan energi juga sekaligus sebagai medium untuk mengkopel proses perubahan energi.



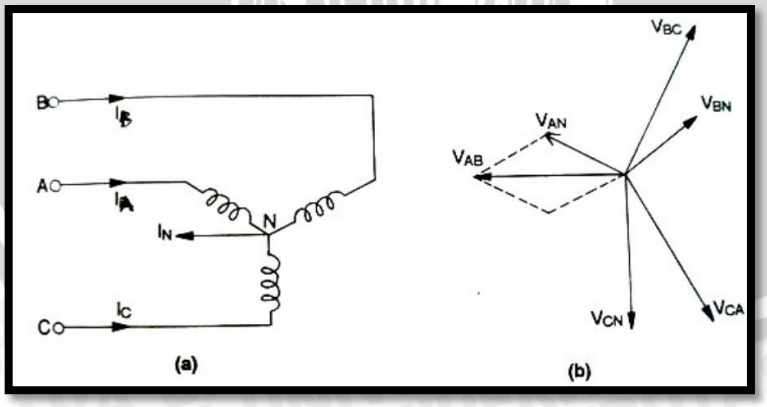
Gambar 2.19 Bagan Proses Konversi Energi

Sumber: Zuhal, 1991:56

2.17.3 Hubungan Generator AC Tiga Fasa

A) Hubungan bintang

Gambar 2.20 memperlihatkan skema hubungan bintang dan fasor diagramnya.



Gambar 2.20 Skema dan Fasor Diagram Hubungan Bintang

Sumber: Zuhal, 1991:42

Dari Gambar 2.20 diperoleh:

$$V_L = \sqrt{3} \, . V_f \quad \text{.....(2.21)}$$

$$I_L = I_f \quad \text{.....(2.22)}$$

$$P = 3 \, . V_f \, . I_f \, . cos\varphi \quad \text{.....(2.23)}$$

$$P = 3 \frac{V_L}{\sqrt{3}} \, . I_L \quad \text{.....(2.24)}$$

$$P = \sqrt{3} \, . V_L \, . I_L \, . cos\varphi \quad \text{.....(2.25)}$$

$$S = 3 \, . V_f \, . \, I_f \quad \text{.....(2.26)}$$

$$S = \sqrt{3} \, . V_L \, . V_L \quad \text{.....(2.27)}$$

Dimana:

$V_L =$ Tegangan line $(Volt)$

$V_f =$ Tegangan fasa $(Volt)$

$I_L =$ Arus line $(Ampere)$

$I_f =$ Arus fasa $(Ampere)$

$P =$ Daya nyata $(Watt)$

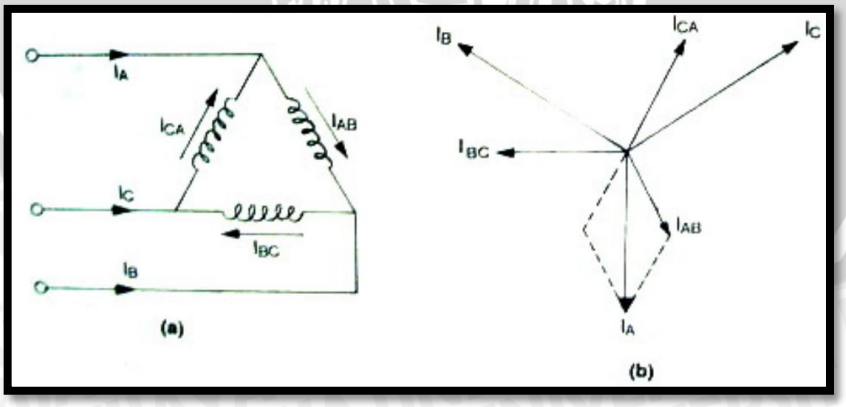
$S =$ Daya semu (VA)

$Cos \, \varphi =$ Faktor daya

$\varphi =$ Sudut fasa antara V_f dan I_f

B) Hubungan Segitiga

Gambar 2.21 memperlihatkan skema dan fasor diagram hubungan segitiga.



Gambar 2.21 Skema dan Fasor Diagram Hubungan Segitiga

Sumber: Zuhal, 1991:42

Dari Gambar 2.21 diperoleh:

$$V_L = V_f \quad \text{.....(2.28)}$$

$$I_L = \sqrt{3} \, . I_f \quad \text{.....(2.29)}$$

$$P = 3 \, . V_f \, . I_f \, . cos\varphi \quad \text{.....(2.30)}$$

$$P = 3 \, . V_L \, . \frac{I_L}{3} \quad \text{.....(2.31)}$$

$$P = \sqrt{3} \, . V_L \, . I_L \, . \cos \varphi \quad \text{.....(2.32)}$$

$$S = 3 \, . V_f \, . I_f \quad \text{.....(2.33)}$$

$$S = \sqrt{3} \, . V_L \, . I_L \quad \text{.....(2.34)}$$

2.17.4 Efesiensi Generator

Efesiensi generator dapat ditentukan dengan pengukuran langsung masukan dan keluaran atau dengan perhitungan setelah rugi-rugi dihitung. Efisiensi generator umumnya berkisar 85 % - 90 % (Mismail, 1991/1992:177).

BAB III
METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan dalam pembahasan skripsi ini dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut:

3.1 Studi Literatur

Studi literatur dilakukan melalui buku-buku dan literatur yang menunjang dalam penyusunan skripsi ini:

- Mempelajari teknologi Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH).
- Mempelajari konversi energi pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH).
- Mempelajari komponen-komponen pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) yaitu saluran penyadap (*intake*), saluran pembawa (*headrace*), bak pengendap (*settling basin*), bak penenang (*forebay*), saluran pembuangan (*tailrace*), pipa pesat (*penstock*), turbin, sistem peralatan mekanik, sistem transmisi mekanik, generator.

3.2 Pengambilan Data

Data-data yang digunakan dalam evaluasi ini terdiri dari data primer dan data sekunder.

1. Data Primer

   Data primer adalah data yang diperoleh dari hasil pengukuran, perhitungan, dan pengamatan langsung di lapangan. Adapun data primer yang digunakan dalam skripsi ini adalah sebagai berikut:

   - Debit air

     Dalam melakukan pengukuran debit air kali ini menggunakan metode kecepatan area. Pengukuran debit air dilakukan pada tanggal 21 November 2013 pada pukul 09.00 WIB pada saluran cabang dari saluran Parseh yaitu saluran Bantal, saluran KP 2 dan saluran KP 3. Untuk mengukur kecepatan aliran air menggunakan *current meter* sehingga debit air dapat diketahui

dengan mengalikan kecepatan aliran air dengan luas penampang pada saluran.

- Ketinggian jatuh air (*head*)

  Dalam menentukan ketinggian jatuh air menggunakan metode *water-filled tube* dimana pertama kali yang diukur adalah kedalaman dari bak penenang yang merupakan tinggi dari air permukaan atas. Kemudian mengukur ketinggian tempat yang sudah ditentukan dengan menggunakan selang yang sudah diisi air yang diletakkan pada dinding dasar bak penenang dan tempat yang sudah ditentukan pada rumah pembangkit. Pengukuran dilakukan sampai pada air mengenai sudu dari *runner* turbin dan kemudian data ketinggian hasil pengukuran dijumlahkan untuk menentukan ketinggian jatuh air (*head*). Pengukuran dilakukan pada tanggal 8 September 2013 pukul 10.00 WIB.

- Volume bak penenang (*forebay*)

  Untuk mengukur volume bak penenang dengan menggunakan meteran untuk mendapatkan nilai panjang p, lebar l dan tinggi t. Pengukuran dimensi bak penenang dilakukan ketika PLTMH Bantal berhenti beroperasi. Pengukuran ini dilakukan pada tanggal 8 September 2013 setelah pengukuran ketinggian jatuh air (*head*).

- Tegangan

  Tegangan yang diukur adalah tegangan terminal pada generator dan tegangan pada *control panel* dengan menggunakan *clamp-meter*. Pengukuran tegangan pada generator dilakukan ketika melakukan pengujian pembangkit yaitu pada tanggal 21 November 2013.

- Arus

  Arus yang diukur adalah arus generator yang mengalir ke beban dengan menggunakan *clamp-meter*. Pengukuran arus pada generator dilakukan ketika melakukan pengujian pembangkit yaitu pada tanggal 21 November 2013.

2. Data Sekunder

   Data sekunder adalah data yang diperoleh dari berbagai sumber yang sudah ada seperti dari buku referensi, jurnal, skripsi atau data yang bersumber dari

perusahaan-perusahaan. Adapun data sekunder yang digunakan dalam skripsi ini adalah sebagai berikut:

- Laporan pembukuan PLTMH Bantal

3.3 Analisis Data dan Pembahasan

Setelah semua data yang diinginkan terkumpul maka dilakukan analisis data dan pembahasan dengan mengacu pada rumusan masalah. Analisis data dan pembahasan hanya sebatas pada pembahasan dari aspek teknis saja. Berikut ini analisis data yang akan dilakukan dalam skripsi ini, yaitu:

❖ Pada awalnya menghitung daya keluaran secara teoritis (P_{out}) yang dapat dibangkitkan oleh Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro Bantal. Untuk mendapatkan daya keluaran secara teoritis terlebih dahulu menghitung besarnya daya hidrolik (P_h) dengan menggunakan persamaan:

$$P_h = Q \,.\, \rho \,.\, g \,.\, h \,\ldots\ldots (W)$$

$$P_h = 9.8 \,.\, Q \,.\, h \quad (kW)$$

Dimana:

P_h	= Daya hidrolik	(kW)
Q	= Debit air	(m^3/s)
ρ	= Massa jenis air	(= 1000 kg/m^3)
g	= Gravitasi bumi	(= 9.8 m/s^2)
h	= Tinggi jatuh air	(m)

Apabila besar daya hidrolik (P_h) sudah dihitung, kemudian menghitung daya mekanik turbin (P_{tb}). Sebelum menghitung daya mekanik turbin (P_{tb}) harus memperhatikan terlebih dahulu nilai-nilai efisiensi pipa pesat (η_{pp}) dan efisiensi turbin (η_{tb}). Berikut persamaan daya mekanik turbin (P_{tb}):

$$P_{mekanik} = \eta_{tb} \,.\, \eta_{pp} \,.\, P_h \,\ldots\ldots (kW)$$

Setelah mendapatkan daya mekanik turbin (P_{tb}) maka daya keluaran teoritis (P_{out}) dapat ditentukan dengan mengalikan antara efisiensi transmisi mekanik (η_{tm}) dan efisiensi generator (η_g) dengan daya mekanik turbin (P_{tb}). Berikut persamaan daya keluran teoritis (P_{out}):

$$P_{elektrik} = \eta_{tm} \,.\, \eta_g \,.\, P_{tb} \,\ldots\ldots (kW)$$

- Analisis berikutnya adalah menghitung daya yang dibangkitkan oleh generator berdasarkan hasil pengujian pembangkit. Dalam pengujian pembangkit nantinya beban akan menggunakan larutan air garam yang diletakkan dalam drum dan plat aluminium sebagai elektroda. Data-data yang diperlukan kali ini adalah mengukur tegangan fasa pada generator dan arus fasa. Setelah nilai tegangan fasa dan arus fasa sudah didapatkan pada saat pengukuran maka untuk menghitung daya yang dibangkitkan oleh generator dengan menggunakan rumus:

$$S\ (VA) = (V_{RN}\ .I_R) + (V_{SN}\ .I_S) + (V_{TN}\ .I_T)$$

$$P\ (Watt) = S\ .\cos\phi$$

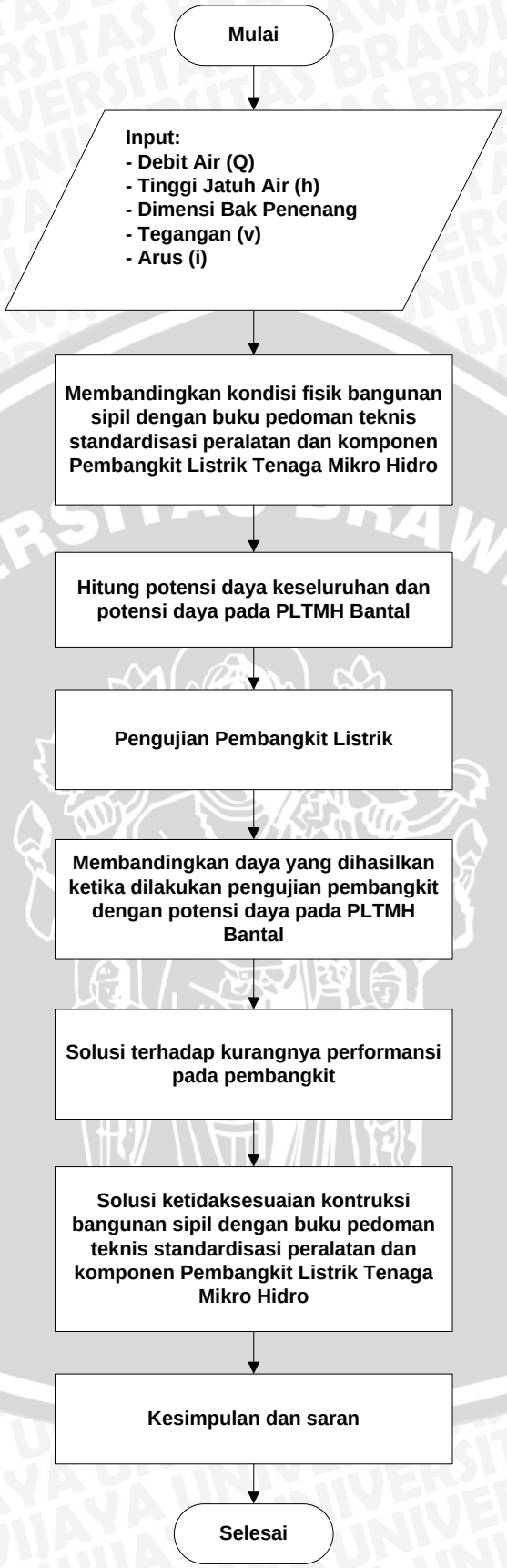
Setelah hasil perhitungan daya yang dibangkitkan generator di lapangan didapatkan kemudian dibandingkan dengan daya keluaran secara teoritis (P_{out}).

- Dan analisis terakhir adalah mencari faktor-faktor yang menyebabkan terjadinya *losses* pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro Bantal dan mendapatkan solusinya terhadap *losses* tersebut.

3.4 Kesimpulan

Dari hasil analisis akan didapatkan kesimpulan dan saran sebagai hasil evaluasi:

1. Besar daya keluaran yang dapat dibangkitkan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro Bantal.
2. Besar perbandingan daya keluaran secara teoritis yang dapat dibangkitkan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro Bantal dengan daya keluaran generator berdasarkan hasil pengujian terhadap generator.
3. Hal-hal apa saja yang bisa menimbulkan *losses* pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro Bantal dan cara mengatasi *losses* tersebut.



Gambar 3.1 Diagram Alir Metode Penelitian

Sumber: Penulis

BAB IV

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) Bantal terletak di Desa Bantal Kelurahan Bantal Kecamatan Asembagus Kabupaten Situbondo. Air yang digunakan untuk Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro Bantal berasal dari saluran irigasi Parseh yang bersumber dari Gunung Ijen kemudian bermuara di dam Lewung. Saluran irigasi yang mengalir kearah utara ini terletak di desa Bantal yang berjarak kurang lebih lima kilometer dari Asembagus. Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro Bantal dikelola oleh Pabrik Gula Assembagoes yang digunakan untuk menyuplai motor listrik yang berada pada lahan tebu milik Pabrik Gula Assembagoes.

