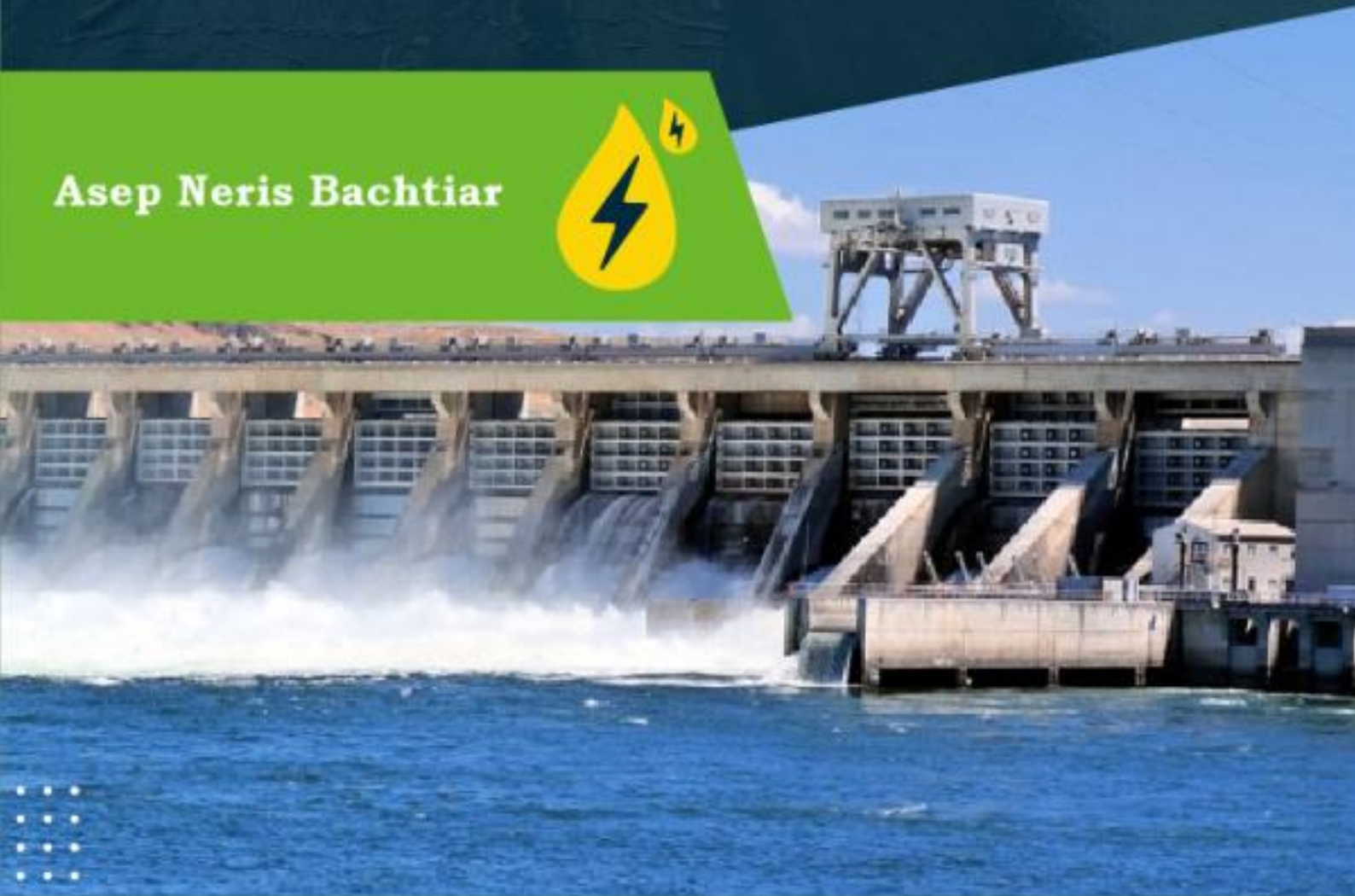


MEMANEN KRISIS ENERGI

Dengan Membangun dan Mengembangkan **Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH)**

Asep Neris Bachtiar



MEMANEN KRISIS ENERGI

*Dengan Membangun dan Mengembangkan Pembangkit Listrik
Tenaga Mikro Hidro (PLTMH)*

Asep Neris Bachtiar

**Mamanen Krisis Energi Dengan Membangun dan Mengembangkan
Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTH)**

Asep Neris Bachtiar

ISBN: 978-623-5299-52-5

Editor:

Harizqi Azri

Foto:

Cv. Haqi Paradise Mediatama

Desain Sampul :

Cv. Haqi Paradise Mediatama

Ilustrasi Dalam:

Cv. Haqi Paradise Mediatama

Tata Layout:

Trisno

Penerbit:

Cv. Haqi Paradise Mediatama

Kantor Pusat:

Jl. Bundo Kanduang No 1 Padang *Phonecell*/Telp: 085365372924/ (0751) 7053731. Email:
hrzm2f@gmail.com

Cetakan Pertama, 2025

Hak cipta dilindungi undang-undang

Dilarang memperbanyak karya tulis ini dalam bentuk dan dengan cara apapun tanpa ijin
tertulis dari penerbit

PRAKATA

Berkat Rahmat Allah SWT, Alhamdulillah penulis dapat menyusun naskah buku teks ini dengan segala kelebihan dan kekurangannya. Naskah buku teks ini disusun pada saat yang genting, krisis energi melanda dunia termasuk Indonesia yang ditandai dengan semakin mahal dan sulitnya mendapatkan bahan bakar minyak dan gas. Efek domino dari masalah dunia tersebut ialah kenaikan harga-harga kebutuhan pokok terjadi dimana-mana. Bersamaan dengan itu isu “energi baru dan terbarukan” menjadi kata-kata kunci yang selalu diwacanakan, dielu-elukan kehadirannya untuk menggantikan energi fosil yang suatu saat pasti habis.

Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) sebagai salah satu wujud sumber pembangkit energi baru dan terbarukan merupakan salah satu alternatif yang jadi harapan untuk pemenuhan energi kita ke depan. Dengan demikian buku teks ini akan menjadi sangat penting karena topik bahasannya tentang pengembangan PLTMH erat kaitannya dengan tantangan krisis energi global yang dihadapi umat manusia saat ini. Sebahagian isi buku ini merupakan rangkuman hasil penelitian dan sebahagian lagi berupa penjelasan teoritis dan praktis tentang karakteristik dan pengembangan PLTMH.

Selama ini belum ada buku teks yang membahas tentang PLTMH dari banyak aspek dan mengulasnya secara mendetil, umumnya buku teks yang ada hanya membahas konsep-konsep dasar tentang penggerak mula turbin. Buku teks yang penulis susun ini menjadi harapan kita bersama karena penyajiannya yang praktis, sistematis penulisan yang sangat terstruktur dilengkapi dengan puluhan gambar kerja dan penjelasan perkasus yang sangat mendetil. Pembahasan dimulai dengan pengenalan definisi PLTMH, dan pembahasan berkembang hingga ke perencanaan sistem yang lengkap sampai ke proses pembuatan dan perakitan elemen-elemen kecil dari komponen turbin. Pembahasan juga melibatkan aspek-aspek yang jelimet seperti tahapan perencanaan yang melibatkan banyak rumus umum dan empiris, juga tentang studi kelayakan aspek finansial. Dengan demikian diharapkan buku teks ini menjadi literatur penting di lingkungan akademisi khususnya bagi mahasiswa Teknik Sipil, Teknik Mesin dan Teknik Elektro untuk mata kuliah Meknika Fluida, Bangunan Tenaga air, Mesin-mesin Fluida/ Hidrolik dan Sistem Pembangkit Listrik. Sangat optimis buku ini juga akan menjadi referensi bagi para praktisi dan bagi pemerhati energi terbarukan dan menjadi panduan seluruh lapisan masyarakat untuk membangun sendiri PLTMH di tempat tinggalnya masing-masing.

Terwujudnya naskah buku teks ini tak terlepas dari bantuan banyak pihak tak terkecuali kontribusi dari sahabat dalitku Ir. Zulkiffli Saleh, M.Eng, penulis ucapkan terimakasih. Istimewa, ucapan terimakasih penulis sampaikan kepada Bapak Prof. Dr. Ir. Gunawarman, M.Sc dan Bapak Dr.-Ing. Ir. Agus Maryono selaku Ketua Program Magister Sistem Teknik (MST) merangkap

sebagai Ketua Konsentrasi Mikro Hidro (Energi Terbarukan) Universitas Gadjah Mada yang telah memberikan koreksi hingga terwujudnya naskah buku teks ini.

Penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang konstruktif dari pembaca yang budiman untuk kesempurnaan buku teks ini dimasa datang, terimakasih.

Padang, April 2025

Penulis,

Asep Neris Bachtiar

DAFTAR ISI

PRAKATA.....	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR GAMBAR.....	vii
DAFTAR TABEL.....	x
BAB I. PENDAHULUAN.....	1
1.1. Definisi PLTMH	1
1.2. Komponen-komponen PLTMH.....	2
1.3. Keunggulan PLTMH Dibanding Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD)	3
1.4. Syarat Membangun PLTMH	4
1.5. Manfaat Listrik Pedesaan Bagi Masyarakat	5
1.6. Program PLTMH di Sumatera Barat	6
Pelatihan	10
BAB II. KLASIFIKASI TURBIN AIR.....	11
2.1. Kincir Air	11
2.2. Berdasarkan Model Aliran Air Masuk <i>Runner</i>	12
2.3. Berdasarkan Perubahan Momentum Fluida Kerjanya.....	13
2.4. Berdasarkan Kecepatan Spesifik (n_s)	14
2.5. Berdasarkan Head dan Debit.....	14
2.6. Karakteristik <i>Turbin Cross Flow</i>	15
2.6.1. Keunggulan <i>Turbin Cross Flow</i>	15
2.6.2. Cara Pengoperasian <i>Turbin Cross Flow</i>	18
Pelatihan	19
BAB III. DATA SURVEY SEBAGAI ACUAN PEMBANGUNAN PLTMH	20
3.1. Lokasi PLTMH.....	20
3.2. Tinjauan Tentang Penduduk Desa	21
3.3. Sumber Air.....	22
3.4. Tinggi Jatuh Air.....	22
Pelatihan	27
BAB IV. DASAR-DASAR PEMILIHAN TURBIN AIR	28
4.1. Daya Efektif Turbin	28
4.2. Panjang Pipa Pesat.....	29
4.3. Tinggi Jatuh Efektif	30
4.4. Debit Air.....	32
4.5. Diameter Dalam Pipa Pesat.....	32
4.6. Putaran dan Diameter <i>Runner</i>	36
4.7. Kecepatan Spesifik Turbin.....	37
4.8. Jenis Turbin yang Dipilih	37
Pelatihan	40
BAB V. ALAT dan BAHAN yang DIBUTUHKAN SERTA PROSEDUR PEMBANGUNAN dan PEMELIHARAAN PLTMH	41
5.1. Alat yang Dibutuhkan.....	41
5.2. Bahan yang Dibutuhkan.....	42
5.3. Prosedur Pembangunan PLTMH	44
5.4. Perawatan PLTMH.....	45

5.4.1. Perawatan Preventif (Pencegahan)	47
5.4.2. Perawatan Korektif (Perbaikan)	48
Perlatihan	49
BAB VI. PERENCANAAN dan PROSES PEMBUATAN	
KOMPONEN BANGUNAN SIPIL dan PIPA PESAT	50
6.1. Bendungan.....	50
6.2. Kanal dan Kolam Penampung	50
6.3. Rumah Pembangkit	53
6.4. Pipa Pesat.....	53
6.4.1. Ukuran Elbow	53
6.4.2. Bahan dan Pembuatan Elbow	55
6.4.3. <i>Kavitasi</i>	56
6.4.4. Tumbukan Air (<i>Water Hammer</i>)	56
Perlatihan	58
BAB VII. PERENCANAAN dan PEMBUATAN KOMPONEN	
PENGERAK MULA	59
7.1 Nozel	59
7.1.1. Ukuran <i>Nozel</i>	60
7.1.2. Bahan dan Pembuatan <i>Nozel</i>	62
7.2. Katup	63
7.2.1. Ukuran Katup.....	64
7.2.2. Bahan dan Pembuatan Katup.....	64
7.2.3. Ukuran Poros Katup	65
7.2.4. Bahan dan Pembuatan Poros Katup	65
7.3. Rumah Turbin	65
7.4. <i>Runner</i>	66
7.4.1. Ukuran <i>Runner</i>	67
7.4.2. Bahan dan Pembuatan <i>Runner</i>	68
7.5. Poros <i>Runner</i>	69
7.6. Tutup Turbin	73
7.7. Rangka Pondasi Turbin	74
Perlatihan.....	75
BAB VIII. PERENCANAAN dan PEMBUATAN SISTIM KONTROL	
MEKANIS dan SISTIM TRANSMISI DAYA	76
8.1. <i>Regulator</i>	76
8.1.1. Bahan dan Pembuatan <i>Regulator</i>	76
8.1.2. Gaya-gaya yang Timbul Saat Pengoperasian <i>Regulator</i>	77
8.2. <i>Governor</i>	79
8.2.1. Cara Kerja <i>Governor</i>	81
8.2.2. Sistem Transmisi <i>Governor</i>	81
8.2.3. Gaya-gaya yang Timbul Pada Kerja <i>Governor</i>	81
8.2.4. Perhitungan Tentang Pegas	83
8.3. Sistem Transmisi	85
8.3.1. Baut Pengikat.....	88
8.3.2. Pasak Kopling	89
Perlatihan	91
BAB IX. PERENCANAAN dan PEMBUATAN PERALATAN	
ELEKTRIKAL	93
9.1. Generator	93
9.2. Sistem Kontrol	94
9.3. Jaringan Distribusi.....	95

Perlatihan	97
BAB X. MELUKIS BUSUR SUDU DENGAN ANALISA SEGI TIGA KECEPATAN DAN UJI EFFISIENSI RUNNER TURBIN CROSS FLOW	98
10.1. Melukis Busur Sudu Dengan Analisa Segi Tiga Kecepatan.....	98
10.2. Uji Efisiensi Dengan Variasi Sudut Masuk (θ)	102
10.2.1. Sudut Air Masuk Sudu $\theta_1 = 20^\circ$	103
10.2.2. Sudut Air Masuk Sudu $\theta_2 = 12^\circ$	103
10.2.3. Sudut Air Masuk Sudu $\theta = 15^\circ$	104
10.3. Uji Efisiensi Dengan Variasi Perbandingan U_o / V_r	104
10.3.1. Perbandingan $U_o / V_r = 0,5$	104
10.3.2. Perbandingan $U_o / V_r = 0,7$	105
10.3.3. Perbandingan $U_o / V_r = 0,3$	106
Perlatihan	108
BAB XI. PENGEMBANGAN PLTMH	109
11.1. Syarat Pengembangan PLTMH.....	109
11.2. PLTMH Terpadu Sebagai Alternatif.....	110
11.3. PLTMH Portabel yang Praktis dan Ekonomis.....	112
11.3.1. Keunggulan PLTMH Portabel.....	115
11.3.2. Bentuk Teknologi dan Mekanisme Kerja PLTMH Portabel	115
11.4. PLTMH dan Interkoneksi Dengan Jaringan Listrik PLN	116
Perlatihan	131
BAB XII. STUDI KELAYAKAN PEMBANGUNAN PLTMH	132
12.1. Metode Penelitian Studi Kelayakan	132
12.2. Deskripsi Daerah Penelitian.....	133
12.3. Studi Kelayakan Aspek Teknis	134
12.4. Studi Kelayakan Aspek Finansial	135
12.4.1. Analisis <i>Payback Period (PBP)</i>	136
12.4.2. Analisis <i>Benefit Cost Ratio (BCR)</i>	137
12.4.3. Analisis <i>Net Present Value (NPV)</i>	137
12.4.4. Analisis <i>Internal Rate of Return (IRR)</i>	139
12.4.5. Analisis <i>Sensitivitas</i>	142
12.5. Kesimpulan dan Saran	142
12.5.1. Kesimpulan	142
12.5.2. Saran-saran.....	142
Perlatihan	143
BAB XIII. EKSPERIMEN PEMBANGUNAN PEMBANGKT LISTRIK TENAGA MIKRO HIDRO MODEL DRUM (PLTMH MODEL DRUM)	144
13.1 Deskripsi Lokasi pengujian PLTMH Model Drum.....	145
13.2 Alat yang Dibutuhkan	148
13.3 Prosedur Pengujian	149
13.4 Hasil pengujian dan pembahasan	149
13.5 Prosedur Pembangunan dan Pengoperasian PLTMH Model Drum	159
13.5.1 Prosedur Pembangunan PLTMH Model Drum	159
13.5.2 Prosedur Pengoperasian PLTMH Model Drum.....	160
13.6 Kesimpulan dan Saran	160
13.6.1 Kesimpulan.....	160
13.6.2 Saran	161
Perlatihan	161

BAB XIV. CONTOH PROPOSAL PEMBANGUNAN PEMBANGKIT TENAGA MIKRO HIDRO PORTABEL (PTMHP)	163
14.1 Daftar Isi Proposal Penelitian	164
14.2 Identitas Penelitian	165
14.3 Abstrak	166
14.4 Pendahuluan	167
14.5 Studi Pustaka	169
14.6 Metodologi Penelitian	175
14.7 Pembiayaan dan Jadwal Penelitian	179
14.8 Daftar Kepustakaan	182
14.9 Pertimbangan Alokasi Biaya Tahun Pertama	183
14.10 Pertimbangan Alokasi Biaya Tahun Kedua	188
14.11 Sarana	192
Perlatihan	193
DAFTAR PUSTAKA	194

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. <i>Lay-Out</i> PLTMH.....	2
2. Penampang PLTMH di Sekitar Rumah Pembangkit.....	5
3. Model Kincir Air.....	12
4. Model Turbin Aliran Tangensial.....	12
5. Model Turbin Aliran Aksial	13
6. Model Turbin Aliran Aksial- Radial.....	13
7. Empat Macam <i>Runner</i> Turbin Konvensional.....	15
8. Effisiensi Beberapa Turbin Dengan Pengurangan Debit sebagai Variabel	16
9. Dua Tipe <i>Turbin Cross Flow</i>	17
10. Model Rakitan Turbin <i>Cross Flow</i>	18
11. Peta Kabupaten Solok, Di Sini Lokasi PLTMH Direncanakan	23
12. Rencana Jaringan Kabel Distribusi, Skala 1 : 15.000.....	24
13. Lay-out Sekitar Lokasi PLTMH.....	25
14. Model Instalasi Listrik dan Pengaturan Daya di Rumah Konsumen.....	26
15. Skema Tinggi Jatuh Air	30
16. Empat Model Lubang Pemasukan.....	34
17. Instalasi Turbin Francis	38
18. <i>Runner</i> Turbin Francis	39
19. Bendungan, Kanal dan Kolam Penampung.....	52
20. Penampang Rumah Pembangkit.....	53
21. Elbow	54
22. Elemen Rakitan Elbow.....	58
23. <i>Nozel</i>	61
24. Penampang Samping <i>Nozel</i>	62
25. Elemen Rakitan <i>Nozel</i>	63
26. Katup	63
27. Komponen Rakitan Katup	65
28. Poros Katup.....	65
29. Rumah Turbin.....	66
30. Komponen Rakitan Rumah Turbin.....	66
31. <i>Runner</i>	67
32. Proses Merakit <i>Runner</i>	68

33. Pembebanan Pada Bantalan	70
34. Pembebanan Bantalan Yang Disederhanakan	71
35. Diagram Momen Lentur Poros <i>Runner</i>	71
36. Ukuran Poros <i>Runner</i>	73
37. Tutup Turbin	73
38. Komponen Rakitan Tutup Turbin.....	74
39. Rangka Pondasi Turbin	75
40. Tiga Model Posisi Katup.....	78
41. <i>Regulator</i> dan Perlengkapannya.....	79
42. <i>Governor</i> dan Perlengkapannya	80
43. Posisi <i>Governor</i> Maksimum dan Minimum	82
44. Poligon Gaya Lengan-lengan <i>Governor</i>	83
45. Pegas <i>Governor</i> Saat Beban Maksimum dan Minimum.....	85
46. Macam-macam Kopling Tetap	86
47. Spesifikasi Kopling Flens Luwes.....	87
48. Spesifikasi Pasak- Poros	91
49. Skema Rangkaian Generator dan Perlengkapannya.....	95
50. Skema Penempatan <i>Transformator</i>	95
51. Tiang Listrik dan Perlengkapannya	96
52. Analisa Segi Tiga Kecepatan pada sudut $\theta = 15^0$	97
53. Analisa Segi Tiga Kecepatan pada sudut $\theta_1 = 20^0$	101
54. Analisa Segi Tiga Kecepatan pada sudut $\theta_2 = 12^0$	103
55. Analisa Segi Tiga Kecepatan pada perbandingan $U_o / V_r = 0,7$	104
56. Analisa Segi Tiga Kecepatan pada perbandingan $U_o / V_r = 0,3$	105
57. Sistem PLTMH Terpadu	107
58. Sistem PLTMH Portabel	112
59. Diagram Alir Proses Pengajuan PSK Tersebar.....	114
60. Diagram Alir Tahap 1 – Studi Kelayakan	116
61. Diagram Alir Tahap 2 – Pengajuan Dokumen Usaha Pengelolaan Lingkungan.....	120
62. Diagram Alir Tahap 3 – Perencanaan Pembangunan dan Operasi	121
63. Diagram Alir Tahap 4 – Perizinan Pemanfaatan Sumber Daya Lokal.....	122
64. Diagram Alir Tahap 5 – Pengajuan Penawaran PSK Tersebar Kepada PLN.....	123
65. Diagram Alir Tahap 6 – Kontrak PSK Tersebar	124
66. Diagram Alir Tahap 7 – Pembangunan Fisik Pembangkit Listrik.....	126

67. Diagram Alir Tahap 8 – Pengujian Kelayakan Operasi Pembangkit.....	127
68. Diagram Alir Tahap 9 – Perizinan Usaha Kelistrikan	128
69. Diagram alir Tahap 10 – Interkoneksi dengan Jaringan PLN	129
70. Skema Sepuluh Tahap Proses pengajuan PSK Tersebar	130
71. Gafik Uji IRR = 18,5 %	140
72 Layout Out di Sekitar Lokasi Pengujian PLTMH Model Drum, Dukuh Blaburan, Desa Bligo, Kecamatan Ngluwar, Kabupaten Magelang	146
73. Instalasi Pengujian Sistem PLTMH Model Drum	147
74. Alternatif Lain Pengujian PLTMH Model Drum.....	148
75. Kesetimbangan Energi Pada Sistem PLTMH Model Drum.....	150
76. Pengaruh Perubahan Buka-an Katup Terhadap Debit Riil Air Masuk Turbin	153
77. Trend Efisiensi Regulator-Katup untuk Empat Posisi Buka-an Katup	154
78. Pengukuran Torsi dengan Mekanisme Pengereman	155
79. Torsi yang Dibangkitkan Turbin untuk Empat Posisi Buka-an Katup.....	155
80. Trend Efisiensi Penggerak Mula Turbin Cross Flow untuk Empat Posisi Buka-an Katup	158
81. Penulis Berada di Sekitar Sistem PLTMH Model Drum yang Sedang Beroperasi Ditandai Oleh Air Keluar Dari Saluran Limpah.....	158
82. Keberhasilan PLTMH Model Drum Membangkitkan Listrik Mendapat Apresiasi dari Bapak Lurah Bligo, Kecamatan Ngluwar, Kabupaten Magelang Bapak Arismunandar, Terimakasih Pak ! Atas Izin Penggunaan Tanah Bengkok Untuk Lokasi Pengujian PLTMH Model Drum	159
83. Sistem PLTMH Terpadu	172
84. Turbin Yang Sekaligus Menggerakan Mesin Giling Padi (<i>Rice Milling</i>).....	173
85. Turbin Yang Sekaligus Menggerakan Mesin Giling Kopi.....	174
86. Bagan Alir Tahapan Penelitian Pada Periode Tahun Pertama.....	177
87. Bagan Alir Tahapan Penelitian Pada Periode Tahun Kedua	179

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Pusat Pembangkit Listrik yang Akan Diselesaikan Pada Repelita VI oleh Pemerintah Propinsi Sumatera Barat	7
2. Identifikasi PLTMH yang Telah Dibangun Sampai Saat Ini di Sumatera Barat.....	7
3. Kecepatan Spesifik Turbin <i>Konvensional</i>	14
4. Nilai K_e Untuk Empat Macam Sudut Elbow	35
5. Perbandingan Spesifikasi Turbin <i>Francis</i> dan Turbin <i>Cross Flow</i>	39
6. Alat yang Digunakan Untuk Pekerjaan Mekanik.....	42
7. Bahan yang Dibutuhkan Untuk Pembangunan PLTMH.....	42
8. Persentase Kecepatan Liar Turbin Air	69
9. Pemilihan Bahan Untuk Flens dan Baut Kopling.....	88
10. Hubungan Jumlah Kutub Dengan Putaran Generator	94
11. Pusat Pembangkit Listrik yang Akan Diselesaikan Pada Repelita VI 1994.1995 - 1998/1999	113
12. Variabel Aspek Finansial	136
13. Analisa <i>Payback Period</i> (x Rp 1.000)	136
14. Analisa BCR (x Rp 1.000).....	137
15. Analisa NPV (x Rp 1.000)	138
16. Analisa <i>Internal Rate of Return</i> (IRR) (x RP 1.000)	139
17. Pengujian IRR dengan Regresi.....	141
18. Prestasi PLTMH Model Drum Terhindar Dari Resiko Kebocoran.....	152
19. Variasi Debit Riil Air Masuk Turbin Untuk Empat Posisi Buka-an Katup	153
20. Efisiensi Regulator-Katup Dengan Acuan Debit Rencana	153
21 Karakteristik Listrik yang Dibangkitkan Generator	155
22. Karakteristik Uji Pengereman.....	157
23. Efisiensi Penggerak Mula Turbin <i>Cross Flow</i> untuk Empat Posisi Buka-an Katup	180
24. Perincian Penggunaan Anggaran Biaya.....	180
25. Jadwal Penelitian Tahun Pertama.....	181
26. Jadwal Penelitian Tahun Kedua	183
27. Anggaran Untuk Pelaksana Tahun Pertama	183
28. Anggaran Untuk Peralatan Pembuatan Penggerak Mula PTMHP	184

29. Anggaran Untuk Bahan Habis Pakai Pembangunan PTMHP	186
30. Anggaran Untuk Alat Tulis Kantor	187
31. Anggaran Untuk Perjalanan	188
32. Anggaran Untuk Pengeluaran Lain-lain	188
33. Anggaran Untuk Pelaksana Tahun Kedua	189
34. Anggaran Untuk Peralatan Pemanfaatan Potensi Daya PTMHP	189
35. Anggaran Untuk Bahan Habis Pakai	190
36. Anggaran Untuk Alat Tulis Kantor	190
37. Anggaran Untuk Perjalanan	192
38. Anggaran Untuk Pengeluaran Lain-lain	192
39. Sarana Laboratorium yang Dimiliki	192

BAB I

PENDAHULUAN

Indonesia yang beriklim tropis mempunyai potensi air yang cukup banyak dan hampir merata di seluruh kepulauan. Pemanfatannya sebagai sumber energi baru dan terbarukan sangat potensial untuk dikembangkan, bahkan potensi air yang terdapat di setiap pedesaanpun dapat dimanfaatkan dengan membangun pembangkit listrik tenaga air skala kecil. Suatu kenyataan yang menjadi tantangan di lapangan ialah jumlah pembangkit yang dibangun masih sedikit walaupun di daerah tersebut sumber tenaga air yang bisa dimanfaatkan cukup banyak. Oleh karena itu pemanfaatan potensi air sebagai sumber pembangkit tenaga listrik mutlak harus terus dikembangkan baik melalui pembangunan pembangkit listrik tenaga air skala besar yang populer disebut Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) maupun melalui pembangunan pembangkit listrik tenaga air skala kecil yang populer disebut Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH). Pada uraian berikut akan diuraikan tentang karakteristik PLTMH dan perkembangannya di Sumatera Barat.

Setelah mempelajari topik bahasan tentang karakteristik PLTMH seperti yang akan dijelaskan berikut ini, diharapkan pembaca mampu,

1. Mendefinisikan secara ilmiah tentang “Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH)”.
2. Memahami dengan baik tentang fungsi dari PLTMH, keunggulan serta cara kerja dari sistem maupun komponen-komponennya.
3. Memahami dengan baik tentang syarat-syarat yang harus diperhatikan sebelum melaksanakan pembangunan PLTMH agar umur produktif dan ekonomisnya lebih panjang.
4. Memahami dengan baik tentang perbedaan prinsip antara PLTMH dengan PLTD.
5. Mengetahui dan mengenal lebih dekat tentang perkembangan PLTMH khususnya di Provinsi Sumatera Barat dengan segala potensi, harapan dan tantangannya.

1.1 Definisi PLTMH

Yang dimaksud dengan “Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH)” adalah suatu tempat atau lokasi dengan segala peralatan dan perlengkapannya yang difungsikan untuk membangkitkan energi listrik melalui proses konversi energi dari energi potensial air yang jatuh melalui pipa pesat berubah menjadi energi mekanis pada *runner* turbin yang kemudian berubah menjadi energi listrik sebagai luaran dari generator. Debit air dan tinggi jatuh yang dioperasikan pada PLTMH relatif lebih kecil dibanding PLTA, hal ini sesuai dengan namanya mikro hidro atau air kecil. Secara umum istilah Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) itu sama dengan pembangkit listrik tenaga air skala kecil atau mini dengan kapasitas daya yang dibangkitkan dibawah 100 kW. Lokasi PLTMH umumnya berada di pedesaan yang dilalui sumber air berupa sungai besar maupun kecil. Bangunan PLTMH berada di pinggiran sungai tersebut dan letaknya

tidak jauh dari perumahan penduduk sehingga jaringan distribusi untuk mengalirkan arus listrik lebih pendek dan biaya investasi lebih murah.

1.2 Komponen-komponen PLTMH

PLTMH mempunyai beberapa komponen penting yang sangat mendukung terhadap prestasi kerjanya, komponen-komponen tersebut antara lain,

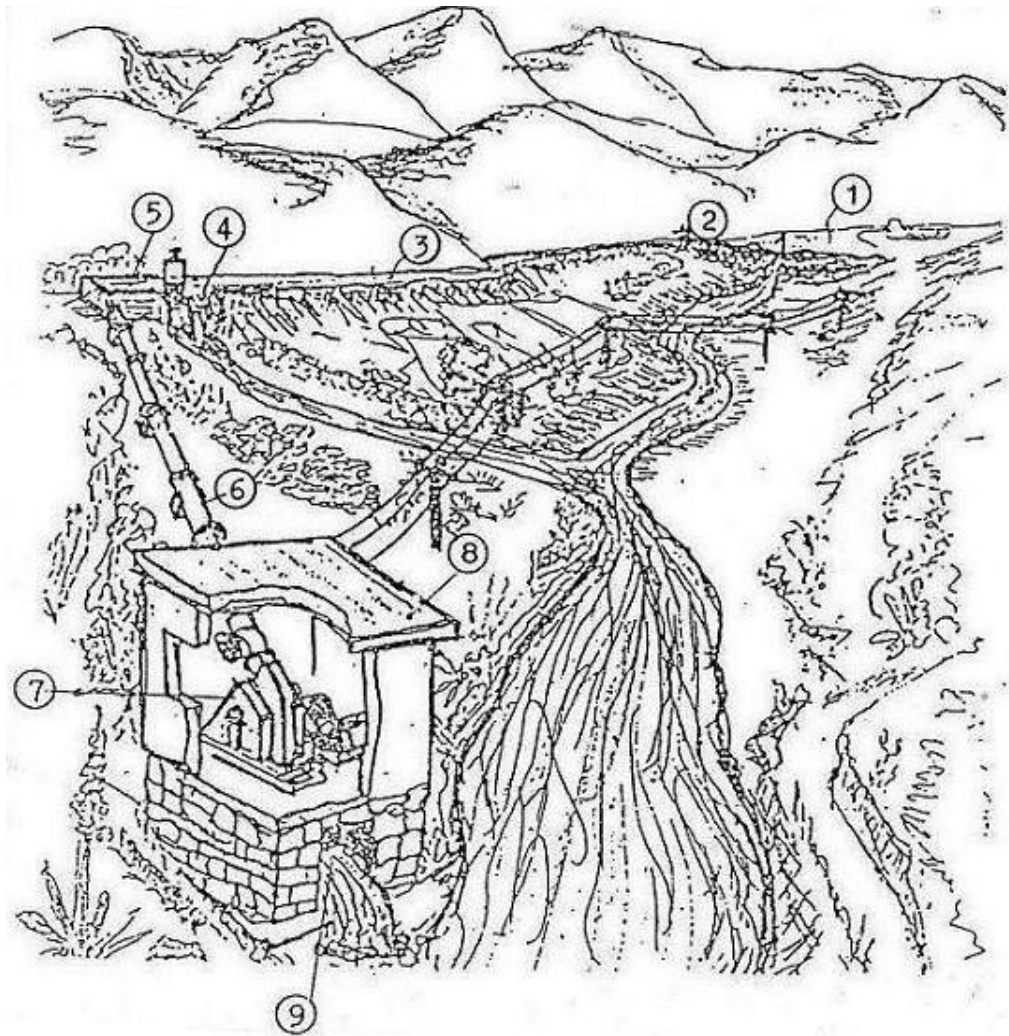
1. Bendungan.

Bendungan dibangun ditengah- tengah aliran sungai dan berfungsi untuk menahan aliran air agar air dapat berkumpul dan permukaannya naik sehingga didapat head jatuh air yang tinggi.

Dengan demikian tujuan untuk menghasilkan daya yang optimal akan tercapai.

2. Pintu dan saringan.

Pintu air dipasang di mulut saluran masuk atau kanal terbuka yang difungsikan untuk mengatur pemasukan air ke kolam penampung dengan mengatur posisi buka dan tutup. Dan saringan dipasang berdekatan dengan pintu tersebut yang berfungsi untuk menyaring air yang akan masuk ke kanal dari sampah dan kotoran kasar lainnya.



Gambar 1. Lay-Out PLTMH (Haimerl, 1960)

3. Kanal.

Kanal atau saluran terbuka berfungsi untuk mengalirkan air dari bendungan ke bak penenang.

4. Bak penenang.

Bak penenang berfungsi untuk menampung air agar permukaannya naik dan alirannya tenang sehingga akan didapatkan tinggi jatuh yang konstan.

5. Saluran limbah.

Saluran limbah berfungsi untuk mengalirkan air yang melimpah dari bak penenang

6. Pipa pesat.

Pipa pesat atau *penstock* berfungsi untuk meluncurkan air dari bak penenang ke dalam turbin.

7. Turbin.

Turbin sebagai penggerak mula dari sistem PLTMH.

8. Rumah pembangkit.

Rumah pembangkit berfungsi sebagai pelindung alat-alat mekanis dan elektronis dari sistem turbin yang terdapat di dalamnya.

9. Saluran buang.

Saluran buang atau *tail race* merupakan saluran tempat lalunya buangan air yang keluar dari turbin.

Gambar 1. dan gambar 2. lebih menjelaskan bagian-bagian utama dari sistem PLTMH.

1.3 Keunggulan PLTMH Dibanding Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD)

Dalam rangka pengembangan listrik di pedesaan, maka di daerah-daerah terpencil yang masih jauh dari jaringan listrik PLN, di sana dibangun pembangkit-pembangkit listrik lokal baik yang dibangun oleh pemerintah daerah maupun pihak swasta. Pembangkit-pembangkit listrik lokal tersebut sebahagiannya berupa Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD) yang menggunakan minyak sebagai bahan bakarnya sedangkan yang memanfaatkan tenaga alam seperti tenaga air masih sangat sedikit sekalipun di daerah-daerah tersebut sumber tenaga air yang bisa dimanfaatkan cukup banyak. Memang dengan menggunakan PLTD ada beberapa keuntungan yang dapat dijadikan alasan dalam memilihannya, misalnya pertama, biaya investasi pembangunan PLTD untuk daya yang sama relatif lebih murah dibanding biaya pembangunan PLTMH. Kedua, pembangunan PLTD tidak memerlukan banyak waktu dan tempat. Dan ketiga, supel dalam penempatannya. Akan tetapi keuntungan-keuntungan tersebut akan dapat diperoleh apabila nilai ekonomisnya masih terjamin. Tetapi jika tidak ekonomis lagi seperti dengan semakin langka dan mahalnya harga bahan bakar minyak tentu pilihan akan jatuh kepada energi alternatif misalnya menggunakan tenaga air, batubara dan sebagainya. Oleh karena itu pemanfaatan sumber energi alternatif terutama tenaga air yang cukup banyak tersedia di pedesaan mutlak harus dikembangkan baik melalui pembangunan PLTA maupun PLTMH.

Banyak keunggulan-keunggulan yang menjadi faktor pendorong perlu dibangun PLTMH di suatu tempat yaitu,

1. Umur ekonomis PLTMH jauh lebih lama dibanding PLTD, PLTMH bisa mencapai 40 tahun lebih sedangkan PLTD hanya sampai sekitar 15 tahun.
2. Biaya operasi lebih murah karena tidak membutuhkan bahan bakar minyak.
3. Perawatan/ biaya eksploitasi rendah karena kebutuhan minyak pelumas sedikit.
4. Kontruksi PLTMH secara umum dapat diusahakan cukup sederhana baik volume kerja maupun bahan yang digunakan.
5. Pengoperasian PLTMH tidak menimbulkan polusi dan air yang keluar dari PLTMH dapat dimanfaatkan kembali untuk perikanan dan irigasi.
6. Bendungan PLTMH berguna untuk mengatur aliran air dan bendungan itu sendiri dapat dimanfaatkan untuk peternakan ikan air deras.

1.4 Syarat Membangun PLTMH.

Adapun yang menjadi faktor pendorong perlu dibangun PLTMH pada suatu daerah, Sutarno (1973) dalam bukunya “ Sistem Listrik Mikro Hidro Untuk Kelistrikan Desa “ mengemukakan sebagai berikut,

1. Di daerah itu terdapat sumber air yang dapat dimanfaatkan untuk PLTMH.
2. Posisi daerah tersebut cukup jauh untuk dijangkau oleh jaringan listrik PLN, walaupun akan dipasang biayanya cukup mahal.
3. Jarak antara pusat pembangkit dengan rumah-rumah penduduk tidak terlalu jauh.
4. Adanya minat dan keinginan dari penduduk setempat untuk menggunakan tenaga listrik. Ada kemampuan untuk berswadaya dan lebih utama lagi apabila ada industri rumah tangga yang dimungkinkan akan lebih berkembang dengan adanya energi listrik.