4.1 Kondisi Komponen Bangunan Sipil Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro Bantal

4.1.1 Saluran Penyadap (*Intake*)

Saluran penyadap adalah bagian konstruksi sipil yang berfungsi untuk masuknya air dan mengontrol debit air dari sungai menuju bak penenang Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro. Pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro Bantal menggunakan 2 pintu air yang berjenis pintu sorong baja dengan roda gigi (stang ganda). Kondisi pintu air saat ini masih bagus, tetapi tidak tersedianya saringan (*trashrack*) pada bangunan tersebut, sehingga sedimen apung yang berukuran besar dapat masuk dengan mudah menuju saluran pembawa (*headrace*). Menurut buku pedoman teknis standardisasi peralatan dan komponen Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro, dimana buku ini merupakan terbitan dari Direktorat Jenderal Listrik dan Pemanfaatan Energi Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral tertulis bahwa saringan (*trashrack*) harus dipasang di *intake* khususnya untuk sedimen apung berukuran besar.

Berikut ini spesifikasi dari pintu air:

Tinggi pintu air : 1,8 meter

Lebar pintu air : 2 meter

Gambar 4.1 Pintu Air Pada *Intake*

Sumber: Penulis

4.1.2 Saluran Pembawa (*headrace*)

Saluran pembawa pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro Bantal adalah saluran terbuka yang memiliki penampang berupa persegi panjang. Bangunan ini terbuat dari pasangan batu kali yang diplester semen. Ditengah-tengah saluran pembawa terdapat saluran pengendap dan saringan yang berfungsi untuk mengendapkan dan menyaring sedimen agar sedimen tidak masuk ke turbin.

Berikut ini spesifikasi dari saluran pembawa:

Panjang	: 27,97 meter
Lebar	: 4 meter
Tinggi	: 1,83 meter
Jarak antara intake dengan saluran pengendap	: 10,63 meter

Gambar 4.2 Saluran Pembawa Pada PLTMH Bantal

Sumber: Penulis

4.1.3 Saluran Pengendap (*settling basin*)

Letak dari saluran pengendap Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro Bantal berada di tengah-tengah saluran pembawa dimana jarak antara saluran pengendap dengan intake adalah 10,63 meter. Dinding saluran pengendap terbuat dari batu kali yang diplester dengan semen. Pada saluran pengendap, terdapat pula saringan yang berfungsi untuk menyaring sedimen apung namun pada saluran ini tidak tersedia pintu air yang berfungsi untuk membuang endapan sedimen yang berada di dasar saluran pengendap. Menurut buku pedoman teknis standardisasi peralatan dan komponen Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro, tertulis bahwa mekanisme pembuangan endapan harus ada dan cara pembuangan endapannya tersebut dapat berupa pintu air atau jenis lain.

Berdasarkan kondisi dilapangan, saluran pengendap pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro Bantal kurang bekerja secara optimum karena masih banyaknya sedimen yang terbawa hingga bak penenang. Hal ini dibuktikan ketika Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro berhenti beroperasi, banyak endapan sedimen yang menumpuk pada dasar bak penenang.

Berikut ini spesifikasi dari saluran pengendap:

Panjang : 7,44 meter
Lebar : 4,85 meter
Kedalaman: 0,8 meter

4.1.4 Saringan (*trashrack*)

Saringan merupakan komponen bangunan sipil yang berfungsi sebagai menyaring sedimen apung sehingga sedimen tersebut tidak sampai masuk ke dalam turbin. Saringan ini terletak pada saluran pengendap dimana konstruksinya terbuat dari besi baja yang disusun secara vertical dengan jarak antar besi baja kurang lebih 5 cm. Saringan ini bekerja kurang optimum karena masih ada sedimen apung yang berupa batang tebu masuk ke dalam turbin sehingga mempengaruhi kinerja dari turbin. Sehingga perlu dilakukan perbaikan pada saringan agar sedimen bisa tersaring secara optimum. Gambar 4.3 dibawah ini menunjukkan bahwa sedimen yang berupa pasir dan batang tebu tersangkut pada *guide van* turbin.

Gambar 4.3 Tumpukan Sedimen Pada *Guide Van* Turbin

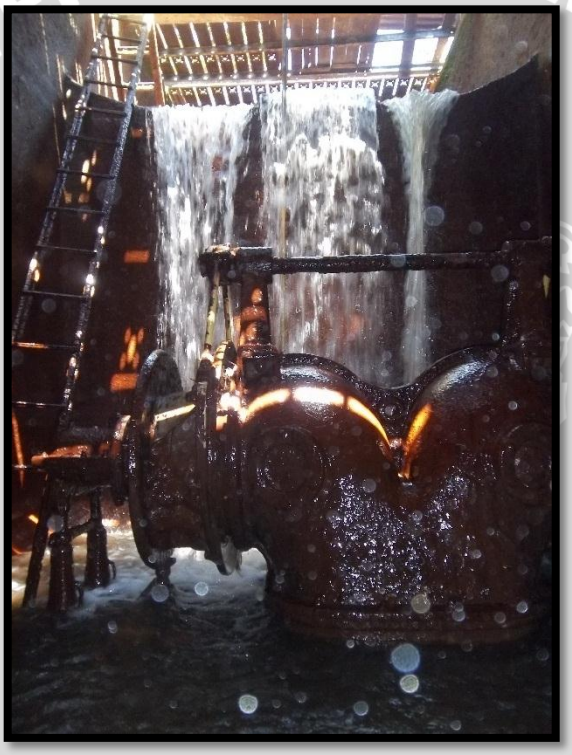
Sumber: Penulis

4.1.5 Kolam Penenang (*forebay*)

Bangunan kolam penenang memiliki panjang dan lebar yang sama yaitu 4 meter dengan ketinggian 5,9 meter. Pada dasar bangunan kolam penenang terdapat sebuah turbin yang dahulunya merupakan pembangkit lama yang sudah tidak beroperasi lagi. Adanya turbin pada kolam penenang ini mempengaruhi besarnya volume air yang berada

di kolam penenang. Sehingga perlu dilakukan pembongkaran pada turbin tersebut sehingga kolam penenang mampu menampung air dengan maksimum.

Berdasarkan kondisi di lapangan, terjadi aliran turbulensi pada bangunan kolam penenang ketika Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro ini beroperasi. Hal ini disebabkan karena jarak antara ketinggian muka air pada bangunan kolam penenang dengan pipa pesat tidak sesuai dengan pedoman teknis standardisasi peralatan dan komponen Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro. Di dalam buku pedoman tersebut dijelaskan bahwa pipa pesat harus terendam air dengan kedalaman minimum 2 kali dari diameter pipa pesat. Ketika dilakukan pengukuran, jarak antara ketinggian muka air dengan pipa pesat adalah 3,6 meter sedangkan diameter pipa pesat adalah 1,9 meter.



Gambar 4.4 Turbin Pada Kolam Penenang

Sumber Penulis

4.1.6 Pipa Pesat (*penstock*)

Pipa pesat pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro Bantal memiliki panjang 4,4 meter dengan diameter 1,9 meter. Pada dinding dalam pipa pesat sudah banyak yang terjadi korosi erosi. Korosi erosi adalah korosi yang terjadi pada permukaan logam yang disebabkan aliran fluida yang sangat cepat sehingga merusak permukaan logam dan

lapisan film pelindung. Oleh karena itu perlu dilakukan perbaikan pada dinding pipa pesat agar korosi tidak semakin parah.

Gambar 4.5 Korosi Pada Dinding Pipa Pesat

Sumber: Penulis

4.1.7 Saluran Pembuangan (*tailrace*)

Saluran pembuangan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro Bantal berfungsi untuk mengembalikan air yang telah digunakan oleh pembangkit ke saluran irigasi Parseh. Kondisi saluran pembuangan kurang terawat dimana terjadi penyempitan saluran, karena pada bagian tepi saluran banyak tanah yang menumpuk sehingga banyak ditumbuhi tanaman liar. Sebenarnya saluran pembuangan ini memiliki lebar 5,05 meter, namun setelah terjadi penyempitan lebar saluran ini kurang lebih menjadi 2,6 meter. Sehingga perlu dilakukan pengerukan sedimen pada saluran pembuangan agar sedimen tidak mengendap pada saluran pembuangan dan air dapat kembali dengan lancar menuju saluran irigasi Parseh.

Gambar 4.6 Kondisi Saluran Pembuangan Pada PLTMH Bantal

Sumber: Penulis

4.2 Komponen Mekanikal Elektrikal Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro Bantal

Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro Bantal memiliki data-data teknis sebagai berikut:

4.2.1 Turbin

Berikut ini spesifikasi dari turbin yang digunakan oleh Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro Bantal:

Jenis turbin	: *crossflow*
Lebar kerangka turbin	: 208 cm
Diameter luar *runner*	: 80 cm
Putaran turbin	: 154 rpm

4.2.2 Transmisi Mekanik

Transmisi mekanik yang digunakan oleh Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro Bantal berupa *gearbox*. Berdasarkan kondisi dilapangan, terjadi rembesan oli pada celah-celah bagian gearbox tersebut. Hal ini dapat menyebabkan gesekan yang lebih antara roda

gigi apabila oli pada gearbox terus berkurang. Sehingga perlu dilakukan penggantian packing pada gearbox agar oli tidak merembes keluar.

Berikut ini spesifikasi dari *gearbox*:

Merk : Westdeutsche Getriebewerke GMBH
Type : SBN 315
Putaran 1 (n_1) : 154 rpm
Putaran 2 (n_2) : 1500 rpm
Tahun pembuatan : 1978

4.2.3 Peralatan Mekanik

Bantalan yang digunakan pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro Bantal berjenis bantalan gelinding. Terdapat 2 buah bantalan yang masing-masing ditopang oleh kuda-kuda (kerangka besi). Pada salah satu bantalan terjadi gesekan yang berlebih sehingga timbul panas ketika pembangkit ini beroperasi. Bantalan ini terletak di antara kopel dengan kopel setelah poros dari *gearbox*.

Berikut ini spesifikasi dari bantalan:

Jenis : Bantalan Gelinding
Type rumah bantalan : SNH 530

4.2.4 Regulator

Regulator berfungsi untuk mengatur bukaan *guide van* agar menghasilkan putaran turbin yang konstan ketika baban semakin bertambah. Prinsip kerjanya adalah ketika generator dibebani, putaran pada generator akan turun seiring bertambahnya beban. Pada saat putaran generator turun atau kurang dari putaran nominalnya yaitu 1500 rpm maka secara otomatis regulator bekerja dengan cara mengatur *guide van* untuk menempatkan posisi pukulan air terhadap *runner* turbin. Sehingga putaran turbin akan kembali konstan seiring bertambahnya beban dengan kata lain putaran turbin akan mengimbangi kondisi beban sehingga putaran generator akan selalu berada pada nilai nominal.

Berdasarkan kondisi dilapangan, pada regulator terjadi rembesan oli pada celah-celah *pully* regulator sehingga oli pada regulator semakin berkurang. Selain oli pada regulator berkurang, rembesan oli tersebut mempengaruhi kinerja dari *pully* karena

rembesan oli mengenai pada permukaan *pully*. Oleh karena itu perlu dilakukan perbaikan pada regulator sehingga oli tidak keluar melalui celah-celah regulator.

4.2.5 Generator

Berikut ini spesifikasi generator yang digunakan oleh Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro Bantal:

Jenis	: Generator Sinkron
Type	: DIB 80 EF / 4 D
Daya	: 290 kVA
Tegangan nominal	: 400 volt
Arus nominal	: 418 ampere
Pf	: 0,8
Putaran	: 1500 rpm
Tegangan eksitasi	: 30 volt
Arus eksitasi	: 2,32 ampere
Insulation class	: F
Index protection	: 23

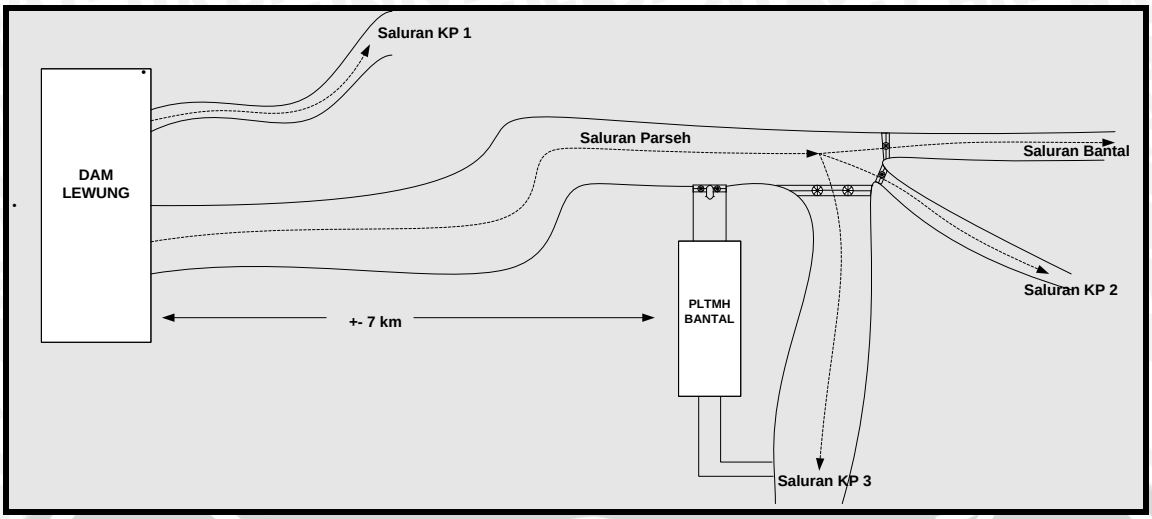
4.3 Potensi Energi Aliran Air Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) Bantal

Dalam menghitung potensi energi aliran air pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) Bantal ini perlu dilakukan perhitungan terhadap beberapa parameter, antara lain:

1. Debit air (Q)

   Pengukuran debit air (Q) dilakukan pada saluran cabang dari saluran utama. Pengukuran dilakukan pada saluran cabang dikarenakan lebar sungai pada saluran utama terlalu panjang dan tidak adanya jembatan yang menghubungkan antara sisi tepi sungai sehingga tidak memungkinkan dilakukan pengukuran pada saluran utama. Saluran cabang dari saluran utama yaitu saluran KP 2, saluran KP 3 dan saluran Bantal. Pengukuran debit air (Q) pada ketiga saluran cabang tersebut menggunakan metode kecepatan area dengan menggunakan *current meter* sebagai alat untuk mengukur kecepatan aliran air.

Gambar 4.7 merupakan denah dari saluran irigasi Parseh beserta saluran cabangnya.



Gambar 4.7 Denah Saluran Irigasi Parseh

Sumber: Penulis

Pengukuran debit air pada saluran KP 2 dilakukan dengan membagi lebar saluran menjadi 3 *segment* dengan lebar setiap *segment* adalah 16 cm, 16 cm dan 15 cm yang ditunjukkan pada Gambar 4.8. Kedalaman air pada saluran KP 2 adalah 0,48 m sehingga dilakukan satu kali pengukuran kecepatan air pada setiap *segment* dikarenakan kedalaman air kurang dari 0,5 meter. Untuk mempermudah pengukuran maka kecepatan air yang diukur pada semua *segment* yaitu pada kedalaman 0,3 meter dari dasar. Tabel 4.1 dibawah ini menunjukkan hasil pembacaan kecepatan air dengan menggunakan *current meter*.

Tabel 4.1 Hasil Pembacaan Kecepatan Air Dengan Menggunakan *Current Meter* Pada Saluran KP 2

Segment	Lebar (m)	Kedalaman (m)	Kecepatan (m/s)
1	0.16	0.48	1.982
2	0.16	0.48	2.068
3	0.15	0.48	2.088

Sumber: Hasil Pengukuran

Dari hasil pengukuran diatas maka berdasarkan Persamaan 2.11 didapatkan debit air yaitu:

$$Q_1 = W_1 . h_1 . V_1$$

$$Q_1 = 0{,}16 . 0{,}48 . 1{,}982$$

$$Q_1 = 0{,}1522176 \ m^3/s$$

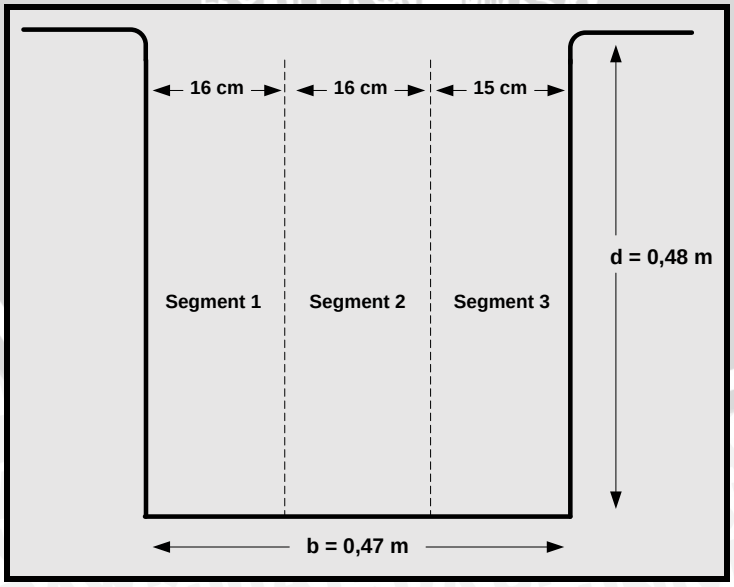
Dengan cara yang sama, diperoleh besarnya debit air setiap segment seperti tersusun dalam Tabel 4.2 dibawah ini.

Tabel 4.2 Debit Air Pada Setiap Segment Saluran KP 2

Segment	Debit (m^3/s)
1	0.1522176
2	0.1588224
3	0.150336

Sumber: Hasil Perhitungan

Sehingga didapatkan debit air total pada saluran KP 2 sebesar 0,4614 m^3/s.



Gambar 4.8 Penampang Saluran KP 2

Sumber: Penulis

Pengukuran debit air pada saluran Bantal dilakukan dengan membagi lebar saluran menjadi 5 *segment* dengan lebar setiap *segment* adalah 50 cm yang ditunjukkan pada Gambar 4.9. Kedalaman air pada saluran KP 2 adalah 0,33 m sehingga dilakukan satu kali pengukuran kecepatan air pada setiap *segment* dikarenakan kedalaman air kurang dari 0,5 meter. Untuk mempermudah pengukuran maka kecepatan air yang diukur pada semua *segment* yaitu pada kedalaman 0,2 meter dari dasar. Tabel 4.3 dibawah ini menunjukkan hasil pembacaan kecepatan air dengan menggunakan *current meter*.

Tabel 4.3 Hasil Pembacaan Kecepatan Air Dengan Menggunakan *Current Meter* Pada Saluran Bantal

Segment	Lebar (m)	Kedalaman (m)	Kecepatan (m/s)
1	0.5	0.33	2.675
2	0.5	0.33	2.648
3	0.5	0.33	2.808
4	0.5	0.33	3.048
5	0.5	0.33	2.702

Sumber: Hasil Pengukuran

Dari hasil pengukuran diatas maka berdasarkan Persamaan 2.11 didapatkan debit air yaitu:

$$Q_1 = W_1 . h_1 . V_1$$

$$Q_1 = 0{,}5 . 0{,}33 . 2{,}675$$

$$Q_1 = 0{,}441375 \ m^3/s$$

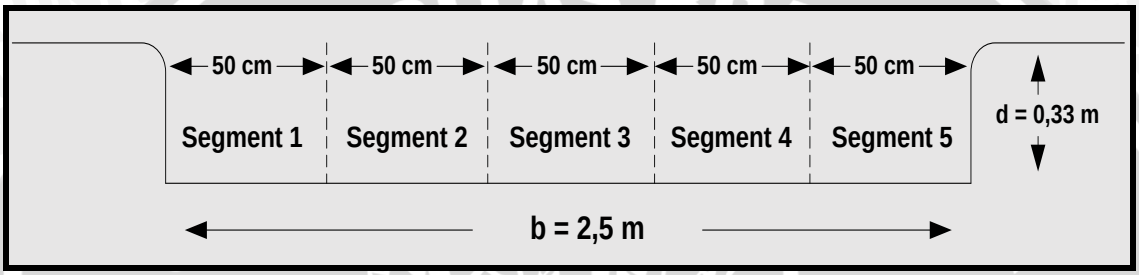
Dengan cara yang sama, diperoleh besarnya debit air setiap segment seperti tersusun dalam Tabel 4.4 dibawah ini.

Tabel 4.4 Debit Air Pada Setiap Segment Saluran Bantal

Segment	Debit (m^3/s)
1	0.441375
2	0.43692
3	0.46332
4	0.50292
5	0.44583

Sumber: Hasil Perhitungan

Sehingga didapatkan debit air total pada saluran Bantal sebesar 2,2904 m^3/s.



Gambar 4.9 Penampang Saluran Bantal

Sumber: Penulis

Pengukuran debit air pada saluran KP 3 dilakukan dengan membagi lebar saluran menjadi 6 *segment* dengan lebar setiap *segment* adalah 50 cm yang ditunjukkan pada Gambar 4.10. Setiap *segment* diambil data kecepatan air sebanyak 5 kali. Tabel 4.5 dibawah ini menunjukkan hasil pembacaan kecepatan air dengan menggunakan *current meter*.

Tabel 4.5 Hasil Pembacaan Kecepatan Air Dengan Menggunakan *Current Meter* Pada Saluran KP 3

Segment	Lebar (m)	Kedalaman (m)	Kecepatan (m/s)					Kecepatan rata-rata (m/s)
			1	2	3	4	5	
1	0.5	0.77	1.368	1.208	0.701	0.755	0.595	0.9254
2	0.5	0.96	3.128	3.555	3.635	2.968	2.382	3.1336
3	0.5	0.96	3.662	3.582	3.608	3.526	3.155	3.5066
4	0.5	1	3.688	3.526	3.235	3.502	3.368	3.4638
5	0.5	0.96	3.902	3.688	3.635	3.395	3.022	3.5284
6	0.5	0.85	3.555	3.768	3.688	3.448	2.328	3.3574

Sumber: Hasil Pengukuran

Dari hasil pengukuran diatas maka berdasarkan Persamaan 2.11 didapatkan debit air yaitu:

$$Q_1 = W_1 . h_1 . V_1$$

$$Q_1 = 0{,}5 . 0{,}77 . 0{,}9254$$

$$Q_1 = 0{,}356279 \ m^3/s$$

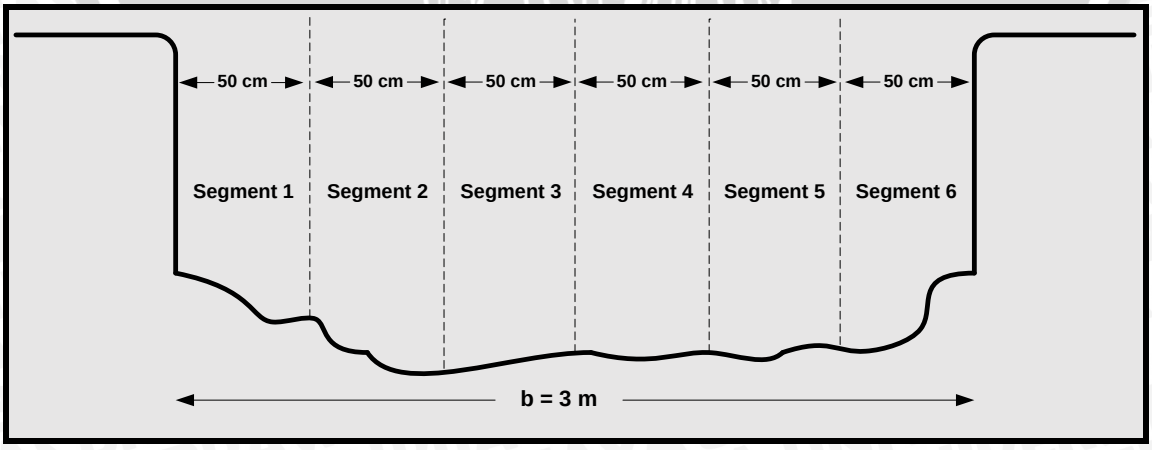
Dengan cara yang sama, diperoleh besarnya debit air setiap segment seperti tersusun dalam Tabel 4.6 dibawah ini.

Tabel 4.6 Debit Air Pada Setiap Segment Saluran KP 3

Segment	Debit (m^3/s)
1	0.356279
2	1.504128
3	1.683168
4	1.7319
5	1.693632
6	1.426895

Sumber: Hasil Perhitungan

Sehingga didapatkan debit air total pada saluran KP 3 sebesar 8,3960 m^3/s.



Gambar 4.10 Penampang Saluran KP 3

Sumber: Penulis

Jadi debit air pada saluran irigasi Parseh adalah perjumlahan debit air dari ketiga cabang yaitu saluran KP 2, saluran Bantal dan saluran KP 3.

$$Q = Q_{KP\,2} + Q_{Bantal} + Q_{KP\,3}$$

$$Q = 0{,}4614 + 2{,}2904 + 8{,}3960$$

$$Q = 11{,}1477 \ \ m^3/s$$

Sedangkan untuk mendapatkan debit air yang mengalir pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro Bantal yaitu dengan cara melakukan pengurangan antara debit air pada saluran irigasi Parseh sebelum Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro beroperasi dengan debit air pada saluran irigasi Parseh ketika Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro beroperasi. Untuk mengatur debit air yang masuk ke Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro Bantal, hanya pintu air yang berada pada saluran KP 3 yang diatur sedangkan pintu air pada saluran Bantal dan saluran KP 2 tidak berubah.

Pengukuran debit air pada saluran KP 3 ketika Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro beroperasi sama seperti pengukuran sebelumnya dimana pengukuran dilakukan dengan membagi lebar saluran menjadi 6 *segment* dengan lebar setiap *segment* adalah 50 cm. Setiap *segment* diambil data kecepatan air sebanyak 5 kali. Tabel 4.7 dibawah ini menunjukkan hasil pembacaan kecepatan air dengan menggunakan *current meter*.

Tabel 4.7 Hasil Pembacaan Kecepatan Air Dengan Menggunakan *Current Meter* Pada Saluran KP 3 Ketika PLTMH Beroperasi

Segment	Lebar (m)	Kedalaman (m)	Kecepatan (m/s)			Kecepatan rata-rata (m/s)
			1	**2**	**3**	
1	0.5	0.64	0.781	0.968	0.675	0.808
2	0.5	0.82	2.248	2.435	2.435	2.372666667
3	0.5	0.85	2.782	2.702	2.675	2.719666667
4	0.5	0.78	2.915	2.915	3.022	2.950666667
5	0.5	0.75	3.128	3.155	3.155	3.146
6	0.5	0.5	3.162	3.315	2.942	3.139666667

Sumber: Hasil Pengukuran

Sehingga debit air pada saluran KP 3 ketika Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro beroperasi ditunjukkan pada Tabel 4.8 dibawah ini.

Tabel 4.8 Debit air Pada Saluran KP 3 Ketika PLTMH Beroperasi

Segment	Debit (m^3/s)
1	0.25856
2	0.972793333
3	1.155858333
4	1.15076
5	1.17975
6	0.784916667
Total	**5.502638333**

Sumber: Hasil Perhitungan

Sehingga debit air pada saluran KP 3 ketika Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro beroperasi adalah 5,5026 m^3/s.

Maka debit air yang mengalir ke Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro Bantal adalah

$$Q_{PLTMH} = Q_{KP\ 3\ sebelum\ PLTMH\ beroperasi} - Q_{KP\ 3\ ketika\ PLTMH\ beroperasi}$$

$$Q_{PLTMH} = 8{,}3960 - 5{,}5026$$

$$Q_{PLTMH} = 2{,}8934 \ \ m^3/s$$

2. Tinggi jatuh air (h)

Untuk mendapatkan tinggi jatuh air (h) dilakukan pengukuran dengan menggunakan metode *water-filled tube* dimana diukur dari permukaan air atas pada kolam penenang hingga air menyentuh sudu pada *runner* turbin. Sehingga tinggi jatuh air pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro Bantal didapatkan sebesar 6,4 meter.

3. Kerugian pada pipa pesat

- Kehilangan tinggi tekan (*head*) akibat gesekan pipa

Berdasarkan data-data yang diperoleh, pada bagian pipa pesat yang belum mengalami penyempitan diketahui nilai debit air (Q) yaitu 2,89 m^3/s dan luas penampang pipa pesat (A) yaitu 2,8353 m^2 dengan diameter pipa pesat (d) sebesar 1,9 meter. Sehingga kecepatan aliran air (V) adalah:

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{2{,}89}{2{,}8353} = 1{,}019 \;\; m/s$$

Pipa pesat yang digunakan terbuat dari besi tuang yang umurnya lebih dari 20 tahun dengan panjang pipa pesat (L) sebesar 4,4 meter. Sehingga berdasarkan Tabel 2.1 maka nilai koefisien C_H Hazen-Williams untuk pipa adalah 100.