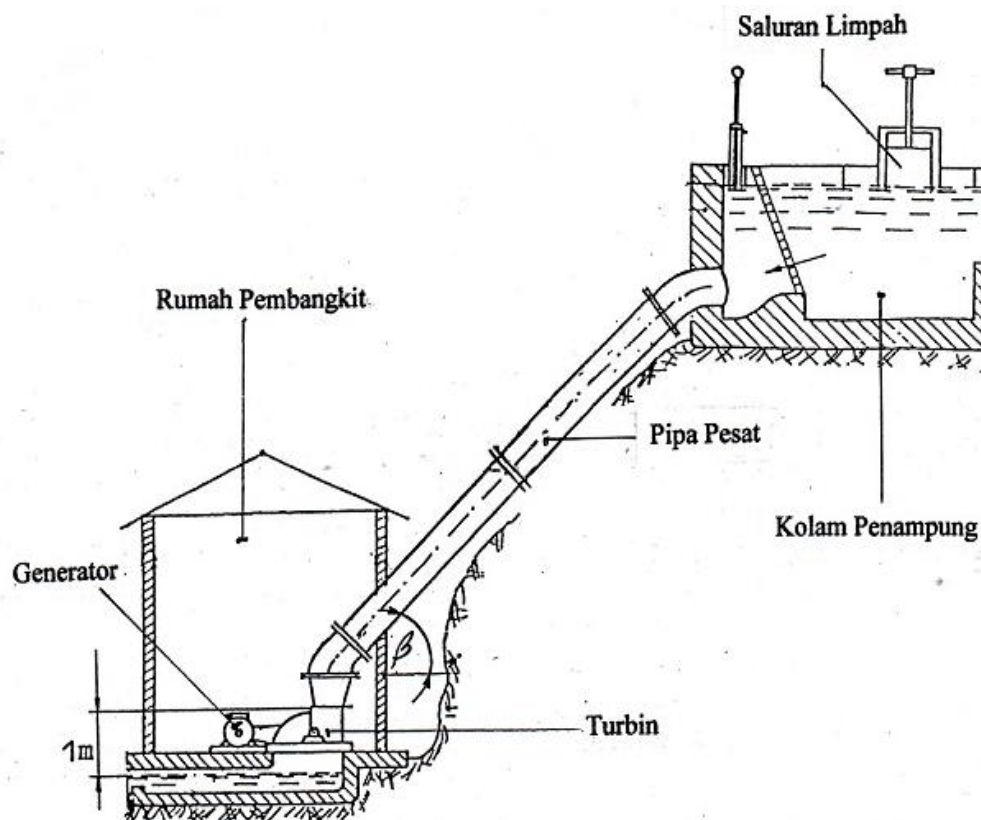
Disamping syarat-syarat teknis di atas, pembangunan PLTMH juga membutuhkan dukungan syarat sikap dan respon yang baik dari masyarakat yaitu,

1. Masyarakat mau berpartisipasi menanggung sebahagian atau seluruh biaya pembangunan PLTMH.
2. Masyarakat mau ikut bertanggung jawab menjaga dan merawat PLTMH.
3. Masyarakat mau mengorbankan sebagian tanahnya untuk digunakan pembangunan PLTMH.
4. Ada kesanggupan masyarakat untuk membayar iuran bulanan dari pemakaian listrik.
5. Masyarakat dapat memahami kelemahan dan keterbatasan PLTMH khususnya yang berkaitan dengan dibatasinya pemakaian daya listrik sebagai akibat berkurangnya debit air di musim kemarau.

1.5 Manfaat Listrik Pedesaan Bagi Masyarakat.

Listrik pedesaan adalah salah satu usaha pengadaan energi listrik untuk masyarakat pedesaan yang terpencil dan jauh dari jaringan listrik PLN. Ini adalah usaha pemerintah dalam rangka pemerataan pembangunan, jika program listrik masuk desa berhasil dilaksanakan maka berbagai manfaat dapat dicapai antara lain,

1. Dapat meningkatkan pengetahuan, energi listrik yang cukup murah dan mudah didapat akan merubah struktur kehidupan masyarakat desa, kegairahan membaca di bawah listrik yang terang benderang akan memberikan dorongan pada pendidikan pribadi masyarakat desa.
2. Menumbuhkan industri-industri rakyat di pedesaan antara lain pandai besi, penggilingan padi, kopi, penggilingan jagung, penggergajian kayu dan lain sebagainya.
3. Produksi pertanian akan meningkat karena pompa-pompa irigasi dapat dibangun untuk mengairi sawah dengan teratur.
4. Proses modernisasi rakyat di desa akan lebih cepat tercapai, radio dan TV akan merubah dan memperbaiki cara hidup rakyat di sana.
5. Memperkecil urbanisasi karena rakyat di desa sudah mempunyai aktivitas sendiri-sendiri.



Gambar 2. Penampang PLTMH di Sekitar Rumah Pembangkit (Bachtiar,2005)

1.6 Program PLTMH di Sumatera Barat

Ada enam fokus kebijakan iptek 2005 – 2006 yang sesuai dengan Rencana Pembangunan Jangka Menengah Nasional (RPJMN) yaitu,

1. Pembangunan ketahanan pangan.
- 2. Penciptaan dan pemanfaatan sumber energi baru dan terbarukan.**
3. Pengembangan teknologi dan manajemen transportasi.
4. Pengembangan teknologi informasi dan komunikasi.
5. Pengembangan teknologi pertahanan dan keamanan.
6. Pengembangan teknologi kesehatan dan dan obat – obatan.

Fokus kedua seperti di atas jika diimplementasikan di Sumatera Barat Sungguh sangat menantang. Alasannya adalah jika dibanding dengan provinsi tetangga lainnya, Sumatera Barat memiliki lebih banyak potensi energi yang dapat terus dikembangkan diantaranya batubara dan energi air. Selain Ombilin, beberapa lokasi tambang batubara baru telah ditemukan sedang potensi air di Sumatera Barat cukup banyak mengingat di propinsi ini terdapat empat danau besar dan tofografi daerah umumnya berada di dataran tinggi yang banyak memiliki sumber air.

Tantangan dan harapan di atas sesuai dengan arah kebijaksanaan pembangunan energi Pemerintah Provinsi Sumatera Barat seperti yang telah digariskan pada Rencana Pembangunan Jangka Menengah Nasional (RPJMN) 2006 – 2010 sebagai berikut,

Energi saat ini merupakan isu sangat penting yang membutuhkan penanganan yang tepat. Walaupun Sumatera Barat mempunyai banyak sumber energi di luar minyak bumi seperti sumber daya air sebagai pembangkit tenaga listrik dan sumber daya mineral batubara, namun potensi tersebut harus direncanakan, dikelola dan dimanfaatkan secara optimal bagi sebesar – besarnya kemakmuran dan kesejahteraan rakyat. Potensi energi di Sumatera Barat yang dapat dipergunakan sebagai energi alternatif dan sudah dimanfaatkan saat ini adalah sumber daya air untuk pembangkit energi listrik baik pada skala besar seperti PLTA Singkarak, PLTA Maninjau, dan **Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH)**.

Berkaitan dengan pengembangan PLTA dan PLTMH seperti di atas, pemerintah Sumatera Barat sejak awal telah memberikan perhatian yang cukup besar dalam pemanfaatan energi air sebagaimana yang digariskan pada Repelita III 1979/1980 – 1984/1985 sebagai berikut,

Dalam usaha – usaha penambahan unit – unit pembangkit, ini perlu dilakukan pengembangan pusat – pusat tenaga pembangkit baik melanjutkan pembangunan yang sedang berjalan maupun merencanakan proyek – proyek baru. Melanjutkan pembangunan yang sedang berjalan yaitu menyiapkan pembangunan PLTA maninjau dengan kapasitas 68 MW untuk 4 unit. Disamping itu merencanakan **pembangunan PLTMH tersebar di Pasaman, Solok, dan Mentawai dengan kapasitas 345 MW yang direncanakan siap tahun 1984.**

Selanjutnya di Propinsi Sumatera Barat pusat pembangkit seluruhnya akan diselesaikan pada Repelita VI 1994/1995 – 1998/1999 seperti dijelaskan pada tabel 1.

Tabel 1 Pusat Pembangkit Listrik yang Akan
Diselesaikan pada Repelita VI oleh Pemerintah Propinsi Sumatera Barat
(Pemda Tk. I Sumatera Barat, 1994)

Nama Pembangkit	Kapasitas (M Watt)	Lokasi
1. PLTA Singkarak	175	Padang Pariaman
2. PLTA Koto Panjang	114	Lima Puluh Kota
3. PLTG Padang	60	Padang
4. PLTU Ombilin	200	Sawah Lunto
5. PLTMH	7,7	Tersebar
6. PLTD	2	Tersebar

Memperhatikan kutipan – kutipan di atas, Pemerintah Provinsi Sumatera Barat sangat berharap dapat menghasilkan daya listrik dari unit – unit PLTMH yang direncanakannya. Sampai saat ini cukup banyak PLTMH yang telah dibangun di daerah ini dan dari studi pustaka dan survei yang telah peneliti lakukan, diketahui di Sumatera Barat telah dibangun sekitar 39 PLTMH yang tersebar di 5 kabupaten/ kota yaitu Kota Padang, Kabupaten Solok, Kabupaten Agam, Kabupaten Pesisir Selatan, Kabupaten Pasaman dan Pasaman Barat.

Tabel 2.
Identifikasi PLTMH yang Telah Dibangun Sampai Saat Ini
di Sumatera Barat (Bachtiar, 2009)

N o	Nama PLTMH, Lokasi /Tahun Pembangunan	Daya (kW)/ Jenis Turbin	Sumbe r Dana	Pemanfaatan		Pemilikan/ Pengelola
				Rumah Tangga (KK)	Lain- lain	
1.	PLTMH Kuranji, Padang / 1910	2x300/ Francis	Belanda	-	Industr i	PT. Semen Padang
2.	PLTMH Padang Sibusuk, Padang / 1910	2x300 Francis	Belanda	-	Industr i	PT. Semen Padang
3.	PLTMH Muara Labuh, Solok Selatan / 1940	400 Francis	Belanda	300	Industr i	PLN
4.	PLTMH Koto Anau, Solok / 1975	150 Francis	PLN	200	Rumah Tangga	PLN
5.	PLTMH Sungai Puar, Agam / 1976	70 Pelton	PLN	150	sda	PLN
6.	PLTMH Batu Bajanjang, Solok / 1979	40 Cross- Flow	Bandes	250	Sda	Perusahaan Listrik Desa

7.	PLTMH Koto Lawas, Solok / 1980	15 Cross-Flow	Bandes	100	Sda	Perusahaan Listrik Desa
8.	PLTMH Bukit Sileh, Solok / 1981	10 Cross-Flow	Bandes	90	Sda	Perusahaan Listrik Desa
9.	PLTMH Salayo Tanang, Solok / 1983	50 Cross-Flow	Bandes	200	Sda	Perusahaan Listrik Desa
10	PLTMH Batu Banyak, Solok / 1985	10 Cross-Flow	Bandes	70	Sda	Perusahaan Listrik Desa
11	PLTMH Indudur, Solok / 1985	10 Cross-Flow	Bandes	80	Sda	Perusahaan Listrik Desa
12	PLTMH Baruh Gunung, 50 Kota / 1986	10 Cross-Flow	Bandes	70	Sda	Perusahaan Listrik desa
13	PLTMH Siguntur Tua, Pesisir Selatan / 1987	10 Cross-Flow	Bandes	70	Sda	Perusahaan Listrik Desa
14	PLTMH Tamtaman, Agam / 1988	10 Cross-Flow	Bandes	90	Sda	Perusahaan Listrik Desa
15	PLTMH Gumarang, Agam / 1988	10 Cross-Flow	Swasta	80	Sda	Perusahaan Listrik Swasta
16	PLTMH Koto Alam, Agam / 1988	10 Cross-Flow	Swasta	90	Sda	Perusahaan Listrik Swasta
17	PLTMH Silungkang, Agam / 1989	20 Pro-peller	Bandes	120	Sda	Perusahaan Listrik Desa
18	PLTMH Talang Kuning, Pasaman Barat / 1990	5 Pro-peller	Bandes	50	Sda	Perusahaan Listrik Desa
19	PLTMH Simp. Lolo, Pasaman / 1991	5 Pro-peller	Bandes	40	Sda	Perusahaan Listrik Desa
	PLTMH Pasir				Sda	Perusahaan Listrik Desa

20	Lawas, Pesisir selatan / 1991	10 Cross-Flow	Bandes	80		
21	PLTMH Bululaga, Pasaman Barat / 1992	5 Cross-Flow	Swasta	40	Sda	Perusahaan Listrik Swasta
22	PLTMH Talang Kuning II, Pasaman Barat / 1993	15 Propeller	MHP/ GTZ	125	Sda	Perusahaan Listrik Desa
23	PLTMH Situak, Pasaman Barat / 1994	10 Cross-Flow	MHP/ GTZ	120	Sda	Perusahaan Listrik Desa
24	PLTMH Sialang, 50 Kota / 1994	10 Cross-Flow	MHP/ GTZ	90	Sda	Perusahaan Listrik Desa
25	PLTMH Punggasan, Pesisir Selatan / 1995	30 Cross-Flow	Pemda	120	Sda	Perusahaan Listrik Swasta
26	PLTMH Ngalau Gadang, Pesisir Selatan / 1997	30 Cross-Flow	Dept. ESDM	90	Sda	Perusahaan Listrik Swasta
27	PLTMH Kayu Kalek, Solok / 1997	10 Cross-Flow	Depnaker	40	Sda	Perusahaan Listrik Swasta
28	PLTMH Silayang, Pasaman / 1997	30 Cross-Flow	MHP/ GTZ	90	Sda	Perusahaan Listrik Swasta
29	PLTMH Air Luo, Solok / 1998	30 Propeller	Dept. ESDM	85	Sda	Perusahaan Listrik Swasta
30	PLTMH Matundak, Pasaman / 2000	15 Propeller	Pemda	70	Sda	Perusahaan Listrik Desa
31	PLTMH Tanjung Durian, Pasaman Barat / 2000	10 Propeller	Yaya - san	100	Sda	Perusahaan Listrik Desa
32	PLTMH Kampung Baru, Pasaman Barat / 2002	30 Propeller	Pemda	160	Sda	Perusahaan Listrik Desa
33	PLTMH Kinali, Pasaman Barat / 2003	20 Cross-Flow	Dept. ESDM	80	Sda	Perusahaan Listrik Swasta
	PLTMH Tandai,				Sda	Perusahaan

34	Solok / 2004	100 Cross- Flow	Dept. ESDM	150		Listrik Desa
35	PLTMH Simp. Empat, Pasaman Barat / 2004	10 Pro- peller	Swasta	10	Sda	Perusahaan Listrik Desa Perusahaan Listrik Swasta
36	PLTMH Muara Air, Pesisir Selatan / 2005	40 Pro- peller	Pemda	70	Sda	Perusahaan Listrik Desa
37	PLTMH Paninjauan, Solok Selatan / 2005	100 Cross- Fl	Dept. ESDM	60	Sda	
38	PLTMH Padang Aro, Solok Selatan / 2006	16 Cross- Flow	Swasta	50	Sda	
39	PLTMH Sapan Salak, Solok Selatan / 2006	50 Cros Flow	Pemda	120	Sda	

Perlatihan

Sebagai penutup dan sekaligus untuk mengetahui sejauh mana pemahaman dan keterampilan anda terhadap pokok bahasan di atas, maka jawablah pertanyaan-pertanyaan berikut ini :

1. Jelaskan dengan singkat dan tepat, apa yang dimaksud dengan PLTA, PLTMH dan PLTD ?
2. Jelaskan keunggulan dan kelemahan PLTMH dan PLTD ?
3. Jelaskan komponen-komponen PLTMH dan PLTD dan terangkan fungsi dari masing-masing komponen tersebut ?
4. Jelaskan syarat-syarat yang harus diperhatikan untuk membangun PLTMH dan PLTD di suatu tempat ?
5. Dimanakah terdapat PLTMH dan PLTD di sekitar provinsi anda tinggal, dan jelaskan karakteristik teknis dari masing-masing pembangkit tersebut seperti jenis turbin yang digunakan, head turbin, debit efektif, daya yang dibangkitkan, putaran turbin dan sebagainya.?

BAB II

KLASIFIKASI TURBIN AIR

Dengan kemajuan ilmu Mekanika Fluida dan Hidrolika serta memperhatikan sumber energi air yang cukup banyak tersedia di pedesaan akhirnya timbullah perencanaan-perencanaan turbin yang divariasikan terhadap tinggi jatuh (*head*) dan debit air yang tersedia. Dari itu maka masalah turbin air menjadi masalah yang menarik dan menjadi objek penelitian untuk mencari sistem, bentuk dan ukuran yang tepat dalam usaha mendapatkan efisiensi turbin yang maksimum.

Pada uraian berikut akan dijelaskan pengklasifikasian turbin air berdasarkan beberapa kriteria.

Setelah mempelajari topik bahasan tentang klasifikasi turbin air seperti yang akan dijelaskan berikut ini, diharapkan pembaca mampu,

1. Memahami dengan baik asal usul penemuan turbin air yang diawali dengan penemuan teknologi kincir air.
2. Memahami dengan baik pengelompokan turbin air atas beberapa kriteria.
3. Memahami dengan baik karakteristik tentang dasar pemilihan dan penggunaan dari masing-masing turbin air.
4. Memahami dengan baik bahwasannya kecepatan spesifik adalah indikator penting dalam menentukan jenis turbin yang ideal untuk dioperasikan di suatu lokasi.
5. Memahami dengan baik cara kerja masing-masing turbin air.
6. Memahami dengan baik perbedaan konstruksi dari masing-masing runner turbin melalui gambar kerja yang ditampilkan
7. Memahami dengan baik keunggulan *Turbin Cross Flow* dibanding jenis turbin lainnya.

2.1 Kincir Air

Hydraulic prime mover atau istilah lainnya penggerak mula hidrolik adalah mesin-mesin penggerak yang memanfaatkan air sebagai fluida kerjanya dan merubahnya menjadi energi mekanis. Energi mekanis yang dihasilkan turbin air sebagai contoh *hydraulic prime mover* dipergunakan untuk menggerakkan generator listrik melalui sistem transmisi. Daya listrik yang dihasilkan generator tersebut dikenal dengan nama *hydro electric power*. Pada awal perkembangannya, energi hidrolik yang berupa air terjun itu langsung menggerakkan *hydraulic prime mover* yang sederhana berupa kincir air yang terbuat dari kayu.

Kincir air yang direncanakan secara teoritis pertama kali dikembangkan oleh *Poncelet* yang banyak dipakai pada awal abad ke 19. Kincir air yang menggunakan sudu pengarah direncanakan pertama kali oleh *Burdin* pada tahun 1824. Kemudian *Forreynon* lebih mengembangkannya lagi sehingga mendapatkan jenis turbin air yang pertama. Sistem pengatur putaran turbin secara cermat dilanjutkan oleh *Journal* (1837), *Oirland* (1850), *Francis* (1865), *Kaplan* (1916) dan lain-

lainnya (Harahap,1998). Kembali kepada masalah kincir air, pengaturannya yang sulit maka pada umumnya dipakai sebagai penggerak mekanis langsung seperti banyak dioperasikan di pedesaan . Energi mekanis kincir yang berupa gerak putar pada poros langsung diubah menjadi gerak translasi mengangkat halu yang kemudian jatuh menumbuk lesung padi. Dengan mekanisme yang sederhana ini maka aplikasi kincir air menjadi terbatas, hanya digunakan untuk daya-daya yang relatif kecil. Hal ini disebabkan pengetahuan dan kemampuan ekonomi masyarakat desa yang rendah.



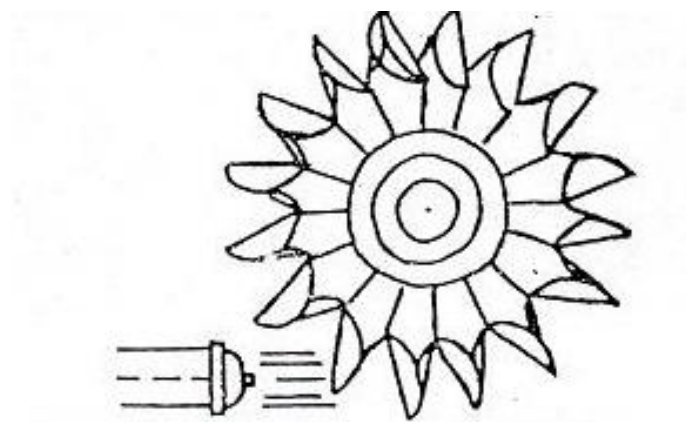
Gambar 3. Model Kincir Air (Jagdish, 1975)

2.2 Berdasarkan Model Aliran Air Masuk *Runner*.

Berdasarkan model aliran air masuk *runner*, maka turbin air dapat dibagi menjadi tiga tipe yaitu,

1. Turbin Aliran Tangensial

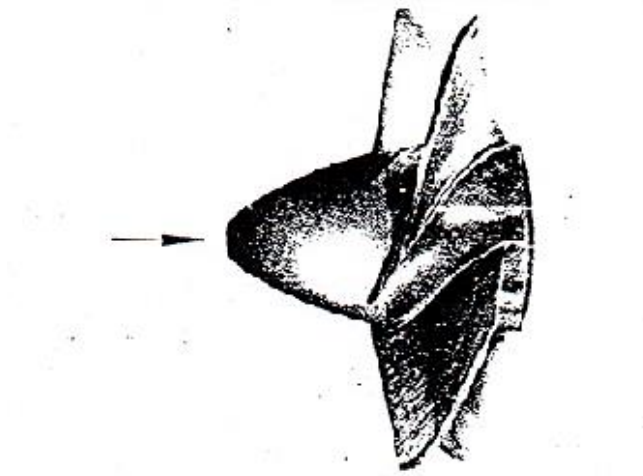
Pada kelompok turbin ini posisi air masuk *runner* dengan arah tangensial atau tegak lurus dengan poros runner mengakibatkan *runner* berputar, contohnya *Turbin Pelton* dan *Turbin Cross Flow*.



Gambar 4. Turbin Aliran Tangensial (Haimerl,1960)

2. Turbin Aliran Aksial

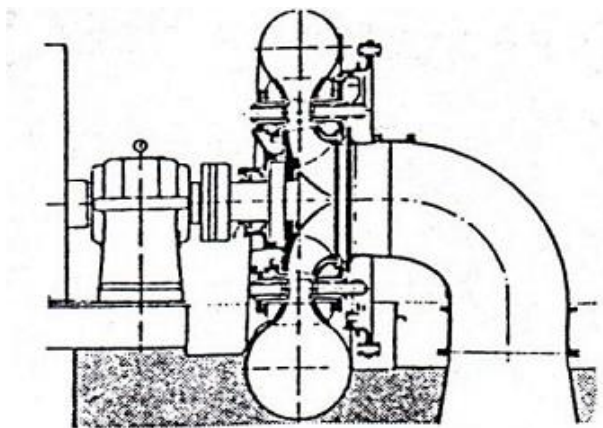
Pada turbin ini air masuk *runner* dan keluar *runner* sejajar dengan poros *runner*, *Turbin Kaplan* atau *Propeller* adalah salah satu contoh dari tipe turbin ini.



Gambar 5. Model Turbin Aliran Aksial (Haimerl,1960)

3. Turbin Aliran Aksial - Radial

Pada turbin ini air masuk ke dalam *runner* secara radial dan keluar *runner* secara aksial sejajar dengan poros. *Turbin Francis* adalah termasuk dari jenis turbin ini.



Gambar 6. Model Turbin Aliran Aksial- Radial (Haimerl, 1960)

2.3 Berdasarkan Perubahan Momentum Fluida Kerjanya.

Dalam hal ini turbin air dapat dibagi atas dua tipe yaitu,

1. Turbin Impuls.

Semua energi potensial air pada turbin ini dirubah menjadi menjadi energi kinetis sebelum air masuk/ menyentuh sudu-sudu *runner* oleh alat pengubah yang disebut nozel. Yang termasuk jenis turbin ini antara lain : *Turbin Pelton* dan *Turbin Cross Flow*.

2. Turbin Reaksi.

Pada turbin reaksi, seluruh energi potensial dari air dirubah menjadi energi kinetis pada saat air melewati lengkungan sudu-sudu pengarah, dengan demikian putaran *runner* disebabkan oleh perubahan momentum oleh air. Yang termasuk jenis turbin reaksi diantaranya : *Turbin Francis*, *Turbin Kaplan* dan *Turbin Propeller*.

2.4 Berdasarkan Kecepatan Spesifik (n_s)

Yang dimaksud dengan kecepatan spesifik dari suatu turbin ialah kecepatan putaran *runner* yang dapat dihasilkan daya efektif 1 BHP untuk setiap tinggi jatuh 1 meter atau dengan rumus dapat ditulis (Jagdish, 1975),

$$n_s = n \cdot N_e^{1/2} / H_{efs}^{5/4}$$

diketahui, n_s = kecepatan spesifik turbin

n = Kecepatan putaran turbin rpm

H_{efs} = tinggi jatuh efektif m

N_e = daya turbin efektif HP

Setiap turbin air memiliki nilai kecepatan spesifik masing-masing, tabel 3. menjelaskan batasan kecepatan spesifik untuk beberapa turbin konvensional (Jagdish, 1975).

Tabel 3. Kecepatan Spesifik Turbin Konvensional (Jagdish, 1975)

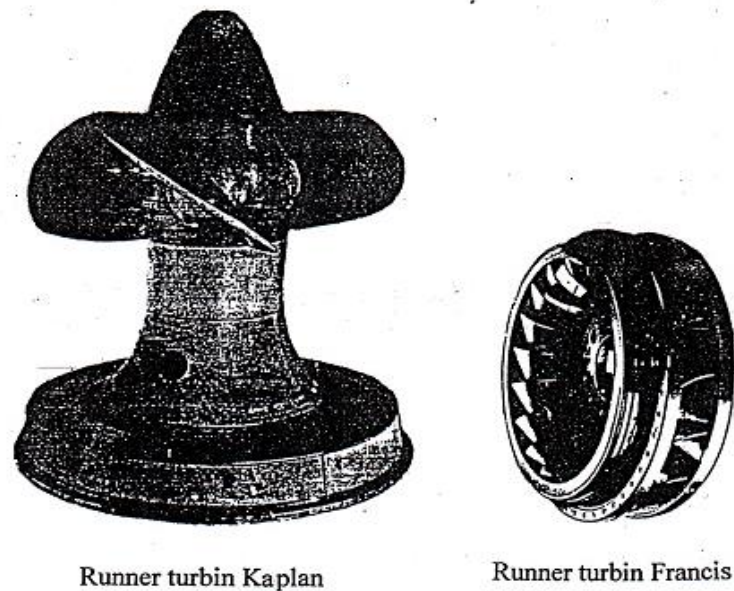
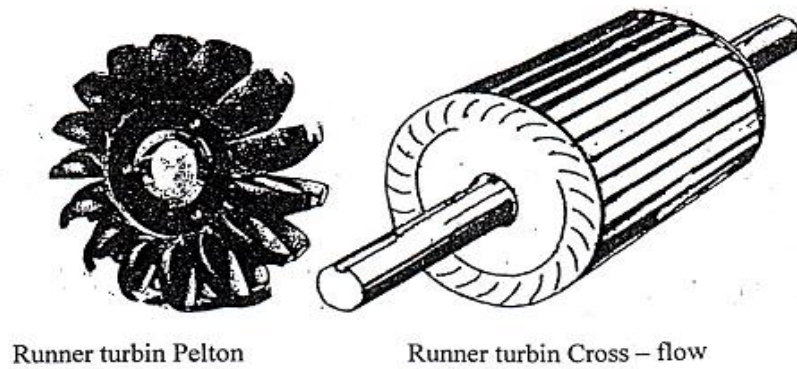
No	Jenis Turbin	Kecepatan Spesifik
1.	Pelton dan kincir air	10 - 35
2.	Francis	60 - 300
3.	Cross Flow	70 - 80
4.	Kaplan dan propeller	300 - 1000

2.5 Berdasarkan Head dan Debit.

Dalam hal ini pengoperasian turbin air disesuaikan dengan potensi *head* dan debit yang ada yaitu,

1. *Head* yang rendah yaitu dibawah 40 meter tetapi debit air yang besar, maka *Turbin Kaplan* atau *propeller* cocok digunakan untuk kondisi seperti ini.
2. *Head* yang sedang antara 30 sampai 200 meter dan debit relatif cukup, maka untuk kondisi seperti ini gunakanlah *Turbin Francis* atau *Cross Flow*.
3. *Head* yang tinggi yakni di atas 200 meter dan debit sedang, maka gunakanlah turbin impuls jenis *Pelton*.

Gambar 7. menjelaskan bentuk konstruksi empat macam runner turbin konvensional.



Gambar 7. Empat Macam *Runner* Turbin Konvensional (Haimerl, 1960)

2.6 Karakteristik *Turbin Cros-Flow*

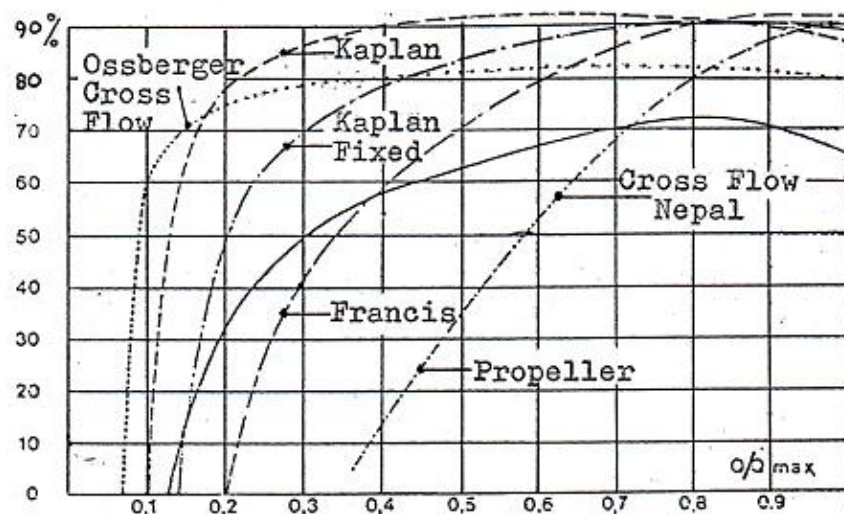
Turbin Cross Flow memiliki karakteristik yang spesifik dibanding jenis penggerak turbin lainnya diantaranya ialah,

2.6.1 Keunggulan *Turbin Cross Flow*

Turbin Cross Flow adalah salah satu turbin air dari jenis turbin aksi (*impulse turbine*). Prinsip kerja turbin ini mula-mula ditemukan oleh seorang insinyur Australia yang bernama *A.G.M. Michell* pada tahun 1903. Kemudian turbin ini dikembangkan dan dipatenkan di Jerman oleh Prof.

Donat Banki sehingga turbin ini diberi nama *Turbin Banki* kadang disebut juga *Turbin Michell-Ossberger* (Haimerl, 1960).

Pemakaian jenis *Turbin Cross Flow* lebih menguntungkan dibanding dengan penggunaan kincir air maupun jenis turbin mikro hidro lainnya. Penggunaan turbin ini untuk daya yang sama dapat menghemat biaya pembuatan penggerak mula sampai 50 % dari penggunaan kincir air dengan bahan yang sama. Penghematan ini dapat dicapai karena ukuran *Turbin Cross Flow* lebih kecil dan lebih kompak dibanding kincir air. Diameter kincir air yakni roda jalan atau runnernya biasanya 2 meter ke atas, tetapi diameter *Turbin Cross Flow* dapat dibuat hanya 20 cm saja sehingga bahan-bahan yang dibutuhkan jauh lebih sedikit, itulah sebabnya bisa lebih murah. Demikian juga daya guna atau efisiensi rata-rata turbin ini lebih tinggi dari pada daya guna kincir air. Hasil pengujian laboratorium yang dilakukan oleh pabrik turbin *Ossberger* Jerman yang menyimpulkan bahwa daya guna kincir air dari jenis yang paling unggul sekalipun hanya mencapai 70 % sedang efisiensi turbin *Cross-Flow* mencapai 82 % (Haimerl,1960). Tingginya efisiensi *Turbin Cross Flow* ini akibat pemanfaatan energi air pada turbin ini dilakukan dua kali, yang pertama energi tumbukan air pada sudu-sudu pada saat air mulai masuk, dan yang kedua adalah daya dorong air pada sudu-sudu saat air akan meninggalkan *runner*. Adanya kerja air yang bertingkat ini ternyata memberikan keuntungan dalam hal efektifitasnya yang tinggi dan kesederhanaan pada sistim pengeluaran air dari *runner*. Kurva di bawah ini akan lebih menjelaskan tentang perbandingan efisiensi dari beberapa turbin konvensional.



Gambar 8. Efisiensi Beberapa Turbin dengan Pengurangan Debit Sebagai Variabel (Haimerl, 1960)

Dari gambar kurva tersebut ditunjukkan hubungan antara efisiensi dengan pengurangan debit akibat pengaturan pembukaan katup yang dinyatakan dalam perbandingan debit terhadap debit maksimumnya. Untuk *Turbin Cross Flow* dengan $Q/Q_{\max} = 1$ menunjukkan efisiensi yang cukup tinggi sekitar 80%, disamping itu untuk perubahan debit sampai dengan $Q/Q_{\max} = 0,2$ menunjukkan harga efisiensi yang relatif tetap (Meier, 1981).

Dari kesederhanaannya jika dibandingkan dengan jenis turbin lain, maka *Turbin Cross Flow* yang paling sederhana. Sudu-sudu *Turbin Pelton* misalnya, bentuknya sangat pelik sehingga pembuatannya harus dituang. Demikian juga *runner Turbin Francis*, *Kaplan* dan *Propeller* pembuatannya harus melalui proses pengecoran/tuang.

Tetapi *runner Turbin Cross Flow* dapat dibuat dari material baja sedang (mild steel) seperti ST.37, dibentuk dingin kemudian dirakit dengan konstruksi las. Demikian juga komponen-komponen lainnya dari turbin ini semuanya dapat dibuat di bengkel-bengkel umum dengan peralatan pokok mesin las listrik, mesin bor, mesin gerinda meja, bubut dan peralatan kerja bangku, itu sudah cukup.

Dari kesederhanaannya itulah maka *Turbin Cross Flow* dapat dikelompokkan sebagai teknologi tepat guna yang pengembangannya di masyarakat pedesaan memiliki prospek cerah karena pengaruh keunggulannya sesuai dengan kemampuan dan harapan masyarakat.

Dari beberapa kelebihan *Turbin Cross Flow* itulah, maka sampai saat ini pemakaiannya di beberapa negara lain terutama di Jerman Barat sudah tersebar luas, bahkan yang dibuat oleh pabrik *Turbin Ossberger* sudah mencapai 5.000 unit lebih, sebagaimana diungkapkan oleh Prof. Haimerl (1960) dalam suatu artikelnya sebagai berikut :

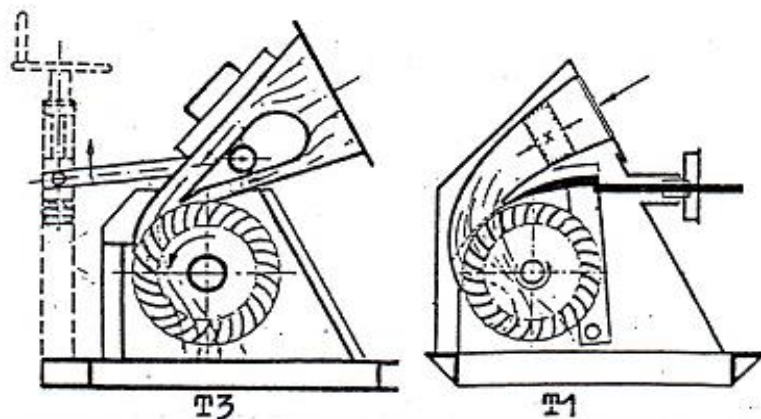
“Today, numerous turbines throughout the world are operating on the Cross-flow principle, and most of these (more than 5.000 so far) have been built by Ossberger”

Selanjutnya Prof. Haimerl (1960) menyatakan pula bahwa setiap unit dari turbin ini dapat dibuat sampai kekuatan kurang lebih 750 kW, dapat dipasang pada ketinggian jatuh antara 01 sampai 200 meter dengan debit air sampai 3.000 liter/detik. Cocok digunakan untuk PLTMH, penggerak instalasi pompa, mesin pertanian, workshop, bengkel dan lain sebagainya.

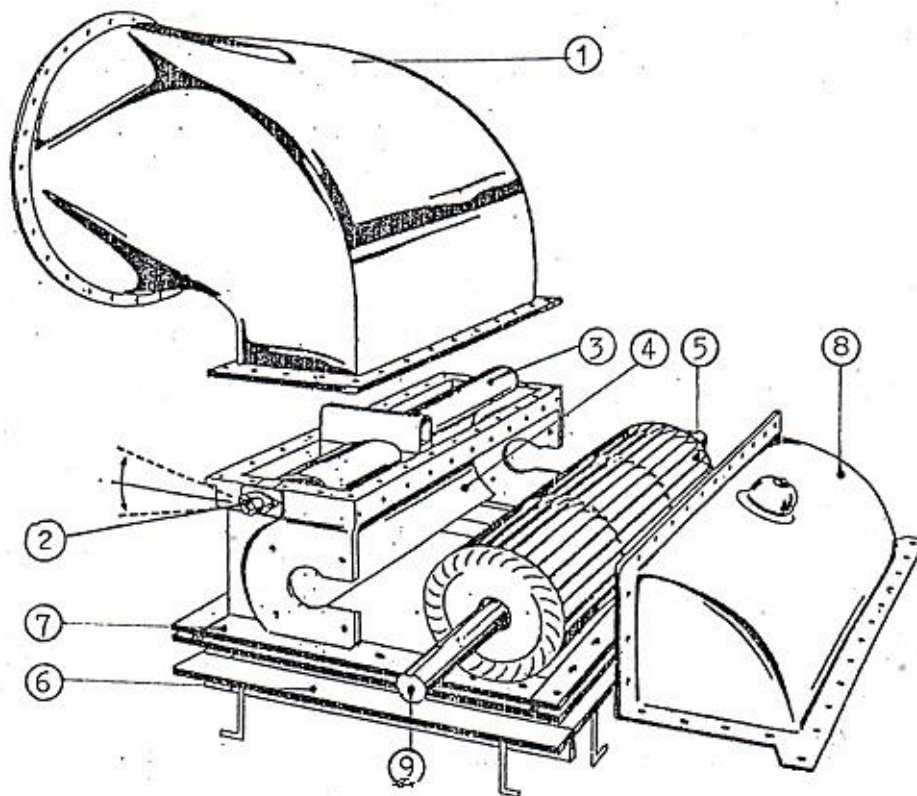
Turbin Cross Flow secara umum dapat dibagi dalam dua tipe (Meier, 1981) yaitu,

1. Tipe T1, yaitu *Turbin Cross-Flow* kecepatan rendah .
2. Tipe T3, yaitu *Turbin Cross-Flow* kecepatan tinggi.

Kedua tipe turbin tersebut lebih dijelaskan oleh gambar 9.