Maka kehilangan tinggi tekanan *(head)* yang dihitung dengan menggunakan Persamaan 2.13 pada masing-masing bagian dari pipa pesat yang terpasang adalah

$$h_L = S \,.\, L = \frac{V^{1,85} \,.\, L}{(1{,}318\, C_H)^{1,85} R^{1,17}}$$

$$h_L = \frac{1{,}1019^{1,85} \,.\, 4{,}4}{(1{,}318 \,.\, 100)^{1,85} \,.\, 0{,}95^{1,17}} = 0{,}00067 \;\; m$$

Sehingga total kehilangan tinggi tekan (*head*) akibat gesekan pipa adalah

$$h_L = 0{,}00067 \;\; m$$

- Kehilangan tinggi tekan (*head*) pada saringan air

Pada berbagai bentuk saringan air yang digunakan terdapat kehilangan tinggi tekan (*head*) yang dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 2.19. Berdasarkan hasil pengamatan dan pengukuran pada PLTMH Bantal diperoleh nilai-nilai sebagai berikut

- nilai profil (φ) = 2,42

- tebal jeruji (s) = 7 cm
- jarak antar jeruji (b) = 5 cm
- sin α = sin 56^0 = 0,83
- panjang saringan = 487 cm
- lebar saringan = 170 cm

Sehingga besarnya kecepatan air yang melalui saringan (V_s) adalah

$$V_s = \frac{Q}{A} = \frac{2{,}89}{8{,}279} = 0{,}3491 \ \ m/s$$

Maka besarnya kehilangan tinggi tekan pada tiap saringan adalah

$$\Delta h_r = \varphi \left(\frac{s}{b}\right)^{\frac{4}{3}} \frac{v^2}{2g} \sin \alpha$$

$$\Delta h_r = 2{,}42 \, . \left(\frac{7}{5}\right)^{\frac{4}{3}} . \frac{0{,}3491^2}{2 \, . \, 9{,}8} \, . \, 0{,}83 = 0{,}01956 \ \ m$$

Total besar kehilangan tinggi tekan (*head*) pada saringan adalah

$$\Delta h_r = 0{,}01956 \ \ m$$

Jadi kehilangan tinggi jatuh air total yang disebabkan oleh struktur dari pipa pesat dan saringan adalah

$$h_L(total) = h_L + \Delta h_r$$
$$h_L(total) = 0{,}00067 + 0{,}01956$$
$$h_L(total) = 0{,}02023 \ \ m$$

Dengan demikian tinggi jatuh air bersih, yaitu tinggi jatuh air yang ada pada PLTMH Bantal saat ini setelah dikurangi dengan kehilangan tinggi jatuh air total adalah

$$h(nett) = h - h_L(total)$$
$$h(nett) = 6{,}4 - 0{,}02023$$
$$h(nett) = 6{,}37977 \ \ m$$

Berdasarkan parameter-parameter yang sudah didapatkan, maka besarnya daya hidrolik (P_h) yang merupakan potensi sumber daya air pada saluran irigasi Parseh dapat ditentukan melalui Persamaan 2.2.

$$P_h = 9{,}8 \,.\, Q \,.\, h$$
$$P_h = 9{,}8 \;.\; 8{,}3960 \;.\; 6{,}37977$$
$$P_h = 524{,}9326 \quad kW$$

Pada umumnya efisiensi turbin *crossflow* 60 % sampai 80 % (Mismail, 1991/1992:160). Namun pada perhitungan, efisiensi turbin yang dipakai adalah 70 %. Sedangkan efisiensi dari pipa pesat pada umumnya berkisar 95 % (Linsley, 1995). Jika efisiensi pipa pesat (η_{pp}) dan efisiensi turbin (η_{tb}) diketahui, maka besarnya daya mekanik turbin dapat ditentukan dari Persamaan 2.3.

$$P_{mekanik} = \eta_{pp} \;.\; \eta_{tb} \;.\; P_h$$
$$P_{mekanik} = 0{,}95 \;.\; 0{,}7 \;.\; 524{,}9326$$
$$P_{mekanik} = 349{,}0802 \quad kW$$

Antara turbin dan generator terdapat perangkat sistem transmisi mekanik. Pada umumnya efisiensi sistem transmisi mekanik dengan menggunakan gearbox berkisar 96 % sampai 99 % (Maitra, 2001:1.2). Sedangkan efisiensi generator umumnya berkisar 85 % sampai 90 % (Mismail, 1991/1992:177). Pada perhitungan, efisiensi generator yang dipakai adalah 90 % karena generator memiliki kapasitas diatas 100 kW dan efisiensi sistem transmisi mekanik yang dipakai adalah 99 % karena kondisi dilapangan sistem transmisi mekanik langsung menggunakan gearbox yang langsung dikopel dengan generator. Jika efisiensi sistem transmisi mekanik (η_{tm}) dan efisiensi generator (η_g) diketahui, maka besarnya daya keluaran elektrik dari generator dapat ditentukan dengan Persamaan 2.4.

$$P_{elektrik} = \eta_{tm} \,.\, \eta_g \,.\, P_{mekanik}$$
$$P_{elektrik} = 0{,}99 \;.\; 0{,}9 \;.\; 349{,}0802$$
$$P_{elektrik} = 311{,}0305 \quad kW$$

Debit air yang digunakan untuk perhitungan daya elektrik pada saluran irigasi Parseh adalah debit air pada saluran KP 3 sebesar 8,3960 m^3/s. Karena debit air pada saluran Bantal dan saluran KP 2 digunakan untuk mengairi lahan pertanian sehingga debit air pada kedua saluran tersebut tidak bisa digunakan untuk Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro Bantal. Sehingga besar potensi daya yang dapat dibangkitkan secara keseluruhan adalah sebesar 311,0305 kW.

Sedangkan potensi daya yang dibangkitkan pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro Bantal dengan debit air yang digunakan adalah 2,8934 m^3/s. Hal ini diperkuat dengan Tabel Perkiraan Daya dan Dimensi Turbin PLTM yang dicantumkan pada lampiran menunjukkan bahwa dengan panjang runner turbin kurang dari 2000 cm dan tinggi jatuh air 6 meter, membutuhkan debit air kurang dari 3 m^3/s. Apabila debit air pada saluran irigasi Parseh yaitu 11,1477 m^3/s dipaksa untuk dialirkan semua ke dalam Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro Bantal, air tersebut akan meluber.

Sehingga besar daya keluran elektrik dari generator PLTMH Bantal adalah

$$P_{elektrik} = 9{,}8 \,.\, \eta_{pp} \,.\, \eta_{tb} \,.\, \eta_{tm} \,.\, \eta_g \,.\, Q \,.\, h$$
$$P_{elektrik} = 9{,}8 \,.\, 0{,}95 \,.\, 0{,}7 \,.\, 0{,}99 \,.\, 0{,}9 \,.\, 2{,}8934 \,.\, 6{,}4$$
$$P_{elektrik} = 107{,}5261 \quad kW$$

Maka besar potensi daya yang dapat dibangkitkan pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro Bantal adalah sebesar 107,5261 kW.

Besarnya daya keluaran teoritis sebelum memperhitungkan kerugian pada pipa pesat adalah $P_{out} = 107{,}5261 \ kW$ dan daya keluaran teoritis setelah memperhitungkan kerugian pada pipa pesat adalah $P_{out} = 107{,}1862 \ kW$. Selisih yang terjadi di antara keduanya adalah

$$P_{out} = 107{,}5261 - 107{,}1862 = 0{,}3399 \ \ kW$$

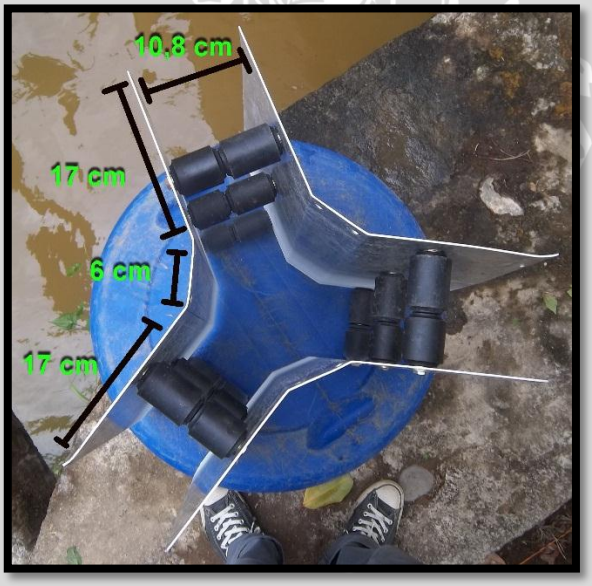
Bila dinyatakan dalam prosentase:

$$\%P_{Loss} = \frac{0{,}3399}{107{,}5261} \,.\, 100\,\% = 0{,}3161\,\%$$

4.4 Pengujian Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro

Pengujian Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro Bantal dalam keadaan berbeban dilakukan pada tanggal 21 November 2013 yang bertujuan untuk mengetahui kapasitas daya yang mampu dibangkitkan oleh generator dengan potensi air yang ada pada saluran irigasi Parseh.

Beban yang digunakan dalam pengujian Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro ini adalah tiga plat elektroda yang terbuat dari plat aluminium dengan ketebalan 2 mm yang memiliki panjang 40 cm dan lebar 50 cm. Ketiga plat ini kemudian dihubungkan dengan isolator yang panjangnya 10,8 cm. Ketiga elektroda ini dibuat sedemikian rupa agar menghasilkan beban yang setimbang. Kemudian elektroda ini dimasukkan kedalam drum yang berisi air garam. Masing-masing elektroda dihubungkan ke control panel dengan menggunakan kabel TC 3x35 mm^2 + 1x25 mm^2.



Gambar 4.11 Elektroda Yang Digunakan Dalam Pengujian

Sumber. Penulis

Pada pengujian ini salah satu dari pintu air yang terletak pada intake dibuka dalam keadaan penuh sedangkan untuk mengatur tinggi aliran air pada kolam penenang yaitu dengan cara mengatur pintu air yang terletak di sebelah barat dari intake. Setelah air pada kolam penenang terisi penuh dan pembangkit mulai beroperasi, beban dimasukkan bertahap dengan cara memasukkan elektroda kedalam air garam secara perlahan-lahan. Setiap kenaikan beban dilakukan pengukuran arus dan tegangan pada generator dengan

menggunakan *clamp meter*. Hasil pengukuran tegangan pada generator dapat dilihat pada Tabel 4.9 dibawah ini:

Tabel 4.9 Hasil Pengukuran Tegangan Pada Generator

Keterangan	Tegangan (volt)
V_{R-S}	**405**
V_{R-T}	**396**
V_{S-T}	**396**

Sumber: Hasil Pengukuran

Dalam melakukan perhitungan kapasitas daya yang dihasilkan oleh generator, tegangan antar fasa yang didapatkan melalui pengukuran harus diubah terlebih dahulu dalam tegangan fasa dengan menggunakan Persamaan 2.21.

$$V_{R-S} = \sqrt{3} \,.\, V_{f_R}$$
$$405 = \sqrt{3} \,.\, V_{f_R}$$
$$V_{f_R} = \frac{405}{\sqrt{3}}$$
$$V_{f_R} = 233{,}83 \quad volt$$

Dengan cara yang sama, diperoleh tegangan fasa pada generator seperti disusun dalam Tabel 4.10 dibawah ini:

Tabel 4.10 Tegangan Fasa Pada Generator

Keterangan	Tegangan (volt)
V_{R-N}	233,83
V_{S-N}	228,63
V_{T-N}	228,63

Sumber: Hasil Perhitungan

Hasil pengukuran arus pada generator dapat dilihat pada Tabel 4.11 dibawah ini:

Tabel 4.11 Hasil Pengukuran Arus Pada Generator

Arus (ampere)		
I_R	**I_S**	**I_T**
28	30.1	32.3
61	84	36
66	133	81
70	101.9	68
60	93	138
88	146	105
85	177	134
98	168	117
143	216	80
117	133	87
96	31	76
86	107	112
115	152	157
75	113	118
90	115	116

Sumber: Hasil Pengukuran

Dalam menghitung kapasitas daya yang dihasilkan oleh generator, arus yang digunakan adalah $I_R = 143\ A$, $I_S = 216\ A$, $I_T = 80\ A$ karena memiliki arus rata-rata yang paling tinggi. Sehingga kapasitas daya yang dihasilkan oleh generator dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 2.23 dengan ansumsi $\cos\phi = 1$ karena beban yang digunakan saat pengujian bersifat resistif yaitu berupa plat elektroda dengan media air garam.

$$P = (V_{R-N} \,.\, I_R \,.\cos\emptyset) + (V_{S-N} \,.\, I_S \,.\cos\emptyset) + (V_{T-N} \,.\, I_T \,.\cos\emptyset)$$
$$P = (233{,}83 \,.\, 143 \,.\, 1) + (228{,}63 \,.\, 216 \,.\, 1) + (228{,}63 \,.\, 80 \,.\, 1)$$
$$P = 101112{,}3 \quad watt$$
$$P = 101{,}1123 \quad kW$$

Jadi kapasitas daya yang mampu dihasilkan oleh Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro Bantal berdasarkan pengujian yang telah dilakukan yaitu sebesar 101,1123 kW. Pengujian ini sebetulnya masih bisa dilanjutkan karena pasokan air untuk pembangkit masih bisa mencukupi namun melihat berbagai fakta yang muncul pada peralatan transmisi mekanik yaitu pada salah satu bantalan (*bearing*) terjadi gesekan sehingga

menimbulkan bunyi yang keras. Oleh karena itu, untuk menghindari kerusakan semakin parah pada bantalan, pengujian tidak dilanjutkan kembali.

Ketika melakukan pengujian, jarak antar elektroda dibuat sama agar bisa menghasilkan beban setimbang, namun pada hasil pengukuran arus fasa generator terjadi ketidaksetimbangan antara fasa R, fasa S dan fasa T. Hal ini dapat dilihat pada Tabel 4.11 menunjukkan bahwa arus fasa pada generator memiliki perbedaan yang sangat jauh dengan fasa yang lainnya. Ketidaksetimbangan beban pada pembangkit ini diperkuat dengan bukti laporan pembukuan operator yang dicatat setiap jamnya yang dicantumkan pada lampiran. Oleh karena itu, perlu dilakukan pengujian isolasi pada generator untuk mengetahui tingkat kebocoran arus pada generator.

Perbandingan antara daya yang dihasilkan generator dengan daya yang dibangkitkan secara teoritis adalah

$$\frac{daya\ yang\ dihasilkan\ generator\ (kW)}{daya\ yang\ dibangkitkan\ pembangkit\ secara\ teori}\ x\ 100\ \%$$

$$\frac{101{,}1123}{107{,}1862}\ x100\ \% = 94{,}33\ \%$$

4.5 Kehilangan Energi (*losses*) Pada Peralatan Mekanikal Elektrikal

Berdasarkan perbandingan daya antara daya yang dihasilkan generator ketika melakukan pengujian pembangkit dengan daya yang dibangkitkan pembangkit secara teori didapatkan prosentase sebesar 94,33 %. Dengan kata lain terdapat *losses* sebesar 5,67 % pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro Bantal. *Losses* ini banyak terjadi pada peralatan mekanik karena ketika melakukan pengujian pembangkit, peralatan mekanik yaitu bantalan (*bearing*) pada penyangga poros antara kopel dengan kopel setelah poros dari *gearbox* terjadi bunyi yang sangat keras. Padahal efisiensi pada peralatan transmisi mekanik yaitu mencapai 96 - 99 % (Maitra,2001:1.2). Sehingga terjadi ketidaksesuaian antara losses yang dihasilkan dilapangan dengan losses berdasarkan literatur yaitu *losses* yang dihasilkan dilapangan lebih besar dibandingkan dengan *losses* maksimum yang dihasilkan pada peralatan mekanik berdasarkan literatur. Oleh karena itu, perlu dilakukan pergantian pada bantalan (*bearing*) dengan spesifikasi yang sesuai agar *losses* pada peralatan mekanik yaitu bantalan (*bearing*) bisa dikurangi. Apabila bantalan (*bearing*) tidak segera dilakukan pergantian maka sumbu poros (*shaft*)

akan tidak simetri lagi, apabila sumbu poros (*shaft*) tidak simetri lagi maka akan menyebabkan kerusakan pada komponen yang lainnya yaitu pada *gearbox* dan terjadi getaran yang berlebih pada poros (*shaft*) yang lama kelamaan akan menyebabkan poros (*shaft*) menjadi patah.

4.6 Pembahasan

Pada saluran penyadap (*intake*) tidak tersedianya saringan yang berfungsi untuk menyaring sedimen apung. Hal ini menyebabkan sedimen apung bisa memasuki ke saluran pembawa. Apabila sedimen apung tersebut masuk hingga turbin, maka kinerja dari turbin bisa terganggu karena terhambat oleh sedimen.

Berdasarkan buku pedoman teknis standardisasi peralatan dan komponen Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro, tertulis bahwa mekanisme pembuangan endapan pada saluran pengendap harus ada dengan cara menambahkan pintu air. Hal ini bertujuan agar endapan pada dasar saluran pengendap bisa dibersihkan untuk menghindari pendangkalan pada saluran pengendap. Sedangkan saringan pada saluran pengendap perlu dilakukan perbaikan agar sedimen apung bisa tersaring dengan baik sehingga tidak menggangu kinerja dari turbin.