Gambar 9. Dua Tipe *Turbin Cross-Flow* (Haimerl, 1960)



- | | |
|----------------|-------------------|
| 1. Elbow | 6. Rangka pondasi |
| 2. Poros katup | 7. Rumah turbin |
| 3. Katup | 8. Tuup turbin |
| 4. Nozel | 9. Poros runner |
| 5. Runner | |

Gambar 10. Model Rakitan *Turbin Cross Flow* (Haimerl,1960)

2.6.2 Cara Mengoperasikan *Turbin Cross Flow*

Cara mengoperasikan *Turbin Cross Flow*, pertama kali buka pintu utama di sekitar bendungan agar air dapat mengalir melalui kanal ke bak penenang. Setelah permukaan air di kolam penampung naik setinggi 1,5 meter di atas mulut pipa pesat hingga sebagian air ada yang terbang melimpah melalui saluran limpah, maka pada saat itu pula pintu di mulut pipa pesat dibuka hingga pipa pesat penuh terisi namun pada saat itu air tak dapat masuk turbin sebab katup di bawah di dalam posisi menutup penuh. Selanjutnya sekarang kegiatan pengoperasian berlangsung di rumah pembangkit. Bukalah katup secara berkala dengan perantaraan regulator tangan sampai air dapat keluar dari nozel dan akhirnya memutarakan runner. Setelah runner berputar normal, lepaskan pasak penghubung katup – regulator, proses pengaturan katup ini selanjutnya dilakukan oleh governor mekanis. Selama pengoperasian awal ini, generator jangan dahulu dihubungkan dengan beban, namun setelah governor bekerja secara normal baru generator dihubungkan dengan beban. Untuk selanjutnya, penyesuaian pemakaian beban dengan pembukaan katup bekerja secara otomatis yang dilakukan oleh governor.

Perlatihan

Sebagai penutup dan sekaligus untuk mengetahui sejauh mana pemahaman dan keterampilan anda terhadap pokok bahasan di atas, maka jawablah pertanyaan-pertanyaan berikut ini,

1. Jelaskan perbedaan prinsip antara kincir air dengan turbin air ?
2. Jelaskan apa yang dimaksud kecepatan spesifik suatu turbin ?
3. Jelaskan apa yang dimaksud turbin impuls dan turbin reaksi ?, beri contoh masing-masing turbin tersebut !
4. Jelaskan apa yang dimaksud turbin aliran aksial, turbin aliran radial dan turbin aliran aksial-radial ?, beri contoh masing-masing jenis turbin tersebut !
5. Terangkan sejarah penemuan *Turbin Cross Flow* ?
- 6 *Turbin Cross Flow* disebut juga turbin aliran silang, mengapa disebut demikian ?
7. Jelaskan keunggulan teknis dan ekonomis dari *Turbin Cross Flow* ?

BAB III

DATA SURVEY SEBAGAI ACUAN PEMBANGUNAN PLTMH

Untuk membangun suatu Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro di suatu desa, maka terlebih dahulu harus melakukan survey tentang potensi air dan tingkat kebutuhan masyarakat desa terhadap energi listrik. Disamping itu harus mengetahui potensi ekonomi yang akan mendukung terhadap pengoperasian PLTMH ke depan. Berikut penulis uraikan contoh data survey dari kegiatan penelitian yang penulis lakukan pada pertengahan Bulan Agustus tahun 1998 di Kecamatan Lembang Jaya, Kabupaten Solok, Sumatera Barat. Data survey meliputi keadaan lokasi secara umum, tinjauan tentang penduduk desa, sumber air dan tinggi jatuh air yang dapat dimanfaatkan.

Setelah mempelajari topik bahasan tentang data survey ini, diharapkan pembaca mampu,

1. Memahami dengan baik tentang strategisnya data survey sebagai acuan penting sebelum melangkah ke proses pembangunan fisik di lapangan.
2. Memahami dengan baik tentang spesifikasi ideal suatu lokasi yang layak untuk dibangun unit PLTMH di sana
3. Memahami dengan baik langkah-langkah dan cara pengukuran kebutuhan daya listrik untuk desa yang belum memiliki sumber energi listrik.
4. Memahami dengan baik langkah-langkah dan cara pengukuran debit sungai yang akan dimanfaatkan sebagai sumber energi pembangkit.
5. Memahami dengan baik langkah-langkah dan cara pengukuran tinggi jatuh aktual
6. Memahami dengan baik cara menggambar peta suatu lokasi.
7. Memahami dengan baik cara membuat gambar lay - out di sekitar lokasi pembangkit.
8. Memahami dengan baik tentang tantangan dan peluang-peluang yang dapat membantu proses pengambilan data survey di lapangan.
9. Memahami dengan baik bahwasannya desa adalah bagian dari sasaran pembangunan yang memiliki banyak sumber daya alam potensial.

3.1 Lokasi PLTMH.

Lokasi PLTMH direncanakan terletak di Desa Datar yang berbatasan dengan Desa Kampung Batu dan Desa Kampung Dalam, Kecamatan Lembang Jaya, Kabupaten Solok, Propinsi Sumatera Barat. Lokasi pembangkit nantinya direncanakan dibangun dekat pinggir jalan raya Solok – Simpang – Alahan Panjang, kira-kira 700 meter jauhnya dari Kantor Kepala Desa Datar. Ketiga desa ini belum terjangkau aliran listrik PLN karena jaraknya cukup jauh dari daerah yang telah teraliri listrik PLN, yaitu Desa Koto Lawas yang jaraknya ke desa ini sekitar 16 km.

PLTMH direncanakan dibangun pada daerah aliran irigasi desa yaitu sebuah saluran irigasi yang digunakan untuk mengairi pesawahan di Desa Kampung Batu, Desa Datar dan sekitarnya.

Aliran saluran irigasi ini cukup deras dengan kemiringan dasar saluran sekitar 4° dan nantinya direncanakan penampang saluran irigasi di sekitar PLTMH diperluas dan pada bagian-bagian yang rawan longsor ditembok melalui pasangan batu kali atau kalau perlu dibeton.

Daerah sekitar lokasi PLTMH berupa daerah pegunungan yang berbukit-bukit yang merupakan daerah kaki Gunung Talang. Sebagian besar daerah ini berupa tanah darat yang berupa hutan, dan padang lalang diselingi dengan ladang-ladang penduduk. Daerah selebihnya berupa pesawahan dan perkampungan penduduk.

3.2 Tinjauan Tentang Penduduk Desa.

Jumlah penduduk Desa Datar, Desa Kampung Batu dan Desa Kampung Dalam dan sekitarnya sekitar 200 kepala keluarga, tetapi yang mungkin akan mendapatkan energi listrik dari PLTMH sekitar 160 kepala keluarga. Hal ini disebabkan terpencar-pencarnya sebagian besar rumah-rumah penduduk sehingga untuk pemasangan jaringan distribusi ke sana akan membutuhkan biaya yang cukup besar.

Calon konsumen sebagian besar adalah masyarakat petani yang cukup maju dengan penghasilan cukup baik yang diharapkan nantinya mereka mampu membayar kewajiban iuran listrik. Informasi yang penulis peroleh dari kantor kecamatan, pertambahan penduduk di ketiga desa ini rata-rata 1,5 % per tahun, sedang umur PLTMH diproyeksikan sekitar 15 tahun, maka jumlah kepala keluarga yang akan memanfaatkan energi listrik menjelang ke 15 tahun yang akan datang adalah,

$$J_{kd} = J_k \cdot (1 + i)^z$$

Dimana, J_{kd} = Jumlah rumah yang akan menjadi konsumen PLTMH 15 tahun yang akan datang.

J_k = jumlah rumah yang akan menjadi konsumen PLTMH pada tahun pertama = 160 rumah.

i = pertambahan penduduk rata-rata per tahun

i = 1,5 %

z = umur PLTMH yang direncanakan = 15 tahun

maka, $J_{kd} = 160 \cdot (1 + 0,015)^{15}$

$J_{kd} = 230$ rumah (kepala keluarga)

Berhubung kehidupan di desa yang cukup sederhana, maka pemanfaatan energi listrik tidaklah semewah pemanfaatan energi listrik di perkotaan. Oleh karena itu diperkirakan setiap rumah atau kepala keluarga memerlukan energi listrik rata-rata sekitar 400 Watt yang pada umumnya dimanfaatkan untuk keperluan rumah tangga yang sebagian besar dipakai untuk penerangan. Dengan demikian jika setiap rumah hanya memerlukan rata-rata 200 Watt, maka untuk 230 rumah diperlukan energi daya listrik sebesar 92.000 Watt atau 92 kW. Setelah

ditambah dengan kerugian-kerugian jaringan dan penerangan umum seperti mesjid, kantor, jalan umum dan lain-lainnya, maka diperlukan daya listrik total sekitar 96 kW. Untuk mendapatkan daya listrik sebesar 96 kW tersebut maka dibutuhkan generator listrik sekurang-kurangnya berkapasitas 120 kVA. Dalam hal ini faktor kerja generator diasumsikan $\cos \phi = 0,8$.

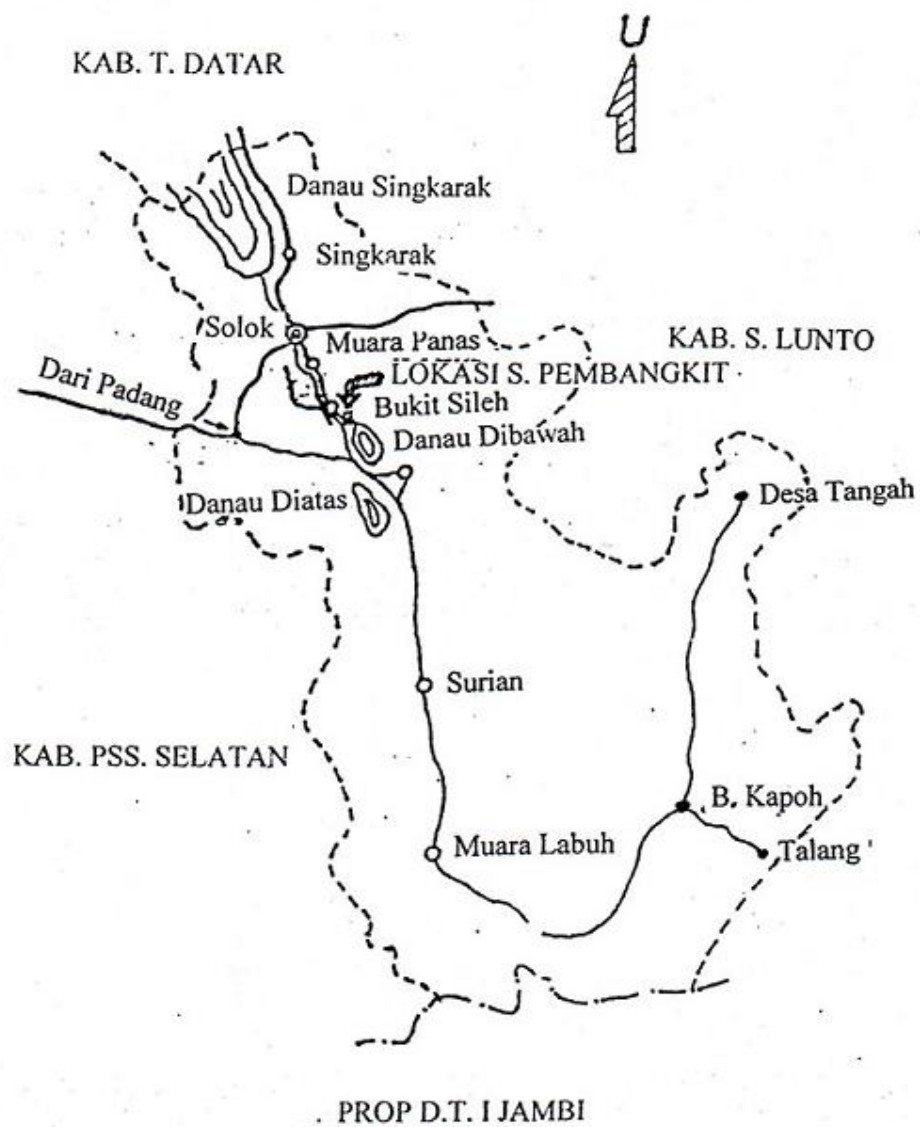
3.3 Sumber Air.

Sumber air saluran irigasi yang akan dimanfaatkan untuk PLTMH ini berasal dari aliran Batang Lembang. Batang Lembang adalah sebuah sungai yang mengalirkan air yang berasal dari Danau Dibawah, yaitu sebuah danau di Kecamatan Lembang Jaya yang letaknya kurang lebih 1,5 km dari rencana lokasi PLTMH ini ke arah selatan. Karena sumber airnya dari danau maka kondisi air Batang Lembang cukup stabil. Dari hasil pengukuran yang penulis lakukan sebanyak 8 kali pada bulan Juli tahun 1998, diketahui debit air rata-rata Batang Lembang pada musim kemarau saat itu sekitar 0,95 m³/detik atau 950 liter/detik. Hasil pengukuran ini sesuai dengan data-data yang penulis dapatkan dari bagian irigasi kantor dinas PU Kabupaten Solok, Sumatera Barat. Di musim kemarau debit air tidak begitu berkurang sedang di musim hujan tidak menimbulkan banjir yang membahayakan.

Saluran irigasi yang sumber airnya berasal dari Batang Lembang ini nantinya direncanakan debitnya diperbesar dari debit sebelumnya menjadi rata-rata 250 liter/detik yang diambil dari Batang Lembang melalui sebuah bendungan yang letaknya kurang lebih 300 meter dari lokasi PLTMH. Debit air yang diperlukan untuk PLTMH ini sekitar 180 liter/detik, masih di bawah rata-rata debit air saluran irigasi, dengan demikian penyediaan air untuk PLTMH ini cukup aman dan tidak akan kekurangan serta kebutuhan air untuk irigasi tidak akan terganggu.

3.4 Tinggi Jatuh Air

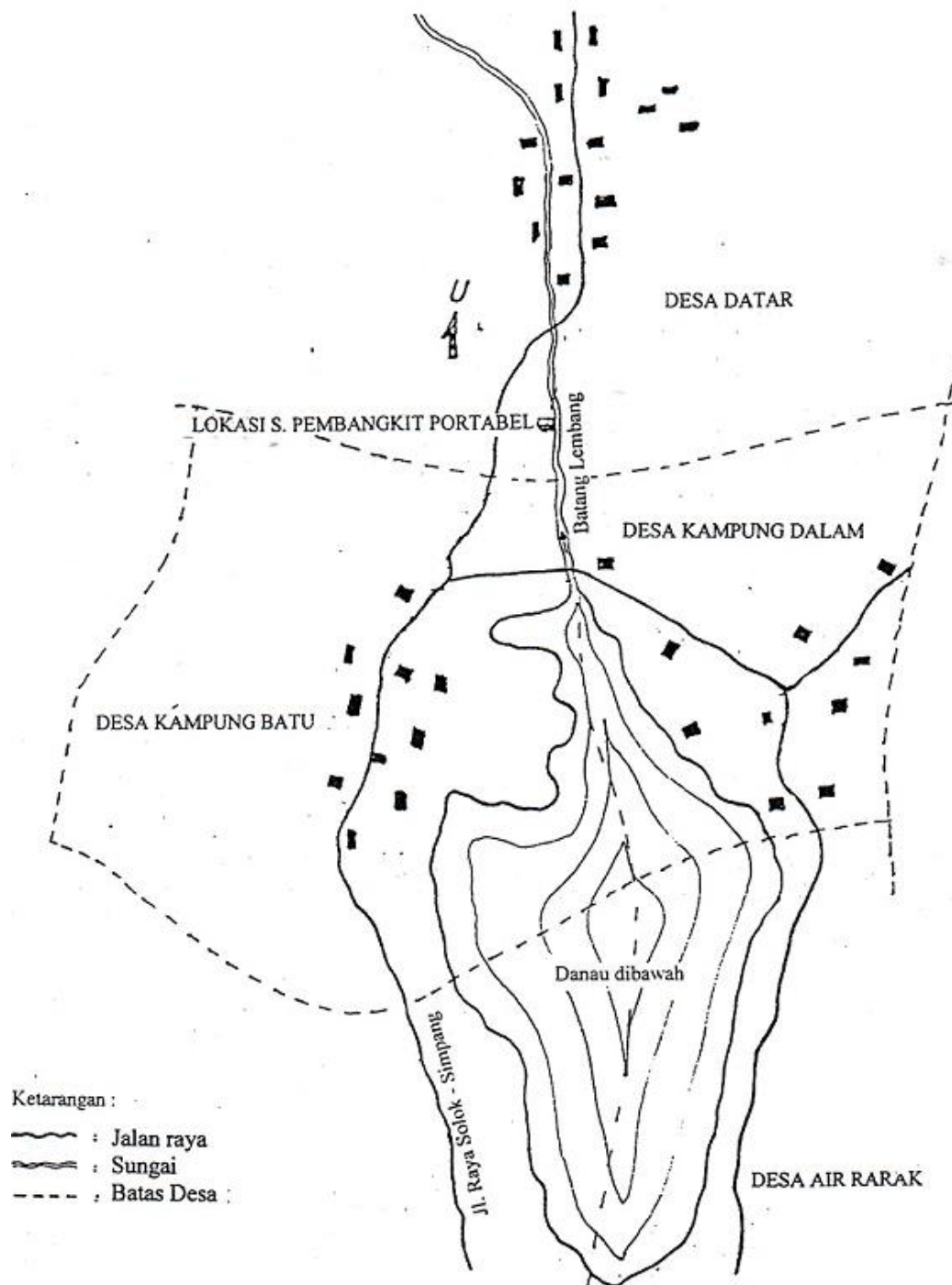
Direncanakan PLTMH dibangun di sekitar saluran irigasi, 300 m dari bendungan, pada lokasi ini sangat memungkinkan untuk dapat menghasilkan tinggi jatuh yang cukup potensial disamping itu kondisi tanah di sekitarnya cukup stabil. Kemiringan saluran irigasi di sekitar PLTMH cukup tajam sekitar 10° dengan panjang saluran sekitar 50 meter sehingga apabila dibangun bendungan pada posisi ini maka permukaan air akan naik. Sedangkan pada lokasi rumah pembangkit dan saluran buang nantinya diadakan penggalian yang akhirnya setelah air disalurkan melalui saluran terbuka (kanal) yang dibangun mendatar sepanjang kurang lebih 45 meter, maka akan diperoleh tinggi jatuh air sekitar 120 meter.



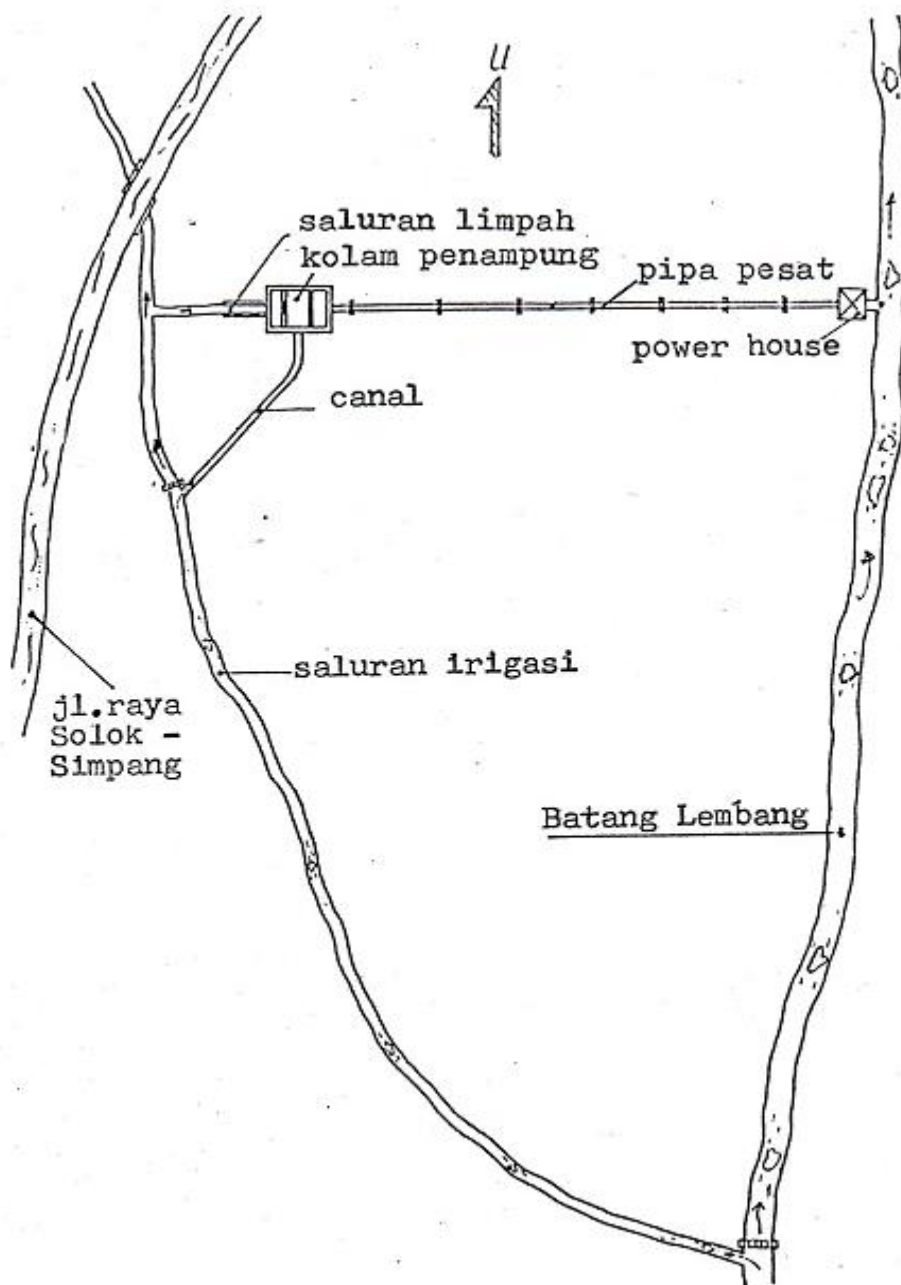
Keterangan :

- : Batas Propinsi
- : Batas Kabupaten
- : Jalan Negara
- : Jalan Propinsi
- ~~~~~: Sungai
- ⊙ : Ibu kota Dati II
- : Ibu Kecamatan
- : Desa

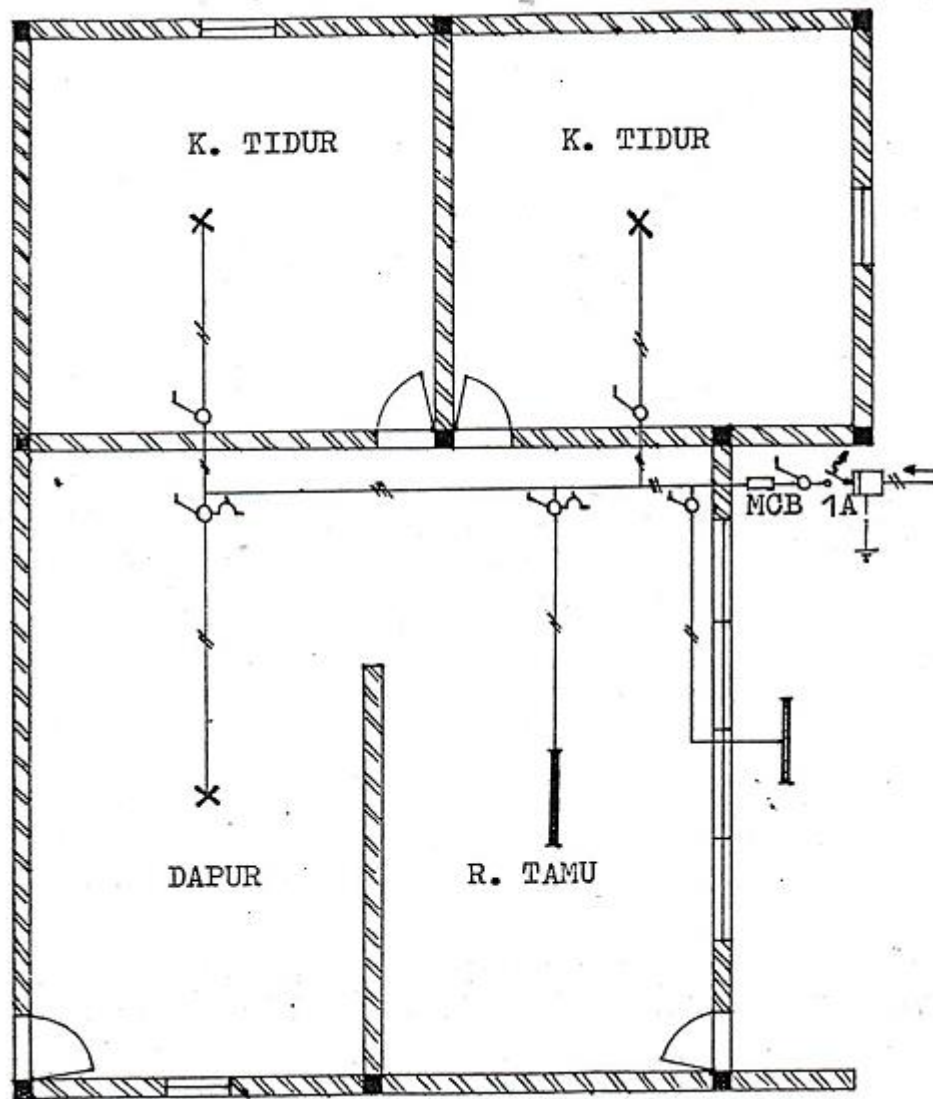
Gambar 11. Peta Kabupaten Solok, di Lokasi ini PLTMH Direncanakan (Bachtiar, 1998)



Gambar 12. Rencana Jaringan Kabel Distribusi (Bachtiar, 1998)



Gambar 13. Lay-out Sekitar Lokasi PLTMH (Bachtiar, 1998)



Gambar 14. Model Instalasi Listrik dan Pengaturan Daya di Rumah Konsumen (Bachtar, 1998)

Perlatihan

Sebagai penutup dan sekaligus untuk mengetahui sejauh mana pemahaman dan keterampilan anda terhadap pokok bahasan di atas, maka jawablah pertanyaan-pertanyaan berikut ini,

1. Jelaskan variabel-variabel apa saja yang termasuk data survey untuk pembangunan PLTMH ?
2. Untuk sebuah kasus, diketahui jumlah rumah yang akan menjadi konsumen listrik PLTMH pada tahun pertama sekitar 80 rumah, umur PLTMH 10 tahun, penambahan penduduk 1,2 % pertahun dan kebutuhan daya listrik masing-masing rumah 200 Watt serta daya untuk penerangan umum dan akibat kerugian jaringan sekitar 2.500 Watt, tentukan,

- a) Berapa unit rumah yang akan menjadi konsumen PLTMH pada akhir tahun ke 10 ?
- b) Berapa kVA daya generator yang harus dioperasikan ?
- 3. Jelaskan alat-alat yang dibutuhkan untuk mengukur debit air sebuah sungai ?
- 4. Jelaskan langkah-langkah mengukur debit sungai dan mengukur tinggi jatuh aktual ?
- 5. Anda diberi tugas untuk mencari suatu lokasi yang ada di sekitar propinsi anda tinggal yaitu sebuah desa terisolir yang belum memiliki jaringan listrik tetapi di sana terdapat sumber energi air yang potensial untuk dimanfaatkan sebagai penggerak PLTMH, tugas anda selanjutnya ialah,
 - a) Tentukan dimana kiranya lokasi rumah pembangkit yang ideal ?
 - b) Identifikasi berapa jumlah rumah seluruhnya yang ada di desa tersebut ?
 - c) Biasanya letak rumah-rumah penduduk terpencar-pencar, dengan demikian identifikasi berapa jumlah rumah yang mungkin dapat menjadi konsumen listrik pada tahun pertama ?
 - d) Buat gambar peta kabupaten dan tunjukkan lokasi PLTMH berada !
 - e) Buat gambar lay-out sekitar lokasi pembangkit !
 - f) Buat gambar rencana jaringan kabel distribusi !

BAB IV

DASAR-DASAR PEMILIHAN TURBIN AIR

Acuan dalam proses pemilihan turbin air didasarkan kepada data-data teknis yang diperoleh di lapangan seperti yang diuraikan pada Bab III, diantaranya ialah:

1. Tinggi jatuh/ head aktual = $H = 120$ meter
2. Daya generator = $N_g = 60$ kVA

Data-data teknis di atas merupakan hasil survey yang penulis lakukan pada pertengahan Bulan Agustus 1998 di Kecamatan Lembang Jaya, Kabupaten Solok, Sumatera Barat. Selanjutnya tahapan-tahapan yang akan dilalui pada proses pemilihan turbin adalah diawali dengan penentuan daya efektif turbin dan dilanjutkan dengan menentukan rugi-rugi aliran / loses sampai akhirnya diketahui kecepatan spesifik turbin yang terjadi. Atas dasar kecepatan spesifik itulah dapat ditentukan jenis turbin yang ideal.

Diharapkan setelah mempelajari topik bahasan tentang dasar-dasar pemilihan turbin ini, pembaca mampu,

1. Memahami dengan baik tentang variabel-variabel yang menjadi dasar dalam pemilihan turbin air.
2. Memahami dengan baik tentang pentingnya dimensi efisiensi di dalam menentukan keputusan akhir proses pemilihan turbin air.
3. Memahami dengan baik tentang cara menentukan daya efektif turbin dari suatu kasus PLTMH.
4. Memahami dengan baik cara menentukan head efektif atau tinggi jatuh efektif atas dasar nilai-nilai head loses yang terjadi dari suatu sistem instalasi PLTMH.
5. Memahami dengan baik tentang komponen-komponen atau peralatan dari instalasi pipa pesat beserta nilai tahanan yang terjadi.
6. Memahami dengan baik tentang fungsi dari kecepatan spesifik dan cara penggunaannya dalam bentuk rumus terhadap suatu kasus PLTMH.

4.1 Daya Efektif Turbin

Daya efektif suatu turbin dapat diketahui setelah memasukan nilai-nilai efisiensi peralatan turbin dan generator ke dalam suatu formula berikut. Range efisiensi dari peralatan mekanis turbin umumnya adalah sebagai berikut (Harahap,1998).

1. Efisiensi turbin = $\eta_i = 0,80 - 0,96$
2. Efisiensi generator = $\eta_g = 0,85 - 0,97$
3. Efisiensi transmisi = $\eta_t = 0,93 - 1,00$

Telah dibatasi sebelumnya bahwa daya generator terpasang = $N_g = 120$ kVA, maka daya generator output (N_{go}) adalah,

$$N_{go} = N_g \cdot \cos \varphi$$

Diketahui, $\cos \varphi$ = faktor kerja generator

$\cos \varphi = 0,8$ (diasumsikan), maka didapat :

$$N_{go} = 120 \cdot 0,8 \text{ kW}$$

$$N_{go} = 96 \text{ kW}$$

Selanjutnya daya turbin efektif dan daya turbin teoritis dapat ditentukan dari persamaan berikut,

$$N_e = N_{go} / (\eta_g \cdot \eta_i)$$

$$N_t = N_{go} / (\eta_g \cdot \eta_i \cdot \eta_i)$$

Diketahui, N_e = daya efektif turbin kW

N_t = daya teoritis turbin kW

η_g = efisiensi generator, diasumsikan $\eta_g = 0,85$

η_i = efisiensi transmisi, dalam hal ini direncanakan transmisi yang dipakai untuk memindahkan daya dan putaran dari turbin ke generator adalah transmisi kopling flens luwes, maka diasumsikan :

$$\eta_i = 1,0$$

η_t = efisiensi turbin, diasumsikan $\eta_t = 0,8$

Maka didapat,

$$N_e = 96 \text{ kW} / (0,85 \cdot 1,0)$$

$$N_e = 113 \text{ kW}$$

$$N_t = 96 \text{ kW} / (0,85 \cdot 1,0 \cdot 0,8)$$

$$N_t = 141,2 \text{ kW}$$

4.2 Panjang Pipa Pesat.

Direncanakan kemiringan pipa pesat $\beta = 45^\circ$, beda tinggi permukaan air di bak penenang dengan mulut pipa adalah 1,5 m dan beda tinggi puncak *runner* dengan permukaan air pada saluran buang sekitar 1 m. Apabila beda tinggi jatuh aktual 120 m, maka secara sederhana dapat ditentukan beda tinggi puncak *runner* dengan mulut pipa adalah $(120 - 1 - 1,5) \text{ m} = 117,5 \text{ m}$. Pangkal pipa pesat yang masuk ke kolam penampung dipasang horizontal dengan panjang sekitar 1 m, maka dengan trigonometri panjang pipa pesat seluruhnya (L_p) dapat ditentukan sebagai berikut,

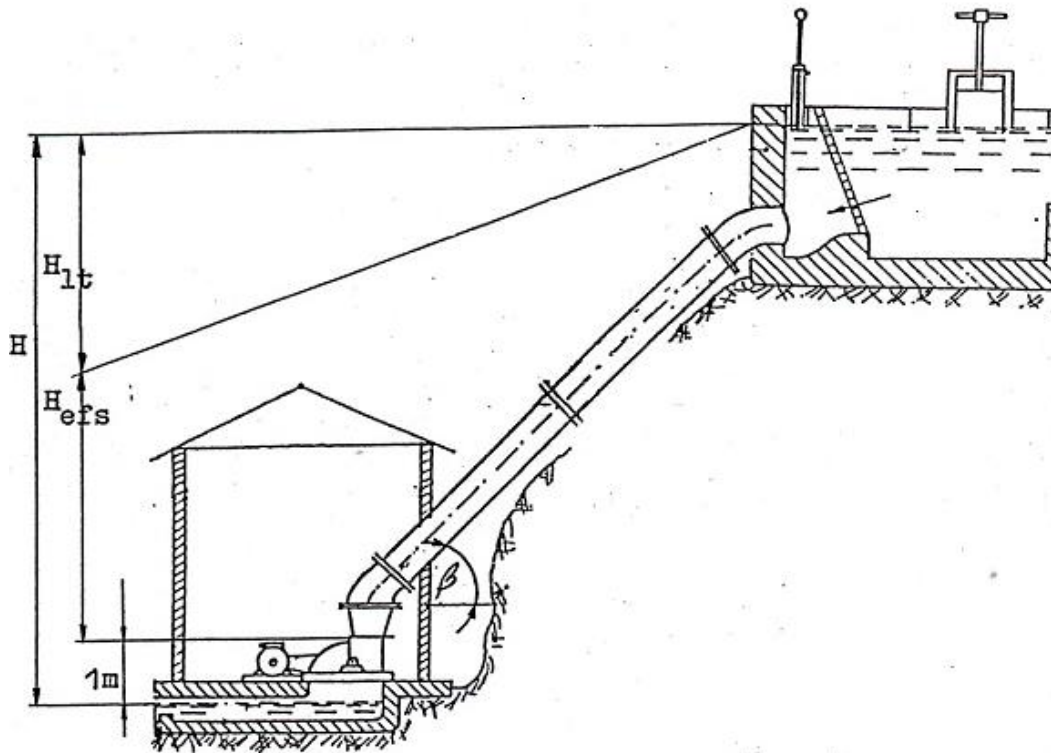
$$L_p = 0,5 \text{ m} + (117,5 \text{ m} / \sin 45^\circ)$$

$$L_p = 170 \text{ meter}$$

4.3 Tinggi Jatuh Effektif.

Kita mengenal tinggi jatuh aktual atau tinggi jatuh kotor (*gross head* = H) dan tinggi jatuh efektif (*effective head* = H_{ef}). Yang dimaksud tinggi jatuh kotor adalah beda tinggi permukaan air di kolam penampung dengan permukaan air di saluran buang (*tail race*). Sedangkan tinggi jatuh efektif ialah beda tinggi antara permukaan air di kolam penampung dengan puncak *runner* turbin dikurangi kerugian-kerugian (*losses*) di sepanjang pipa pesat.

Air yang mengalir di dalam pipa pesat mengalami gesekan-gesekan, hal ini akan mengakibatkan hambatan yang berujung pada kerugian daya pada turbin. Kerugian daya pada turbin bukan hanya diakibatkan gesekan saja tetapi juga diakibatkan oleh peralatan instalasi pipa seperti sambungan, elbow, katup dan model pemasukan air yang digunakan. Total kerugian tekanan akibat gesekan dan peralatan instalasi pipa disebut *head losses total* = H_{lt} . Maka *head efektif* adalah selisih antara *head* aktual dengan *head losses* total tersebut atau dengan rumus ditulis, $H_{ef} = H - H_{lt}$



Gambar 15. Skema Tinggi Jatuh Air (Bachtiar, 2003)

Head losses total pada prinsipnya dibagi dua yaitu :

1. *Head losses* mayor (H_{lm}), yaitu *head losses* akibat gesekan di dalam pipa pesat.
2. *Head losses* minor (H_{ln}), yaitu *head losses* akibat peralatan instalasi pipa seperti elbow, katup, sambungan, perubah diameter pipa dan model lubang pemasukan.

Besar kecilnya *head losses* di atas dapat dicari dengan rumus,

$$H_{lm} = f \cdot L_p / D_p \cdot V_p^2 / 2 \cdot g$$

$$H_{ln} = \Sigma K \cdot V_p^2 / 2 \cdot g$$

Maka, $H_{lt} = H_{lm} + H_{ln}$

$$H_{lt} = (f \cdot L_p / D_p \cdot V_p^2 / 2 \cdot g) + (\Sigma K \cdot V_p^2 / 2 \cdot g)$$

Sedangkan, $Q = V_p \cdot A_p$

$$V_p = Q / A_p$$

Maka, $H_{lt} = (f \cdot L_p / D_p + \Sigma K) \cdot Q^2 / A_p^2 \cdot 2 \cdot g$

Diketahui, f = Faktor gesek bahan pipa pesat

L_p = Panjang pipa pesat

D_p = Diameter dalam pipa pesat

ΣK = Jumlah koefisien tahanan dari peralatan instalasi pipa seperti elbow, katup, sambungan, model lubang pemasukan yang merupakan variabel dari peralatan tersebut

Q = Debit/ kapasitas air yang mengalir dalam pipa pesat.

A_p = Luas penampang dalam pipa pesat

g = Percepatan gravitasi bumi = 9,8 m/det²

Karena besaran- besaran f , L_p , D_p , A_p , dan ΣK adalah konstan untuk kasus sebuah PLTMH, maka persamaan di atas dapat ditulis,

$$H_{lt} = C \cdot Q^2 \dots\dots\dots(1)$$

Telah diketahui bahwa daya turbin teoritis adalah,

$$N_t = \gamma \cdot Q \cdot (H - H_{lt}) \dots\dots\dots(2)$$

Apabila persamaan (1) disubstitusikan ke persamaan (2) maka diperoleh,

$$N_t = \gamma \cdot Q \cdot (H - C \cdot Q) - \gamma \cdot C \cdot Q$$

H dan Q nilainya telah baku, maka daya turbin yang akan merupakan fungsi dari debit (Q), maka dalam bentuk persamaan dapat ditulis,

$$N_t = F(Q)$$

Untuk harga yang maksimum harus dipenuhi kriteria berikut,

$$d N_t / d Q = 0$$

Maka, $d N_t / d Q = \gamma \cdot H - 3 \cdot \gamma \cdot C \cdot Q^2$

$$\gamma \cdot H - 3 \cdot \gamma \cdot C \cdot Q^2 = 0$$

Maka, $H = 3 \cdot C \cdot Q^2$

Sedangkan, $H_{lt} = C \cdot Q^2$

Maka, $H = 3 \cdot H_{lt}$

Atau, $H_{lt} = H / 3$

Dari kesimpulan persamaan terakhir di atas ternyata didapat perbandingan bahwa head losses total adalah sepertiga dari head aktual atau head kotor. Telah diketahui head aktual = $H = 120$ m, sedang beda tinggi puncak runner dengan permukaan air di saluran buang direncanakan 1 m, maka tinggi jatuh aktual yang beroperasi adalah $120 \text{ m} - 1 \text{ m} = 119 \text{ m}$, dengan demikian *head losses* total untuk turbin adalah,

$$H_{lt} = 119 \text{ m} / 3 = 39,66 \text{ m}$$

Selanjutnya tinggi jatuh efektif dapat ditentukan yaitu,

$$H_{ef} = 1199 \text{ m} - 39,66 \text{ m} = 79,34 \text{ m}$$

Tinggi jatuh efektif tersebut akan ditinjau kembali berdasarkan data instalasi pipa pesat yang sebenarnya yang melibatkan banyak formula.

4.4 Debit Air.

Debit atau kapasitas air yang mengalir dalam pipa pesat dan masuk ke turbin dapat ditentukan dengan persamaan berikut,

$$N_t = \rho \cdot g \cdot Q \cdot H_{ef} / 102$$

Atau, $Q = N_t \cdot 102 / \rho \cdot g \cdot H_{ef}$

Diketahui, $Q = \text{debit air} \dots \text{m}^3/\text{det}$

$N_t = \text{daya turbin teoritis}$

$N_t = 141,2 \text{ kW}$, telah diketahui

$H_{ef} = \text{tinggi jatuh efektif}$

$H_{ef} = 79 \text{ m}$, telah diketahui

$\rho = \text{rapat massa air} = 1.000 \text{ kg/m}^3$

102 = angka perbandingan bahwa :

$$1 \text{ kW} = 102 \text{ kgf} \cdot \text{m}/\text{det}$$

Maka, $Q = (141,2 \cdot 102 \text{ kgf} \cdot \text{m}/\text{det}) / (1.000 \text{ kg/m}^3 \cdot 9,8 \text{ m}/\text{det}^2 \cdot 79 \text{ m})$

$$Q = (14.402 \text{ kgf} \cdot \text{m}/\text{det}) / (9.800 \text{ N/m}^3 \cdot 79 \text{ m})$$

$$Q = (14.402 \text{ kgf} \cdot \text{m}/\text{det}) / (79.000 \text{ kgf/m}^2)$$

$$Q = 0,18 \text{ m}^3/\text{det}$$

4.5 Diameter Dalam Pipa Pesat.

Untuk mengalirkan air dari bak penenang ke turbin digunakan pipa pesat, ukuran diameter dalam ppa pesat dapat diketahui dengan persamaan berikut (White, 1987),

$$V_p = (0,3968/n_c) \cdot D_p^{2/3} \cdot S^{1/2}$$

Atau, $Q / A_p = (0,3968/n_c) \cdot D_p^{2/3} \cdot S^{1/2}$

$$Q = (0,3968/n_c) \cdot D_p^{2/3} \cdot S^{1/2} \cdot 0,785 \cdot D_p^2$$

Diketahui, $n_c = \text{koefisien of manning}$, nilainya tergantung dari bahan pipa pesat yang digunakan.

Untuk bahan pipa pesat dari baja roll dalam keadaan bekas (direncanakan demikian untuk mengantisipasi pemakaian pipa pesat sampai puluhan tahun ke depan), maka dari tabel koefisien manning didapat : $n_c = 0,03$.

$Q = \text{debit air} = 0,18 \text{ m}^3/\text{det}$, telah diketahui.

$D_p = \text{diameter dalam pipa pesat}$

$S = \text{slope of hydraulic gradient}$, dalam bentuk persamaan ditulis :

$$S = H_{lt} / L_p$$

$$S = 39,66 \text{ m} / 170 \text{ m} = 0,233$$

Maka penyelesaian untuk persamaan di atas ialah,

$$Q = (0,3968/0,03) \cdot D_p^{2/3} \cdot 0,233^{1/2} \cdot 0,785 \cdot D_p^2$$

$$0,18 = 5,08 \cdot D_p^{8/3}$$

$$D_p^{8/3} = 0,0364$$

$$D_p = 0,0364^{1/2,66}$$

$$D_p = 0,28 \text{ m}$$

$$D_p \approx 0,3 \text{ m}$$

Berhubung dari hasil perhitungan di atas diameter dalam pipa pesat dibulatkan menjadi 0,3 m, maka harga *slope of hydraulic gradient* (S) perlu dikoreksi kembali melalui persamaan di atas yakni,

$$Q = (0,3968/0,03) \cdot D_p^{2/3} \cdot S^{1/2} \cdot 0,785 \cdot D_p^2$$

$$0,18 = 13,23 \cdot 0,3^{8/3} \cdot S^{1/2} \cdot 0,785$$

$$S^{1/2} = 0,18 / 13,23 \cdot 0,038 \cdot 0,785$$

$$S = 0,2025$$

Maka *head losses* yang sebenarnya akibat gesekan itu adalah,

$$S = H_{lm} / L_p$$

$$H_{lm} = S \cdot L_p$$

$$H_{lm} = 0,2025 \cdot 170 \text{ m}$$

$$H_{lm} = 34,5 \text{ m}$$

Selanjutnya dengan persamaan berikut dapat ditentukan *head losses* total sebenarnya yang terjadi sesuai dengan kontruksi sistem pembangkit yang direncanakan yakni,

$$H_{lts} = H_{lm} + H_{l1} + H_{l2} + H_{l3} + H_{l4} + H_{l5}$$

Diketahui, H_{lts} = *head losses* total yang sebenarnya

H_{l1} = *head losses* akibat model lubang pemasukan di mulut pipa pesat

H_{l2} = *head losses* akibat belokan (*elbow*) pada pangkal dan ujung pipa pesat

H_{l3} = *head losses* akibat katup

H_{l4} = *head losses* akibat perubahan penampang bulat elbow ke penampang segi empat nozel

H_{l5} = *head losses* akibat sambungan pipa

Semua *head losses* tersebut nilainya dapat diketahui sebagai berikut , tetapi langkah awal cari dulu kecepatan air dalam pipa pesat, yaitu,

$$V_p = Q / A_p$$

$$V_p = 0,18 \text{ m}^3/\text{det} / (0,785 \cdot 0,3^2 \text{ m}^2)$$

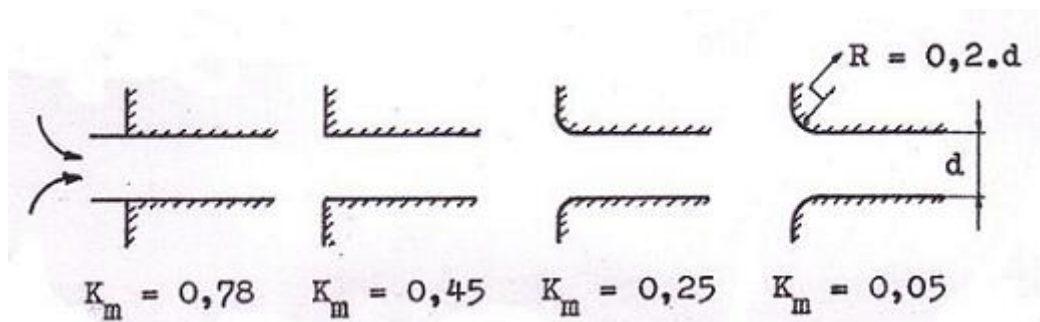
$$V_p = 2,55 \text{ m/det}$$

4.5.1 Head Losses Akibat Lubang Pemasukan = H_{l1}

Besarnya *head losses* akibat lubang pemasukan ini dapat ditentukan dari persamaan berikut,

$$H_{l1} = K_m \cdot V_p^2 / 2 \cdot g$$

K_m = Koefisien tahanan yang nilainya tergantung kepada model lubang pemasukan, untuk model *counded connection* (tumpul) sebagai model lubang pemasukan yang dipilih, maka : $K_m = 0,05$, nilai dari beberapa model lubang pemasukan seperti dijelaskan pada gambar 16 berikut :



Gambar 16. Empat Model Lubang Pemasukan (White,1987)

Maka,

$$H_{l1} = 0,05 \cdot (2,55 \text{ m/s})^2 / 2 \cdot 9,8 \text{ m/det}^2$$

$$H_{l1} = 0,017 \text{ m}$$

4.5.2 Head Losses Akibat Kelengkungan Pada Pangkal dan Ujung Pipa Pesat = H_{I2}

Kelengkungan yang terbentuk di pangkal dan di ujung pipa pesat membuat sudut 45° sesuai dengan perencanaan, koefisien tahanan untuk elbow 45° $K_e = 0,4$ sesuai dengan tabel 4 (Giles, 1984).

Dari tabel 3 tersebut dapat disimpulkan, semakin kecil sudut kelengkungan elbow, maka semakin kecil nilai koefisien tahanan, maka *head losses* untuk kasus ini adalah,

$$H_{I2} = 2 \cdot \{ 0,4 \cdot (2,55 \text{ m/s})^2 / 2 \cdot 9,8 \text{ m/det}^2 \}$$
$$H_{I2} = 0,264 \text{ m}$$

Tabel 4. Nilai K_e Untuk Empat Macam Sudut Elbow (White, 1987)

No	Sudut Elbow	Nilai K_e
1.	30°	0,35
2.	45°	0,4
3.	60°	0,54
4.	90°	0,63

4.5.3 Head Losses Akibat Katup = H_{I3}

Koefisien untuk katup adalah $K_k = 0,25$ (Giles, 1984), maka *head losses* akibat katup dapat diketahui dari persamaan berikut,

$$H_{I3} = 0,25 \cdot (2,55 \text{ m/s})^2 / 2 \cdot 9,8 \text{ m/det}^2$$
$$H_{I3} = 0,084 \text{ m}$$

4.5.4 Head Losses Akibat Perubahan Penampang Bulat Elbow ke Penampang Segi Empat Nozel = H_{I4}

Koefisien tahanan akibat penyusutan dari nozel adalah : $K_n = 0,41$ (Giles, 1984). Kecepatan air saat akan masuk nozel diasumsikan $V_{dn} = 6 \text{ m/detik}$ relatif lebih cepat dibanding kecepatan normal $2,55 \text{ m/s}$ maka,

$$H_{I4} = 0,41 \cdot (6,0 \text{ m/s})^2 / 2 \cdot 9,8 \text{ m/det}^2$$
$$H_{I4} = 0,75 \text{ m}$$

4.5.5 Head Losses Akibat Sambungan Pipa/Flens = H_{I5}

Panjang satu buah pipa 6 meter dan panjang pipa pesat seluruhnya 170 meter, maka jumlah sambungan pipa sekitar 30 buah, koefisien tahanan sambungan flens adalah $K_s = 0,03$ (Giles, 1984), maka *head losses* akibat sambungan pipa adalah,

$$H_{I5} = 30 \cdot \{ 0,03 \cdot (2,55 \text{ m/s})^2 / 2 \cdot 9,8 \text{ m/det}^2 \}$$
$$H_{I5} = 1,0 \text{ m}$$

Setelah semua *head losses* dari masing-masing peralatan instalasi pipa diketahui, maka *head losses* total yang sebenarnya (H_{lts}) dapat diketahui yaitu :

$$H_{lts} = (34,5 + 0,017 + 0,268 + 0,084 + 0,75 + 1) \text{ m}$$

$$H_{lts} = 36,5 \text{ m}$$

Selanjutnya tinggi jatuh efektif yang sebenarnya adalah,

$$H_{efs} = (120 - 1 - 36,5) \text{ m}$$

$$H_{efs} = 82,5 \text{ m}$$

4.6 Putaran dan Diameter *Runner*.

Jumlah putaran kerja *runner* (*working speed*) tergantung kepada tinggi jatuh efektif dan diameter *runner* itu sendiri. Jumlah putaran *runner* (n) dapat ditentukan dari persamaan berikut,

$$n = 60 \cdot U_o / 3,14 \cdot D_o$$

Diketahui : U_o = kecepatan keliling *runner*

D_o = diameter luar *runner*

Kecepatan keliling *runner* diameter luar ini dapat dicari dengan rumus (Sutarno, 1983),

$$U_o = 0,5 \cdot V_n$$

0,5 adalah pembanding ideal U_o terhadap V_n pada turbin impuls guna mendapatkan efisiensi tertinggi. V_n = kecepatan air keluar dari nozel yang nilainya sama dengan kecepatan air masuk *runner* (V_r) yang dapat dicari dengan persamaan,

$$V_n = V_r = K_n \cdot (2 \cdot g \cdot H_{efs})^{1/2}$$

Diketahui, K_n = koefisien tahanan nozel

$K_n = 0,96$ (ketetapan empiris)

g = percepatan gravitasi = $9,8 \text{ m/det}^2$

H_{efs} = tinggi jatuh efektif sebenarnya = $82,5 \text{ m}$

Maka, $V_n = 0,96 \cdot (2 \cdot 9,8 \text{ m/det}^2 \cdot 82,5 \text{ m})^{1/2}$

$$V_n = 38,6 \text{ m/det}$$

Didapat, $U_o = 0,5 \cdot 38,6 \text{ m/det}$

$$U_o = 19,3 \text{ m/det}$$

Sedangkan diameter luar *runner* dengan memperhatikan kesederhanaannya dari segi konstruksi, maka direncanakan diameter luar *runner* $D_o = 25 \text{ cm} = 0,25 \text{ m}$. Selanjutnya dengan nilai $U_o = 19,3 \text{ m/det}$ dan diameter luar *runner* $D_o = 0,25 \text{ m}$, maka didapat jumlah putaran *runner* adalah,

$$n = (60 \cdot 19,3 \text{ m/det}) / (3,14 \cdot 0,25 \text{ m})$$

$$n = 1500 \text{ rpm}$$

4.7 Kecepatan Spesifik Turbin (n_s)

Yang dimaksud dengan kecepatan spesifik (*specific speed*) dari suatu turbin ialah putaran *runner* yang dapat dihasilkan daya efektif sebesar 1 BHP untuk setiap tinggi jatuh 1 meter, dengan rumus ditulis,

$$n_s = n \cdot N_e^{1/2} / H_{efs}^{5/4}$$

Diketahui, n_s = kecepatan spesifik turbin

n = jumlah putaran *runner*

n = 1500 rpm, telah diketahui

N_e = daya turbin efektif

N_e = 113 kW = 153 HP, telah diketahui

H_{efs} = tinggi jatuh efektif sebenarnya

H_{efs} = 82,5 m, telah diketahui

Maka,

$$n_s = 1500 \cdot 153^{1/2} / 82,5^{5/4}$$
$$n_s = 18.554 / 248,6$$
$$n_s = 75$$

4.8. Jenis Turbin yang Dipilih

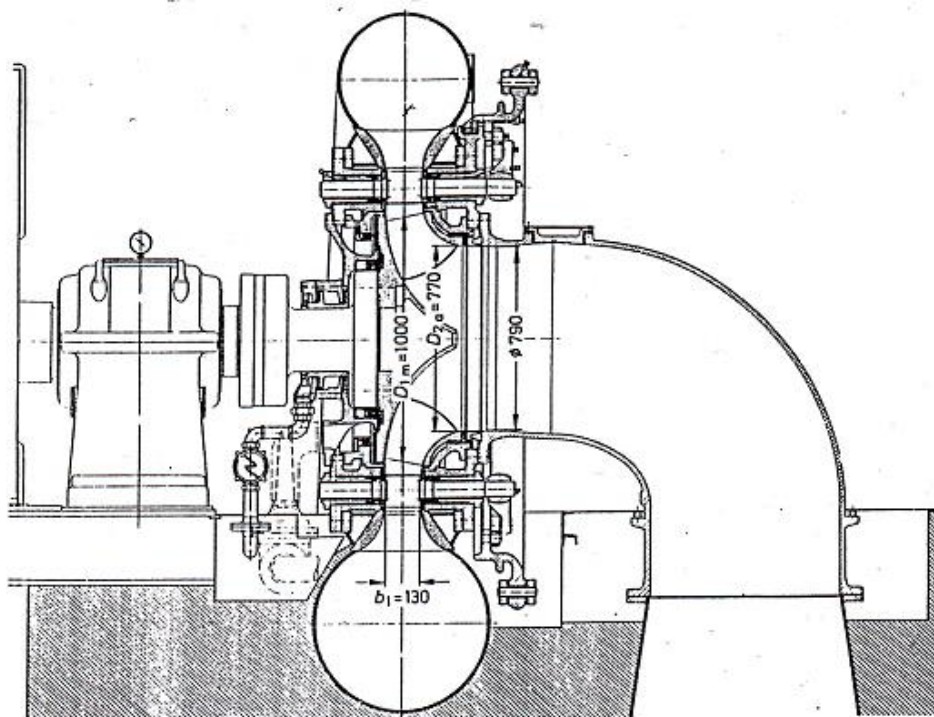
Untuk mendapatkan daya guna atau efisiensi penggerak mula yang maksimum, kita harus memilih jenis penggerak mula turbin yang sesuai dengan data-data awal yang merupakan dasar titik tolak pemilihan penggerak mula yang benar. Dasar-dasar pemilihan itu diantaranya harus sesuai dengan tinggi jatuh, sesuai dengan debit yang tersedia, dan sesuai pula dengan kecepatan spesifik (n_s) yang didapatkan dari perhitungan.

Sebagaimana kita ketahui, penggerak mula yang biasa digunakan untuk PLTA maupun PLTMH adalah turbin-turbin air dan untuk PLTMH mini kadang-kadang digunakan kincir air. Jenis turbin yang digunakan untuk PLTMH diantaranya jenis *Turbin Pelton*, *Turbin Francis*, *Turbin Kaplan/Propeller* dan *Turbin Cross Flow*. Masing-masing turbin tersebut memiliki kecepatan spesifik sendiri-sendiri seperti dijelaskan pada tabel 2. terdahulu. Kecepatan spesifik turbin yang direncanakan ini adalah $n_s = 75$, maka turbin yang cocok untuk dipilih ialah *Turbin Francis* atau *Turbin Cross flow*. Untuk dapat memilih salah satu dari kedua jenis turbin tersebut tentu memerlukan alasan-alasan yang prinsip, dari itu perlu diperkenalkan terlebih dahulu spesifikasi kedua turbin.

4.8.1 Turbin Francis

Turbin Francis atau disebut juga *Radial Flow Turbine* adalah turbin reaksi yang dapat dioperasikan untuk debit dan *head* yang tinggi maupun rendah. Untuk menimbulkan tenaga/tekanan yang besar, digunakan saluran tertutup yang disebut pipa pesat. Turbin air ini terdiri

dari dua bagian pokok, yaitu bagian yang diam atau stator dan bagian yang berputar atau rotor. Stator yang merupakan rumah turbin itu sendiri berupa pipa melingkar berbentuk rumah siput/keong. Pada rumah turbin ini terpasang sudu-sudu pengarah yang berfungsi mengarahkan dan mengantarkan air dari pipa pesat ke dalam roda jalan atau runner. Susu-sudu pengarah ini dapat diatur kedudukannya sehingga celah antara sudu dapat membesar dan menyempit bahkan dapat berimpitan satu sama lain. Dalam keadaan sudu-sudu pengantar tersebut berimpitan, maka aliran air terhenti dan turbinpun berhenti berputar. Bila sudu-sudu pengantar tersebut membuka penuh, maka turbin akan menghasilkan daya yang maksimum. Gambar 17. lebih memperjelas kontruksi *Turbin Francis* yang dimaksud.



Gambar 17. Instalasi *Turbin Francis* (Dietzel, 1988)

Pembukaan sudu-sudu pengarah ini dikerjakan secara otomatis oleh sebuah alat pengatur kecepatan yang juga bertugas mengatur besar kecilnya daya yang dibangkitkan turbin dengan cara mengatur pembukaan sudu-sudu pengarah tersebut. Alat pengatur tersebut biasa disebut governor. Gambar 18. memperlihatkan bentuk *runner Turbin Francis* yang dapat dibuat dengan proses pengecoran.

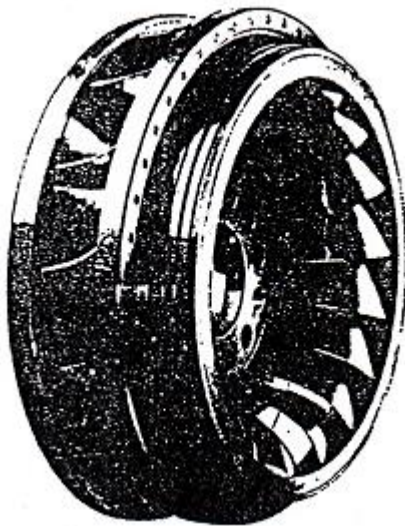
4.8.2 Perbandingan *Turbin Francis* dengan *Turbin Cross flow*

Memperhatikan uraian sub Bab II yang membahas spesifikasi *Turbin Cross Flow* serta penjelasan sub bab 4.8.1 di atas, maka tabel 5. berikut dapat membandingkan spesifikasi utama dari kedua jenis turbin. Pada tabel tersebut ditunjukkan, *Turbin Cross Flow* lebih sesuai digunakan untuk pembangkit dengan daya-daya yang relatif kecil. Disamping itu *Turbin Cross Flow* memiliki

jangkauan operasi tinggi jatuh yang bervariasi. Untuk kasus turbin dengan daya yang dibangkitkan relatif kecil ($N_t = 141,2 \text{ kW}$) sedang tinggi jatuh yang ada dibawah 200 meter dan debit air masuk turbin relatif kecil ($Q = 0,18 \text{ m}^3/\text{det}$), maka dipilih *Turbin Cross Flow* sebagai penggerak mula sistem PLTMH. Dengan dipilih *Turbin Cross Flow* sebagai penggerak mula akan didapat beberapa keuntungan, disamping proses pembuatannya relatif lebih mudah juga biaya produksi relatif lebih murah. Dengan demikian kebijaksanaan ini akan memberi kesempatan kepada banyak pihak untuk terlibat dalam mewujudkan bangunan PLTMH.

Tabel 5. Perbandingan Spesifikasi *Turbin Francis* dan *Turbin Cross Flow* (Haimerl, 1960)

No	Spesifikasi	<i>Turbin Francis</i>	<i>Turbin Cross-Flow</i>
1.	Penggunaan secara umum	Daya-daya yang besar ($> 750 \text{ kW}$)	Daya-daya relatif kecil ($< 750 \text{ kW}$)
2.	Pembuatan konstruksi	Rumit	Sederhana
3.	Pembuatan <i>runner</i>	Proses pengecoran	Dirakit – las
4.	Tinggi jatuh (meter)	30 - 200	1 - 200



Gambar 18. *Runner Turbin Francis* (Dietzel, 1988)

Dari uraian sub bab di atas dapat disimpulkan spesifikasi turbin air yang dipilih yaitu,

1. Jenis turbin : *Cross Flow*
2. Daya efektif turbin : 113 kW
3. Putaran turbin : 1500 rpm
4. Kecepatan spesifik : 75
5. *Head efektif* : 82,5 m
6. Debit air : $0,18 \text{ m}^3/\text{det}$
7. Diameter dalam pipa pesat : 30 cm
8. Diameter *runner* : 25 cm

Perlatihan

Sebagai penutup dan sekaligus untuk mengetahui sejauh mana pemahaman dan keterampilan anda terhadap pokok bahasan di atas, maka jawablah pertanyaan-pertanyaan berikut ini,

1. Jelaskan variabel-variabel apa saja yang menjadi dasar pemilihan turbin air untuk sebuah kasus PLTMH ?
2. Jelaskan apa yang dimaksud dengan daya efektif suatu turbin ?
3. Jelaskan apa yang dimaksud dengan *head aktual*, *head losses* dan *head efektif* ?
4. Jelaskan peralatan-peralatan yang umumnya dipasang pada suatu instalasi pipa pesat ?
5. Jelaskan apa syarat - syarat sebuah instalasi pipa pesat yang baik dengan indikator *head lossesnya* yang rendah ?
6. Jelaskan apa yang dimaksud dengan kecepatan spesifik ?
7. Untuk sebuah kasus PLTMH, diketahui kecepatan air keluar dari nozel adalah 35 m/s, diameter luar *runner* : 30 cm, daya generator : 80 kVA dan nilai variabel –variabel lainnya diasumsikan sendiri. Tentukanlah jenis turbin yang ideal untuk kasus PLTMH di atas ?