Pada evaluasi kali ini, turbin bekas pada dasar kolam penenang sebaiknya dilakukan pembongkaran karena menyebabkan volume air pada kolam penenang kurang maksimum. Pada kolam penenang terjadi aliran turbulensi karena desain dari pipa pesat dan kolam penenang yang kurang tepat. Apabila aliran turbulensi ini dibiarkan akan menyebabkan korosi erosi pada dinding pipa pesat dan sedimen yang seharusnya mengendap pada kolam penenang, ikut terbawa masuk ke dalam pipa pesat sehingga mengganggu kinerja dari turbin.

Sedangkan pada bangunan saluran pembuangan terjadi pengendapan sedimen yang cukup banyak sehingga pada saluran pembuangan terjadi pendakalan dan penyempitan.

Pada peralatan elektro mekanik pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro Bantal terutama pada komponen regulator dan gearbox terjadi rembesan oli pada celah-celah mesin. Hal ini sangat mempengaruhi kinerja dari mesin tersebut. Pada regulator, rembesan oli tersebut berada pada pully sehingga rembesan oli tersebut mengenai *belt* pada *pully* yang mengakibatkan slip pada *belt*.

Berdasarkan pengujian pembangkit dengan menggunakan beban berupa elektroda dan air garam menunjukkan bahwa arus yang dihasilkan oleh generator terhadap fasa R, fasa S dan fasa T sangat berbeda jauh, seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.11. Padahal

beban dirancang sedemikian rupa agar menghasilkan beban yang setimbang. Hal ini diperkuat dengan bukti laporan pembukuan operator yang dicatat setiap jamnya yang dicantumkan pada lampiran.

Ketika Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro Bantal beroperasi, salah satu alat ukur amperemeter pada *control panel* tidak berfungsi sehingga mempengaruhi operator untuk mengontrol kinerja dari pembangkit. Selain itu, *range* pada alat ukur amperemeter dan wattmeter terlalu besar sehingga dalam melakukan pembacaan alat ukur, ada kemungkinan terjadi kesalahan dalam pembacaan oleh operator. Pada alat ukur amperemeter di *control panel*, *range*-nya mencapai 1600 ampere padahal arus nominal yang mampu dibangkitkan oleh generator adalah 418 ampere, sedangkan pada alat ukur wattmeter *range*-nya mencapai 800 kW padahal generator hanya mampu menghasilkan 232 kW (berdasarkan *name plate* generator).

Dari hasil pembahasan evaluasi Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro Bantal di Kecamatan Assembagus Kabupaten Situbondo, diharapkan bisa memberikan masukkan kepada Pabrik Gula Assembagoes untuk bisa memanfaatkan sepenuhnya pembangkit ini. Patut disayangkan apabila Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro Bantal tidak dimanfaatkan dengan baik, karena apabila hasil dari pembangkit ini dirupiahkan dalam sebulannya mampu menghasilkan uang sebesar 72 juta. Diasumsikan pembangkit ini mampu menghasilkan daya sebesar 100 kW dan dalam 1 jam mampu menghasilkan 100 kwh. Apabila tarif dasar listrik dalam 1 kwh dimisalkan 1000 rupiah, maka dalam sehari (24 jam) pembangkit ini mampu menghasilkan uang sebesar Rp. 2.400.000 (dua juta empat ratus ribu rupiah). Apabila dikalkulasikan dalam sebulan, pembangkit ini mampu menghasilkan uang sebesar Rp. 72.000.000 (tujuh puluh dua juta rupiah) (1 bulan = 30 hari). Tentu jumlah yang tidak sedikit apabila pembangkit ini mampu beroperasi kontinyu dan dilakukan perawatan secara rutin dan berkala.

BAB V
PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari hasil perhitungan dan analisa Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro Bantal pada Pabrik Gula Assembagus Kecamatan Asembagus Kabupaten Situbondo, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Berdasarkan analisis yang dilakukan, didapatkan besar potensi daya yang dapat dibangkitkan pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro Bantal adalah sebesar 107,1862 kW. Sedangkan besar potensi daya yang dapat dibangkitkan secara keseluruhan pada saluran irigasi Parseh adalah sebesar 311,0305 kW.
2. Perbandingan daya antara daya yang dihasilkan oleh pembangkit di lapangan dengan daya yang dihasilkan oleh pembangkit secara teoritis didapatkan sebesar 94,33 %. Hal ini diperoleh adanya perbedaan dimana daya yang dihasilkan pada perhitungan teoritis lebih besar dibandingkan daya yang dihasilkan karena ketika melakukan pengujian pembangkit, pada salah satu bantalan (*bearing*) terjadi gesekan sehingga menimbulkan bunyi yang keras. Namun secara keseluruhan, Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro Bantal bekerja cukup optimum.
3. Faktor-faktor yang menimbulkan *losses* pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro Bantal adalah peralatan mekanik dan generator.

5.2 Saran

Dari hasil perhitungan dan analisa Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro Bantal pada Pabrik Gula Assembagus Kecamatan Asembagus Kabupaten Situbondo yang telah dilakukan, ada beberapa saran untuk kedepannya yaitu:

1. Dimensi pada saluran pembawa dan bak penenang (*forebay*) serta dimensi pada turbin perlu diperbesar agar debit air yang masuk ke dalam turbin bisa

lebih banyak dari kondisi *eksisting* sehingga besar daya elektrik yang dihasilkan oleh generator bisa maksimum.

2. Daya mekanik yang dibangkitkan oleh turbin juga perlu diukur untuk mengetahui *losses* yang dihasilkan oleh turbin. Dan juga perlu dilakukan evaluasi lebih lanjut pada peralatan mekanikal elektrikal dari Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro Bantal agar *losses* yang terjadi pada setiap komponen peralatan mekanikal elektrikal dapat diketahui.
3. Perlu dilakukan :
   a. Penggantian pada bantalan (*bearing*) pada penyangga poros antara kopel dengan kopel setelah poros dari *gearbox* karena pada saat melakukan pengujian pembangkit, *bearing* terjadi gesekan yang berlebih sehingga menghasilkan suara yang keras.
   b. Pengujian isolasi untuk mengetahui arus bocor pada generator.
   c. Pemasangan saringan pada *intake* yang dikhususkan untuk menyaring sedimen-sedimen apung yang berukuran besar agar sedimen apung tidak masuk ke dalam saluran pembawa.
   d. Penambahan pintu air pada saluran pengendap yang berfungsi untuk membuang endapan sedimen pada saluran pengendap.
   e. Perbaikan pada saringan yang terletak pada saluran pengendap dengan cara mempersempit jarak antara batang saringan agar sedimen apung dapat tersaring secara maksimum dan tidak masuk ke dalam turbin.
   f. Pembongkaran turbin bekas yang menancap pada kolam penenang sehingga volume air pada kolam penanang bisa menampung secara maksimum. Serta perlu dilakukan pengkajian ulang terhadap dimensi kolam penenang agar aliran turbulensi bisa diatasi.
   g. Pengerukan sedimen secara rutin pada saluran pembuangan agar tidak terjadi pendangkalan dan penyempitan pada saluran tersebut.
   h. Perbaikan pada regulator dan *gearbox* dengan cara mengganti *packing* yang lama dengan yang baru agar oli tidak merembes keluar.
   i. Perawatan secara berkala pada bangunan sipil dan komponen mekanikal elektrikal agar Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro dapat bekerja secara maksimum.

j. Pergantian pada alat ukur pada *control panel* dengan *range* yang sesuai dengan kapasitas maksimum generator untuk mempermudah dalam pembacaan.

k. Training kepada operator mengenai Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) dalam melakukan pengoperasiannya karena operator tidak melakukan yang sesuai dengan SOP (*Standard Operasional Prosedure*).

DAFTAR PUSTAKA

Anonim. 2010. *Kriteria Perencanaan Irigasi*. CV Galang Persada. Bandung.

Arismunandar, A. dan Susumu Kuwahara. 2004. *Buku Pegangan Teknik Tenaga Listrik I.* Jakarta: PT Pradnya Paramita.

Dandekar, M.M dan K.N Sharma. 1991. *Pembangkit Listrik Tenaga Air*. Jakarta: Universitas Indonesia.

Dietzel, Fritz. 1988. *Turbin, Pompa dan Kompresor*. Jakarta: Erlangga

Hakim, Muhammad Fahmi. 2008. *Evaluasi Pendahuluan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) Panggung Rejo Kabupaten Malang*. Malang: Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.

Harvey, Adam. 1993. *Micro-Hydro Design Manual*. Warwickshire CV23 9QZ, UK. Intermediate Technology Publications Ltd.

Kurniawan, A, dkk. 2009. *Pedoman Studi Kelayakan Hidrologi.* Jakarta: Direktorat Jenderal Listrik dan Pemanfaatan Energi Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral.

Kurniawan, A, dkk. 2009. *Pedoman Studi Kelayakan Mekanikal Elektrikal.* Jakarta: Direktorat Jenderal Listrik dan Pemanfaatan Energi Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral.

Kurniawan, A, dkk. 2009. *Pedoman Studi Kelayakan Sipil.* Jakarta: Direktorat Jenderal Listrik dan Pemanfaatan Energi Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral.

Kusdiana, Dadan, dkk. 2008. *Pedoman Teknis Standardisasi Peralatan dan Komponen Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH)*. Jakarta: Direktorat Jenderal Listrik dan Pemanfaatan Energi Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral

Linsley, Ray.K. 1991. *Teknik Sumber Daya air*. Jakarta: Erlangga

Maitra, Gitin M, 2001. *Handbook Of Gear Design Second Edition*. New Delhi: Tata Mcgraw-hill Publishing Company Limited

Mismail Budiono. 1991/1992. *Pelistrikan Desa di Indonesia*. Depok: Kampus Baru UI.

Patty, O. 1995. *Tenaga Air*. Jakarta: Erlangga.

Subagyo, Sentot. 1995. *Dasar-Dasar Hidrologi*. Yogyakarta: Gajah Mada University Press.

Sularso. 1983. *Dasar Perencanaan dan Pemilihan Elemen Mesin*. Jakarta: PT Pradnya Paramita.

Thomas, H. 2005. *Evaluasi Konversi Energi pada PLTM Check Dam V Kali Jari Kabupaten Blitar*. Malang: Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.

Wibawa Unggul. 2001. *Sumber Daya Energi Alternatif. Malang*: Universitas Brawijaya.

Zuhal. 1991. *Dasar Teknik Tenaga Listrik*. Bandung: ITB.

LAMPIRAN

LAMPIRAN 1: HASIL PENGUKURAN KETINGGIAN JATUH AIR (HEAD) DENGAN MENGGUNAKAN METODE WATER FILLED-TUBE

Ketinggian jatuh air (*head*) diukur pada hari Minggu, 8 September 2013

	Head (cm)
	450
	100
	20
	70
Total (cm)	640
Total (m)	6.4

Sumber: Penulis

repository.ub.ac.id
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

LAMPIRAN 2: TABEL PERKIRAAN DAYA DAN DIMENSI TURBIN PLTM

Tabel Perkiraan Daya dan Dimensi Turbin PLTM

PERHITUNGAN			DIMENSI TURBIN AIR CROSS-FLOW 24 SUDU											
Debit Q	H	Daya P	n	Kecepatan Air (m/dt)		ø Runner (mm)		Sudu Aktip	Tinggi Noz	L Runner	r sudu	Jarak Sudu (mm)		ø Pipa
				Noz	Kell	Luar	Dalam		S (mm)	(mm)	(mm)	Luar (t1)	Dalam (t2)	(mm)
(m^3/dt)	(m)	(kW)	(rpm)	(V1)	(U1)									
1.0	6	35.0	155	10.85	5.21	642	412	6	130.43	706.6	104.65	84.0	53.9	342.7
1.2	6	42.0	155	10.85	5.21	642	412	6	130.43	847.9	104.65	84.0	53.9	375.4
1.4	6	49.0	155	10.85	5.21	642	412	6	130.43	989.3	104.65	84.0	53.9	405.4
1.6	6	56.0	155	10.85	5.21	642	412	6	130.43	1130.6	104.65	84.0	53.9	433.4
1.8	6	63.0	155	10.85	5.21	642	412	6	130.43	1271.9	104.65	84.0	53.9	459.7
2.0	6	70.0	155	10.85	5.21	642	412	6	130.43	1413.2	104.65	84.0	53.9	484.6
2.2	6	77.0	155	10.85	5.21	642	412	6	130.43	1554.6	104.65	84.0	53.9	508.2
2.4	6	84.1	155	10.85	5.21	642	412	6	130.43	1695.9	104.65	68.9	53.9	530.8
2.6	6	91.1	155	10.85	5.21	642	412	6	130.43	1837.2	104.65	68.9	53.9	552.5
2.8	6	98.1	155	10.85	5.21	642	412	6	130.43	1978.5	104.65	68.9	53.9	573.4
3.0	6	105.1	155	10.85	5.21	642	412	6	130.43	2119.9	104.65	68.9	53.9	593.5
3.2	6	112.1	155	10.85	5.21	642	412	6	130.43	2261.2	104.65	68.9	53.9	613.0
3.4	6	119.1	155	10.85	5.21	642	412	6	130.43	2402.5	104.65	68.9	53.9	631.8
3.6	6	126.1	155	10.85	5.21	642	412	6	130.43	2543.8	104.65	68.9	53.9	650.1

Tabel Perkiraan Daya dan Dimensi Turbin PLTM

PERHITUNGAN			DIMENSI TURBIN AIR CROSS-FLOW 24 SUDU											
Debit Q	H	Daya P	n	Kecepatan Air (m/dt)		ø Runner (mm)		Sudu Aktip	Tinggi Noz	L Runner	r sudu	Jarak Sudu (mm)		ø Pipa
				Noz	Kell							Luar		
(m^3/dt)	(m)	(kW)	(rpm)	(V1)	(U1)	Luar	Dalam		S (mm)	(mm)	(mm)	(t1)	Dalam (t2)	(mm)
3.8	6	133.1	155	10.85	5.21	642	412	6	130.43	2685.2	104.65	68.9	53.9	668.0
4.0	6	140.1	155	10.85	5.21	642	412	6	130.43	2826.5	104.65	68.9	53.9	685.3
4.2	6	147.1	155	10.85	5.21	642	412	6	130.43	2967.8	104.65	68.9	53.9	702.2
4.4	6	154.1	155	10.85	5.21	642	412	6	130.43	3109.1	104.65	68.9	53.9	718.8
4.6	6	161.1	155	10.85	5.21	642	412	6	130.43	3250.4	104.65	68.9	53.9	734.9
4.8	6	168.1	155	10.85	5.21	642	412	6	130.43	3391.8	104.65	68.9	53.9	750.7
5.0	6	175.1	155	10.85	5.21	642	412	6	130.43	3533.1	104.65	68.9	53.9	766.2

Catatan: η turbin = 0.7 η generator = 0.85

Sumber: Santoso,Hari,2013

Tabel Perkiraan Daya dan Dimensi Turbin PLTM

PERHITUNGAN			DIMENSI TURBIN AIR CROSS-FLOW 24 SUDU											
Debit Q	H	Daya P	n	Kecepatan Air (m/dt)		ø Runner (mm)		Sudu Aktip	Tinggi Noz	L Runner	r sudu	Jarak Sudu (mm)		ø Pipa
				Noz	Kell							Luar		
(m^3/dt)	(m)	(kW)	(rpm)	(V1)	(U1)	Luar	Dalam		S (mm)	(mm)	(mm)	(t1)	Dalam (t2)	(mm)
1.0	7	40.9	155	11.72	5.63	693	445	6	140.88	605.7	113.0	90.7	58.2	329.7
1.2	7	49.0	155	11.72	5.63	693	445	6	140.88	726.8	113.0	90.7	58.2	361.2
1.4	7	57.2	155	11.72	5.63	693	445	6	140.88	847.9	113.0	90.7	58.2	390.1
1.6	7	65.4	155	11.72	5.63	693	445	6	140.88	969.1	113.0	90.7	58.2	417.0
1.8	7	73.5	155	11.72	5.63	693	445	6	140.88	1090.2	113.0	90.7	58.2	442.3
2.0	7	81.7	155	11.72	5.63	693	445	6	140.88	1211.3	113.0	90.7	58.2	466.3
2.2	7	89.9	155	11.72	5.63	693	445	6	140.88	1332.5	113.0	90.7	58.2	489.0
2.4	7	98.1	155	11.72	5.63	693	445	6	140.88	1453.6	113.0	74.5	58.2	510.8
2.6	7	106.2	155	11.72	5.63	693	445	6	140.88	1574.7	113.0	74.5	58.2	531.6
2.8	7	114.4	155	11.72	5.63	693	445	6	140.88	1695.9	113.0	74.5	58.2	551.7
3.0	7	122.6	155	11.72	5.63	693	445	6	140.88	1817.0	113.0	74.5	58.2	571.1
3.2	7	130.7	155	11.72	5.63	693	445	6	140.88	1938.2	113.0	74.5	58.2	589.8
3.4	7	138.9	155	11.72	5.63	693	445	6	140.88	2059.3	113.0	74.5	58.2	607.9
3.6	7	147.1	155	11.72	5.63	693	445	6	140.88	2180.4	113.0	74.5	58.2	625.6
3.8	7	155.3	155	11.72	5.63	693	445	6	140.88	2301.6	113.0	74.5	58.2	642.7
4.0	7	163.4	155	11.72	5.63	693	445	6	140.88	2422.7	113.0	74.5	58.2	659.4
4.2	7	171.6	155	11.72	5.63	693	445	6	140.88	2543.8	113.0	74.5	58.2	675.7
4.4	7	179.8	155	11.72	5.63	693	445	6	140.88	2665.0	113.0	74.5	58.2	691.6
4.6	7	187.9	155	11.72	5.63	693	445	6	140.88	2786.1	113.0	74.5	58.2	707.1
4.8	7	196.1	155	11.72	5.63	693	445	6	140.88	2907.2	113.0	74.5	58.2	722.3

Tabel Perkiraan Daya dan Dimensi Turbin PLTM

PERHITUNGAN			DIMENSI TURBIN AIR CROSS-FLOW 24 SUDU											
Debit Q	H	Daya P	n	Kecepatan Air (m/dt)		ø Runner (mm)		Sudu Aktip	Tinggi Noz	L Runner	r sudu	Jarak Sudu (mm)		ø Pipa
				Noz	Kell							Luar		
(m^3/dt)	(m)	(kW)	(rpm)	(V1)	(U1)	Luar	Dalam		S (mm)	(mm)	(mm)	(t1)	Dalam (t2)	(mm)
5.0	7	204.3	155	11.72	5.63	693	445	6	140.88	3028.4	113.0	74.5	58.2	737.2

Catatan: η turbin = 0.7 η generator = 0.85

Sumber: Santoso,Hari,2013

Tabel Perkiraan Daya dan Dimensi Turbin PLTM

PERHITUNGAN			DIMENSI TURBIN AIR CROSS-FLOW 24 SUDU											
Debit Q	H	Daya P	n	Kecepatan Air (m/dt)		ø Runner (mm)		Sudu Aktip	Tinggi Noz	L Runner	r sudu	Jarak Sudu (mm)		ø Pipa
				Noz	Kell							Luar		
(m^3/dt)	(m)	(kW)	(rpm)	(V1)	(U1)	Luar	Dalam		S (mm)	(mm)	(mm)	(t1)	Dalam (t2)	(mm)
1.0	8	46.7	155	12.53	6.01	741	475	6	150.61	530.0	120.8	97.0	62.2	318.9
1.2	8	56.0	155	12.53	6.01	741	475	6	150.61	636.0	120.8	97.0	62.2	349.3
1.4	8	65.4	155	12.53	6.01	741	475	6	150.61	741.9	120.8	97.0	62.2	377.3
1.6	8	74.7	155	12.53	6.01	741	475	6	150.61	847.9	120.8	97.0	62.2	403.3
1.8	8	84.1	155	12.53	6.01	741	475	6	150.61	953.9	120.8	97.0	62.2	427.8
2.0	8	93.4	155	12.53	6.01	741	475	6	150.61	1059.9	120.8	97.0	62.2	451.0
2.2	8	102.7	155	12.53	6.01	741	475	6	150.61	1165.9	120.8	97.0	62.2	473.0
2.4	8	112.1	155	12.53	6.01	741	475	6	150.61	1271.9	120.8	79.6	62.2	494.0
2.6	8	121.4	155	12.53	6.01	741	475	6	150.61	1377.9	120.8	79.6	62.2	514.2
2.8	8	130.7	155	12.53	6.01	741	475	6	150.61	1483.9	120.8	79.6	62.2	533.6
3.0	8	140.1	155	12.53	6.01	741	475	6	150.61	1589.9	120.8	79.6	62.2	552.3
3.2	8	149.4	155	12.53	6.01	741	475	6	150.61	1695.9	120.8	79.6	62.2	570.4
3.4	8	158.8	155	12.53	6.01	741	475	6	150.61	1801.9	120.8	79.6	62.2	588.0
3.6	8	168.1	155	12.53	6.01	741	475	6	150.61	1907.9	120.8	79.6	62.2	605.0
3.8	8	177.4	155	12.53	6.01	741	475	6	150.61	2013.9	120.8	79.6	62.2	621.6
4.0	8	186.8	155	12.53	6.01	741	475	6	150.61	2119.9	120.8	79.6	62.2	637.7
4.2	8	196.1	155	12.53	6.01	741	475	6	150.61	2225.8	120.8	79.6	62.2	653.5
4.4	8	205.5	155	12.53	6.01	741	475	6	150.61	2331.8	120.8	79.6	62.2	668.9
4.6	8	214.8	155	12.53	6.01	741	475	6	150.61	2437.8	120.8	79.6	62.2	683.9
4.8	8	224.1	155	12.53	6.01	741	475	6	150.61	2543.8	120.8	79.6	62.2	698.6

Tabel Perkiraan Daya dan Dimensi Turbin PLTM

PERHITUNGAN			DIMENSI TURBIN AIR CROSS-FLOW 24 SUDU											
Debit Q	H	Daya P	n	Kecepatan Air (m/dt)		ø Runner (mm)		Sudu Aktip	Tinggi Noz	L Runner	r sudu	Jarak Sudu (mm)		ø Pipa
				Noz	Kell							Luar		
(m^3/dt)	(m)	(kW)	(rpm)	(V1)	(U1)	Luar	Dalam		S (mm)	(mm)	(mm)	(t1)	Dalam (t2)	(mm)
5.0	8	233.5	155	12.53	6.01	741	475	6	150.61	2649.8	120.8	79.6	62.2	713.0

Catatan: η turbin = 0.7 η generator = 0.85

Sumber: Santoso,Hari,2013

Tabel Perkiraan Daya dan Dimensi Turbin PLTM

PERHITUNGAN			DIMENSI TURBIN AIR CROSS-FLOW 24 SUDU											
Debit Q	H	Daya P	n	Kecepatan Air (m/dt)		ø Runner (mm)		Sudu Aktip	Tinggi Noz	L Runner	r sudu	Jarak Sudu (mm)		ø Pipa
				Noz	Kell							Luar		
(m^3/dt)	(m)	(kW)	(rpm)	(V1)	(U1)	Luar	Dalam		S (mm)	(mm)	(mm)	(t1)	Dalam (t2)	(mm)
1.0	9	52.5	155	13.29	6.38	786	504	6	159.7	471.1	128.2	102.9	66.0	309.6
1.2	9	63.0	155	13.29	6.38	786	504	6	159.7	565.3	128.2	102.9	66.0	339.2
1.4	9	73.5	155	13.29	6.38	786	504	6	159.7	659.5	128.2	102.9	66.0	366.3
1.6	9	84.1	155	13.29	6.38	786	504	6	159.7	753.7	128.2	102.9	66.0	391.6
1.8	9	94.6	155	13.29	6.38	786	504	6	159.7	847.9	128.2	102.9	66.0	415.4
2.0	9	105.1	155	13.29	6.38	786	504	6	159.7	942.2	128.2	102.9	66.0	437.9
2.2	9	115.6	155	13.29	6.38	786	504	6	159.7	1036.4	128.2	102.9	66.0	459.2
2.4	9	126.1	155	13.29	6.38	786	504	6	159.7	1130.6	128.2	84.4	66.0	479.7
2.6	9	136.6	155	13.29	6.38	786	504	6	159.7	1224.8	128.2	84.4	66.0	499.2
2.8	9	147.1	155	13.29	6.38	786	504	6	159.7	1319.0	128.2	84.4	66.0	518.1
3.0	9	157.6	155	13.29	6.38	786	504	6	159.7	1413.2	128.2	84.4	66.0	536.3
3.2	9	168.1	155	13.29	6.38	786	504	6	159.7	1507.5	128.2	84.4	66.0	553.9
3.4	9	178.6	155	13.29	6.38	786	504	6	159.7	1601.7	128.2	84.4	66.0	570.9
3.6	9	189.1	155	13.29	6.38	786	504	6	159.7	1695.9	128.2	84.4	66.0	587.5
3.8	9	199.6	155	13.29	6.38	786	504	6	159.7	1790.1	128.2	84.4	66.0	603.6
4.0	9	210.1	155	13.29	6.38	786	504	6	159.7	1884.3	128.2	84.4	66.0	619.2
4.2	9	220.6	155	13.29	6.38	786	504	6	159.7	1978.5	128.2	84.4	66.0	634.5
4.4	9	231.1	155	13.29	6.38	786	504	6	159.7	2072.7	128.2	84.4	66.0	649.5
4.6	9	241.6	155	13.29	6.38	786	504	6	159.7	2167.0	128.2	84.4	66.0	664.1
4.8	9	252.2	155	13.29	6.38	786	504	6	159.7	2261.2	128.2	84.4	66.0	678.3

Tabel Perkiraan Daya dan Dimensi Turbin PLTM

PERHITUNGAN			DIMENSI TURBIN AIR CROSS-FLOW 24 SUDU											
Debit Q	H	Daya P	n	Kecepatan Air (m/dt)		ø Runner (mm)		Sudu Aktip	Tinggi Noz	L Runner	r sudu	Jarak Sudu (mm)		ø Pipa
				Noz	Kell							Luar		
(m^3/dt)	(m)	(kW)	(rpm)	(V1)	(U1)	Luar	Dalam		S (mm)	(mm)	(mm)	(t1)	Dalam (t2)	(mm)
5.0	9	262.7	155	13.29	6.38	786	504	6	159.7	2355.4	128.2	84.4	66.0	692.3

Catatan: η turbin = 0.7 η generator = 0.85

Sumber: Santoso,Hari,2013

Tabel Perkiraan Daya dan Dimensi Turbin PLTM

PERHITUNGAN			DIMENSI TURBIN AIR CROSS-FLOW 36 SUDU											
Debit Q	H	Daya P	n	Kecepatan Air (m/dt)		ø Runner (mm)		Sudu Aktip	Tinggi Noz	L Runner	r sudu	Jarak Sudu (mm)		ø Pipa
				Noz	Kell							Luar		
(m^3/dt)	(m)	(kW)	(rpm)	(V1)	(U1)	Luar	Dalam		S (mm)	(mm)	(mm)	(t1)	Dalam (t2)	(mm)
1.0	6	35.0	155	10.85	5.21	642	412	9	130.4	706.6	104.7	56.0	35.9	342.7
1.2	6	42.0	155	10.85	5.21	642	412	9	130.4	847.9	104.7	56.0	35.9	375.4
1.4	6	49.0	155	10.85	5.21	642	412	9	130.4	989.3	104.7	56.0	35.9	405.4
1.6	6	56.0	155	10.85	5.21	642	412	9	130.4	1130.6	104.7	56.0	35.9	433.4
1.8	6	63.0	155	10.85	5.21	642	412	9	130.4	1271.9	104.7	56.0	35.9	459.7
2.0	6	70.0	155	10.85	5.21	642	412	9	130.4	1413.2	104.7	56.0	35.9	484.6
2.2	6	77.0	155	10.85	5.21	642	412	9	130.4	1554.6	104.7	56.0	35.9	508.2
2.4	6	84.1	155	10.85	5.21	642	412	9	130.4	1695.9	104.7	56.0	35.9	530.8
2.6	6	91.1	155	10.85	5.21	642	412	9	130.4	1837.2	104.7	56.0	35.9	552.5
2.8	6	98.1	155	10.85	5.21	642	412	9	130.4	1978.5	104.7	56.0	35.9	573.4
3.0	6	105.1	155	10.85	5.21	642	412	9	130.4	2119.9	104.7	56.0	35.9	593.5
3.2	6	112.1	155	10.85	5.21	642	412	9	130.4	2261.2	104.7	56.0	35.9	613.0
3.4	6	119.1	155	10.85	5.21	642	412	9	130.4	2402.5	104.7	56.0	35.9	631.8
3.6	6	126.1	155	10.85	5.21	642	412	9	130.4	2543.8	104.7	56.0	35.9	650.1
3.8	6	133.1	155	10.85	5.21	642	412	9	130.4	2685.1	104.7	56.0	35.9	668.0
4.0	6	140.1	155	10.85	5.21	642	412	9	130.4	2826.5	104.7	56.0	35.9	685.3
4.2	6	147.1	155	10.85	5.21	642	412	9	130.4	2967.8	104.7	56.0	35.9	702.2
4.4	6	154.1	155	10.85	5.21	642	412	9	130.4	3109.1	104.7	56.0	35.9	718.8
4.6	6	161.1	155	10.85	5.21	642	412	9	130.4	3250.4	104.7	56.0	35.9	734.9
4.8	6	168.1	155	10.85	5.21	642	412	9	130.4	3391.8	104.7	56.0	35.9	750.7

Tabel Perkiraan Daya dan Dimensi Turbin PLTM

PERHITUNGAN			DIMENSI TURBIN AIR CROSS-FLOW 36 SUDU											
Debit Q	H	Daya P	n	Kecepatan Air (m/dt)		ø Runner (mm)		Sudu Aktip	Tinggi Noz	L Runner	r sudu	Jarak Sudu (mm)		ø Pipa
				Noz	Kell							Luar		
(m^3/dt)	(m)	(kW)	(rpm)	(V1)	(U1)	Luar	Dalam		S (mm)	(mm)	(mm)	(t1)	Dalam (t2)	(mm)
5.0	6	175.1	155	10.85	5.21	642	412	9	130.4	3533.1	104.7	56.0	35.9	766.2