BAB V

ALAT DAN BAHAN YANG DIBUTUHKAN SERTA PROSEDUR PEMBANGUNAN DAN PEMELIHARAAN PLTMH

Alat dan bahan yang dibutuhkan untuk membangun Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) mencakup pekerjaan untuk bangunan mekanik, sipil dan elektrik. Yang termasuk pekerjaan bangunan mekanik adalah pembuatan pintu dan saringan air, pipa pesat, penggerak mula, frame/ dudukan mesin, sistem kontrol mekanik dan sistem transmisi. Yang termasuk pekerjaan bangunan sipil adalah pekerjaan membangun bendungan, kanal, bak penenang, saluran limbah, rumah pembangkit dan saluran buang. Sedang yang termasuk pekerjaan elektrik adalah pekerjaan pemasangan sistem kontrol/ *switching* di dalam rumah pembangkit, pemasangan jaringan kabel distribusi dari rumah pembangkit ke tengah-tengah perumahan penduduk dan pemasangan instalasi listrik di rumah-rumah penduduk. Pada bab ini akan diuraikan tentang peralatan dan bahan yang dibutuhkan untuk membuat *Turbin Cross Flow*, tahapan pembangunannya dan bagaimana prosedur pemeliharaan PLTMH yang telah selesai dibangun tersebut agar PLTMH memiliki umur ekonomis yang lebih panjang.

Diharapkan setelah mempelajari dengan seksama uraian Bab V ini, pembaca akan mampu,

1. Memahami dengan baik begitu luasnya bidang pekerjaan yang terlibat dalam pembangunan PLTMH sehingga untuk mewujudkannya dibutuhkan keseriusan, dibutuhkan minimalnya tiga orang dari tiga disiplin ilmu yang terlibat dalam pembangunan PLTMH yaitu Teknik Mesin, Teknik Sipil dan Teknik Elektro.
2. Memahami dengan baik tentang macam-macam peralatan dan bahan yang dibutuhkan dalam proses pembangunan PLTMH.
3. Membuat dengan cermat daftar alat dan material (*material list*) dan dilanjutkan dengan membuat anggaran biaya yang dibutuhkan.
4. Memahami dengan baik arti pentingnya perawatan yang dapat memperpanjang umur ekonomis PLTMH.
5. Memahami dengan baik komponen-komponen PLTMH yang strategis yang membutuhkan perawatan yang intensif.
6. Memahami dengan baik mana komponen-komponen penting PLTMH dan mana komponen-komponen umum lainnya sehingga perlakuan perawatan kepada dua kelompok komponen tersebut dapat disesuaikan.
7. Memahami dengan baik mana komponen-komponen PLTMH yang rentan terhadap perubahan cuaca dan alam seperti musim hujan, banjir dan longsor.
8. Memahami dengan baik tentang peralatan-peralatan pendukung apa saja yang harus tersedia dalam mesukseskan kegiatan perawatan PLTMH.

5.1 Alat yang Dibutuhkan

Alat-alat yang dibutuhkan untuk pekerjaan mekanik seperti membuat saringan, pintu air, pipa pesat, penggerak mula turbin, sistem transmisi dan lain-lainnya adalah sebagai berikut,

Tabel 6. Alat yang Digunakan Untuk Pekerjaan Mekanik

No	Nama Alat	Kegunaan
1.	Mesin bubut lantai	Membuat poros dan meratakan permukaan silinder
2.	Mesin las listrik	Merakit/ penyambung komponen-komponen turbin
3.	Mesin roll	Melengkungkan lembaran plat
4.	Mesin bor meja/tangan	Membuat lubang
5.	Mesin tap/ snai	Membuat ulir dalam dan ulir luar
6.	Mesin gerinda meja/tangan	Meratakan/menghaluskan permukaan
7.	Mesin gergaji listrik	Memotong benda kerja cukup tebal
8.	Mesin kompressor	Membersihkan dan untuk pengecatan
9.	Peralatan kerja bangku : ragam, kikir, gergaji tangan, palu dll.	Mendukung fungsi dari peralatan/ mesin pada proses memegang, meratakan, mengikir, membekokkan dan memipihkan komponen-komponen berukuran relatif kecil

5.2 Bahan yang Dibutuhkan

Bahan yang dibutuhkan untuk membangun PLTMH terdiri dari bahan untuk bangunan mekanikal, bahan untuk bangunan sipil dan bahan untuk bangunan elektrikal yaitu,

Tabel 7. Bahan yang Dibutuhkan untuk Pembangunan PLTMH

No	Nama Bahan	Kegunaan
1.	Baja plat hitam 3 x 1,2m x 2,4m	Membuat pipa pesat, drum penampung, saluran limbah dan saluran buang,
2.	Baja plat hitam 4 x 1,2m x 2,4 m	Membuat rumah turbin, klem penyambung pipa pesat dan pintu air
3.	Baja plat strip 6 x 75mm x 6m	Membuat klem penyambung
4.	Baja plat strip 6 x 50mm x 6m	Membuat klem penyambung pada casing turbin
5.	Baja siku 100x100x10mmx6 m	Membuat landasan cor penggerak mula dan landasan cor mesin produksi dan untuk tiang-tiang rumah pembangkit dan pintu air
6.	Baja siku 65x65x6mmx6m	Membuat pintu pengatur pada bendungan
7.	Besi kanal C 75x45x15mmx6m	Membuat frame/ tulangan
8.	Besi beton D =10mm x 12m	Membuat saringan air

9.	Baja poros D=60mm	Membuat poros runner turbin
10.	Baja poros D=30mm	Membuat poros katup turbin
11.	Pipa hitam 5"x 6m	Membuat sudu-sudu runner turbin <i>cross flow</i>
12.	Karet perpak 5mm x 1,2 m	Membuat perpak pada klem pipa pesat, drum dan pada rumah turbin
13.	Baut-mur D=12 x 25mm	Penyambung antar klem pipa pesat dan drum
14.	Baut-mur D=8 x 25mm	Penyambung antar klem rumah turbin
15.	Sheal D=50mm	Penahan kebocoran antara poros runner dengan rumah turbin
16.	Sheal D=25mm	Penahan kebocoran antara poros katup dengan rumah turbin
17.	Elektroda las D = 2,6mm	Bahan tambahan pada proses pengelasan
18.	Mata gergaji	Kelengkapan dari gergaji rotari listrik
19.	Gas oksigen	Kelengkapan las asetilin untuk proses potong
20.	Gas asetilin	Kelengkapan las asetilin untuk proses pemotongan/ penyambungan
21.	Batu kali	Membuat bendungan, saluran terbuka, kolam penampung, rumah pembangkit, saluran limbah, saluran buang
22.	Pasir	Membuat bendungan dan pekerjaan sipil lainnya
23.	Sirtu	Membuat slop dan kolom pada pekerjaan sipil
24.	Batu bata	Membuat rumah pembangkit
25.	Semen PC	Komponen utama pembuat adukan untuk pemasangan batu/batubata dan pengecoran
26.	Papan cor	Kelengkapan proses pengecoran
27.	Papan borneo	Membuat dinding rumah pembangkit untuk bangunan setengah permanen
28.	Kayu kaso-kaso	Untuk tulangan pada atap rumah pembangkit dan untuk tulangan dinding
29.	Seng 11 bandar	Atap rumah pembangkit
30.	Cat kayu/logam isi 850 cc dan tinner	Untuk mengecat saluran masuk, drum penampung, casing turbin, saluran limbah, rumah pembangkit dll.
31.	Paku seng	Memaku atap seng
32.	Paku kayu	Memaku yang umumnya digunakan pada pekerjaan sipil
33.	Kuas 2"	Untuk mengecat
34.	Kaca	Untuk penerangan rumah pembangkit
35.	Generator AC	Pembangkit listrik
36.	Panel control listrik	Pengontrol sekaligus pengaman sistem kelistrikan PLTMH
37.	Kabel distribusi	Menyalurkan daya listrik dari rumah pembangkit ke tengah-tengah perkampungan penduduk
38.	Kabel instalasi SNY	Jaringan instalasi listrik di rumah penduduk

	2,5 mm	
39.	MCB 2 Ampere	Pengontrol beban listrik maksimum pada masing-masing rumah penduduk
40.	Isolator, pipa instalasi, paku dll.	Kelengkapan pemasangan instalasi di rumah penduduk
41.	Tiang listrik	Penyanggah kabel distribusi
42.	Ampang-ampang dan isolator	Dudukan kabel distribusi pada tiang listrik

5.3 Prosedur Pembangunan PLTMH

Langkah awal untuk melaksanakan pembangunan PLTMH ialah melakukan studi kelayakan yang meliputi pemilihan lokasi pembangkit yang tepat dilanjutkan dengan melakukan pengukuran dan menentukan lokasi penempatan sistem PLTMH secara keseluruhan. Misalnya menentukan letak rumah pembangkit, bak penenang dan bendungan, setelah itu pastikan apakah luas lahan yang ada cukup untuk digunakan membangun rumah pembangkit, bak penenang, dan bendungan. Begitu juga perlu diselidiki kondisi lahan untuk penempatan pipa pesat dan pembuatan saluran terbuka yang cukup panjang. Bangunan-bangunan utama tersebut umumnya akan membutuhkan lahan yang cukup luas sehingga dalam pelaksanaannya akan mengambil cukup banyak tanah masyarakat. Dalam hal ini pendekatan kepada masyarakat mutlak harus diperhatikan agar mereka dapat mendukung dan berpartisipasi dengan baik. Itulah pekerjaan awal di lapangan. Pekerjaan selanjutnya ialah membuat atau melaksanakan pembangunan PLTMH mencakup pekerjaan sipil dan pekerjaan mekanik. Yang termasuk pekerjaan sipil yaitu membangun bendungan, saluran terbuka, bak penenang, saluran limbah, rumah pembangkit dan saluran buang. Sedangkan yang termasuk pekerjaan mekanikal ialah membuat saringan, pintu air, pipa pesat, penggerak mula turbin, sistem transmisi dan membuat frame atau dudukan generator. Apabila kedua pekerjaan tersebut selesai dilaksanakan, maka pekerjaan selanjutnya ialah melakukan pemasangan peralatan mekanik di sekitar sistem pembangkit seperti pemasangan saringan dan pintu di bendungan dan bak penenang juga pemasangan pipa pesat serta turbin/ generator di dalam rumah pembangkit.

Prosedur pemasangan turbin ialah terlebih dahulu pasanglah rangka pondasi turbin melalui proses pengecoran. Setelah coran kering, pasang rumah turbin atau casing di atasnya, gunakan baut-mur sebagai pengikat agar rumah turbin tidak bergeser-geser. Selanjutnya *runner* dan katup dipasang, pemasangan kedua komponen turbin ini harus hati-hati agar *runner* dan katup tidak bergesekan dengan rumah turbin. Posisi bantalan yang penumpu poros *runner* dipasang simetris agar tidak menimbulkan tahanan terhadap putaran poros *runner*. Komponen lain yang harus dipasang pada ujung poros *runner* adalah transmisi kopling flens. Selanjutnya pasanglah tutup turbin pada rumah turbin dengan sabungan baut-mur. Pada ujung pipa pesat terdapat

elbow dengan penampang mulut segi empat, sambungkan ujung elbow ke mulut rumah turbin yang sama-sama berpenampang segi empat pula.

Pekerjaan terakhir yang dilakukan di rumah pembangkit ialah pemasangan peralatan kontrol (*switching*), *trafo step-up*, *saklar*, *Voltmeter*, *Amperemeter*, lampu kontrol, lampu penerangan dalam rumah pembangkit dan alat perlindungan dan pengaman lainnya.

Selama pekerjaan di dalam rumah pembangkit sedang berlangsung, maka dalam waktu yang bersamaan pekerjaan elektrik di luar pembangkit dapat dilaksanakan seperti pemasangan tiang-tiang listrik (*pole*) beserta kabel distribusi dan pemasangan instalasi listrik di rumah-rumah penduduk. Tahap akhir adalah pengujian, diharapkan apabila uji prestasi PLTMH berhasil dilaksanakan, maka PLTMH dapat segera dioperasikan secara permanen sehingga masyarakat desa dapat segera menikmatinya.

5.4 Perawatan PLTMH

Untuk mendapatkan umur ekonomis PLTMH cukup panjang, maka disamping proses perencanaan dan pembuatan yang tepat serta bahan yang digunakan bermutu baik, juga faktor lain yang tidak kalah pentingnya untuk diperhatikan ialah perawatan yang disiplin.

Perawatan yang baik dibagi dalam dua model kegiatan yaitu perawatan preventif dan perawatan korektif.

5.4.1 Perawatan *Preventif* (pencegahan)

Sasaran objek perawatan *preventif* dari sistem PLTMH mencakup bendungan, kanal, bak penenang, pipa pesat, rumah pembangkit dan penggerak mula turbin yang ada di dalamnya. Keterkaitan komponen-komponen PLTMH tersebut tak dapat dipisahkan sebab apabila salah satu komponen rusak dan tak dapat berfungsi dengan baik maka kegiatan PLTMH akan berhenti, ini akan mengakibatkan kerugian besar. Maka dari itu perawatan preventif terhadap sistem PLTMH sangat diperlukan yang meliputi pembersihan, pengencangan baut-mur, pelumasan dan perbaikan.

Pembersihan dari sistem PLTMH meliputi pengurasan bak penenang dari lumpur dan kotoran-kotoran kasar lainnya yang mengendap. Endapan lumpur itu dibersihkan dengan cara membuka pintu penguras yang dikerjakan setiap tiga minggu sekali. Demikian pula pembersihan di dalam rumah pembangkit perlu juga diperhatikan, sebab dari pengalaman telah dimaklumi bahwa rumah pembangkit berada di pinggir sungai, maka rembesan air dari lingkungan sekitarnya sangat beresiko masuk yang menimbulkan genangan-genangan air dan udara lembab di dalam rumah pembangkit.

Pengencangan baut-mur perlu diperhatikan terutama pada peralatan mekanis yang bergerak atau bergetar seperti komponen-komponen penggerak mula turbin. Keterlambatan dalam

pengencangan akan mengakibatkan komponen turbin lepas dari kedudukannya, ini akan sangat berbahaya dan dapat mengganggu produktivitas turbin. Demikian juga baut-mur pada sambungan pipa pesat, pintu-pintu air dan saringan di kolam penampung, apabila kelihatan kendur segera kencangkan.

Pelumasan adalah kegiatan penting yang berhubungan dengan peralatan mekanik khususnya turbin seperti bantalan/ *bearing*, roda gigi dan engsel-engsel. Bantalan yang dipakai pada turbin adalah bantalan gelinding dengan putaran dan beban relatif sedang, maka untuk kondisi seperti ini pelumasan yang cocok adalah pelumasan stempet yang banyak dijual di pasaran. Pelumasan pada bantalan ini terutama dimaksudkan untuk mengurangi gesekan dan keausan antara elemen gelinding dengan sangkarnya, untuk membawa keluar panas yang terjadi, mencegah korosi dan untuk menghindari masuknya debu. Di sini pelumasan stempet lebih disukai karena penyekatnya lebih sederhana dan semua stempet yang bermutu baik dapat memberikan umur panjang. Cara yang umum untuk pelumasan adalah dengan mengisi bagian dalam bantalan dengan stempet sebanyak mungkin, pengisian stempet yang agak berlebihan tidak akan menyebabkan hambatan. Kegiatan perawatan preventif terhadap komponen PLTMH selengkapnya adalah sebagai berikut,

5.4.1.1 Perawatan *Preventif* Bangunan Sipil

1. Bendungan.

- a. Periksa sayap bendungan dari gerusan air terutama pada musim hujan.
- b. Tambahkan pelumas pada roda gigi dan ulir pintu air setiap sebulan sekali.
- c. Kontrol baut pengunci, kencangkan jika kendur.
- d. Pasang kunci pengaman pada roda pemutar pintu jika sedang tidak digunakan.
- e. Cat pintu air, saringan dan peralatan lainnya untuk memperlambat pengkaratan.
- f. Kuras bendungan dua bulan sekali.

2. Kanal (saluran masuk).

- a. Bersihkan saringan dari sampah agar air mengalir dengan lancar, pengontrolan dilakukan secara rutin terutama pada musim hujan.
- b. Periksa dari kebocoran dan periksa tanah disamping saluran dari kemungkinan retak dan longsor terutama dimusim hujan.
- c. Segera lakukan penyemenan ulang pada retakan dinding saluran untuk menghindari retak besar dan longsor.

3. Bak Penampung/ Bak Penenang.

- a. Periksa bak penenang dan tanah di sekitarnya dari kemungkinan retak dan longsor, pada musim hujan pemeriksaan harus lebih sering dilakukan.

- b. Sebulan sekali kuras endapan lumpur dan sampah lainnya dari dasar bak terutama pada musim hujan
- c. Bersihkan saringan dari sampah dan benda-benda lainnya yang tersangkut.
- d. Cat pintu air, saringan dan peralatan lainnya untuk memperlambat pengkaratan.

3. Pipa Pesat/ *Penstock*.

- a. Periksa pipa secara rutin dari kebocoran dan potensi retak.
- b. Periksa sambungan pipa/ flens, jika bocor maka kencangkan baut-murnya.
- c. Periksa pondasi pipa dari kemungkinan retak, longsor atau tergerus air.
- d. potong tumbuhan liar yang ada di sekitar pipa.
- e. Buang tanah yang menempel pada pipa yang dapat mempercepat pengkaratan.
- f. Lakukan pengecatan enam bulan sekali untuk mencegah pengkaratan.

4. Rumah Pembangkit.

- a. Sapu dan bersihkan rumah pembangkit dua kali sehari.
- b. Periksa atap dari kebocoran agar panel-panel tidak basah kena tetesan air.
- c. Periksa lantai dari rembesan air, usahakan lantai selalu kering sehingga udara tidak menjadi lembab
- d. Jangan menjadikan rumah pembangkit sebagai gudang, di dalamnya harus bersih dan rapi.

5.4.1.2 Perawatan *Preventif* Peralatan Mekanik dan *Elektrik*.

1. Penggerak Mula/ Turbin

- a. Lakukan pelumasan pada bagian-bagian penting dari turbin sesuai buku petunjuk/ panduan perawatan.
- b. Gunakan pelumas dengan bahan dasar *lithium*.
- c. Lakukan pelumasan sesuai dengan jadwal yang telah ditentukan oleh pembuat turbin.
- d. Setahun sekali buang pelumas lama pada *bearing* dan isi kembali dengan pelumas baru.
- e. Beri pelumas pada *bearing guide vane*/ katup secukupnya agar terhindar dari karat.
- f. Beri pelumas pada ulir penggerak *guide vane*/ katup secukupnya.
- g. Periksa tingkat kekuatan baut dan beri pelumas agar tidak berkarat.
- h. Bersihkan hingga kering rumah turbin/ bodi turbin dari embun setiap hari agar tidak berkarat.
- i. Bersihkan kotoran yang menyumbat pada runner atau adaptor dengan membuka lubang inspeksi pada rumah turbin, kegiatan ini dilakukan pada saat turbin tidak beroperasi dan pipa pesat dalam keadaan kosong.

2. Transmisi Kopling, Puli-Sabuk

- a. Untuk pengaman dan keselamatan, sistem transmisi dilengkapi dengan sangkar pengaman, periksa kekuatan sangkar pengaman tersebut .
 - b. Periksa tingkat ketegangan sabuk, jika kendur kencangkan dengan menyetel baut pendorong.
 - c. Hindarkan puli dan sabuk dari fluida air maupun oli.
 - d. Periksa karet baut kopling, jika sudah aus segera ganti dengan yang baru.
Sediakan karet dan baut kopling secukupnya sebagai cadangan.
 - e. Periksa puli agar selalu terpasang dengan mantap pada porosnya, jika ditemui hal-hal yang mencurigakan, periksa bentuk dan posisi pasak yang digunakan.
3. Generator.
- a. Ganti bearing sesuai dengan waktu ausnya, biasanya tiga tahun sekali atau perhatikan buku pedoman operasi yang disediakan pembuat generator.
 - b. Periksa terminal kabel, kencangkan yang longgar.
4. Sistem Kontrol Elektrik.
- a. Pada saat pemeriksaan, pastikan turbin dalam keadaan tidak beroperasi.
 - b. Periksa ikatan kabel sebulan sekali, kencangkan bila longgar.
 - c. Bersihkan dari kotoran dan sarang binatang liar seperti tikus dan laba-laba.
5. Sistem Arde/ Pembumian.
- a. Setiap enam bulan sekali terutana saat musim hujan, lakukan pemeriksaan hubungan kabel arde dengan sistem pengaman petir, benda metal, pipa pesat, turbin, badan generator dan titik netral pembangkit.
 - b. Lakukan pemeriksaan dengan menggunakan alat pengukur hambatan *Ohmmeter*.
 - c. Periksa sambungan kabel yang lepas atau longgar dan kencangkan.
6. Jaringan Listrik.
- a. Periksa jaringan dari gangguan pohon yang tumbang atau yang menutupinya.
 - b. Periksa tiang apakah ada yang miring, roboh atau pondasinya tenggelam ke dalam tanah
 - c. Periksa titik sambungan kabel, beri isolasi tambahan jika perlu.
 - d. Jika tegangan tidak stabil, periksa titik-titik sambungan dengan teliti.
 - e. Jika ada kabel yang rusak/ mudah putus, ganti dengan ukuran kabel yang sama.

5.4.2 Perawatan Korektif (perbaikan)

Perawatan *korektif* merupakan kegiatan perawatan yang mutlak harus dilakukan apabila ada komponen-komponen PLTMH khususnya turbin yang rusak baik rusak ringan maupun rusak berat. Tidak semua akibat rusak berat dapat diperbaiki, diantaranya ada yang harus diganti. Kalau sudah begini tentunya akan membutuhkan biaya yang cukup besar. Untuk itu setiap awal kerusakan harus segera diperbaiki jangan ditunggu sampai parah. Misalnya perpak atau seal pada

poros turbin sobek hingga terjadi kebocoran, maka segera perpak dan seal tersebut diganti dengan yang baru dan jangan ditunggu sampai rusak berat. Jika tidak demikian, maka kerusakan komponen yang satu dapat mengganggu komponen dan sistem turbin lainnya. Contoh lain, misalnya bantalan/ *bearing* sudah longgar sehingga putarannya berayun, jika bantalan tersebut tidak segera diganti akan menyebabkan runner dalam rumah turbin akan bergesekan dengan komponen turbin yang ada di sekitarnya. Apabila akibat gesekan tersebut sudu-sudu runner sampai patah maka usaha perbaikannya cukup rumit dan butuh waktu lebih lama disamping biaya perbaikan yang mahal.

Perlatihan

Sebagai penutup dan sekaligus untuk mengetahui sejauh mana pemahaman dan keterampilan anda terhadap pokok bahasan di atas, maka jawablah pertanyaan-pertanyaan berikut ini,

1. Jelaskan komponen-komponen PLTMH yang termasuk bangunan sipil, bangunan mekanikal dan bangunan elektrikal ?
2. Jelaskan alat-alat dan bahan yang dibutuhkan untuk melaksanakan pekerjaan sipil ?
3. Jelaskan alat-alat dan bahan yang dibutuhkan untuk melaksanakan pekerjaan mekanikal ?
4. Jelaskan alat-alat dan bahan yang dibutuhkan untuk melaksanakan pekerjaan elektrikal ?
5. Jelaskan tahapan pelaksanaan pembuatan bangunan sipil di lapangan mulai dari pemilihan lokasi sampai pelaksanaan pembuatan ?
6. Jelaskan tahapan pembuatan peralatan mekanikal mulai dari perencanaan, penggambaran sampai ke proses perakitan di laboratorium ?
7. Jelaskan tahapan pemasangan peralatan elektrikal mulai dari panel kontrol listrik di dalam rumah pembangkit sampai pemasangan instalasi listrik di rumah penduduk ?

BAB VI

PERENCANAAN DAN PROSES PEMBUATAN KOMPONEN BANGUNAN SIPIL DAN PIPA PESAT

Pada bab berikut akan diuraikan tentang proses perancangan dan pembuatan komponen bangunan sipil dan pipa pesat, untuk memudahkan pemahaman terhadap uraian tersebut akan ditampilkan gambar-gambar teknis. Hasil dari perencanaan tersebut adalah dapat menentukan jenis bahan yang digunakan dan spesifikasi dimensi.

Diharapkan setelah mempelajari uraian tentang proses perencanaan dan pembuatan komponen bangunan sipil dan pipa pesat ini, pembaca akan mampu,

1. Memahami dengan baik fungsi dari masing-masing komponen bangunan sipil dan pipa pesat.
2. Memahami dengan baik variabel-variabel yang menjadi bahan pertimbangan dalam proses perencanaan dan pembuatannya.
3. Memahami dengan baik syarat-syarat teknis yang harus dipenuhi oleh suatu komponen bangunan sipil dan pipa pesat.
4. Memahami dengan baik bahan-bahan dan peralatan yang harus disiapkan sebelum pelaksanaan pembangunan.
5. Membaca gambar sekaligus mampu menggambar dengan baik sistem dan gambar detil dari komponen-komponen bangunan sipil dan pipa pesat.

6.1 Bendungan.

Untuk mendapatkan debit air dan tinggi jatuh yang sesuai dengan perencanaan awal, diperlukan sarana bendungan, kanal dan bak penenang. Bendungan itu sendiri berfungsi untuk,

1. Menampung dan mengumpulkan air dalam jumlah yang cukup besar.
2. Menaikan permukaan air .
3. Memudahkan pembersihan air melalui proses pengendapan.
4. Memudahkan penyaluran air ke kanal melalui pintu pengatur..
5. Memudahkan pengontrolan aliran air di dalam sungai.
6. Untuk menstabilkan aliran air akibat debit air yang bertambah di musim hujan.

Direncanakan air pada saluran irigasi dibendung sampai permukaan air naik setinggi 1,25 meter dari permukaan normal. Bendungan ini sendiri berukuran lebar 3,6 m, tinggi termasuk pondasi 1,8 m dan tebal 0,5 m. Bendungan dibuat dari pasangan batu kali yang diperkuat dengan beton bertulang. Bagaimana konstruksi dari bendungan yang dimaksud, dapat dilihat pada Gambar 19.

6.2 Kanal dan Kolam Penenang

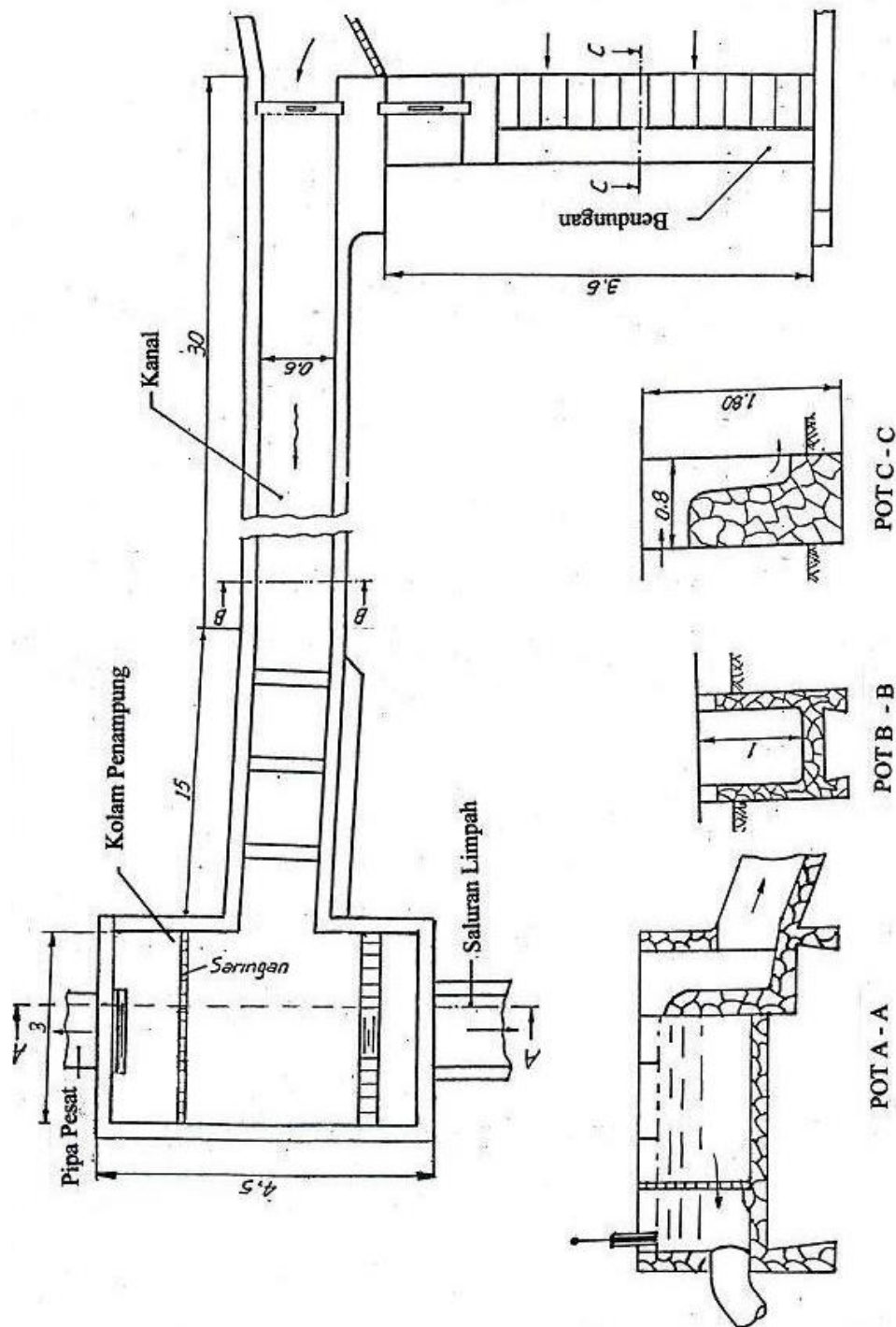
Untuk mengalirkan air dari bendungan ke bak penenang dibutuhkan suatu saluran terbuka yang biasa disebut kanal. Kanal dibangun dari pasangan batu kali yang dihaluskan bagian

dalamnya. Untuk mendapatkan tinggi jatuh $H = 120$ m, maka saluran kanal ini dibuat sepanjang 45 m dengan kemiringan 1 : 10.

Penampang kanal berbentuk segi empat dengan lebar 60 cm dan tinggi rata-rata 1 meter. Kanal yang penulis rencanakan ini diusahakan dapat memenuhi syarat antara lain,

1. Kanal harus mampu menahan tekanan air yang bekerja.
2. Kanal harus kaku hingga tidak mudah berubah bentuk.
3. Kanal memiliki permukaan dalam yang tetap licin.
4. Kanal harus kedap air sehingga dapat terhindar dari keretakan, kebocoran dan longsor.

Bak penenang dari sistem PLTMH memiliki fungsi yang strategis diantaranya berguna untuk mengendapkan serta menampung lumpur dan benda-benda lain yang terbawa oleh arus air. Fungsi lainnya ialah untuk mengatur pengumpanan air ke turbin, apabila air dalam kolam penampung berlebih maka air akan melimpah sendiri ke saluran limbah. Disamping itu kolam penampung juga berfungsi untuk menahan arus balik dari bawah apabila katup di dalam turbin diperkecil atau ditutup mendadak sehingga gelombang air bisa diredam.



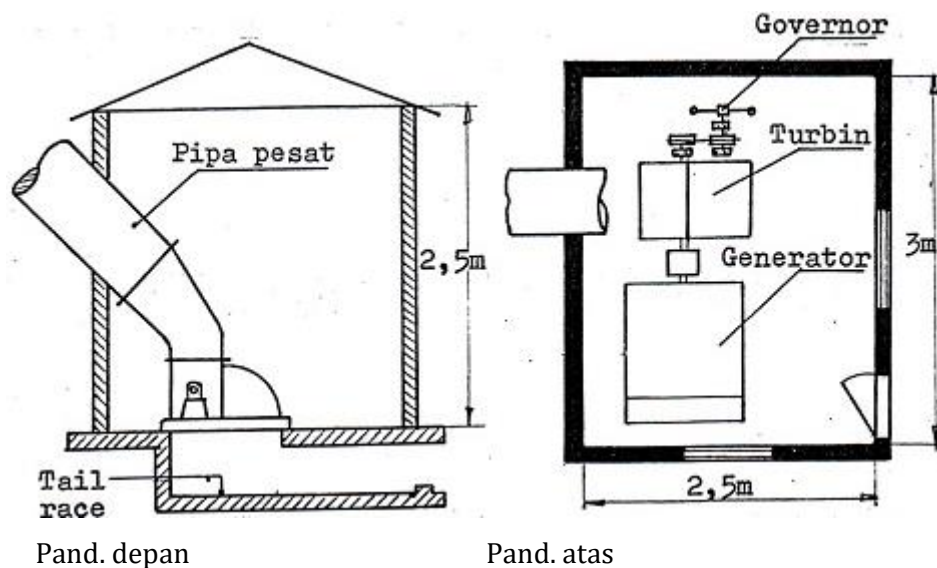
Gambar 19. Bendungan, Kanal dan Kolam Penampung

Bak penenang untuk PLTMH ini direncanakan berukuran 3 m x 4,5 m dengan kedalaman 1,7 m, dibuat dari pasangan batu kali yang diperkuat dengan beton bertulang. Pada bendungan dan bak penenang dilengkapi dengan pintu air dan saringan. Kelengkapan ini berguna untuk mengatur pemasukan air ke turbin dan untuk mencegah masuknya sampah atau benda-benda lainnya masuk ke sistim penggerak mula. Sampah yang masuk dapat menyumbat katup atau masuk ke runner turbin yang akan mengakibatkan sudu-sudu turbin patah atau bengkok.

6.3 Rumah Pembangkit.

Rumah pembangkit (*power house*) berfungsi sebagai pelindung dan pengaman peralatan elektro-mekanik yakni penggerak mula dan kelengkapannya, generator dan perlengkapan switching serta alat-alat kontrol yang ada di dalamnya. Disamping itu rumah pembangkit berfungsi juga sebagai ruang jaga dan tepat untuk menyimpan peralatan bongkar pasang dan suku cadang PLTMH.