Catatan: η turbin = 0.7 η generator = 0.85

Sumber: Santoso,Hari,2013

Tabel Perkiraan Daya dan Dimensi Turbin PLTM

PERHITUNGAN			DIMENSI TURBIN AIR CROSS-FLOW 36 SUDU											
Debit Q	H	Daya P	n	Kecepatan Air (m/dt)		ø Runner (mm)		Sudu Aktip	Tinggi Noz	L Runner	r sudu	Jarak Sudu (mm)		ø Pipa
				Noz	Kell							Luar		
(m^3/dt)	(m)	(kW)	(rpm)	(V1)	(U1)	Luar	Dalam		S (mm)	(mm)	(mm)	(t1)	Dalam (t2)	(mm)
1.0	7	40.9	155	11.72	5.63	693	445	9	140.9	605.7	113.0	60.5	38.8	329.7
1.2	7	49.0	155	11.72	5.63	693	445	9	140.9	726.8	113.0	60.5	38.8	361.2
1.4	7	57.2	155	11.72	5.63	693	445	9	140.9	847.9	113.0	60.5	38.8	390.1
1.6	7	65.4	155	11.72	5.63	693	445	9	140.9	969.1	113.0	60.5	38.8	417.0
1.8	7	73.5	155	11.72	5.63	693	445	9	140.9	1090.2	113.0	60.5	38.8	442.3
2.0	7	81.7	155	11.72	5.63	693	445	9	140.9	1211.3	113.0	60.5	38.8	466.3
2.2	7	89.9	155	11.72	5.63	693	445	9	140.9	1332.5	113.0	60.5	38.8	489.0
2.4	7	98.1	155	11.72	5.63	693	445	9	140.9	1453.6	113.0	60.5	38.8	510.8
2.6	7	106.2	155	11.72	5.63	693	445	9	140.9	1574.7	113.0	60.5	38.8	531.6
2.8	7	114.4	155	11.72	5.63	693	445	9	140.9	1695.9	113.0	60.5	38.8	551.7
3.0	7	122.6	155	11.72	5.63	693	445	9	140.9	1817.0	113.0	60.5	38.8	571.1
3.2	7	130.7	155	11.72	5.63	693	445	9	140.9	1938.2	113.0	60.5	38.8	589.8
3.4	7	138.9	155	11.72	5.63	693	445	9	140.9	2059.3	113.0	60.5	38.8	607.9
3.6	7	147.1	155	11.72	5.63	693	445	9	140.9	2180.4	113.0	60.5	38.8	625.6
3.8	7	155.3	155	11.72	5.63	693	445	9	140.9	2301.6	113.0	60.5	38.8	642.7
4.0	7	163.4	155	11.72	5.63	693	445	9	140.9	2422.7	113.0	60.5	38.8	659.4
4.2	7	171.6	155	11.72	5.63	693	445	9	140.9	2543.8	113.0	60.5	38.8	675.7
4.4	7	179.8	155	11.72	5.63	693	445	9	140.9	2665.0	113.0	60.5	38.8	691.6
4.6	7	187.9	155	11.72	5.63	693	445	9	140.9	2786.1	113.0	60.5	38.8	707.1
4.8	7	196.1	155	11.72	5.63	693	445	9	140.9	2907.2	113.0	60.5	38.8	722.3

Tabel Perkiraan Daya dan Dimensi Turbin PLTM

PERHITUNGAN			DIMENSI TURBIN AIR CROSS-FLOW 36 SUDU											
Debit Q	H	Daya P	n	Kecepatan Air (m/dt)		ø Runner (mm)		Sudu Aktip	Tinggi Noz	L Runner	r sudu	Jarak Sudu (mm)		ø Pipa
				Noz	Kell							Luar		
(m^3/dt)	(m)	(kW)	(rpm)	(V1)	(U1)	Luar	Dalam		S (mm)	(mm)	(mm)	(t1)	Dalam (t2)	(mm)
5.0	7	204.3	155	11.72	5.63	693	445	9	140.9	3028.4	113.0	60.5	38.8	737.2

Catatan: η turbin = 0.7 η generator = 0.85

Sumber: Santoso,Hari,2013

Tabel Perkiraan Daya dan Dimensi Turbin PLTM

PERHITUNGAN			DIMENSI TURBIN AIR CROSS-FLOW 36 SUDU											
Debit Q	H	Daya P	n	Kecepatan Air (m/dt)		ø Runner (mm)		Sudu Aktip	Tinggi Noz	L Runner	r sudu	Jarak Sudu (mm)		ø Pipa
				Noz	Kell							Luar		
(m^3/dt)	(m)	(kW)	(rpm)	(V1)	(U1)	Luar	Dalam		S (mm)	(mm)	(mm)	(t1)	Dalam (t2)	(mm)
1.0	8	46.7	155	12.53	6.01	741	475	9	150.6	530.0	120.8	64.7	41.5	318.9
1.2	8	56.0	155	12.53	6.01	741	475	9	150.6	636.0	120.8	64.7	41.5	349.3
1.4	8	65.4	155	12.53	6.01	741	475	9	150.6	741.9	120.8	64.7	41.5	377.3
1.6	8	74.7	155	12.53	6.01	741	475	9	150.6	847.9	120.8	64.7	41.5	403.3
1.8	8	84.1	155	12.53	6.01	741	475	9	150.6	953.9	120.8	64.7	41.5	427.8
2.0	8	93.4	155	12.53	6.01	741	475	9	150.6	1059.9	120.8	64.7	41.5	451.0
2.2	8	102.7	155	12.53	6.01	741	475	9	150.6	1165.9	120.8	64.7	41.5	473.0
2.4	8	112.1	155	12.53	6.01	741	475	9	150.6	1271.9	120.8	64.7	41.5	494.0
2.6	8	121.4	155	12.53	6.01	741	475	9	150.6	1377.9	120.8	64.7	41.5	514.2
2.8	8	130.7	155	12.53	6.01	741	475	9	150.6	1483.9	120.8	64.7	41.5	533.6
3.0	8	140.1	155	12.53	6.01	741	475	9	150.6	1589.9	120.8	64.7	41.5	552.3
3.2	8	149.4	155	12.53	6.01	741	475	9	150.6	1695.9	120.8	64.7	41.5	570.4
3.4	8	158.8	155	12.53	6.01	741	475	9	150.6	1801.9	120.8	64.7	41.5	588.0
3.6	8	168.1	155	12.53	6.01	741	475	9	150.6	1907.9	120.8	64.7	41.5	605.0
3.8	8	177.4	155	12.53	6.01	741	475	9	150.6	2013.9	120.8	64.7	41.5	621.6
4.0	8	186.8	155	12.53	6.01	741	475	9	150.6	2119.9	120.8	64.7	41.5	637.7
4.2	8	196.1	155	12.53	6.01	741	475	9	150.6	2225.8	120.8	64.7	41.5	653.5
4.4	8	205.5	155	12.53	6.01	741	475	9	150.6	2331.8	120.8	64.7	41.5	668.9
4.6	8	214.8	155	12.53	6.01	741	475	9	150.6	2437.8	120.8	64.7	41.5	683.9
4.8	8	224.1	155	12.53	6.01	741	475	9	150.6	2543.8	120.8	64.7	41.5	698.6

Tabel Perkiraan Daya dan Dimensi Turbin PLTM

PERHITUNGAN			DIMENSI TURBIN AIR CROSS-FLOW 36 SUDU											
Debit Q	H	Daya P	n	Kecepatan Air (m/dt)		ø Runner (mm)		Sudu Aktip	Tinggi Noz	L Runner	r sudu	Jarak Sudu (mm)		ø Pipa
				Noz	Kell							Luar		
(m^3/dt)	(m)	(kW)	(rpm)	(V1)	(U1)	Luar	Dalam		S (mm)	(mm)	(mm)	(t1)	Dalam (t2)	(mm)
5.0	8	233.5	155	12.53	6.01	741	475	9	150.6	2649.8	120.8	64.7	41.5	713.0

Catatan: η turbin = 0.7 η generator = 0.85

Sumber: Santoso,Hari,2013

Tabel Perkiraan Daya dan Dimensi Turbin PLTM

PERHITUNGAN			DIMENSI TURBIN AIR CROSS-FLOW 36 SUDU											
Debit Q	H	Daya P	n	Kecepatan Air (m/dt)		ø Runner (mm)		Sudu Aktip	Tinggi Noz	L Runner	r sudu	Jarak Sudu (mm)		ø Pipa
				Noz	Kell							Luar		
(m^3/dt)	(m)	(kW)	(rpm)	(V1)	(U1)	Luar	Dalam		S (mm)	(mm)	(mm)	(t1)	Dalam (t2)	(mm)
1.0	9	52.5	155	13.29	6.38	786	504	9	159.7	471.1	128.2	68.6	44.0	309.6
1.2	9	63.0	155	13.29	6.38	786	504	9	159.7	565.3	128.2	68.6	44.0	339.2
1.4	9	73.5	155	13.29	6.38	786	504	9	159.7	659.5	128.2	68.6	44.0	366.3
1.6	9	84.1	155	13.29	6.38	786	504	9	159.7	753.7	128.2	68.6	44.0	391.6
1.8	9	94.6	155	13.29	6.38	786	504	9	159.7	847.9	128.2	68.6	44.0	415.4
2.0	9	105.1	155	13.29	6.38	786	504	9	159.7	942.2	128.2	68.6	44.0	437.9
2.2	9	115.6	155	13.29	6.38	786	504	9	159.7	1036.4	128.2	68.6	44.0	459.2
2.4	9	126.1	155	13.29	6.38	786	504	9	159.7	1130.6	128.2	68.6	44.0	479.7
2.6	9	136.6	155	13.29	6.38	786	504	9	159.7	1224.8	128.2	68.6	44.0	499.2
2.8	9	147.1	155	13.29	6.38	786	504	9	159.7	1319.0	128.2	68.6	44.0	518.1
3.0	9	157.6	155	13.29	6.38	786	504	9	159.7	1413.2	128.2	68.6	44.0	536.3
3.2	9	168.1	155	13.29	6.38	786	504	9	159.7	1507.5	128.2	68.6	44.0	553.9
3.4	9	178.6	155	13.29	6.38	786	504	9	159.7	1601.7	128.2	68.6	44.0	570.9
3.6	9	189.1	155	13.29	6.38	786	504	9	159.7	1695.9	128.2	68.6	44.0	587.5
3.8	9	199.6	155	13.29	6.38	786	504	9	159.7	1790.1	128.2	68.6	44.0	603.6
4.0	9	210.1	155	13.29	6.38	786	504	9	159.7	1884.3	128.2	68.6	44.0	619.2
4.2	9	220.6	155	13.29	6.38	786	504	9	159.7	1978.5	128.2	68.6	44.0	634.5
4.4	9	231.1	155	13.29	6.38	786	504	9	159.7	2072.7	128.2	68.6	44.0	649.5
4.6	9	241.6	155	13.29	6.38	786	504	9	159.7	2167.0	128.2	68.6	44.0	664.1
4.8	9	252.2	155	13.29	6.38	786	504	9	159.7	2261.2	128.2	68.6	44.0	678.3

Tabel Perkiraan Daya dan Dimensi Turbin PLTM

PERHITUNGAN			DIMENSI TURBIN AIR CROSS-FLOW 36 SUDU											
Debit Q	H	Daya P	n	Kecepatan Air (m/dt)		ø Runner (mm)		Sudu Aktip	Tinggi Noz	L Runner	r sudu	Jarak Sudu (mm)		ø Pipa
				Noz	Kell							Luar		
(m^3/dt)	(m)	(kW)	(rpm)	(V1)	(U1)	Luar	Dalam		S (mm)	(mm)	(mm)	(t1)	Dalam (t2)	(mm)
5.0	9	262.7	155	13.29	6.38	786	504	9	159.7	2355.4	128.2	68.6	44.0	692.3

Catatan: η turbin = 0.7 η generator = 0.85

Sumber: Santoso,Hari,2013

LAMPIRAN 3: LAPORAN PEMBUKUAN PLTMH BANTAL

JAM	VOLT	Hz	AI	AII	AIII	kW	kW	Hz	AI	AII	AIII
19	380	50		180	220	60	6	50	8	8	8
20	380	50		180	220	60	6	50	8	8	8
21	380	50		180	220	60	6	50	8	8	8
22											
23	380	50		180	220	60	6	50	8	8	8
24	380	50		180	220	60	6	50	8	8	8
1	380	50		180	220	60	6	50	8	8	8
2	380	50		180	220	60	6	50	8	8	8
3	380	50		180	220	60	6	50	8	8	8
4	380	50		180	220	60	6	50	8	8	8
5	380	50		180	220	60	6	50	8	8	8
6	380	50		180	220	60	6	50	8	8	8
7	380	50		180	220	60	6	50	8	8	8
8	380	50		180	220	60	6	50	8	8	8
9	380	50		180	220	60	6	50	8	8	8
10	380	50		180	220	60	6	50	8	8	8
11	380	50		180	220	60	6	50	8	8	8
12	380	50		180	220	60	6	50	8	8	8
13	380	50		180	220	60	6	50	8	8	8
14	380	50		180	220	60	6	50	8	8	8
15	380	50		180	220	60	6	50	8	8	8
16	380	50		180	220	60	6	50	8	8	8
17	380	50		180	220	60	6	50	8	8	8
18											
19											
20											
21											
				TGL 28-8-012							
9											
10	380	50		180	180	50	6	50	5	5	5
11	380	50		180	220	60	6	50	8	8	8
12	380	50		180	220	60	6	50	8	8	8

D.S
YUDI TOHARI

DM
MISBAR - BUSAIRI

Dp.
SUPATMA + PAIMAN

jam 17-00 hidup penerangan

~~jam 17-30 hidup penerangan~~
jam 9-30 pasif (jam I)
jam 6-55 pasif (jam I)

D.P

Sumber: Penulis

JAM	VOLT	Hz	A I	A II	A III	KW	KW	Hz	A I	A II	A III
14	380	50		150	180	60	6	50	[illegible]	[illegible]	[illegible]
15	380	50		150	180	60	6	50	5	5	5
16	380	50		150	180	60	6	50	5	5	5
17	380	50		150	180	60	6	50	5	5	5
18	380	50		150	180	60	6	50	5	5	5
19	380	50		150	180	50	6	50	5	5	5
20	380	50		150	180	50	6	50	5	5	5
21	380	50		150	180	50	6	50	5	5	5
22	380	50		150	180	50	6	50	5	5	5
23	380	50		150	180	50	6	50	5	5	5
24	380	50		150	180	50	6	50	5	5	5
1	380	50		150	180	50	6	50	5	5	5
2	380	50		150	180	50	6	50	5	5	5
3	380	50		150	180	50	6	50	5	5	5
4	380	50		150	180	50	6	50	5	5	5
5	380	50		150	180	50	6	50	5	5	5
6	380	50		150	180	50	6	50	5	5	5
7	380	50		150	180	50	6	50	5	5	5
8	380	50		150	180	50	6	50	5	5	5
9	380	50		150	180	50	6	50	5	5	5
10	380	50		150	180	50	6	50	5	5	5
11	380	50		180	220	60	6	50	8	8	80
12	380	50		180	220	60	6	50	8	8	8
13	380	50		180	220	60	6	50	8	8	8
14	380	50		180	220	60	6	50	8	8	8
15	380	50		180	220	60	6	50	8	8	8
16	380	50		180	220	60	6	50	8	8	8
17	380	50		180	220	60	6	50	8	8	8
18	380	50		180	220	60	6	50	8	8	8
19	380	50		180	220	66	6	50	8	8	8
20	380	50		180	220	66	6	50	8	8	8
21	380	50		180	220	66	6	50	8	8	8
22	380	50		180	220	60	6	50	8	8	8

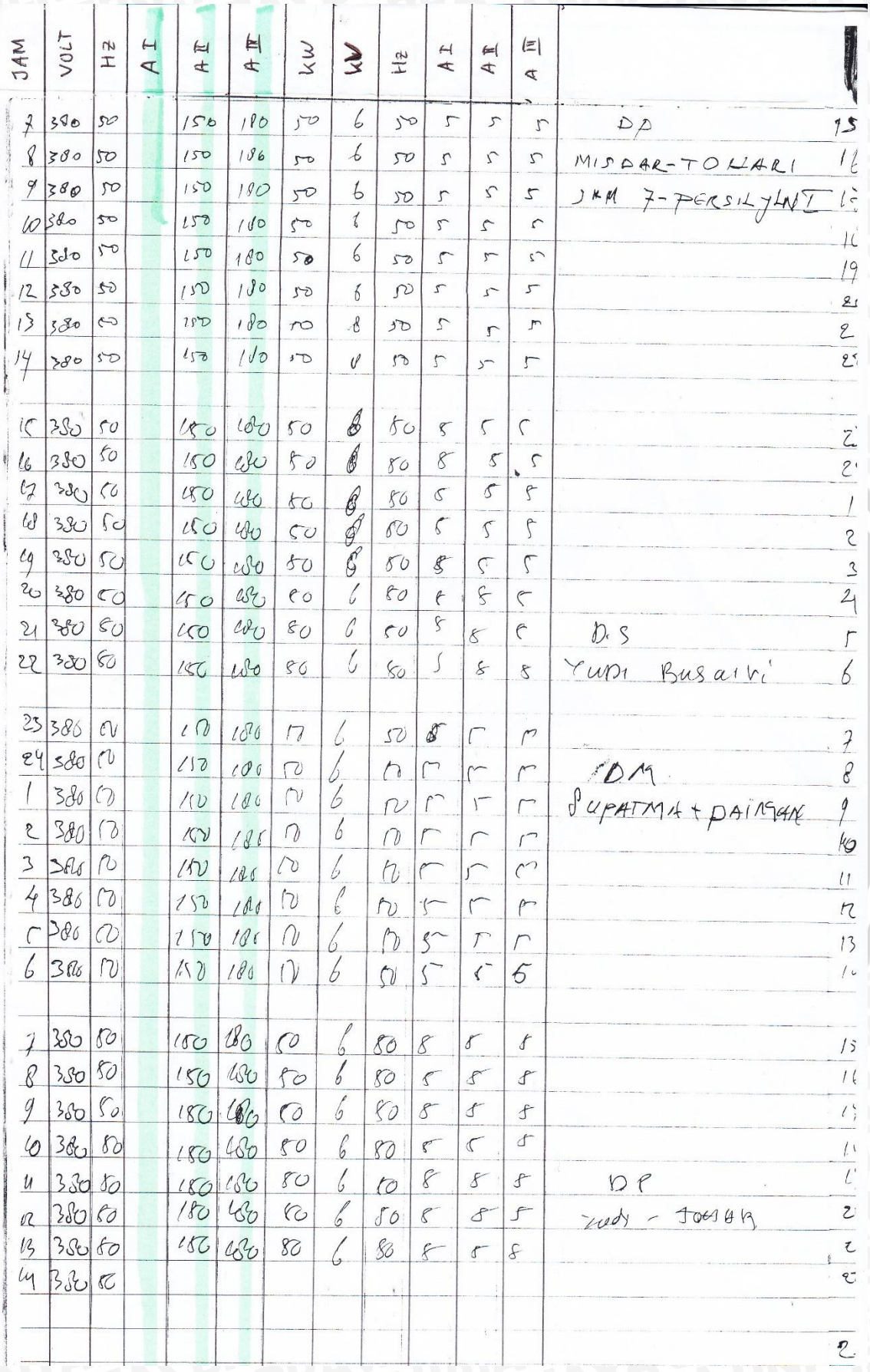
D.S
YUDI JOHAMI

DM
MISDAR - BUSAIRI

Jam 10-10 persul gla II

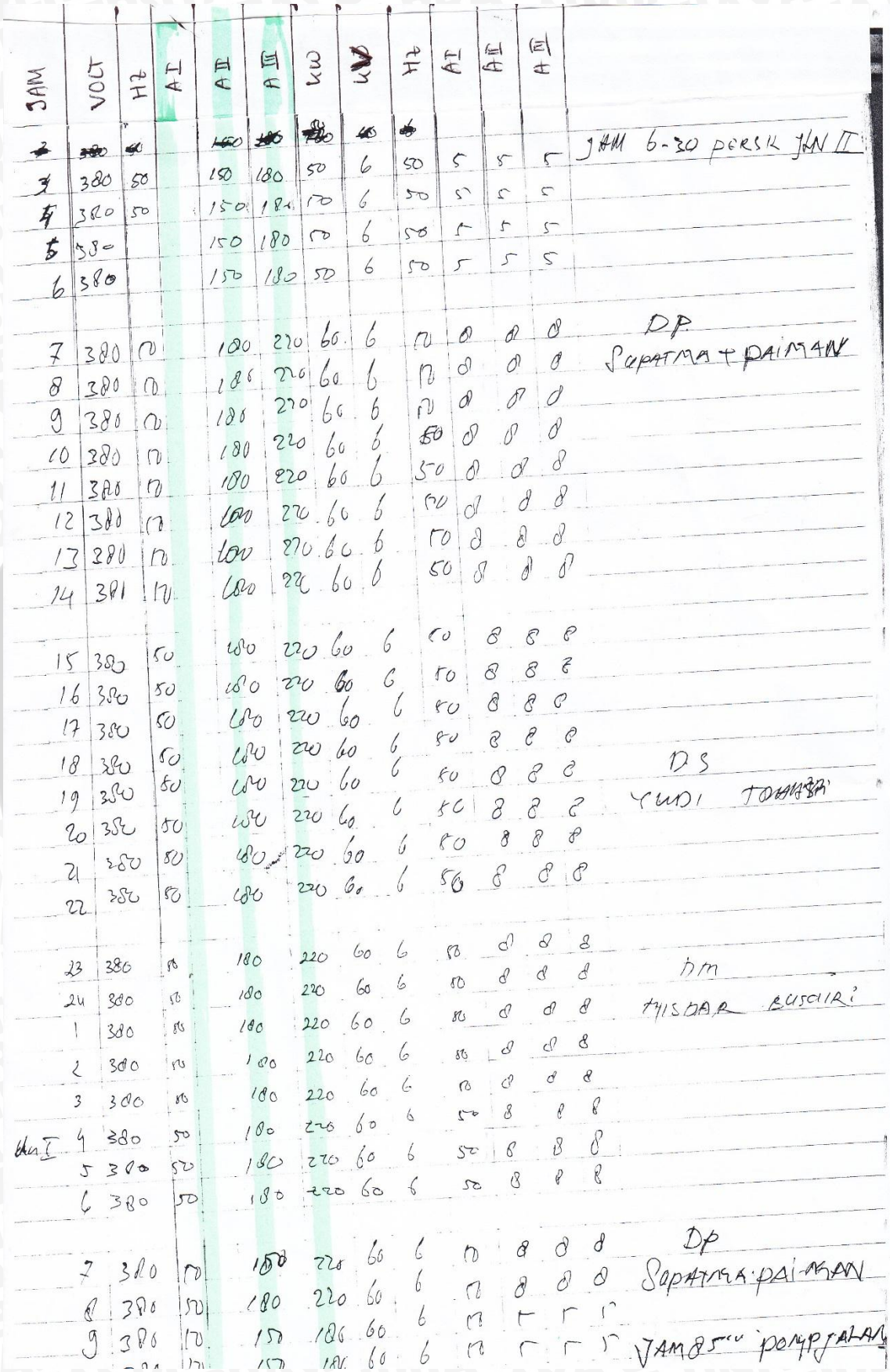
DS
MISDAR - BUSAIRI

Sumber: Penulis



JAM	VOLT	Hz	AI	AII	AIII	kW	kV	Hz	AI	AII	AIII	
7	380	50		150	180	50	6	50	5	5	5	DP
8	380	50		150	180	50	6	50	5	5	5	MISDAR-TOLIARI
9	380	50		150	180	50	6	50	5	5	5	JKM 7-PERSILYANT
10	380	50		150	180	50	6	50	5	5	5	
11	380	50		150	180	50	6	50	5	5	5	
12	380	50		150	180	50	6	50	5	5	5	
13	380	50		150	180	50	6	50	5	5	5	
14	380	50		150	180	50	6	50	5	5	5	
15	380	50		150	180	50	6	50	5	5	5	
16	380	50		150	180	50	6	50	5	5	5	
17	380	50		150	180	50	6	50	5	5	5	
18	380	50		150	180	50	6	50	5	5	5	
19	380	50		150	180	50	6	50	5	5	5	
20	380	50		150	180	50	6	50	5	5	5	
21	380	50		150	180	50	6	50	5	5	5	D.S
22	380	50		150	180	50	6	50	5	5	5	Yudi Busairi
23	380	50		150	180	50	6	50	5	5	5	
24	380	50		150	180	50	6	50	5	5	5	DM
1	380	50		150	180	50	6	50	5	5	5	SUPATMA + PAINGAN
2	380	50		150	180	50	6	50	5	5	5	
3	380	50		150	180	50	6	50	5	5	5	
4	380	50		150	180	50	6	50	5	5	5	
5	380	50		150	180	50	6	50	5	5	5	
6	380	50		150	180	50	6	50	5	5	5	
7	380	50		150	180	50	6	50	5	5	5	
8	380	50		150	180	50	6	50	5	5	5	
9	380	50		150	180	50	6	50	5	5	5	
10	380	50		150	180	50	6	50	5	5	5	
11	380	50		150	180	50	6	50	5	5	5	DP
12	380	50		150	180	50	6	50	5	5	5	Yudi - Tomtom
13	380	50		150	180	50	6	50	5	5	5	
14	380	50										

Sumber: Penulis



JAM	VOLT	Hz	A I	A II	A III	kW	kW	Hz	A I	A II	A III	
~~2~~	~~380~~	~~50~~		~~150~~	~~180~~	~~50~~	~~6~~	~~50~~				
3	380	50		150	180	50	6	50	5	5	5	JAM 6-30 PERSIL JAM II
4	380	50		150	180	50	6	50	5	5	5	
5	380			150	180	50	6	50	5	5	5	
6	380			150	180	50	6	50	5	5	5	
7	380	50		180	220	60	6	50	8	8	8	DP
8	380	50		180	220	60	6	50	8	8	8	SUPATMA + PAIMAN
9	380	50		180	220	60	6	50	8	8	8	
10	380	50		180	220	60	6	50	8	8	8	
11	380	50		180	220	60	6	50	8	8	8	
12	380	50		180	220	60	6	50	8	8	8	
13	380	50		180	220	60	6	50	8	8	8	
14	381	50		180	220	60	6	50	8	8	8	
15	380	50		180	220	60	6	50	8	8	8	
16	380	50		180	220	60	6	50	8	8	8	
17	380	50		180	220	60	6	50	8	8	8	
18	380	50		180	220	60	6	50	8	8	8	
19	380	50		180	220	60	6	50	8	8	8	DS
20	380	50		180	220	60	6	50	8	8	8	YUDI TOMMBRI
21	380	50		180	220	60	6	50	8	8	8	
22	380	50		180	220	60	6	50	8	8	8	
23	380	50		180	220	60	6	50	8	8	8	
24	380	50		180	220	60	6	50	8	8	8	DM
1	380	50		180	220	60	6	50	8	8	8	HISBAR BUSCHIRI
2	380	50		180	220	60	6	50	8	8	8	
3	380	50		180	220	60	6	50	8	8	8	
Shift I 4	380	50		180	220	60	6	50	8	8	8	
5	380	50		180	220	60	6	50	8	8	8	
6	380	50		180	220	60	6	50	8	8	8	
7	380	50		180	220	60	6	50	8	8	8	DP
8	380	50		180	220	60	6	50	8	8	8	SUPATMA-PAIMAN
9	380	50		150	180	60	6	50	5	5	5	
												JAM 8 PERGANTIAN

Sumber: Penulis

JAM	VOLT	Hz	A I	A II	A III	KW	KV	Hz	A I	A II	A III
15	380	50		180	220	60	8	50	8	8	8
16	380	50		180	220	60	6	50	8	8	8
17	380	50		180	220	60	6	50	8	8	8
18	380	50		180	220	60	6	50	8	8	8
19	380	50		180	220	60	6	50	8	8	8
20	380	50		180	220	60	6	50	8	8	8
21	380	50		180	220	60	6	50	8	8	8
22	380	50		180	220	60	6	50	8	8	8
23	380	50		180	220	60	6	50	8	8	8
24	380	50		180	220	60	6	50	8	8	8
1	380	50		180	220	60	6	50	8	8	8
2	380	50		180	220	60	6	50	8	8	8
3	380	50		180	220	60	6	50	8	8	8
4	380	50		180	220	60	6	50	8	8	8
5	380	50		180	220	60	6	50	8	8	8
6	380	50		180	220	60	6	50	8	8	8
7	380	50		180	220	60	6	50	8	8	8
8	380	50		180	220	60	6	50	8	8	8
9	380	50		180	220	60	6	50	8	8	8
10	380	50		180	220	60	6	50	8	8	8
11	380	50		180	220	60	6	50	8	8	8
12	380	50		180	220	60	6	50	8	8	8
13	380	50		180	220	60	6	50	8	8	8
14	380	50		180	220	60	6	50	8	8	8
15	380	50		180	220	60	6	50	8	8	8
16	380	50		180	220	60	6	50	8	8	8
17	380	50		180	220	60	6	50	8	8	8
18	380	50		150	180	50	6	50	5	5	5
19	380	50		150	180	50	6	50	5	5	5
20	380	50		150	180	50	6	50	5	5	5
21	380	50		150	180	50	6	50	5	5	5
22	380	50		150	180	50	6	50	5	5	5
23	380	50		180	180	50	6	[illegible]	5	5	5

D.S
Yudi, Tohari

DM
Misdar - Busairi

DP
Supatman + Paiman

Jam 17.20 parsial (jalur I

Sumber: Penulis

LAMPIRAN 4: FOTO – FOTO PENELITIAN

Pengukuran Debit Air pada Saluran KP 3

Pengukuran Debit Air pada Saluran Bantal

Mengukur Ketinggian Jatuh Air (*head*)

Saluran Pelimpah

Saluran Pembawa (*headrace*)

Sedimen pada *Guide Van* Turbin

Pengukuran Panjang Pipa Pesat

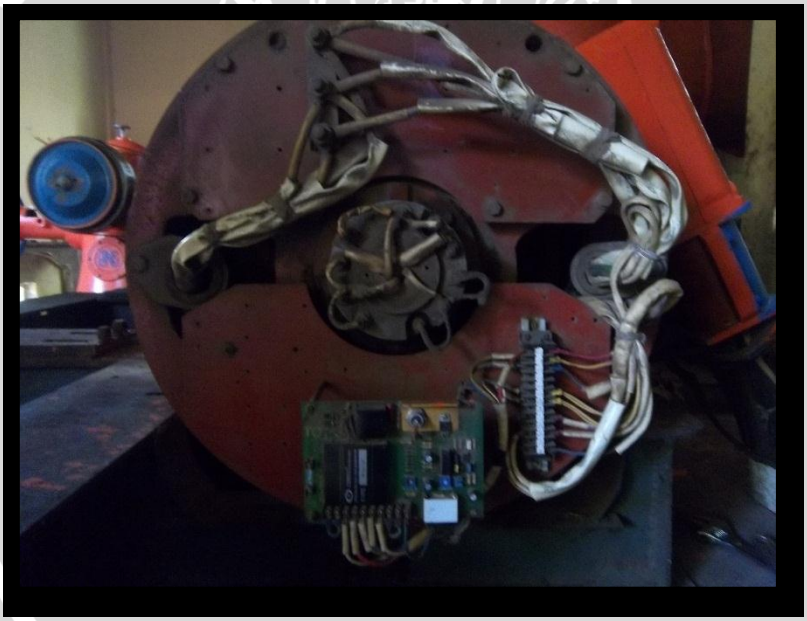
Rumah Pembangkit Lama dan Baru

Turbin Bekas Jaman Belanda

Generator Bekas Jaman Belanda

Poros yang Menghubungkan Turbin dengan Generator

Peralatan Mekanikal Elektrikal pada Rumah Pembangkit



AVR pada Generator

Proses Merangkai Beban Untuk Pengujian Pembangkit

Beban yang Digunakan Untuk Pengujian Pembangkit