Rumah pembangkit untuk PLTMH ini berukuran 3 m x 2,5 m x 3 m dibangun dengan konstruksi batu kali, batu bata dan slope dari beton bertulang yang kokoh.



Gambar 20. Penampang Rumah Pembangkit (Bachtiar, 2003)

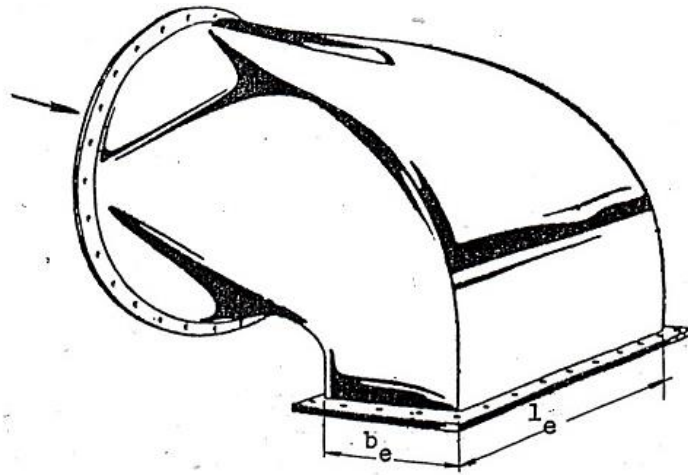
Penggunaan konstruksi permanen seperti ini memang cukup mahal, tetapi mengingat keadaan tanah yang labil serta posisi rumah pembangkit berada di pinggir sungai yang tanahnya selalu basah, maka penggunaan konstruksi seperti ini sangat diperlukan untuk pengamanan. Bagaimana spesifikasi dari rumah pembangkit ini, dapat dilihat Gambar 20.

6.4 Pipa Pesat.

Pipa pesat atau *penstock* adalah komponen PLTMH yang berfungsi untuk mengantarkan air saat jatuh dari kolam penampung dan mengalir masuk ke turbin. Elbow merupakan bagian terbawah dari pipa pesat yang langsung berhubungan dengan turbin sehingga elbow adalah komponen yang akan menerima tekanan terbesar terutama pada saat katup pada posisi tertutup penuh. Dari itu perencanaan pipa pesat bertitik tolak dari hasil perencanaan elbow yang dimaksud.

6.4.1 Ukuran Elbow.

Untuk memudahkan penyambungan elbow dengan turbin, maka penampang keluar dari elbow dibuat segi empat yang disesuaikan dengan penampang masuk mulut nozel yang berpenampang segi empat pula, untuk lebih jelasnya dapat dilihat gambar 21.



Gambar 21. Elbow (Bachtiar, 1998)

Direncanakan luas penampang mulut dari elbow (A_e) sama dengan luas penampang bulat dari penampang pipa pesat sebelumnya (A_p) yaitu,

$$A_e = A_p = 0,785 \cdot D_p^2$$

Diketahui, D_p = Diameter dalam pipa pesat

$D_p = 30$ cm, telah diketahui

Maka, $A_e = A_p = 0,785 \cdot (30 \text{ cm})^2$

$$A_e = A_p = 706,5 \text{ cm}^2$$

Selanjutnya direncanakan panjang mulut keluar elbow (l_e) = 38 cm, maka lebar elbow (b_e) adalah,

$$b_e = 706,5 \text{ cm}^2 / 38 \text{ cm}$$

$$b_e = 19 \text{ cm}$$

Nilai tekanan air yang bekerja pada elbow dapat diketahui dari persamaan berikut

$$: P_e = \rho \cdot g \cdot H_e$$

Diketahui, P_e = tekanan air dalam elbow N/m²

ρ = rapat massa air = 1000 kgm/m³

g = percepatan gravitasibumi = 9,8 m/det²

H_e = beda tinggi permukaan air di kolam penampung dengan posisi elbow di atas turbin

$H_e = 118,5$ m, telah diketahui

Maka, $P_e = 1.000 \text{ kgm/m}^3 \cdot 9,8 \text{ m/det}^2 \cdot 118,5 \text{ m}$

$$P_e = 1.161.300 \text{ N/m}^2$$

Setelah besar tekanan yang bekerja pada elbow diketahui, selanjutnya dapat ditentukan tebal dan bahan elbow yang ideal yakni,

$$t_e = P_e \cdot r_p / P_i$$

Diketahui, t_e = tebal elbow = tebal pipa pesat mm

P_e = tekanan air dalam elbow

$$P_e = 1.161.300 \text{ N/m}^2$$

r_p = jari-jari dalam pipa pesat

$$r_p = 300 \text{ mm} / 2 = 150 \text{ mm}$$

P_i = tekanan kerja izin, untuk pipa pesat (elbow) dari bahan baja carbon roll konstruksi mesin JIS G 4501 lambang S 30 C yang memiliki kekuatan tekan 48.000 N/cm^2 , faktor koreksi untuk bahan baja carbon = 6 (Sularso, 1983), maka tekanan kerja izin adalah :

$$P_i = 48.000 \text{ N/cm}^2 / 6 = 8.000 \text{ N/cm}^2$$

Maka,

$$t_e = (116,3 \text{ kg/cm}^2 \cdot 15 \text{ cm}) / 8.000 \text{ N/cm}^2$$

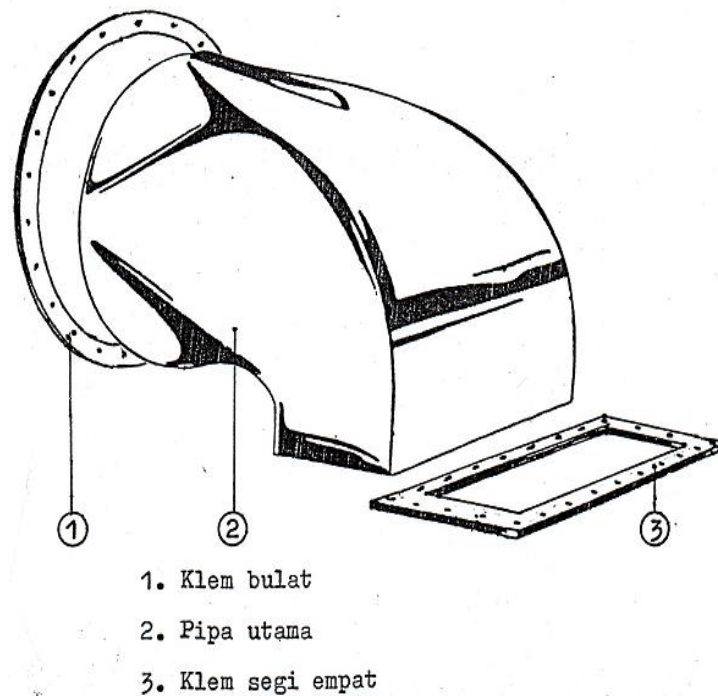
$$t_e = 0,22 \text{ cm} = 2,2 \text{ mm}$$

Berhubung pipa pesat/ elbow direncanakan dapat digunakan untuk puluhan tahun ke depan, maka direncanakan tebal pipa pesat/ elbow sebesar,

$$t_e = 3 \text{ mm}$$

6.4.2 Bahan dan Pembuatan Elbow

Elbow dibuat dari bahan yang sama dengan bahan untuk pipa pesat yaitu baja carbon roll tebal 4 mm. Untuk membuat sebuah elbow digunakan dua jenis bahan dasar yakni lembaran plat untuk membuat model pipanya dan baja strip untuk membuat flange penyambung yaitu dudukan dari baut-mur pengikat guna menghubungkan bagian pipa pesat yang satu dengan pipa pesat lainnya dan juga untuk menyambungkan elbow dengan turbin. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 22. Setelah ketiga elemen elbow itu dibuat, maka pekerjaan selanjutnya ialah merakitnya dengan menggunakan las listrik.



Gambar 22. Elemen Rakitan Elbow (Bachtiar, 1998)

6.4.3 Kavitasi.

Kavitasi adalah terjadinya gelembung uap air di dalam aliran air akibat tekanan di tempat tersebut sama atau lebih kecil dari tekanan uapnya. Gelembung-gelembung uap air tersebut akan bergerak terbawa arus aliran air, dan apabila gelembung tersebut sampai pada suatu tempat yang mempunyai tekanan melebihi tekanan uap tersebut, maka gelembung-gelembung uap air tersebut akan pecah yang akan menyebabkan timbulnya bunyi berisik dan getaran-getaran serta menimbulkan lubang-lubang kikisan pada bagian-bagian turbin seperti elbow, nozel, dan pada permukaan katup. *Kavitasi* yang besar atau berlebihan dapat juga mengakibatkan berkurangnya daya turbin sehingga effisiensinya akan berkurang. Untuk mencegah *kavitasi* tersebut dapat diusahakan dengan cara diantaranya : pembuatan konstruksi turbin secara umum diusahakan tidak terdapat belokan-belokan dalam bentuk yang tajam, permukaan elemen turbin yang licin/ halus juga akan mengurangi terjadinya kavitasi.

6.4.4 Tumbukan Air (*Water Hammer*).

Tumbukan air atau *water hammer* dapat terjadi di dalam pipa pesat, diantaranya disebabkan perubahan kecepatan aliran air secara tiba-tiba. Prosesnya ialah pada awalnya air mempunyai energi kinetik, tiba-tiba berubah menjadi energi potensial. Energi potensial itu langsung menekan dinding pipa pesat terutama bagian elbownya yang memungkinkan mengakibatkan deformasi yang dapat menimbulkan perubahan bentuk dan konstruksi pipa pesat/ elbow tersebut.

Water hammer dapat terjadi pada saat,

1. Bila beban turun mendadak, maka governor akan mengecilkan kapasitas aliran air yang masuk ke runner, akibatnya tekanan air dalam pipa pesat akan naik.
2. Bila katup ditutup mendadak karena sesuatu hal misalnya disebabkan kerusakan yang tiba-tiba pada turbin, maka aliran air dalam pipa pesat mengalami kejutan dan tumbukan.

Besar kecilnya tumbukan air yang terjadi dapat diketahui dari persamaan berikut (Sutarno, 1985),

$$P_w = V_g \cdot \Delta V / g$$

Diketahui, P_w = *water hammer* yang terjadi ft H₂O

V_g = kecepatan dari tekanan gelombang ft/det

ΔV = pengurangan kecepatan maksimum aliran air dalam pipa pesat ft/det

g = percepatan gravitasi bumi = 32,2 ft/det²

Sedangkan telah diketahui sebelumnya bahwa,

$$\Delta V = 2,55 \text{ m/det} = 8,36 \text{ ft/det},$$

Maka,

$$V_g = 4660 / (1 + D_p / 100 \cdot t_p)^{1/2} \text{ inchi/det}$$

Diketahui, D_p = diameter dalam pipa pesat

D_p = 30 cm = 12 inchi, telah diketahui

t_p = tebal pipa pesat

t_p = 4 mm = 0,16 inchi

Maka, $V_g = 4.660 / (1 + 12 / 100 \cdot 0,16)^{1/2}$

$$V_g = 46.660 / 1,175$$

$$V_g = 3.916 \text{ inchi/det} = 330,5 \text{ ft/det}$$

Sehingga didapat tekanan *water hammer* yang terjadi adalah,

$$P_w = (330,5 \cdot 8,36 / 32,2) \text{ ft. H}_2\text{O}$$

$$P_w = 85,8 \text{ ft H}_2\text{O}$$

$$P_w = 26 \text{ m H}_2\text{O}$$

Berhubung, 1 kg/cm² = 10,33 m H₂O, maka,

$$P_w = 2,6 \text{ kg/cm}^2$$

Ternyata tekanan akibat tumbukan air yang terjadi lebih kecil dari tekanan kerja yang diizinkan yaitu,

$$P_w < P_i$$

$$2,6 \text{ kg/cm}^2 < 800 \text{ kg/cm}^2$$

Dari hasil perhitungan di atas dapat disimpulkan bahwa pipa pesat aman terhadap *water hammer* yang mungkin terjadi.

Pelatihan

Sebagai penutup dan sekaligus untuk mengetahui sejauh mana pemahaman dan keterampilan anda terhadap pokok bahasan di atas, maka jawablah pertanyaan-pertanyaan berikut ini,

1. Jelaskan keterkaitan fungsi dari bendungan, kanal, bak penenang, saluran limbah, pipa pesat dan rumah pembangkit ?
2. Jelaskan variabel-variabel apa saja yang menjadi bahan pertimbangan dalam perencanaan bendungan, kanal, bak penenang, saluran limbah dan pipa pesat ?
3. Jelaskan apa fungsi elbow pada pipa pesat ?
4. Jelaskan apa yang dimaksud dengan *water hammer* ?
5. Jelaskan apa yang dimaksud dengan *kavitasi* ?
6. Kavitasi terjadi akibat munculnya uap air pada sistim aliran, dan uap air muncul akibat ada bagian air yang mendidih. Jelaskan mengapa air saat mengalir bisa mendidih ?
7. Sebutkan elemen-elemen rakitan elbow dan terangkan proses perakitan elbow tersebut ?
8. Jelaskan apa yang dimaksud dengan tekanan air dan tekanan kerja izin dari bahan elbow ?

BAB VII

PERENCANAAN DAN PEMBUATANAN KOMPONEN PENGGERAK MULA

Penggerak mula atau *prime mover* adalah komponen PLTMH yang sangat penting karena diantara komponen penggerak mula ini terdapat *runner* sebagai elemen bergerak yang membangkitkan daya dan putaran yang cukup besar, sehingga beban kerja penggerak mula sangat berat dibanding komponen-komponen PLTMH lainnya. Dengan demikian perencanaan penggerak mula harus mempertimbangkan banyak aspek dan melibatkan banyak formula yang tepat. Yang termasuk komponen penggerak mula turbin ialah nozel, katup, *runner*, poros *runner*, tutup turbin dan rangka pondasi. Pada bab berikut ini akan dijelaskan proses perencanaan dan pembuatan komponen-komponen penggerak mula tersebut.

Diharapkan setelah mempelajari uraian perencanaan dan pembuatan komponen penggerak mula ini, pembaca mampu,

1. Memahami dengan baik fungsi dan karakteristik dari komponen-komponen penggerak mula mulai dari nozel sampai ke rangka pondasi turbin
2. Memahami dengan baik bahan yang dibutuhkan untuk pembuatan nozel, katup, rumah turbin, *runner*, tutup turbin, dan rangka pondasi turbin.
3. Memahami dengan baik tahapan-tahapan pada proses perencanaan nozel, katup, rumah turbin, *runner*, tutup turbin, dan rangka pondasi turbin.
4. Memahami dengan baik elemen-elemen rakitan dari masing-masing nozel, katup, rumah turbin, *runner*, tutup turbin, dan rangka pondasi turbin.
5. Memahami dengan baik tahapan proses pembuatan nozel, katup, rumah turbin, *runner*, tutup turbin, dan rangka pondasi turbin.

7.1 Nozel

Nozel adalah komponen penggerak mula yang berfungsi untuk meningkatkan kecepatan air yang akan masuk ke *runner*. Disamping itu nozel berfungsi juga untuk mengarahkan semburan air agar energi kecepatan air benar-benar dimanfaatkan dan tak ada energi kecepatan air yang hilang. Untuk itu nozel didesign sedemikian rupa agar dapat berfungsi secara optimal. Komponen turbin yang terkait erat dengan perencanaan nozel ialah katup beserta porosnya. Katup terpasang di dalam nozel dan porosnya menembus dinding nozel sehingga perencanaan katup nantinya harus disesuaikan dengan hasil perencanaan nozel. Gambar 23. akan memperlihatkan bagaimana keterkaitan perencanaan nozel dengan katup.

7.1.1 Ukuran Nozel

Untuk memudahkan pemahaman terhadap uraian berikut ini, perhatikan gambar 23. gambar perspektif nozel. Penampang segi empat A-A' – B'-B merupakan mulut masuk air ke dalam nozel. Ukuran penampang segi empat ini sama dengan ukuran penampang lubang keluar dari elbow, kedua penampang ini nantinya akan menyatu dengan sambungan baut-mur, dengan demikian maka,

$$\text{Panjang A - A}' = l_n = 0,38 \text{ m}$$

$$\text{Lebar A - B} = b_n = 0,19 \text{ m}$$

Sedangkan penampang C-C' – D'D merupakan penampang keluar dari nozel, ukuran penampang ini adalah,

$$\text{Panjang C-C}' = \text{D-D}' = 0,38 \text{ m}$$

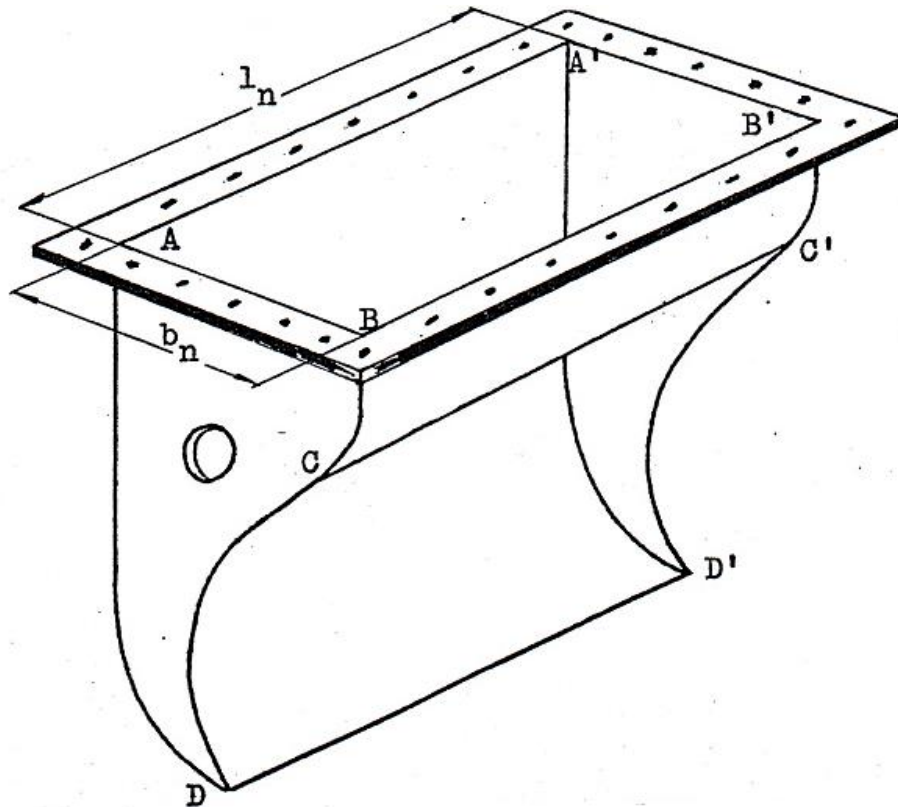
Busur C-D atau C'-D' merupakan keliling busur pemasukan air ke dalam *runner*, ukuran busur ini dapat dijelaskan pada uraian berikut nanti.

Gambar 24. menjelaskan penampang samping dari nozel serta posisi kedua katup yang terpasang didalamnya. Busur C-D adalah busur lubang air keluar dari nozel dan ϕ adalah sudut dari busur yang dimaksud. Besarnya sudut ϕ berkisar antara 90° sampai 120° (Haimerl, 1960). Untuk turbin ini direncanakan,

$$\phi = 115^\circ$$

$$\phi = 115^\circ / 180^\circ \cdot \pi \text{ radian}$$

$$\phi = 0,635 \cdot \pi \text{ radian}$$



Gambar 23. Nozel (Bachtiar, 1998)

b_1 dan b_2 masing-masing adalah lebar laluan air antara dinding nozel dengan katup pada posisi katup tertutup penuh. Lebar b_1 dan b_2 ini masing-masing dapat diketahi melalui persamaan berikut,

$$Q = (b_1 + b_2) l_n \cdot V_{dn}$$

$$b_1 + b_2 = Q / l_n \cdot V_{dn}$$

Diketahui, Q = debit air yang keluar dari nozel

$Q = 0,18 \text{ m}^3/\text{det}$, telah diketahui

l_n = panjang penampang masuk nozel

$l_n = 0,38 \text{ m}$, telah diketahui

V_{dn} = kecepatan air saat melalui celah b_1 atau b_2 pada saat posisi katup terbuka penuh,

dalam hal ini direncanakan : $V_{dn} = 6 \text{ m/det}$

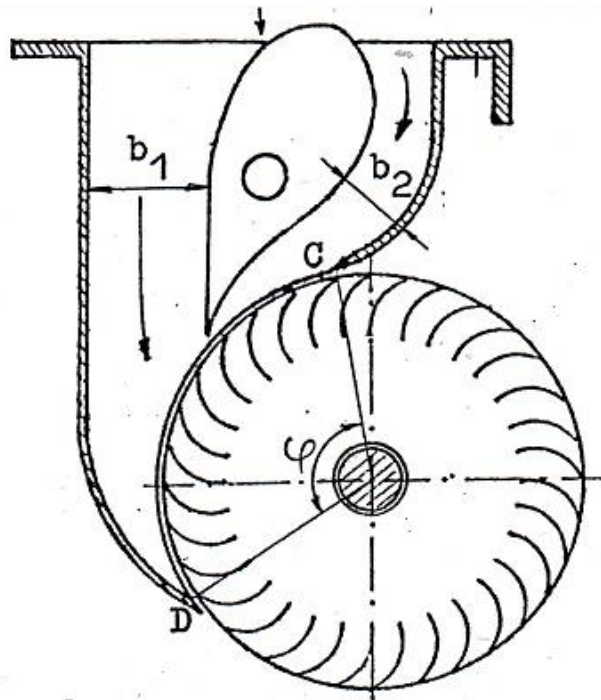
Maka, $b_1 + b_2 = 0,18 \text{ m}^3/\text{det} / 0,38 \text{ m} \cdot 6,0 \text{ m/det}$

$$b_1 + b_2 = 0,08 \text{ m}$$

Lebar laluan b_1 dan b_2 direncanakan tidak sama, yakni,

$$b_1 = 0,05 \text{ m} = 5 \text{ cm}$$

$$b_2 = 0,03 \text{ m} = 3 \text{ cm}$$

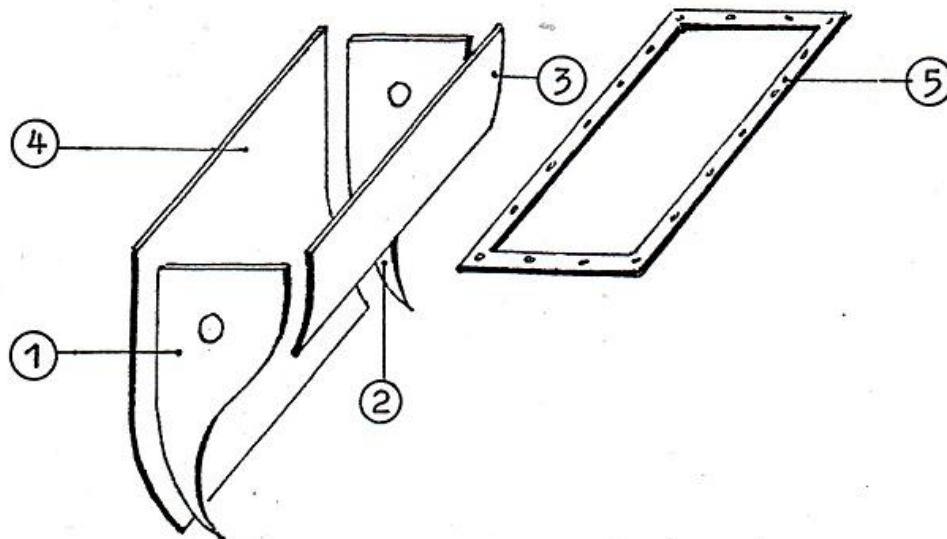


Gambar 24. Penampang Samping Nozel (Bachtiar, 1998)

7.1.2 Bahan dan Pembuatan Nozel.

Nozel direncanakan dibuat dari bahan plat baja carbon konstruksi mesin JIS G 4501 : S 40 C (Sularso, 1983) tebal 3 mm. Sebelum dirakit, nozel terdiri dari lima komponen berbentuk plat yang masing-masing memiliki ukuran panjang, lebar dan kelengkungan spesifik yang dibuat sedemikian rupa. Kelima komponen yang dimaksud itu ialah : komponen 1 dan 2 adalah dinding pinggir nozel sedang komponen 3 dan 4 masing-masing adalah dinding depan dan belakang nozel dan komponen 5 adalah klem penyambung.

Untuk melengkungkan bahan dasar plat menjadi komponen-komponen seperti pada Gambar 24. dapat dikerjakan dengan cara diroll dan dapat pula dengan cara dipukul merata. Kelima elemen nozel tersebut selanjutnya dirakit menggunakan las listrik, ketelitian selama perakitan harus diperhatikan guna mendapatkan konstruksi *nozel* yang presisi dan simetris. Syarat produksi demikian sangat penting sebab hasil perakitan yang tidak akurat akan mempersulit pemasangan dan akan mempengaruhi posisi komponen turbin lainnya.

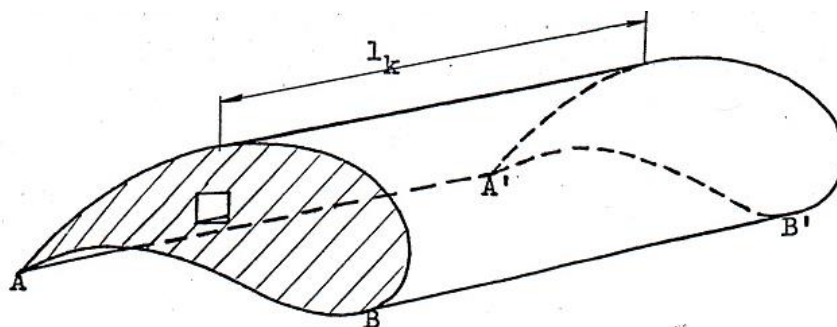


Gambar 25. Elemen Rakitan Nozel (Bachtiar,1998)

7.2 Katup.

Katup pada *Turbin Cross Flow* berfungsi untuk mengatur debit air yang masuk ke *runner* dan sekaligus berfungsi sebagai rem yakni memperlambat atau menghentikan sama sekali kerja turbin dengan cara merubah posisi katup melalui perantaraan regulator yang dioperasikan secara manual.

Katup ini penampang depannya menyerupai segi empat, tetapi penampang sampingnya mendekati bentuk lonjong yang salah satu ujungnya dibuat tirus. Konstruksi seperti ini berguna agar katup tidak menjadi penghalang terhadap aliran air yang akan masuk ke runner, dan untuk itu pula permukaan katup dibuat serata dan sehalus mungkin. Agar pada saat posisi menutup penuh katup tidak mengalami kebocoran, maka sepanjang jalur A-A' dan B-B' dibuat serata mungkin agar kedua permukaan jalur benar-benar merapat ke dinding nozel.



Gambar 26. Katup (Bachtiar,1998)

Pada kedua dinding samping nozel terdapat lubang segi empat tempat poros katup terpasang di dalamnya. Bagian poros yang tepat terpasang di posisi lubang segiempat tersebut berpenampang segi empat pula, hal ini berguna agar poros dapat berfungsi sebagai pasak. Untuk memperkuat

sambungan katup dengan poros, pada bagian atas lubang segi empat dibuat lubang berulir yang menembus poros segiempat, pada lubang berulir tersebut dipasang baut pasak yang menembus poros yang ada di dalamnya. Kedua ujung poros masing-masing dihubungkan ke *regulator* dan *governor*.

7.2.1 Ukuran Katup

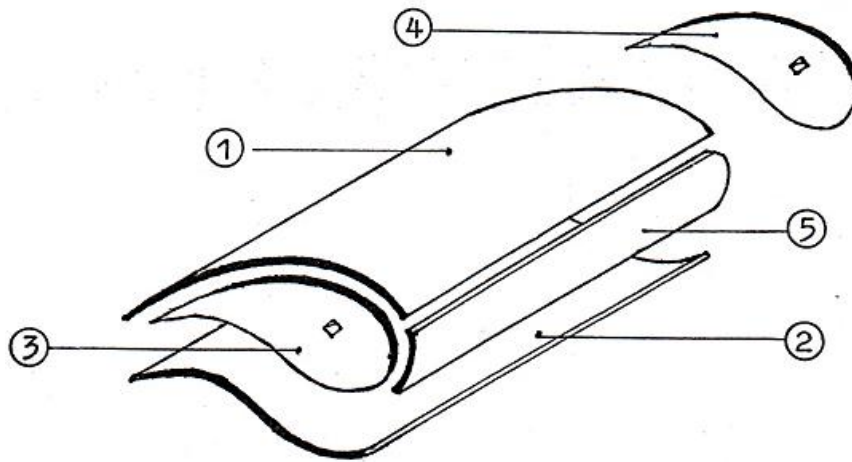
Karena katup terpasang di dalam nozel, maka panjang katup(l_k) lebih pendek sekitar 5 mm dibanding panjang nozel yaitu,

$$l_k = 0,38 \text{ m} - 0,005 \text{ m}$$

$$l_k = 0,375 \text{ m} = 37,5 \text{ cm}$$

7.2.2 Bahan dan Pembuatan Katup.

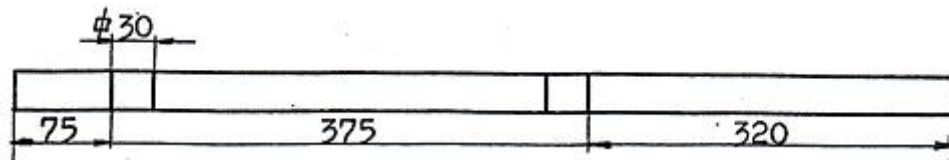
Katup dibuat dari plat baja carbon konstruksi mesin G 4501 tebal 3 mm, kecuali untuk kedua dinding sampingnya yang berbentuk lonjong dibuat dari plat baja tebal 10 mm. Konstruksi seperti ini diharapkan mampu menerima tekanan air dan dapat bertahan dari keausan akibat gesekan. Ada lima komponen pada proses perakitan katup, pada awalnya ada beberapa komponen tersebut yang harus dilengkungkan dengan busur yang spesifik. Kelima komponen tersebut ialah : komponen 1 dan 2 masing-masing adalah lapisan /penutup atas dan bawah dari katup, sedang komponen 3 dan 4 masing-masing adalah dinding samping kiri dan kanan katup dan komponen 5 adalah punggung katup. Pada komponen 3 dan 4 dibuat lubang segiempat yang merupakan lubang masuk dari poros katup, pada saat terpasang pada lubang ini penampang porosnya dibuat segi empat pula. Untuk mendapatkan komponen-komponen dengan bentuk dan kelengkungan yang spesifik seperti itu, dapat dilakukan dengan cara diroll atau dipukul merata, yang diutamakan di sini ialah ketekunan, ketabahan dan kesabaran. Apabila kelima elemen tersebut telah selesai dibentuk, maka pekerjaan selanjutnya ialah merakitnya menjadi satu komponen turbin yaitu katup. Perakitan dilakukan dengan las listrik dan untuk meratakan dan melicinkan permukaan katup dapat diratakan dengan gerinda tangan, dikikir dan diampelas.



Gambar 27. Komponen Rakitan Katup (Bachtiar, 1998)

7.2.3 Ukuran poros Katup.

Untuk memudahkan pemasangan katup ke dalam nozel, maka poros katup dipasang tidak tetap artinya poros dapat dilepas dari katup. Agar poros ini dapat menggerakkan katup maka pada bagian tertentu dekat ujung poros penampangnya dibuat segi empat yang berfungsi sebagai pasak. Dan untuk menguatkan kerja dari poros agar lebih sejiwa dengan katup, maka dipasang dua buah baut pasak sebagai pengikat. Diameter rata-rata dari poros direncanakan 3 cm dan ukuran penampang segiempat dari poros itu adalah 3 cm x 3 cm dan panjang poros sekitar 77 cm.



Gambar 28. Poros Katup

7.2.4 Bahan dan Pembuatan Poros Katup.

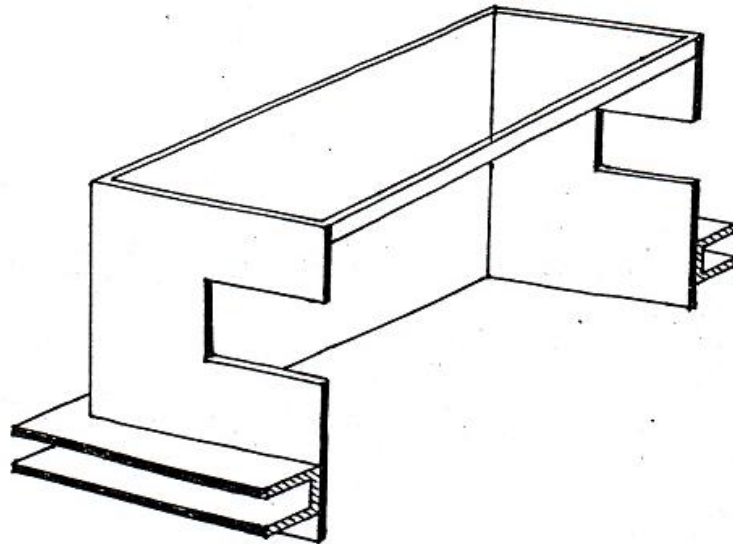
Poros katup dibuat dari bahan poros diameter 3,5 cm dari jenis baja difinis dingin dengan lambang S 45 CD. Di pasaran untuk mendapatkan poros yang kuat dan dapat diproses mesin tidak terlalu sulit, karena bisa memanfaatkan poros-poros bekas permesinan. Proses pembuatan poros ini dilakukan dengan cara dibubut.

7.3 Rumah Turbin.

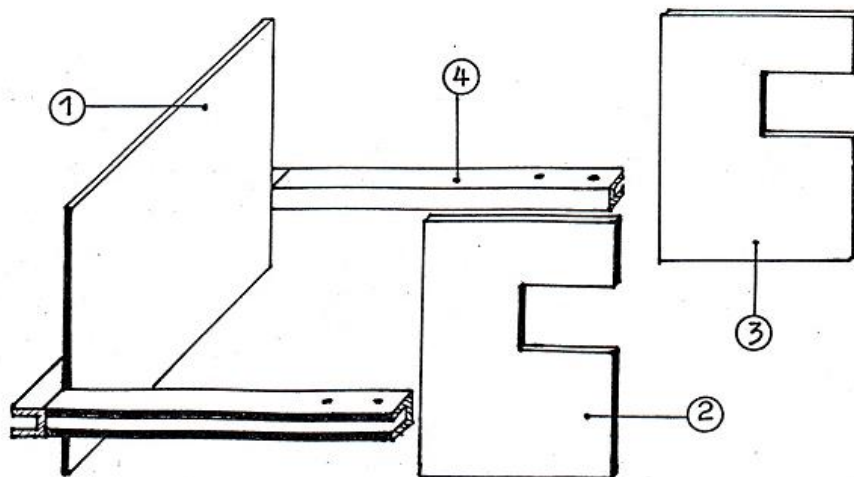
Sesuai dengan namanya, maka rumah turbin berfungsi untuk melindungi, mengamankan elemen-elemen turbin yang bergerak, disamping itu juga berfungsi untuk mendukung konstruksi turbin secara keseluruhan sehingga bangunan turbin menjadi kuat dan kokoh. Di dalam rumah turbin ini nantinya akan terpasang nozel dan katup, maka dari itu ukuran penampang segi empat dari rumah turbin sedikit lebih besar dibanding panjang dan lebar penampang masuk dari nozel.

Seperti juga pada pembuatan komponen turbin lainnya yang telah dapat menentukan jenis bahan yang digunakan, maka untuk rumah turbin, jenis bahan yang digunakan adalah plat baja carbon konstruksi mesin JIS G 4501 lambang S 25 C tebal 5 mm.

Sebelum dirakit rumah turbin ini terdiri dari empat komponen yaitu : komponen 1, 2, 3, 4 masing-masing adalah dinding utama, dinding kiri, dinding kanan dan rangka. Rangka dibuat dari bahan baja profil (50 x 38 x 5) mm, perakitan keempat komponen tersebut dilakukan dengan las listrik. Gambar 29 menjelaskan konstruksi rumah turbin yang dimaksud.



Gambar 29. Rumah Turbin (Bachtiar, 1998)

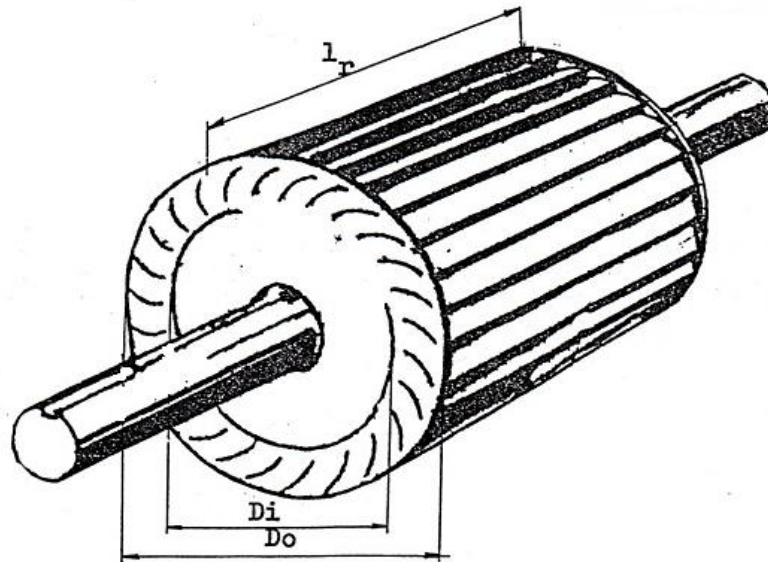


Gambar 30. Komponen Rakitan Rumah Turbin (Bachtiar, 1998)

7.4 Runner.

Runner Turbin Cross Flow terdiri dari tiga macam komponen yaitu disk/ piringan (disk kiri dan disk kanan), sudu-sudu dan poros. Setelah dirakit, *runner Turbin Cross Flow* berbentuk

sebuah tabung (*drum shape*) yang di sekelilingnya dipasang sejumlah sudu-sudu. Sudu-sudu tersebut berbentuk segi empat yang bagian lebarnya dilengkungkan dengan sudut busur tertentu. Kedua ujung sudu-sudu ini melekat pada disk kiri dan kanan yang disambung dengan konstruksi las, demikian juga hubungan antara poros dengan disk disambungkan dengan konstruksi las. Gambar 31. memperlihatkan konstruksi runner secara utuh.



Gambar 31. *Runner* (Bachtiar, 1998)

7.4.1 Ukuran *Runner*.

Telah direncanakan sebelumnya bahwa diameter luar *runner* $D_o = 0,25$ m, direncanakan perbandingan diameter dalam dan diameter luar adalah $D_i/D_o = 2/3$, hal ini sesuai dengan perencanaan Pabrik Turbin *Ossberger* yang merumuskan bahwa dengan perbandingan diameter seperti di atas akan didapatkan efisiensi turbin terbesar (Haimerl, 1960), dengan demikian maka,

$$D_i = 2/3 \cdot 0,25 \text{ m}$$

$$D_i = 0,16 \text{ m} = 16 \text{ cm}$$

Sementara panjang runner direncanakan sama dengan panjang penampang masuk dari nozel yaitu,

$$L_r = l_n = 0,38 \text{ m} = 38 \text{ cm}$$

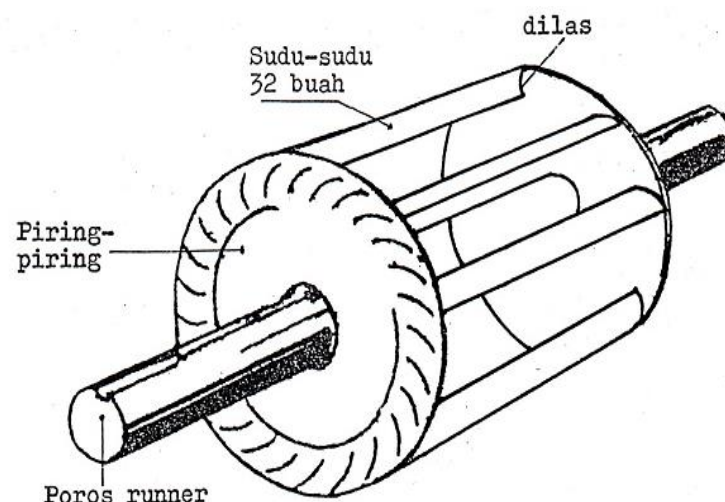
Dengan demikian perbandingan panjang *runner* dengan diameter luar *runner* adalah,

$$L_r/D_o = 0,38 \text{ m} / 0,25 \text{ m} = 1,52$$

Sedangkan perbandingan L_r/D_o yang dianjurkan maksimal sampai 3,5 (Haimerl, 1960), maka untuk kasus ini masih dalam batas-batas toleransi.

7.4.2 Bahan dan Pembuatan Runner.

Untuk membuat sebuah *runner*, ada dua macam komponen yang terlebih dahulu harus disiapkan yaitu disk dan sudu-sudu. Disk yang dibutuhkan berjumlah dua buah yang dibuat dari plat baja carbon konstruksi mesin JIS G 4501 lambang S 45 C tebal 10 mm dibentuk menggunakan mesin las potong.. Diameter luar piringan tersebut 25 cm dan di tengah-tengahnya dibuat lubang berdiameter 50 mm yang merupakan lubang masuk dari poros runner. Sedangkan sudu-sudu dibuat dari plat baja mutu tinggi seperti S 50 C yang diharapkan mampu dan tahan menerima tekanan-tekanan air. Plat bahan sudu tadi tebalnya sekitar 3 mm tetapi sisi dari kedua tepi panjangnya dibuat lonjong yang berguna untuk mengurangi rugi-rugi tahanan dan untuk memperlancar kerja air masuk ke dalam/ keluar runner. Plat sudu tadi kemudian dilengkungkan sesuai dengan busur sudu yang telah direncanakan. Untuk memudahkan pengerjaan, dapat juga sudu-sudu tadi dibuat dari pipa baja tebal 3 mm berdiameter dalam 90 mm dari bahan baja mutu tinggi (sesuai dengan hasil perencanaan busur sudu seperti yang akan dijelaskan pada bab uji efisiensi sudut masuk $\theta = 15^\circ$). Hal ini di pasaran tidak sulit untuk mendapatkannya, dengan melihat kondisi warna, ketahanan karatnya, permukaan yang licin, maka dengan gejala-gejala seperti itu kita akan mendapatkan bahan yang berkualitas. Pipa tersebut setelah dipotong sesuai dengan panjang runner yang direncanakan, lalu dibelah menggunakan las potong menjadi beberapa bagian bahan sudu. Jumlah sudu-sudu yang diperlukan berjumlah 32 buah sesuai dengan sudu-sudu yang dipakai untuk *Turbin Cross-Flow* tipe T_3 yaitu *Turbin Cross-Flow* putaran cepat (Meier, 1981). Pekerjaan selanjutnya adalah merakit elemen-elemen itu menjadi sebuah runner menggunakan las listrik, prosesnya adalah piring-piring dipasang di kiri dan kanan pada sebuah poros pembantu, kemudian sudu-sudu dipasang diantara keduanya dengan posisi kemiringan yang tepat. Untuk sementara penyambungan sudu dengan piringan sekedar untuk memosisikan seluruh sudu pada piringan, jadi tidak terlalu kuat. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat Gambar 32. berikut ini.



Gambar 32. Proses Merakit *Runner* (Bachtiar, 1998)

7.5 Poros *Runner*.

Poros *runner* berfungsi untuk memindahkan daya dan putaran yang dihasilkan turbin ke generator dengan bantuan sistem transmisi kopling flens luwes. Data awal yang harus diketahui sebelum perencanaan poros adalah jenis dan besar pembebanan yang dialami poros, diantaranya harus dipertimbangkan terhadap kecepatan liar yang mungkin terjadi. Sedangkan untuk menentukan panjang poros harus disesuaikan dengan konstruksi turbin secara umum yakni poros ini nantinya akan terpasang di dalam rumah turbin dan pada poros ini pula akan terpasang *runner*, bantalan/*bearing* dan puli.

Jenis-jenis pembebanan yang terjadi pada poros diantaranya,

1. Momen Puntir.

Besar momen puntir (T) yang bekerja pada poros dapat diketahui dari persamaan berikut,

$$T = 9,74 \cdot 10^5 \cdot N_t / n_l \text{ kgf.mm}$$

Diketahui, N_t = daya turbin teoritis

$$N_t = 141,2 \text{ kW}$$

n_l = kecepatan liar *runner*, yaitu *runner* berputar melebihi kecepatan normal misalnya akibat *governor* tidak berfungsi dengan baik sehingga tidak terjadi pengurangan debit air masuk turbin padahal saat itu terjadi pengurangan beban.

Perencanaan poros *runner* harus memperhitungkan terhadap kecepatan liar yang mungkin terjadi, pada umumnya kecepatan liar untuk turbin berkisar antara nilai-nilai seperti dijelaskan Tabel 8.

Tabel 8. Persentase Kecepatan Liar Turbin Air (Jagdish, 1975)

No	Jenis Turbin	Kecepatan liar (% Kecepatan Kerja)
1.	<i>Impuls</i>	200
2.	<i>Kaplan</i>	250 - 300
3.	<i>Francis</i>	200

Berhubung *Turbin Cross Flow* termasuk turbin impuls, maka dalam kasus ini kecepatan liar yang terjadi adalah,

$$n_l = 200\% \cdot n$$

$$n_l = 200\% \cdot 1.500 \text{ rpm}$$

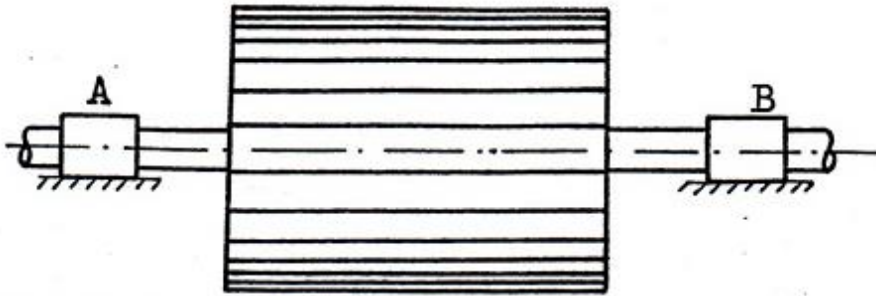
$$n_l = 3.000 \text{ rpm}$$

Maka, $T = 9,74 \cdot 10^5 \cdot 141,74 / 3.000$

$$T = 45.843 \text{ kgf.mm}$$

2. Momen Lentur.

Momen lentur terjadi pada poros akibat beberapa gaya aksi yang bekerja pada runner, sistim pembebanan yang beroperasi seperti dijelaskan pada Gambar 34.



Gambar 33. Pembebanan Pada Bantalan (Bachtiar, 1998)

Gaya-gaya yang bekerja pada bantalan ialah,

a) Gaya akibat berat poros itu sendiri = W_p

Direncanakan panjang poros *runner* 77 cm berdiameter rata-rata 5,0 cm, maka berat poros dapat diketahui yaitu,

$$W_p = 0,785 \cdot (0,05 \text{ m})^2 \cdot 0,77 \text{ m} \cdot \gamma_p$$

γ_p = rapat berat poros dari bahan baja carbon = 7800 kgf/m³

Maka, $W_p = 0,00147 \cdot 7800 \text{ kgf}$

$$W_p = 12 \text{ kgf}$$

b) Gaya akibat berat *runner* = W_r

Dalam hal ini diasumsikan berat *runner* = $W_r = 25 \text{ kgf}$

c) Gaya akibat tumbukan air saat air mulai masuk ke dalam *runner* = W_a

$$W_a = Q \cdot V_n$$

V_n = kecepatan air keluar dari nozel atau sama dengan kecepatan air masuk *runner* (V_r) yaitu :

$V_n = 38,6 \text{ m/det}$, telah diketahui

Q = debit air masuk *runner* = $0,18 \text{ m}^3/\text{det}$

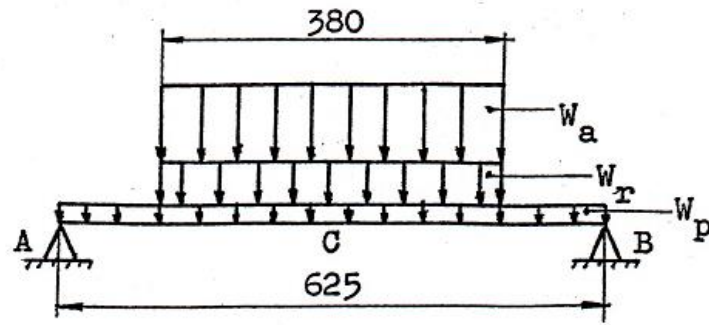
$Q = 180 \text{ kgm/det}$, telah diketahui,

Maka, $W_a = 180 \text{ kgm/det} \cdot 38,6 \text{ m/det}$

$$W_a = 6.984 \text{ kgm} \cdot \text{m/det}^2 = 6.950 \text{ Newton}$$

$$W_a = 695 \text{ kgf}$$

Gaya-gaya yang membebani bantalan dapat disederhanakan seperti dijelaskan pada gambar 34, gaya-gaya yang beroperasi dianggap sebagai beban terbagi rata.



Gambar 34. Pembebanan Bantalan yang Disederhanakan (Bachtiar, 1998)

Langkah awal untuk menentukan momen lentur adalah tentukan gaya reaksi bantalan A dan B, yakni,

$$\sum M_A = 0$$

$$R_B \cdot 0,625 - W_p \cdot 0,625/2 - W_r \cdot 0,625/2 - W_a \cdot 0,625/2 = 0$$

$$R_B = (12 \cdot 0,31 + 25 \cdot 0,31 + 695 \cdot 0,31) \text{ kgf} \cdot \text{m} / 0,625 \text{ m}$$

$$R_B = 363,2 \text{ kgf}$$

Dalam kasus ini, $R_A = R_B$

$$R_A = 363,2 \text{ kgf}$$

Selanjutnya momen lentur maksimum yang terjadi pada poros akan dapat diketahui yaitu,

$$\text{a) } M_A = 0$$

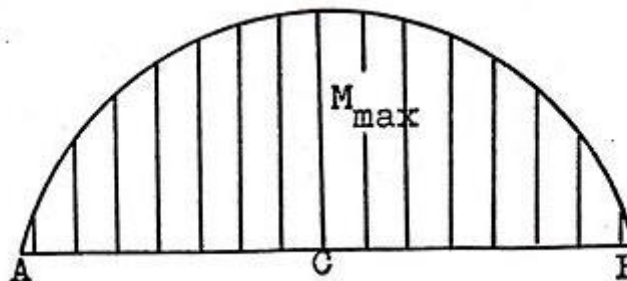
$$\text{b) } M_C = (R_A \cdot 0,62/2) - (W_p/2 \cdot 0,38/2) - (W_r/2 \cdot 0,38/2) - (W_a/2 \cdot 0,38/2)$$

$$M_C = (113,5 - 1,14 - 2,38 - 72) \text{ kgf} \cdot \text{m}$$

$$M_C = 38 \text{ kgf} \cdot \text{m}$$

$$\text{c) } M_B = 0$$

Ternyata momen lentur maksimum terpusat di tengah-tengah poros, maka diagram momen lenturnya dapat digambarkan sebagai berikut,



Gambar 35. Diagram Momen Lentur Poros Runner (Bachtiar, 1998)

Setelah momen lentur maksimum diketahui yakni $M_C = 38 \text{ kgf} \cdot \text{m}$, maka dengan memasukkannya ke persamaan berikut ini diameter poros runner dapat diketahui yakni (Sularso, 1983).

$$d_p \geq \{ 5,1 / \sigma_{gi} \cdot \{ (k_m \cdot M)^2 + (k_t \cdot T)^2 \}^{1/2} \}^{1/3}$$

diketahui, d_p = diameter poros runner

σ_{gi} = tegangan geser yang diizinkan , tergantung pada bahan poros yang digunakan

k_m = faktor koreksi lenturan = 1,5 - 2,0 (Sularso, 1983)

k_m = 1,5 , diasumsikan

k_t = faktor koreksi puntiran = 1,5 - 3,0 (Sularso, 1983)

k_t = 1,5 , diasumsikan

T = momen puntir pada poros

T = 45.843 kgf.m, telah diketahui

M = momen lentur maksimum

M = M_c = 38.000 kgf.mm, telah diketahui

Bahan poros runner dipilih dari batang baja yang difinis dingin dengan lambang S 55 C-D dengan kekuatan tarik $\sigma_t = 72 \text{ kgf/mm}^2$, maka tegangan geser yang diizinkan adalah (Sularso, 1983).

$$\sigma_{gi} = \sigma_t / S_{f1} \cdot S_{f2}$$

Diketahui, S_{f1} = faktor keamanan untuk baja carbon

$S_{f1} = 6,0$, (Sularso, 1983)

S_{f2} = faktor koreksi poros yang diberi alur pasak

$S_{f2} = 1,3 - 3,0$, (Sularso, 1983)

$S_{f2} = 1,3$ (diasumsikan)

Maka, $\sigma_{gi} = 72 \text{ kgf/mm}^2 / 6,0 \cdot 1,3$.

$$\sigma_{gi} = 9,2 \text{ kgf/mm}^2$$

Selanjutnya persamaan untuk mencari diameter poros adalah,

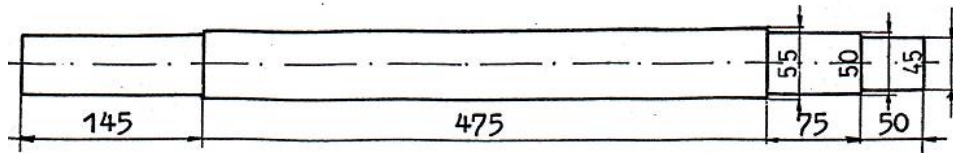
$$d_p \geq \{ 5,1 / 9,2 \cdot \{ (1,5 \cdot 38.000)^2 + (1,5 \cdot 45.843)^2 \}^{1/2} \}^{1/3} \text{ mm}$$

$$d_p \geq \{ 0,55 \cdot (3.249.000.000 + 4.728.550.000)^{1/2} \}^{1/3} \text{ mm}$$

$$d_p \geq \{ 49.513 \}^{1/3} \text{ mm}$$

$$d_p \geq 37 \text{ mm}$$

Dalam perencanaan ini diasumsikan diameter poros terbesar adalah 55 mm, diameter poros yang menumpu ke bantalan adalah 50 mm dan diameter poros yang masuk ke lubang kopling adalah 45 mm, dengan demikian poros aman dapat terhindar dari resiko-resiko yang mungkin terjadi. Untuk lebih jelasnya bagaimana konstruksi dari poros runner yang direncanakan, dapat dilihat pada gambar 36.



Gambar 36. Ukuran Poros Runner (Bachtiar, 1998)

7.6 Tutup Turbin.

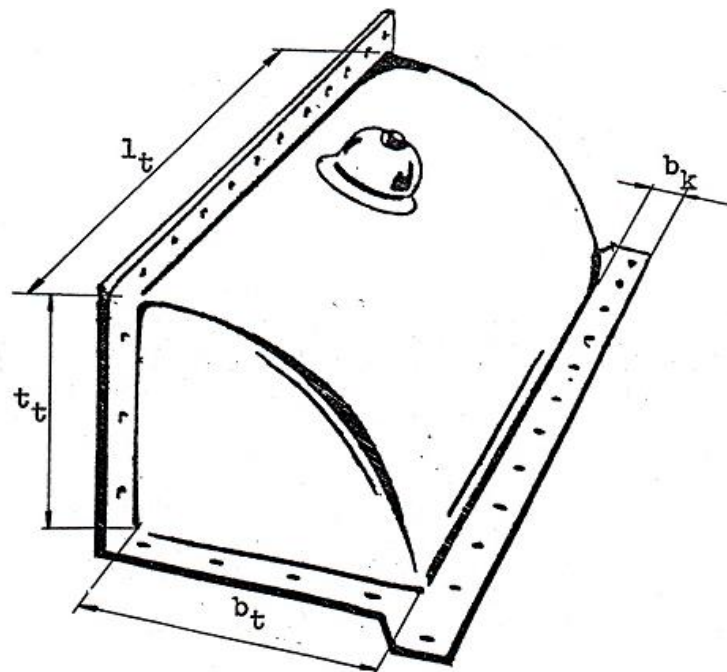
Tutup turbin berfungsi sebagai pelindung agar air tidak berhamburan keluar dan juga berfungsi sebagai pengaman proses kerja *runner* dari kemungkinan gangguan dari luar. Ukuran panjang, lebar dan tinggi tutup turbin disesuaikan dengan konstruksi rumah turbin yang telah ada yakni,

l_t = panjang = 40 cm,

t_t = tinggi = 40 cm,

b_t = lebar = 40 cm

b_k = lebar klem = 4,0 cm.



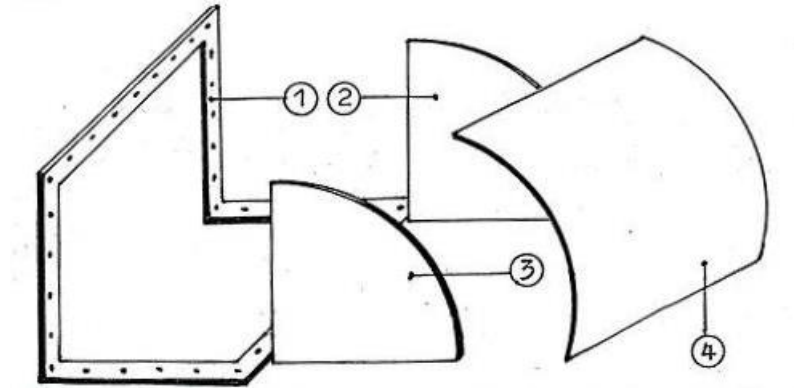
Gambar 37. Tutup Turbin (Bachtiar, 1998)

Tutup turbin dibuat dari plat baja carbon konstruksi mesin JIS G 4501 lambang S 25 C tebal 3 mm kecuali klemnya dibuat dari baja strip lebar 40 mm. Tutup turbin terdiri dari empat komponen, yaitu,

komponen 1 : klem sambungan

- komponen 2 : dinding samping kanan tutup turbin,
- komponen 3 : dinding samping kiri tutup turbin
- komponen 4 : selimut tutup turbin

Perakitan keempat komponen dilakukan menggunakan mesin las listrik.



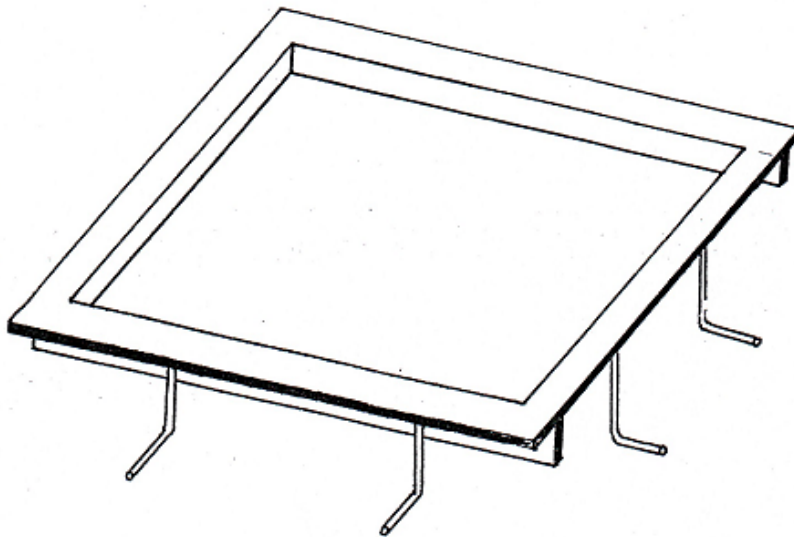
Gambar 38. Komponen Rakitan Tutup Turbin (Bachtiar, 1998)

7.7 Rangka Pondasi Turbin

Rangka pondasi turbin berfungsi sebagai dasar pijakan dari turbin secara keseluruhan. Turbin dipasang di atas rangka pondasi tersebut dengan sambungan baut-mur yang bisa diatur kekencangannya sesuai dengan kerataan dan simetris tidaknya sistem turbin. Dengan demikian perubahan posisi maupun pembongkaran turbin menjadi lebih mudah tanpa harus merubah posisi pipa pesat yang dipasang permanen. Demikian juga rangka pondasi generator yang dipasang terpisah dari generator, hal ini berguna untuk memudahkan pemasangan dan pembongkaran generator nantinya.

Baik rangka pondasi turbin maupun rangka pondasi generator sama-sama dipasang permanen dilantai rumah pembangkit melalui coran semen bertulang.

Rangka pondasi dibuat dari baja siku 50 x 50 x 5 mm dan dirakit menggunakan las listrik. Gambar 39. menjelaskan konstruksi rangka pondasi turbin yang dimaksud



Gambar 39. Rangka Pondasi Turbin (Bachtiar, 1998)

Perlatihan

Sebagai penutup dan sekaligus untuk mengetahui sejauh mana pemahaman dan keterampilan anda terhadap pokok bahasan di atas, maka jawablah pertanyaan-pertanyaan berikut ini,

1. Jelaskan fungsi dan karakteristik dari komponen-komponen penggerak mula mulai dari nozel sampai ke rangka pondasi turbin
2. Jelaskan bahan yang dibutuhkan untuk pembuatan nozel, katup, rumah turbin, *runner*, tutup turbin, dan rangka pondasi turbin.
3. Jelaskan tahapan-tahapan pada proses perencanaan nozel, katup, rumah turbin, *runner*, tutup turbin, dan rangka pondasi turbin.
4. Jelaskan elemen-elemen rakitan dari masing-masing nozel, katup, rumah turbin, *runner*, tutup turbin, dan rangka pondasi turbin.
5. Jelaskan tahapan proses pembuatan nozel, katup, rumah turbin, *runner*, tutup turbin, dan rangka pondasi turbin.
6. Jelaskan apa yang dimaksud dengan momen puntir dan momen lentur dan jelaskan perbedaan diantara keduanya ?
7. Jelaskan apa yang dimaksud dengan faktor koreksi dan faktor keamanan dan jelaskan perbedaan diantara keduanya ?
8. Diantara poros dan pasak, manakah diantara kedua pasangan tersebut yang bahan dasarnya harus lebih kuat, jelaskan mengapa demikian ?
9. Jelaskan macam-macam pasak yang anda kenal ?
10. Jelaskan penggunaan dari masing – masing pasak tersebut pada sistem permesinan ?

BAB VIII

PERENCANAAN dan PEMBUATAN SISTEM KONTROL MEKANIS dan SISTEM TRANSMISI DAYA

Yang termasuk komponen sistem kontrol mekanis dari penggerak mula *Turbin Cross Flow* ialah *regulator* dan *governor*, sedang sistem transmisi daya yang dimaksud ialah sistem pemindah daya dan putaran dari turbin ke generator menggunakan kopling flens. Berikut proses perencanaan dan pembuatan komponen-komponen tersebut.

Diharapkan setelah mempelajari bab berikut tentang sistem kontrol mekanis dan sistem transmisi daya, pembaca akan mampu,

1. Memahami dengan baik tentang begitu strategisnya peran sistem kontrol mekanik dan sistem transmisi daya di dalam menentukan keamanan dan prestasi kerja PLTMH.
2. Memahami dengan baik fungsi, cara kerja dan karakteristik dari *regulator*, *governor* dan sistem transmisi daya.
3. Memahami dengan baik bahan-bahan yang dibutuhkan untuk pembuatan *regulator*, *governor* dan sistem transmisi daya
4. Memahami dengan baik tahapan-tahapan pada proses perencanaan *regulator*, *governor* dan sistem transmisi daya
5. Memahami dengan baik elemen-elemen rakitan dari masing-masing *regulator*, *governor* dan sistem transmisi daya.
6. Memahami dengan baik tahapan proses pembuatan *regulator*, *governor* dan sistem transmisi daya.

8.1 Regulator.

Pada saat akan mengoperasikan dan menghentikan kerja turbin, maka posisi katup harus dirubah dari posisi menutup ke posisi membuka, dan sebaliknya. Untuk memudahkan kerja dari katup dibutuhkan suatu alat yang disebut *regulator* yang dioperasikan secara manual. *Regulator* dioperasikan dengan cara memutar roda tangan dan dengan perantaraan batang berulir dan tuas-tuas, sistem akan menggerakkan katup tersebut.

8.1.1 Bahan dan Pembuatan Regulator.

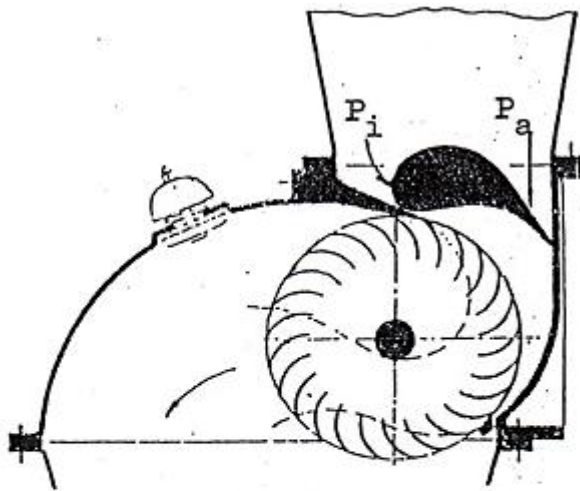
Regulator terdiri dari enam elemen yaitu (1) roda putar, (2) poros berulir, (3) bantalan berulir, (4) engsel, (5) bantalan pengantar dan (6) tuas perantara. Roda putar berdiameter 16 cm yang banyak dijual di pasaran sedang poros berulir dibuat dari poros baja difinis dingin S 45 C-D berdiameter 25 mm dan panjang 22 cm dibentuk dengan cara dibubut.

8.1.2 Gaya-gaya yang Timbul Saat Pengoperasian *Regulator*.

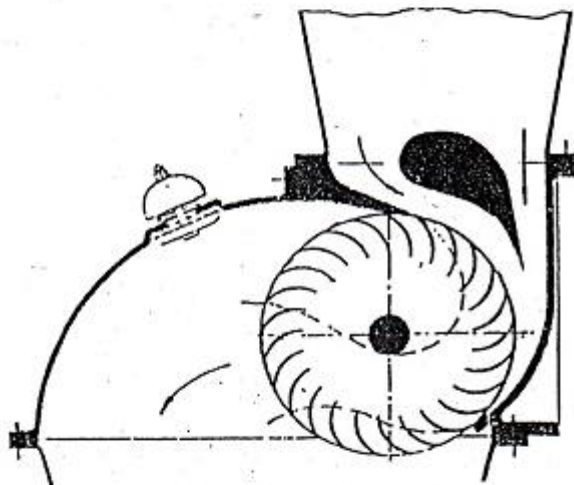
Dalam kasus ini besar gaya yang dibutuhkan untuk membuka katup tidak akan dipersoalkan, sebab sifat dari katup itu sendiri yang ingin terbebas dari gaya-gaya yang memaksanya untuk selalu menutup.

Gaya terbesar yang dibutuhkan untuk menutup katup ialah dari saat posisi katup antara membuka dan menutup, mengapa demikian ?, hal ini disebabkan pada saat posisi katup membuka penuh maka untuk menutupnya akan dibantu oleh tekanan arus air yang melalui celah sebelah kiri. Hal ini dapat dibuktikan dari percobaan, apabila katup tidak dihubungkan dengan *regulator* atau dilepas bebas, kecenderungan katup selalu ingin menutup, hal ini disebabkan konstruksi lengkungan nozel yang memungkinkan arus air mengalami belokan hingga katup mengalami tekanan arus air sebelah kiri.

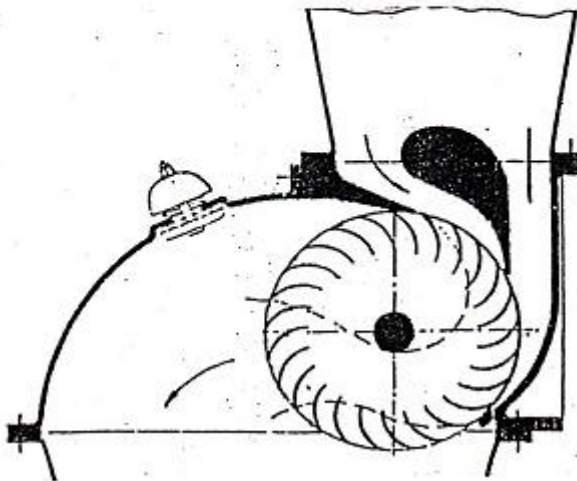
Pada gambar 40. menjelaskan posisi katup saat terbuka penuh, terbuka normal dan posisi menutup penuh. Pada gambar itu terlihat, tepat pada saat katup menutup penuh, posisi katup sangat menguntungkan sebab tekanan air di atas katup sebelah kiri (P_i) dan sebelah kanan (P_a) memiliki nilai relatif sama besar/ sebanding, hal ini menunjukkan proses menutup katup juga dilakukan/ dibantu oleh air. Syarat yang harus dipenuhi untuk mendapatkan kondisi katup seperti itu ialah poros katup harus dipasang pada suatu titik sumbu yang tepat/ sedemikian rupa sehingga pengoperasian *regulator* menjadi ringan dan mudah.



Posisi 1 :
Saat katup menu-
tup penuh.



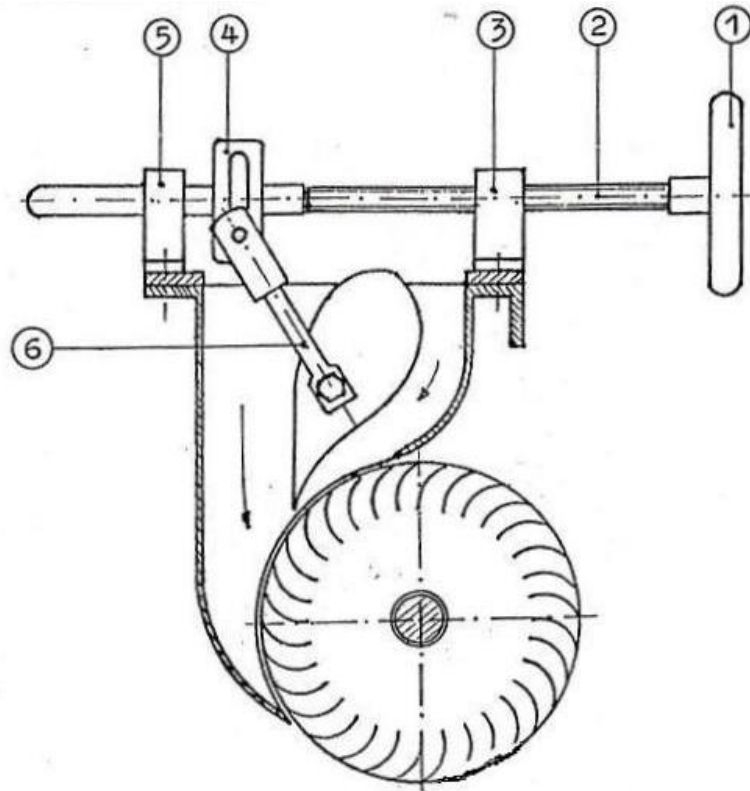
Posisi 2 :
Saat katup ter-
buka normal.



Posisi 3 :
Saat katup ter-
buka penuh (full).

Gambar 40. Tiga Model Posisi Katup (Haimerl, 1960)

Komponen-komponen *regulator* antara lain : (1) roda tangan, (2) poros berulir, (3) bantalan berulir, (4) engsel, (5) bantalan pengantar dan (6) tuas perantara, untuk lebih jelasnya dapat dilihat gambar 41.



Gambar 41. *Regulator dan Perlengkapannya* (Bachtiar, 1998)

8.2 Governor.

Untuk mengatur jumlah debit air yang masuk ke runner seimbang dengan jumlah pemakaian beban listrik, maka digunakan sebuah alat yang disebut *governor*. *Governor* yang digunakan untuk turbin ini adalah *governor* mekanis sebagaimana yang dijelaskan gambar 42. Pemilihan *governor* mekanis dengan pertimbangan dapat dibuat di bengkel- bengkel umum dengan biaya yang relatif terjangkau dibanding dengan *governor elektrik*. Disamping itu, *governor* mekanis sangat cocok dipasang pada sistem PLTMH yang sederhana. Sedangkan kepekaan dan kesensitifan kerja governor ini dapat diandalkan dan bisa bersaing dengan jenis governor lain. Komponen-komponen governor tersebut antara lain,

1. Puli pada poros *runner*
2. Puli pada poros perantara
3. Belt transmisi, ketiga elemen ini merupakan komponen sistem transmisi daya dan putaran dari poros *runner* ke poros *governor*.
4. Roda gigi payung pada poros perantara.
5. Roda gigi payung poros *governor*, berfungsi meneruskan transmisi daya dan putaran dari poros perantara.
6. Poros *governor*, berfungsi sebagai rel tempat naik turunnya bantalan jalan, pada poros ini pula bantalan diam bertumpu.

-
- A technical line drawing of a mechanical device, possibly a pump or a specialized transport mechanism. The drawing includes the following numbered components:
- 1**: A large, treaded wheel on the left side.
 - 2**: A smaller wheel on the right side.
 - 3**: A horizontal shaft or frame connecting the two wheels.
 - 4**: A central hub or axle for the right wheel.
 - 5**: A fan-like or vane-like structure attached to the right wheel.
 - 6**: A vertical shaft or column rising from the right wheel.
 - 7**: A component, possibly a valve or seal, located on the vertical shaft.
 - 8**: A horizontal arm or lever extending from the vertical shaft.
 - 9**: Two angled arms or levers extending from the vertical shaft.
 - 10**: A circular component, possibly a pulley or a wheel, at the end of one of the angled arms.
 - 11**: A vertical rod or shaft passing through the center of the device.
 - 12**: A top mounting or support structure.
- The drawing also shows a curved channel or duct on the left side, with arrows indicating a flow or movement path. The entire assembly is shown in a side-view perspective.

80

8.2.1 Cara kerja *governor*.

Cara kerja *governor* ialah apabila pemakaian beban listrik turun atau berkurang, maka putaran *runner* otomatis akan meningkat. Kondisi putaran seperti ini diteruskan oleh poros *runner* ke *governor* melalui transmisi belt dan roda gigi payung. Pada saat itu putaran poros *governor* menuju kencang sehingga gaya sentripugal yang terjadi meningkat maka bantalan jalan akan naik dan tuas-tuas yang berhubungan dengan poros katup akan ikut naik pula akibatnya katup bergerak ke posisi tambah menutup. Sebaliknya apabila pemakaian beban listrik bertambah atau meningkat, maka putaran *runner* maupun *governor* menuju ke lambat sehingga bantalan jalan serta tuas-tuas akan turun akibatnya katup akan tambah terbuka yang akhirnya terjadi keseimbangan antara pemakaian beban listrik dengan pasokan debit air yang masuk ke *runner*.

8.2.2 Sistem Transmisi *Governor*.

Direncanakan sistem transmisi yang digunakan untuk menghubungkan putaran poros *runner* dengan poros *governor* adalah transmisi belt-puli yang dilanjutkan dengan transmisi roda gigi payung lurus. Transmisi belt-puli merupakan transmisi perantara yang dipilih dengan keunggulan dapat memfleksibelkan atau meluweskan kerja *governor* sehingga *governor* dapat bekerja lebih stabil dan tidak kaku. Dengan transmisi belt-puli diharapkan tidak banyak mengalami kehilangan putaran untuk itu diameter kedua puli dipilih sama besar dan efisiensi tranmisi belt-puli diasumsikan $\eta_t = 96 \%$. Sedangkan untuk transmisi roda gigi payung, direncanakan perbandingan jumlah gigi roda gigi penggerak dengan yang digerakan adalah 1 : 2, dalam hal ini jumlah gigi roda gigi penggerak $Z_{g1} = 10$ buah maka jumlah gigi roda gigi yang digerakan $Z_{g2} = 20$ buah. Dari data-data tersebut dapat diketahui jumlah putaran normal *governor* (n_g) yang bekerja, yaitu,

$$\begin{aligned}n_g &= (Z_{g1} / Z_{g2}) \cdot \eta_t \cdot n_r \\n_g &= (10 / 20) \cdot 0,96 \cdot 1500 \text{ rpm} \\n_g &= 712 \text{ rpm}\end{aligned}$$

8.2.3 Gaya-gaya yang Timbul pada Kerja *Governor*.

Gaya yang berjasa merubah posisi katup ke posisi yang seimbang ialah gaya sentripugal yang besarnya tergantung kepada putaran *governor* yang terjadi, dengan persamaan berikut hal itu dapat diketahui yakni,

$$F_t = m \cdot \omega^2 \cdot R \text{ Newton}$$

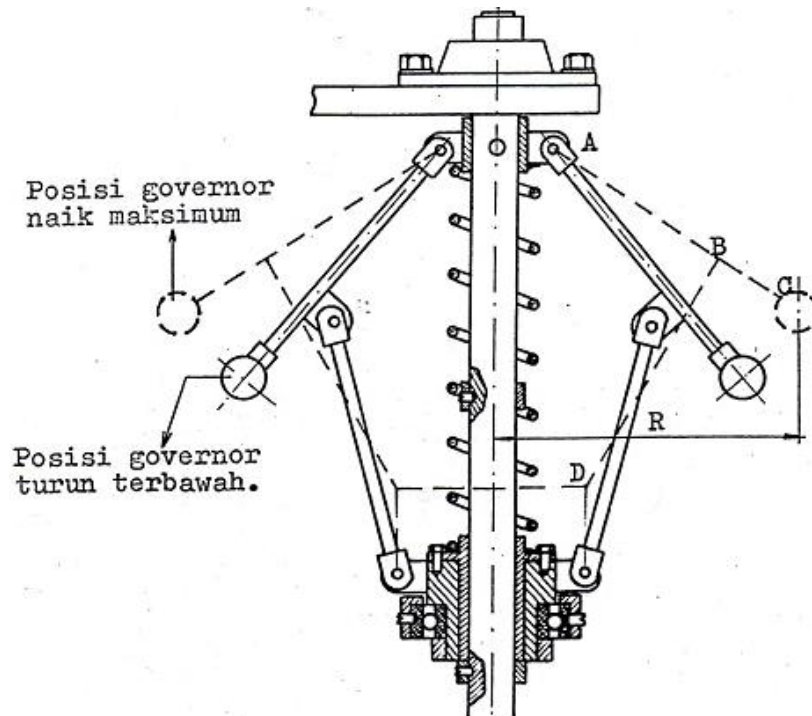
Diketahui, F_t = gaya sentripugal yang beroperasiN

m = massa bandul kg

ω = kecepatan sudut *governor* rad/det

R = jari-jari posisi bandul yang jaraknya selalu berubah m

Perhitungan gaya sentripugal diasumsikan pada saat bandul pada posisi teratas/maksimum yaitu pada saat posisi katup sedikit membuka seperti dijelaskan pada gambar 43. Pada posisi governor seperti itu merupakan saat gaya reaksi terbesar yang dialami pegas dan pada saat posisi governor mengalami gaya sentripugal terbesar.



Gambar 43. Posisi Governor Maksimum dan Minimum (Bachtiar, 1998)

Direncanakan ukuran lengan dan bandul sebagai berikut,

$$A - B = 11,25 \text{ cm}$$

$$B - C = 5,75 \text{ cm}$$

$$B - D = 15 \text{ cm}$$

$$W_b = \text{berat bandul} = 2 \text{ kgf}$$

Dari perencanaan konstruksi governor seperti gambar di atas yakni saat governor pada posisi teratas, diketahui,

$$R = \text{jari-jari bandul} = 18 \text{ cm} = 0,18 \text{ m}$$

$$Y_1 = \text{panjang pegas minimum} = 17 \text{ cm}$$

Dari data-data di atas maka didapat gaya sentripugal yang beroperasi ialah,

$$F_t = (2 / 9,8) \cdot (712 \cdot 2 \cdot 3,14 / 60)^2 \cdot 0,18 \text{ Newton}$$

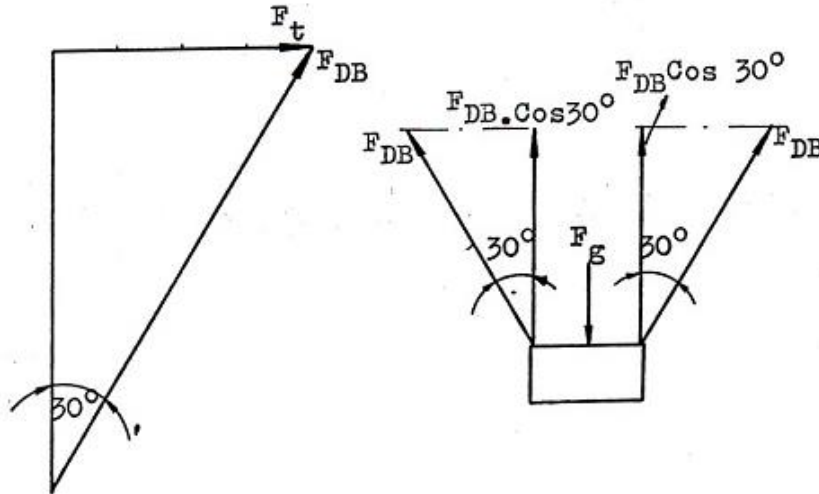
$$F_t = 204 \text{ Newton}$$

Setelah gaya sentripugal diketahui, maka gaya yang bekerja pada lengan-lengan *governor* dapat diidentifikasi melalui poligon-poligon gaya berikut ini,

Skala gaya : 1 cm = 50 Newton

Maka : $F_t = (204 / 50) \text{ cm skala}$

$F_t = 4,08 \text{ cm skala}$



Gambar 44. Poligon Gaya Lengan-lengan *Governor* (Bachtiar, 1998)

Dari hasil pengukuran didapat,

$F_{DB} = 7,9 \text{ cm skala}$

Maka, $F_{DB} = 7,9 \cdot 50 \text{ Newton}$

$F_{DB} = 395 \text{ Newton}$

Tinjau gaya-gaya yang bekerja pada bantalan jalan, yakni,

$$\sum F_y = 0$$

Maka, $2 \cdot F_{DB} \cdot \cos 30^\circ = F_g$

$$2 \cdot 395 \text{ Newton} \cdot 0,866 = F_g$$

$$F_g = 684 \text{ Newton}$$

$$F_g = 68,4 \text{ kgf}$$

Akhirnya diketahui gaya reaksi pegas saat governor diposisi maksimum/ teratas yaitu,

$$F_g = 68,4 \text{ kgf}$$

8.2.4. Perhitungan Tentang Pegas.

Direncanakan bahan pegas adalah baja pegas jenis 20 JIS G 4801 lambang SUP 4 yang memiliki modulus kekakuan (G) = $8 \cdot 10^5 \text{ kgf/cm}^2$ (Sularso, 1983). Direncanakan indek pegas c ,

$$c = D_g / d_g = 10$$

Dalam hal ini direncanakan diameter penampang kawat pegas (d_g) = 5 mm maka diameter dalam lingkaran pegas (D_g) = 10 . 5 mm = 50 mm = 5 cm.

Direncanakan panjang pegas dalam keadaan bebas (Y_0) = 25 cm, sedangkan panjang pegas pada saat governor pada posisi minimum atau panjang pegas minimum (Y_1) = 17 cm (sesuai dengan hasil perencanaan sebelumnya), maka lendutan pegas,

$$\Delta Y = Y_0 - Y_1 = 25 \text{ cm} - 17 \text{ cm}$$

$$\Delta Y = 8 \text{ cm}$$

$$\Delta Y = 0,08 \text{ m}$$

Dari data-data di atas, dapat ditentukan konstanta dari pegas yang digunakan (K_p)

Yaitu, $K_p = F_g / \Delta Y$

$$K_p = 68,4 \text{ kgf} / 0,08 \text{ m}$$

$$K_p = 837,5 \text{ kgf/m}$$

Rumus lain untuk konstanta pegas antara lain,

$$K_p = G \cdot d_g / 8 \cdot b \cdot c^3$$

Diketahui : b = jumlah lilitan pegas yang aktif maka,

$$b = G \cdot d_g / 8 \cdot K_p \cdot c^3 \dots\dots \text{lilitan}$$

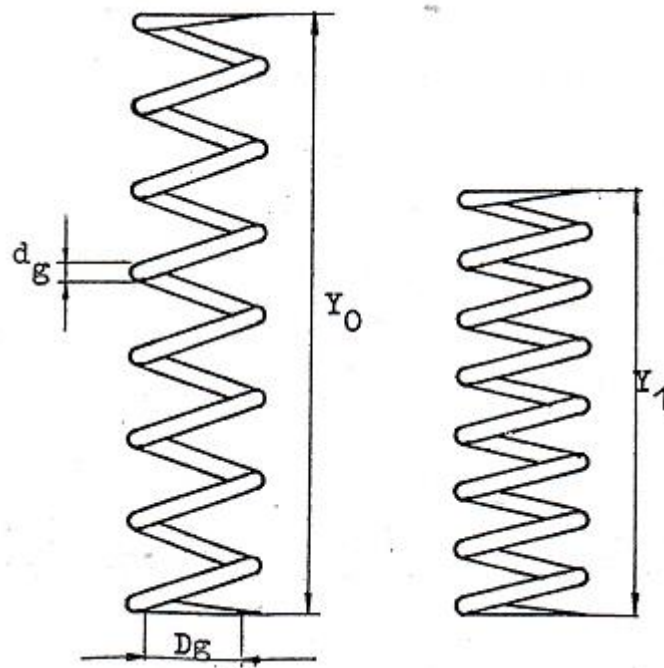
$$b = (8 \cdot 10^5 \text{ kgf/cm}^2 \cdot 0,5 \text{ cm}) / (8 \cdot 8,37 \text{ kgf/cm} \cdot 10^3)$$

$$b = 6 \text{ lilitan}$$

Maka jumlah lilitan pegas total (b_{tot}) ialah,

$$b_{\text{tot}} = (6 + 2) \text{ lilitan}$$

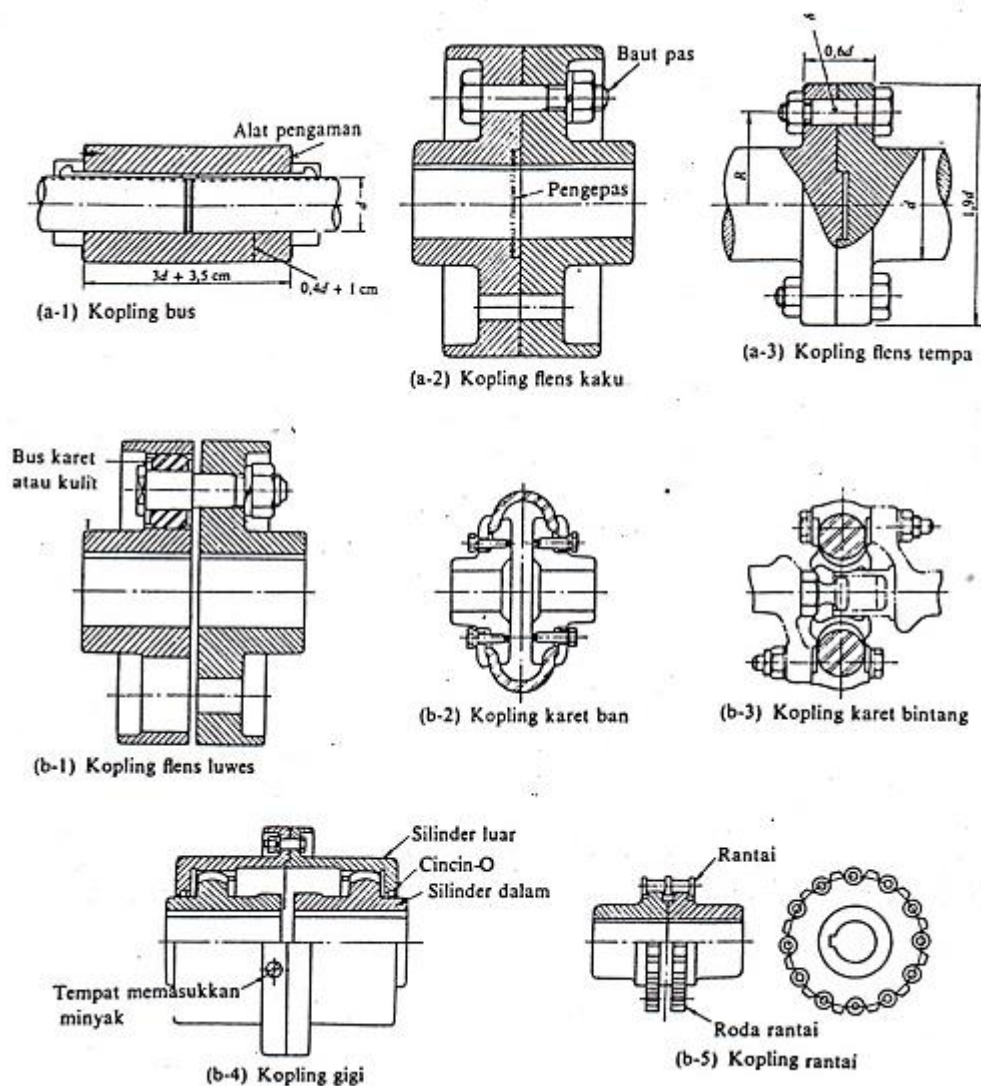
$$b_{\text{tot}} = 8 \text{ lilitan}$$



Gambar 45. Pegas *Governor* Saat Beban Maksimum dan Minimum (Bachtiar, 1998)

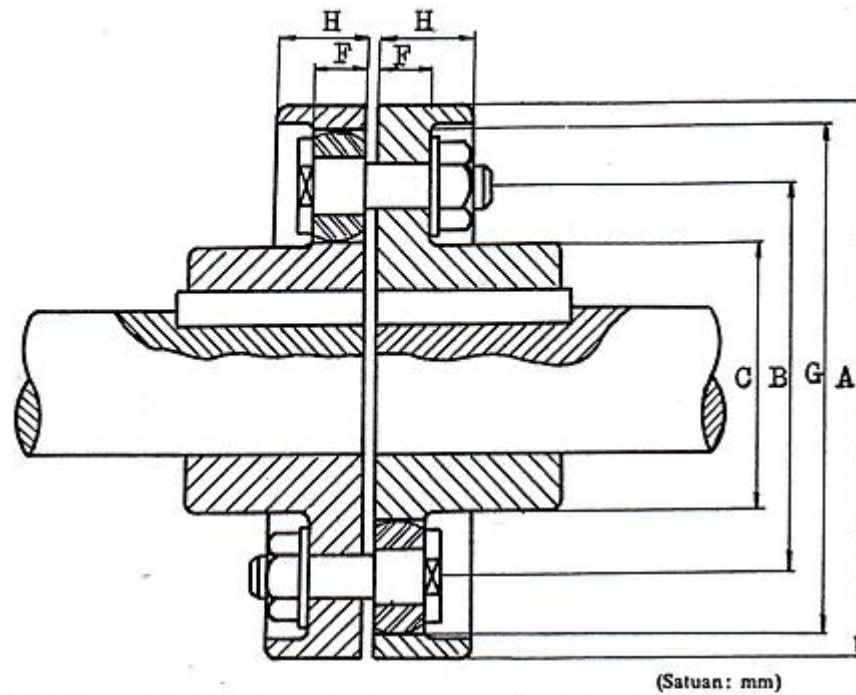
8.3 Sistem Transmisi.

Ada banyak sistem transmisi yang dapat digunakan untuk memindahkan daya dan putaran pada sistem mesin, diantaranya rantai, roda gigi, kopling dan puli-belt. Untuk memindahkan daya/ putaran dengan perbandingan/ rasio transmisi 1 : 1 maka banyak digunakan transmisi kopling tetap yang mencakup kopling flens kaku yang tidak mengizinkan ketidaklurusan, kopling luwes yang mengizinkan sedikit ketidak lurusan sumbu poros dan kopling universal yang digunakan apabila kedua poros membentuk sudut yang cukup besar, untuk lebih jelasnya dapat dilihat gambar 46.



Gambar 46. Macam-macam Kopling Tetap (Sularso, 1991)

Dalam perencanaan ini, untuk mentransmisikan daya dan putaran dari turbin ke generator dipilih kopling flens luwes dengan keunggulan pemindahan daya/ putaran yang lebih kompak dan tidak kaku. Kopling flens luwes terdiri dari flens yang terbuat dari besi cor kelabu lambang FC 20 yang dipasang pada ujung poros dan diberi alur pasak serta diikat dengan baut pada flensnya. Di bawah kepala baut dipasang bus karet yang berfungsi sebagai bantalan baut yang memungkinkan baut dapat bergerak bebas.



(Satuan: mm)

A	G Tanpa bingkai (Halus saja)	D		L	C	B	F		H		K	n	d	
		Diameter lubang max.	Diameter lubang min				Kasar	Halus	Kasar	Halus			Kasar	Halus
(112)	(100)	25	20	40	45	75	11,2	18	22,4	31,5	4	4	10,5	10
125	112	28	22,4	45	50	85	11,2	18	22,4	31,5	4	4	10,5	10
140	124	35,5	28	50	63	100	11,2	18	22,4	31,5	4	4	10,5	10
160	140	45	35,5	56	80	112	15	20	28	35,5	6	4	14	14
(180)	(160)	50	40	63	90	132	15	20	28	35,5	6	6	14	14
200	180	56	45	71	100	140	18	22,4	35,5	40	6	6	18	16
(224)	(200)	63	50	80	112	160	18	22,4	35,5	40	6	6	18	16
250	224	71	56	90	125	180	23,6	28	45	50	8	6	21	20
(280)	(250)	80	63	100	140	200	23,6	28	45	50	8	6	21	20
315	280	90	71	112	160	236	26,5	35,5	50	63	8	6	24	25
(355)	(315)	100	80	125	180	265	26,5	35,5	50	63	8	6	24	25

Gambar 47. Spesifikasi Kopling Flens Luwes (Sularso, 1991)

Pemilihan kopling flens ini disesuaikan dengan diameter poros penggerak/ yang digerakan, dalam hal ini diameter ujung poros runner adalah $d_p = 50$ mm, maka dari gambar 47. diketahui spesifikasi kopling yang sesuai adalah sebagai berikut,

D = 50 mm	K = 6 mm
C = 90 mm	H = 35,5 mm
B = 132 mm	F = 20 mm
G = 160 mm	L = 63 mm
A = 180 mm	$Z_b = 6$ buah baut

Tabel 9. Pemilihan Bahan untuk Flens dan Baut Kopling (Sularso, 1991)

Elemen	Tipe standar	Lambang	Perlakuan panas	Kekuatan tarik (kg/mm ²)	Keterangan
Flens	Besi cor kelabu (JIS G 5501)	FC20 FC25 FC30 FC35	Pelunakan temperatur rendah " " "	20 25 30 35	
	Baja karbon cor (JIS G 5101)	SC37 SC42 SC46 SC49	Pelunakan " " "	37 42 46 49	Penormalan. Kadang-kadang setelah penormalan dilanjutkan dengan ditemper.
	Baja karbon tempa (JIS G 3201)	SF50 SF55 SF60	Pelunakan " "	50-60 55-65 60-70	Perlakuan panas yang lain juga dilakukan.
Baut dan mur	Baja karbon untuk konstruksi mesin (JIS G 3102)	S20C S35C S40C S45C	- - - -	40 50 60 70	
	Baja karbon untuk konstruksi biasa (JIS G 3101)	SS41B SS50B	- -	40 50	
	Baja batang difinis dingin (JIS G 3123)	S20C-D S35C-D	- -	50 60	

8.3.1 Baut Pengikat.

Baut pengikat pada kopling flens berfungsi untuk menyatukan kedua bagian kopling sehingga fungsi kopling dapat terpenuhi. Oleh sebab itu dalam operasinya baut pengikat ini mengalami puntiran sehingga dalam perancangannya tak terlepas dari pengaruh puntiran tersebut.

Gaya yang bekerja pada keseluruhan baut (P) adalah,

$$P = 2 \cdot T / J_B$$

Diketahui, T = torsi yang bekerja pada poros

T = 45.843 kgf . mm, telah diketahui

J_B = B = jarak antar baut pengikat

J_B = B = 132 mm, telah diketahui

Maka, $P = 2 \cdot 45.843 \text{ kgf} \cdot \text{mm} / 132 \text{ mm}$

$$P = 695 \text{ kgf}$$

Jumlah baut pengikat (Z_b) = 6 buah, maka gaya puntir yang dialami oleh setiap baut adalah,

$$P_1 = 695 \text{ kgf} / 6$$

$$P_1 = 115,76 \text{ kgf}$$

Bahan baut direncanakan besi cor untuk konstruksi mesin JIS G 3102 lambang S 20 C dengan tegangan tarik maksimum (σ_{tb}) = 4.000 kgf/cm² (Sularso, 1991), faktor keamanan untuk daya maksimum yang ditransmisikan adalah $v = 8$ (Sularso, 1991), maka tegangan tarik izin (σ_{tbi}) adalah,

$$\sigma_{tbi} = \sigma_{tb} / 8 = 4.000 \text{ kgf/cm}^2 / 8$$

$$\sigma_{tbi} = 500 \text{ kgf/cm}^2$$

Tegangan geser izin bahan baut yang diizinkan (σ_{gbi}) dapat diketahui dari perbandingan,

$$\sigma_{gbi} = 0,8 \cdot \sigma_{tbi}$$

$$\sigma_{gbi} = 0,8 \cdot 500 \text{ kgf/cm}^2$$

$$\sigma_{gbi} = 400 \text{ kgf/cm}^2$$

Ukuran diameter baut yang aman dapat diketahui dari hubungan berikut,

$$\sigma_{gbi} \geq \sigma_{gb}$$

$$400 \text{ kgf/cm}^2 \geq P_1 / A_b$$

$$400 \text{ kgf/cm}^2 \geq 115,76 \text{ kgf} / 0,785 \cdot d_b^2$$

$$0,785 \cdot d_b^2 \geq 115,76 \text{ cm}^2 / 400$$

$$d_b^2 \geq 0,28 \text{ cm}^2$$

$$d_b \geq 0,6 \text{ cm}$$

Direncanakan diameter baut kopling = $d_b = 1 \text{ cm} = 10 \text{ mm}$

8.3.2 Pasak Kopling.

Pasak pada kopling berfungsi untuk mensenyawakan flens kopling dengan poros runner atau poros generator. Untuk diameter poros (d_p) = 50 mm, maka mengacu pada gambar 48, spesifikasi pasak segi empat yang dipilih adalah,

$$b = \text{lebar pasak} = 15 \text{ mm}$$

$$h = \text{tinggi pasak} = 10 \text{ mm}$$

$$L = \text{panjang pasak} = 130 \text{ mm}$$

$$t_1 = \text{kedalaman alur pasak} = 5 \text{ mm}$$

Bahan pasak direncanakan dari baja carbon konstruksi mesin lambang S 50 C dengan tegangan tarik maksimum 62 kgf/mm², faktor keamanan $v = 8$ untuk daya maksimum yang ditransmisikan, maka tegangan tarik izin bahan pasak (σ_{tpi}) adalah,

$$\sigma_{tpi} = 62 \text{ kgf/mm}^2 / 8$$

$$\sigma_{tpi} = 7,75 \text{ kgf/mm}^2$$

Tegangan geser izin bahan pasak adalah,

$$\sigma_{gpi} = 0,8 \cdot 7,75 \text{ kgf/mm}^2$$

$$\sigma_{gpi} = 6,2 \text{ kgf/mm}^2$$

Tegangan geser yang beroperasi pada pasak (σ_{gp}) adalah,

$$\sigma_{gp} = F_p / b \cdot L$$

F_p = gaya puntir yang bekerja pada poros yang dapat diketahui dari persamaan berikut,

$$F_p = 2 \cdot T / d_p$$

$$F_p = 2 \cdot 45.843 \text{ kgf.mm} / 50 \text{ mm}$$

$$F_p = 1.834 \text{ kgf}$$

Maka, $\sigma_{gp} = 1.843 \text{ kgf} / (15 \text{ mm} \cdot 130 \text{ mm})$

$$\sigma_{gp} = 0,95 \text{ kgf/mm}^2$$

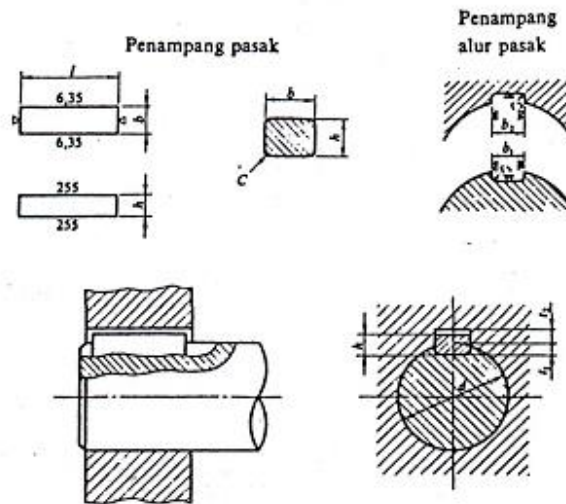
Dari perhitungan di atas ternyata didapat tegangan geser yang beroperasi lebih kecil dibanding tegangan geser izin, atau dapat ditulis,

$$\sigma_{gp} < \sigma_{gpi}$$

$$0,95 \text{ kgf/mm}^2 < 6,2 \text{ kgf/mm}^2$$

Maka rencana ukuran dan bahan pasak yang dipilih sangat tepat dan aman terhadap segala resiko akibat pembebanan yang timbul.

Ukuran pasak dan alur pasak.



Ukuran-ukuran utama

(Satuan: mm)

Ukuran nominal pasak $b \times h$	Ukuran standar b, b_1 , dan b_2	Ukuran standar h		C	l^*	Ukuran Standar t_1	Ukuran standar t_2			r_1 dan r_2	Referensi	
		Pasak prismatis	Pasak tirus				Pasak prismatis	Pasak lurus	Pasak tirus		Diameter poros yang dapat dipakai d^{**}	
2 x 2	2	2		0,16-0,25	6-20	1,2	1,0	0,5		0,08-0,16	Lebih dari 6-8	
3 x 3	3	3			6-36	1,8	1,4	0,9			8-10	
4 x 4	4	4		0,25-0,40	8-45	2,5	1,8	1,2		0,16-0,25	10-12	
5 x 5	5	5			10-56	3,0	2,3	1,7			12-17	
6 x 6	6	6		0,40-0,60	14-70	3,5	2,8	2,2		0,25-0,40	17-22	
(7 x 7)	7	7	7,2		16-80	4,0	3,0	3,5	3,0		20-25	
8 x 8	8	8		0,60-0,80	18-90	4,0	3,3	2,4		0,40-0,60	22-30	
10 x 8	10	8			22-110	5,0	3,3	2,4			30-38	
12 x 8	12	8		0,80-1,00	28-140	5,0	3,3	2,4		0,60-0,80	38-44	
14 x 9	14	9			36-160	5,5	3,8	2,9			44-50	
(15 x 10)	15	10	10,2	1,00-1,20	40-180	5,0	5,0	5,5	5,0	0,80-1,00	50-55	
16 x 10	16	10			45-180	6,0	4,3	3,4			50-58	
18 x 11	18	11		1,20-1,40	50-200	7,0	4,4	3,4		1,00-1,20	58-65	
20 x 12	20	12			56-220	7,5	4,9	3,9			65-75	
22 x 14	22	14		1,40-1,60	63-250	9,0	5,4	4,4		1,20-1,40	75-85	
(24 x 16)	24	16	16,2		70-280	8,0	8,0	8,5	8,0	1,40-1,60	80-90	
25 x 14	25	14		1,60-1,80	70-280	9,0	5,4	4,4			85-95	
28 x 16	28	16			80-320	10,0	6,4	5,4		1,60-1,80	95-110	
32 x 18	32	18			90-360	11,0	7,4	6,4			110-130	

* l harus dipilih dari angka-angka berikut sesuai dengan daerah yang bersangkutan dalam tabel.
6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22, 25, 28, 32, 36, 40, 45, 50, 56, 63, 70, 80, 90, 100, 110, 125, 140, 160, 180, 200, 220, 250, 280, 320, 360, 400.

Gambar 48. Spesifikasi Pasak – Poros (Sularso, 1991)

Perlatihan

Sebagai penutup dan sekaligus untuk mengetahui sejauh mana pemahaman dan keterampilan anda terhadap pokok bahasan di atas, maka jawablah pertanyaan-pertanyaan berikut ini,

1. Jelaskan fungsi dan cara kerja *regulator*, *governor* dan sistim transmisi daya ?

2. Jelaskan bahan-bahan yang dibutuhkan untuk pembuatan *regulator*, *governor* dan sistem transmisi daya ?
3. Jelaskan tahapan-tahapan proses perencanaan *regulator*, *governor* dan sistem transmisi daya ?
4. Jelaskan elemen-elemen rakitan dari masing-masing *regulator*, *governor* dan sistem transmisi daya ?.
5. Jelaskan tahapan –tahapan proses pembuatan *regulator*, *governor* dan sistem transmisi ?
6. Jelaskan apa yang dimaksud dengan tegangan tarik maksimum suatu bahan ?
7. Jelaskan keunggulan dan keterbatasan dari *regulator* mekanis ?
8. Jelaskan keunggulan dan keterbatasan dari *regulator* elektrik ?
9. Jelaskan macam-macam sistem transmisi daya/ putaran yang anda kenal ?
10. Jelaskan keunggulan dan keterbatasan penggunaan dari masing-masing sistem transmisi daya/ putaran tersebut ?

BAB IX

PERENCANAAN dan PEMBUATAN PERALATAN ELEKTRIKAL

Yang termasuk peralatan elektrikal dari sistem PLTMH ialah generator, sistem kontrol dan jaringan distribusi. Proses perencanaan/ pemilihan dan pembuatan peralatan elektrikal tersebut akan dijelaskan pada uraian berikut.

Setelah mempelajari uraian perencanaan dan pembuatan peralatan elektrikal berikut, diharapkan pembaca mampu,

1. Memahami dengan baik peran dari peralatan elektrikal dalam mendukung operasional sistem PLTMH hingga dapat menyalurkan energi listrik ke masyarakat.
2. Memahami dengan baik cara kerja/ proses dihasilkannya energi listrik oleh generator dan penyalurannya yang tepat ke rumah-rumah penduduk.
3. Memahami dengan baik bahan-bahan yang dibutuhkan untuk perakitan sistem kontrol.
4. Memahami dengan baik tahapan - tahapan pada proses perencanaan dan pemilihan generator, sistem kontrol dan jaringan kabel distribusi.
5. Memahami dengan baik tahapan proses pembuatan/ pemasangan generator, sistem kontrol dan jaringan kabel distribusi.

9.1 Generator.

Generator berfungsi untuk merubah energi mekanis dari poros turbin menjadi energi listrik. Generator yang digunakan untuk PLTMH ini mempunyai spesifikasi yang sama dengan generator pada umumnya yang banyak digunakan di perkotaan yaitu generator arus bolak balik (AC) tiga phase. Pemilihan generator tiga phase ini dengan pertimbangan rumah-rumah penduduk tersebar di tiga desa yang diharapkan distribusi daya ke masing-masing desa lebih merata dan ekonomis dengan syarat tiap phase menyalurkan daya yang relatif seimbang.

Generator yang dipilih ini direncanakan berkapasitas 120 kVA sesuai dengan beban kebutuhan yang ada, tegangan : 220/ 380 Volt, merk : *Stamford*, buatan Inggris. Generator Eropa ini memang relatif lebih mahal, tetapi penulis cenderung untuk memilihnya sebab dari pengalaman ia lebih awet dibanding generator-generator buatan China.

Besarnya putaran generator dapat ditentukan dari persamaan berikut,

$$n_{gt} = 120 \cdot f_r / Z_k \dots\dots \text{rpm}$$

Diketahui, n_{gt} = jumlah putaran generator

f_r = frekwensi listrik

f_r = 50 Hz, untuk generator-generator yang beredar di Indonesia.

Z_k = jumlah kutub, dalam hal ini tiap generator memiliki jumlah kutub yang berbeda-beda yakni : 2, 4, 6, 8, 10 dan 12.

Dari persamaan di atas dengan Z_k sebagai variabel, dapat ditabelkan hubungan antara jumlah kutub dengan putaran generator yakni,

Tabel 10. Hubungan Jumlah Kutub dengan Putaran Generator

No	Jumlah Kutub (buah)	Putaran Generator (rpm)
1.	2	2000
2.	4	1500
3.	6	1000
4.	8	750
5.	10	600
6.	12	500

Dalam perencanaan ini dipilih generator putaran 1500 rpm dengan pertimbangan untuk menyesuaikan dan menyederhanakan dari sistem transmisi daya/ putaran dari turbin ke generator. Berhubung putaran turbin yang telah direncanakan (n) = 1500 rpm, maka hanya dengan menggunakan transmisi kopling flens saja maka pemindahan daya dan putaran turbin ke generator dapat lebih mudah dilakukan dan praktis dengan perbandingan/ rasio transmisi 1 : 1. Untuk generator putaran 1500 rpm maka jumlah kutub dari generator ini berjumlah 4 buah kutub.

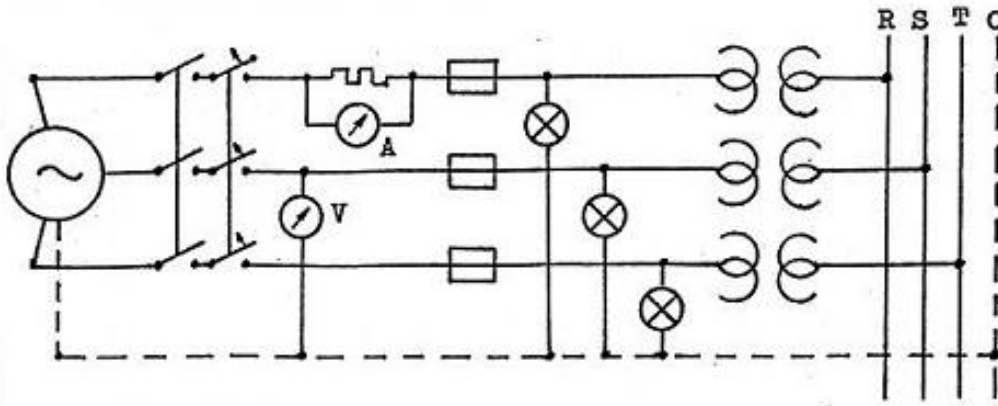
Untuk lebih jelasnya berikut spesifikasi generator yang dimaksud,

Daya	: 120 kVA
Putaran	: 1500 rpm
Frekwensi	: 50 Hz
Tegangan	: 220/ 380 Volt
Jumlah kutub	: 4 kutub
Jumlah phase	: 3 phase
Power faktor	: $\cos \varphi = 0,8$
Merk	: <i>STAMFORD</i>
Buatan	: Inggris

9.2 Sistem Kontrol

Untuk menyalurkan daya listrik dari generator ke jaringan distribusi, maka diperlukan perlengkapan pengukur (*switching*) serta alat pelindung dan pengaman lainnya. Perlengkapan yang akan dipasang pada PLTMH tersebut antara lain,

- | | |
|---|----------|
| 1. Trafo step-up | : 1 buah |
| 2. Saklar utama tiga phase | : 1 buah |
| 3. Pengukur tegangan listrik (<i>Voltmeter</i>) | : 1 buah |
| 4. Pengukur arus listrik (<i>Amperemeter</i>) | : 1 buah |
| 5. Zikring (<i>fuse</i>) | : 3 buah |
| 6. Lampu kontrol | : 3 buah |



Gambar 49. Skema Rangkaian Generator dan Perlengkapannya (Bachtiar, 1998)

Perlengkapan lainnya yang dapat dipasang diantaranya, *frekwensimeter*, *Cos φ* meter dan kWh meter. Tetapi dengan enam perlengkapan di atas, pengoperasian PLTMH cukup aman. Gambar 49. memperlihatkan skema rangkaian perlengkapan kontrol.

9.3 Jaringan Distribusi.

Untuk menyalurkan daya listrik dari pusat pembangkit kepada penduduk desa sebagai konsumen, diperlukan jaringan distribusi. Berhubung lokasi pembangkit cukup jauh dari perumahan penduduk yang terdekat kurang lebih 400 m sedang yang terjauh kurang lebih 2 km, maka jaringan kabel distribusi yang dibutuhkan adalah jaringan distribusi tegangan tinggi. Dalam hal ini daya listrik dengan tegangan 220 Volt dinaikan menjadi 3.000 Volt melalui sebuah *transformator step-up*. Selanjutnya sesampainya di tengah-tengah perkampungan kosumen, tegangan listrik itu diturunkan kembali menjadi 220 Volt oleh *transformator step-down*. Pemakaian transformator pada sistem PLTMH ini sangat dibutuhkan karena jika tidak memakai transformator, tegangan listrik yang masuk ke rumah konsumen akan menjadi rendah sekali sehingga tidak memungkinkan dapat dioperasikan untuk penerangan. Untuk lebih jelasnya, berikut ini akan diuji beberapa tegangan listrik yang diterima konsumen apabila tegangan listrik dari pusat pembangkit tidak dinaikan terlebih dahulu. Persamaan yang digunakan untuk uji rugi tegangan ini ialah,

$$R_v = 3,5 \cdot L_j \cdot N_{k1} / A_k \cdot E^2$$

Diketahui, R_v = rugi-rugi tegangan %

L_j = panjang kabel distribusi sampai beban terjauh

L_j = 2.000 m, telah diketahui.

N_{k1} = jumlah beban yang disalurkan oleh satu phase kawat, yaitu :

$$N_{k1} = N_{g0} / 3 = 96 \text{ kW} / 3$$

$$N_{k1} = 32 \text{ kW} = 32.000 \text{ Watt}$$

A_k = luas penampang kawat jaringan distribusi yang digunakan,
dalam hal ini dipakai kawat berisolator.

$$A_k = 70 \text{ mm}^2.$$

E = tegangan listrik yang disalurkan

E = 220 Volt, sesuai perencanaan.

Maka,
$$R_v = (3,5 \cdot 2.000 \cdot 32.000 / 70 \cdot 220^2) \%$$

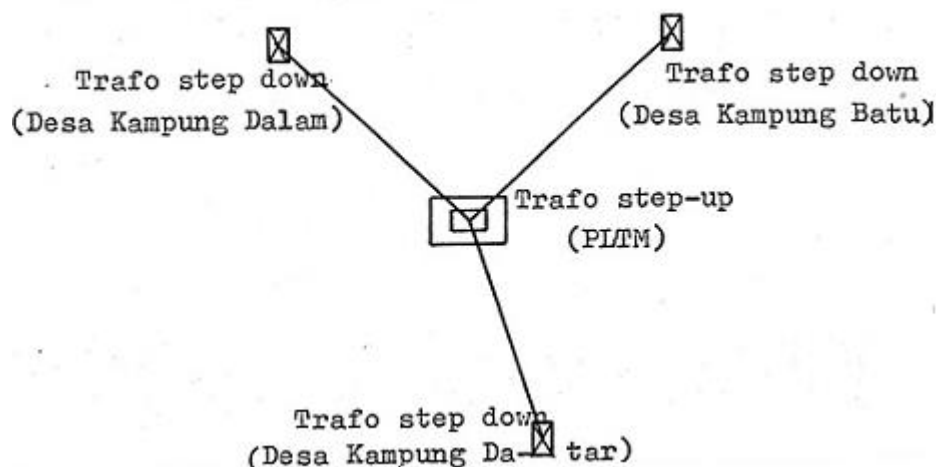
$$R_v = 66 \%$$

Dengan demikian tegangan listrik di perumahan penduduk yang terjauh (E_1) adalah,

$$E_1 = 220 \text{ Volt} - (66\% \cdot 220 \text{ Volt})$$

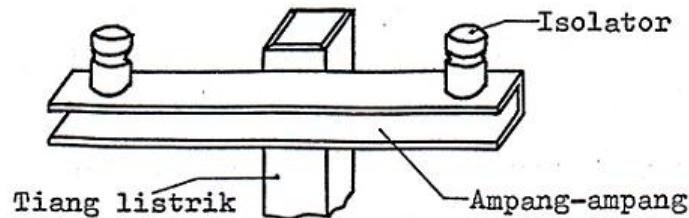
$$E_1 = 74,5 \text{ Volt}$$

Pada tegangan $E_1 = 74,5 \text{ Volt}$, pemakaian peralatan listrik seperti lampu, TV, radio dan sebagainya tidak akan dapat beroperasi dengan baik/ memuaskan, maka penggunaan transformator mutlak harus dilaksanakan. Direncanakan transformator yang dibutuhkan berjumlah empat unit, satu diantaranya merupakan *transformator step-up* yang dipasang di dalam rumah pembangkit sedang tiga unit berupa *transformator step-down* masing-masing dipasang di pusat ketiga desa yaitu Desa Datar, Desa Kampung Batu dan Desa Kampung Dalam. Gambar 50 menjelaskan penempatan transformator yang dimaksud.



Gambar 50. Skema Penempatan Transformator (Bachtiar, 1998)

Perlengkapan yang dibutuhkan untuk pemasangan jaringan kabel distribusi ialah tiang-tiang listrik yang dipasang di setiap jarak 50 meter. Total jarak yang akan dilalui jaringan untuk ketiga desa itu ialah $3 \times 2.000 \text{ m} = 6.000 \text{ m}$, maka jumlah tiang listrik yang dibutuhkan sekitar $6.000 \text{ m} / 50 \text{ m} = 120$ buah tiang. Untuk menghemat biaya, maka jenis tiang listrik yang digunakan dibuat dari kayu besi berpenampang bujur sangkar $120 \text{ mm} \times 120 \text{ mm}$ dan tinggi 8 m. Perlengkapan yang dipasang pada tiang ini ialah ampang-ampang beserta isolatornya.



Gambar 51. Tiang Listrik dan Perlengkapannya (Bachtiar, 1998)

Perlatihan

Sebagai penutup dan sekaligus untuk mengetahui sejauh mana pemahaman dan keterampilan anda terhadap pokok bahasan di atas, maka jawablah pertanyaan-pertanyaan berikut ini,

1. Jelaskan proses dihasilkan energi listrik oleh sistem PLTMH dan sistem penyalurannya yang tepat ke rumah-rumah penduduk ?.
2. Jelaskan bahan-bahan yang dibutuhkan untuk perakitan sistem kontrol ?.
3. Jelaskan tahapan - tahapan pada proses perencanaan dan pemilihan generator, sistem kontrol dan jaringan kabel distribusi ?
4. Jelaskan perbedaan generator sinkron dengan generator induksi
5. Jelaskan apa perbedaan antara generator AC dengan generator DC ?.
6. Jelaskan apa yang dimaksud generator AC dua phase dan generator AC tiga phase ?.
7. Jelaskan apa resiko yang terjadi jika sistem PLTMH tidak dilengkapi dengan sistem kontrol elektrik ?.
8. Ada teori yang menyatakan bahwa semakin besar diameter kabel jaringan distribusi yang digunakan maka akan lebih baik karena akan mengurangi rugi-rugi jaringan, benarkah demikian ?, jelaskan alasan Sdr !
9. Jelaskan apa yang dimaksud dengan *Amperemeter*, *Voltmeter* dan *kWHmeter* ?

BAB X
MELUKIS BUSUR SUDU DENGAN ANALISIS
SEGITIGA KECEPATAN DAN UJI EFISIENSI *RUNNER*
TURBIN CROSS FLOW

Dalam merencanakan *runner Turbin Cross Flow*, yang penting sekali harus diperhatikan ialah dapat menentukan dengan tepat kelengkungan (busur) sudu-sudunya. Hal ini akan menentukan besar kecilnya efisiensi turbin yang direncanakan. Salah satu prosedur untuk mendapatkan perencanaan sudu yang benar ialah dengan melakukan analisis gambar segi tiga kecepatan dalam bentuk poligon-poligon kecepatan. Pada uraian bab berikut ini akan dijelaskan tahapan analisis segi tiga kecepatan untuk menentukan kelengkungan busur sudu yang diinginkan dilanjutkan dengan uji efisiensi *runner* turbin dengan variabel sudut air masuk sudu (θ) dan perbandingan kecepatan keliling diameter luar *runner* (U_o) dengan kecepatan air masuk *runner* (V_r).

Dalam merencanakan *runner Turbin Cross Flow*, yang penting sekali harus diperhatikan ialah dapat menentukan dengan tepat kelengkungan (busur) sudu-sudunya. Hal ini akan menentukan besar kecilnya efisiensi turbin yang direncanakan. Salah satu prosedur untuk mendapatkan perencanaan sudu yang benar ialah dengan melakukan analisis gambar segi tiga kecepatan dalam bentuk poligon-poligon kecepatan. Pada uraian bab berikut ini akan dijelaskan tahapan analisis segi tiga kecepatan untuk menentukan kelengkungan busur sudu yang diinginkan dilanjutkan dengan uji efisiensi *runner* turbin dengan variabel sudut air masuk sudu (θ) dan perbandingan kecepatan keliling diameter luar *runner* (U_o) dengan kecepatan air masuk *runner* (V_r).

Diharapkan setelah memperhatikan dan mempelajari topik bahasan berikut ini, pembaca mampu,

1. Memahami dengan baik bahwa *runner* turbin merupakan komponen penggerak mula yang sangat strategis dan sangat sensitif dalam mempengaruhi efisiensi/ prestasi sistem PLTMH.
2. Memahami dengan baik langkah-langkah identifikasi variable-variabel awal yang terkait dalam analisis segi tiga kecepatan.
3. Memahami dengan baik langkah-langkah melukis poligon-poligon gaya analisis segi tiga kecepatan.
4. Memahami dengan baik cara membaca gambar analisis segi tiga kecepatan.
5. Dapat membuat kesimpulan dan rekomendasi dengan baik dari tampilan suatu gambar analisis segi tiga kecepatan.

10.1 Melukis Busur Sudu dengan Analisis Segi Tiga Kecepatan

Variabel - variabel awal yang dibutuhkan dalam analisis segi tiga kecepatan antara lain,

1. Kecepatan air masuk *runner* (V_r)

Dalam hal ini kecepatan air masuk *runner* sama dengan kecepatan air keluar dari nozel (V_n) yaitu,

$$V_r = V_n$$

$$V_r = K_n \cdot (2 \cdot g \cdot H_{efs})^{1/2}$$

Diketahui, K_n = koefisien tahanan nozel = 0,96 (Sutarno, 1973)

g = percepatan gravitasi bumi = 9,81 m/det²

H_{efs} = *head efektif* sebenarnya = 82,5 m, telah diketahui

Maka, $V_r = 0,97 \cdot (2 \cdot 9,8 \cdot 82,5)^{1/2}$ m/det

$$V_r = 38,6 \text{ m/det}$$

2. Kecepatan keliling diameter luar *runner* (U_o)

Dalam hal ini harga U_o dapat ditentukan dari persamaan berikut (Sutarno, 1973),

$$U_o = 0,5 \cdot V_r$$

Hasil percobaan para ahli *Turbin Cross Flow*, mereka menyimpulkan bahwa dengan menentukan harga $U_o = 0,5 \cdot V_r$ ternyata didapatkan efisiensi turbin yang paling besar, kebenaran tentang kesimpulan ini akan diuji pada uraian nanti dengan memasukkan macam-macam nilai perbandingan U_o / V_r ke dalam analisis segitiga kecepatan seperti yang dimaksud, dengan demikian maka,

$$U_o = 0,5 \cdot 38,6 \text{ m/det}$$

$$U_o = 19,3 \text{ m/det}$$

3. Kecepatan Keliling Diameter Dalam *Runner* (U_i)

Dalam hal ini nilai U_i dapat ditentukan dari perbandingan diameter dalam dan luar *runner* yaitu,

$$U_i = (D_i / D_o) \cdot U_o$$

$$U_i = (2/3) \cdot 19,3 \text{ m/det}$$

$$U_i = 12,86 \text{ m/det}$$

4. Diameter luar *runner* (D_o)

Telah diketahui sebelumnya bahwa $D_o = 25 \text{ cm}$

5. Diameter dalam *runner* (D_i)

Telah diketahui sebelumnya bahwa $D_i = 16 \text{ cm}$

6. Sudut air masuk sudu (θ)

Hasil pengujian Pabrik Turbin *Ossberger* Jerman Barat, untuk mendapatkan efisiensi turbin yang tertinggi direkomendasikan besar sudut air masuk sudu $\theta = 15^\circ$. Hal ini disebabkan energi kecepatan air masuk sudu *runner* lebih banyak dimanfaatkan terbukti dari hasil perbandingan

kecepatan air keluar dari *runner* dengan kecepatan air masuk *runner* jauh lebih kecil dibanding dengan apabila sudut air masuk sudu lebih besar atau lebih kecil dari 15° (Haimerl, 1960). Kebenaran tentang kesimpulan ini akan dibuktikan pada pembahasan nanti dengan memvariabelkan sudut θ . Dalam perencanaan turbin seperti yang diuraikan pada bab sebelumnya, penulis memilih harga sudut $\theta = 15^\circ$

Selanjutnya dengan data-data di atas dapat ditentukan model busur sudu sekaligus dapat diketahui berapa persen energi kecepatan air yang dimanfaatkan oleh *runner*. Untuk memudahkan analisis, nilai-nilai dari variabel di atas diskalakan yakni,

$$1 \text{ mm} = 1 \text{ m/det}$$

Maka,

$$V_r = 38,6 \text{ m/det} = 38,6 \text{ mm}$$

$$U_o = 19,3 \text{ m/det} = 19,3 \text{ mm}$$

$$U_i = 12,86 \text{ m/det} = 12,86 \text{ mm}$$

Dan skala untuk panjang adalah 1 : 2,5

Maka,

$$D_o = 25 \text{ cm} / 2,5 = 10 \text{ cm}$$

$$D_i = 16 \text{ cm} / 2,5 = 6,4 \text{ cm}$$

Setelah semua data diskalakan, selanjutnya masukan ke dalam analisis segi tiga kecepatan berikut melalui dua tahap penggambaran yaitu,

Tahap 1, Air masuk *runner*

- V_r = kecepatan air masuk sudu rim luar**
- U_o = kecepatan keliling diameter luar *runner***
- U_i = kecepatan keliling diameter dalam *runner***
- V_f = kecepatan relatif air masuk sudu rim luar**
- V_{fi} = kecepatan relatif air keluar sudu rim dalam**
- V_i = kecepatan air keluar sudu rim dalam**

Tahap 2, Air keluar *runner*.

- V_o = kecepatan air masuk sudu rim dalam**
- V_{fo} = kecepatan relatif air masuk sudu rim dalam**
- V_r' = kecepatan air keluar sudu rim luar**
- $V_{f'}$ = kecepatan relatif air keluar sudu rim luar**

Dari hasil analisis segi tiga kecepatan pada sudut masuk $\theta = 15^\circ$ seperti dijelaskan gambar 52., diketahui kecepatan air keluar dari sudu tahap 2 ialah,

$$V_r' = 10 \text{ mm skala}$$

Maka,

$$V_r' = 10 \text{ m/det}$$

Setelah kecepatan air keluar dari *runner* (V_r) diketahui, maka perbandingan kecepatan air keluar *runner* tahap 2 dengan kecepatan air masuk *runner* tahap 1 dapat diketahui yaitu,

$$Z = V_r' / V_r$$

$$Z = 10 \text{ m/det} / 38,6 \text{ m/det} = 0,26$$

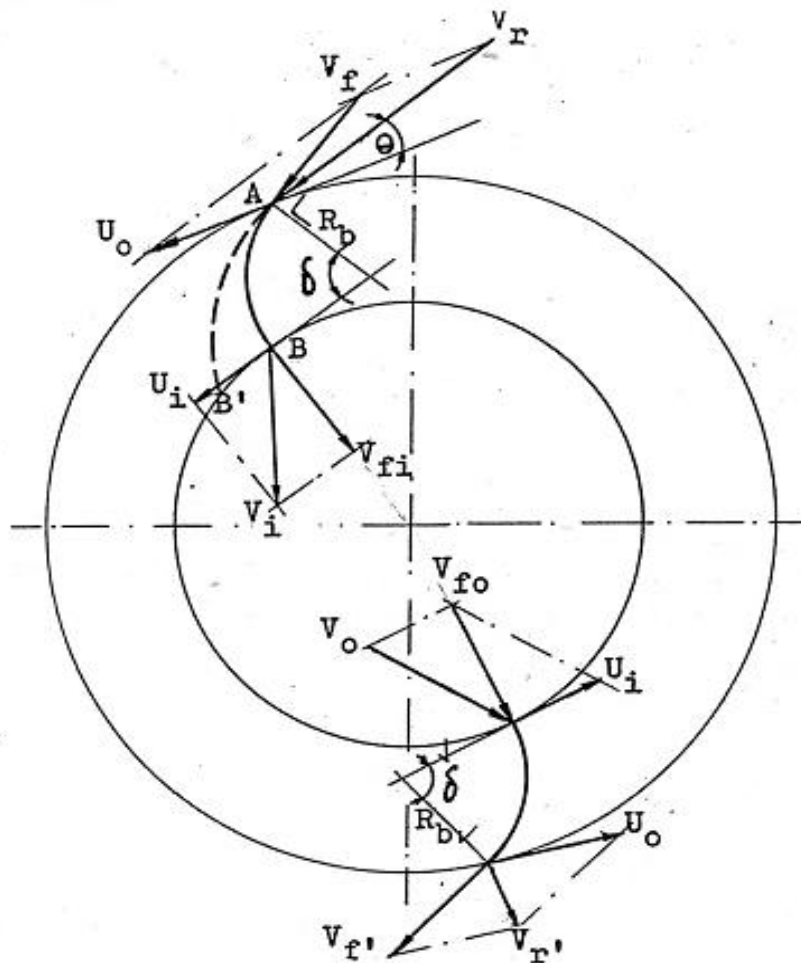
Semakin kecil harga perbandingan Z , maka perencanaan busur sudu akan semakin baik, artinya banyak energi kecepatan air dimanfaatkan oleh *runner* sehingga prestasi turbin lebih maksimum.

Dari analisis gambar 52. terlihat busur A-B dengan jari-jari R_b ,

$$R_b = 17 \text{ mm skala, maka}$$

$$R_b = 17 \cdot 2,5 \text{ mm}$$

$$R_b = 4,25 \text{ cm}$$



Gambar 52. Analisis Segi Tiga Kecepatan pada Sudut Masuk $\theta = 15^\circ$
(Bachtar, 2007)

Busur A-B inilah yang dijadikan mal untuk menentukan kelengkungan dan posisi sudu-sudu yang dipasang diantara dua buah piringan. Hal ini tidak begitu sulit dipraktikkan di lapangan yang lebih diutamakan ialah ketelitian dan keuletan dalam bekerja. Titik B seperti pada gambar di atas merupakan titik ujung dari busur sudu **A-B**. Pada saat *runner* berputar ke kiri, titik B akan mengalami perpindahan relatif sejauh B-B' dan waktu yang diperlukan untuk perpindahan relatif dari **B ke B'** sama dengan waktu yang diperlukan oleh suatu titik air guna menempuh busur dari titik A ke titik B dengan kecepatan relatif,

$$V_f = 19 \text{ mm skala}$$

Maka, $V_f = 19 \text{ m/det}$

Variabel selengkapnya yang dapat diketahui dari analisis gambar di atas adalah,

1. Kecepatan air relatif masuk sudu = $V_f = 19 \text{ m/det}$
2. Kecepatan keliling *runner* rim dalam = $U_i = 12,86 \text{ m/det}$
3. Jari-jari busur A-B = $R_b = 4,25 \text{ cm}$
4. Sudut yang membentuk busur A-B = $\delta = 75^\circ$

Selanjutnya keliling busur sudu A-B = K_{AB} dapat diketahui sebagai berikut,

$$K_{AB} = 75^\circ/360^\circ \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot R_b$$

$$K_{AB} = 75^\circ/360^\circ \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot 4,25 \text{ cm}$$

$$K_{AB} = 5,31 \text{ cm} = 0,0531 \text{ m}$$

Waktu yang diperlukan untuk menempuh busur A-B dengan kecepatan relatif 19 m/det adalah t yaitu,

$$t = K_{AB} / V_f$$

$$t = 0,00531 \text{ m} / 19 \text{ m/det}$$

$$t = 0,003 \text{ detik}$$

Maka keliling busur B-B' adalah,

$$K_{BB'} = t \cdot U_i$$

$$K_{BB'} = 0,003 \text{ det} \cdot 12,86 \text{ m/det}$$

$$K_{BB'} = 0,03 \text{ m} = 3 \text{ cm}$$

10.2 Uji Efisiensi Dengan Variasi Sudut Masuk (θ)

Uji efisiensi ini divariasikan untuk tiga sudut masuk yang berbeda yakni 15° dan lebih besar dari 15° yaitu 20° dan lebih kecil dari 15° yaitu 12° .

10.2.1 Sudut Air Masuk Sudu $\theta = 15^\circ$

Dari analisis segitiga kecepatan dengan sudut masuk $\theta = 15^\circ$ seperti dijelaskan pada gambar 52. diketahui, $V_r = 38,6$ m/det dan $V_r' = 10$ m/det, maka efisiensi *runner* turbin adalah,

$$\eta = (V_r - V_r' / V_r) \cdot 100 \%$$

$$\eta = (38,6 \text{ m/det} - 10 \text{ m/det} / 38,6 \text{ m/det}) \cdot 100 \%$$

$$\eta = 74 \%$$

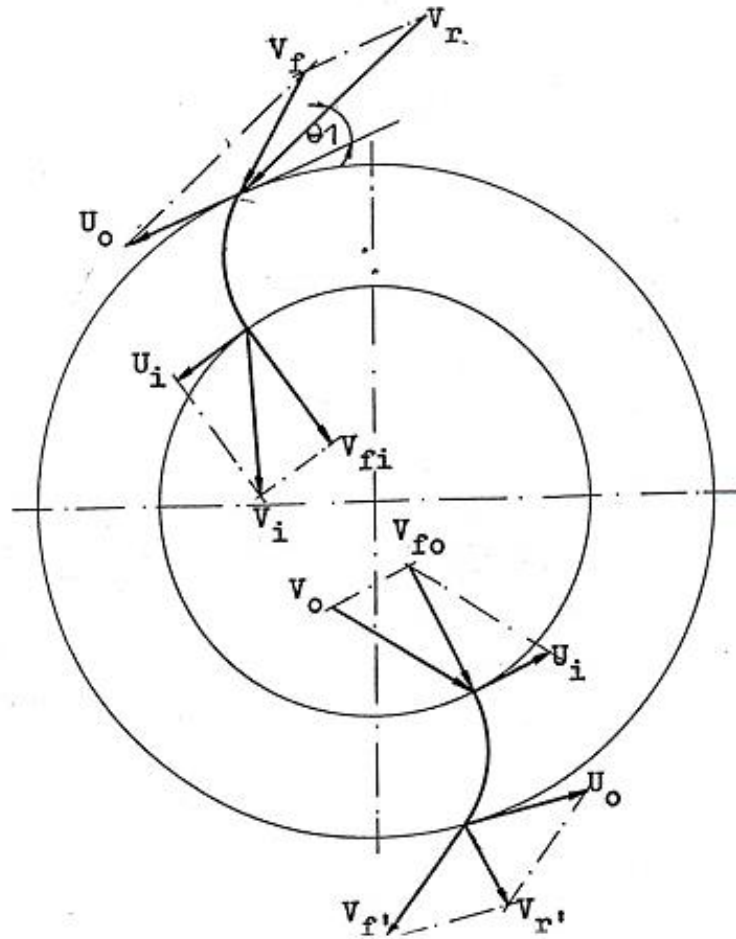
10.2.2 Sudut Air Masuk Sudu $\theta_1 = 20^\circ$

Dari analisis segitiga kecepatan dengan sudut masuk $\theta_1 = 20^\circ$ seperti dijelaskan pada gambar 53. diketahui, $V_r = 14$ m/det, maka efisiensi *runner* turbin adalah,

$$\eta_1 = (V_r - V_r' / V_r) \cdot 100 \%$$

$$\eta_1 = (38,6 \text{ m/det} - 14 \text{ m/det} / 38,6 \text{ m/det}) \cdot 100 \%$$

$$\eta_1 = 63,07 \%$$



Gambar 53. Analisis Segitiga Kecepatan Pada Sudut Masuk $\theta_1 = 20^\circ$
(Bachtiar, 2007)

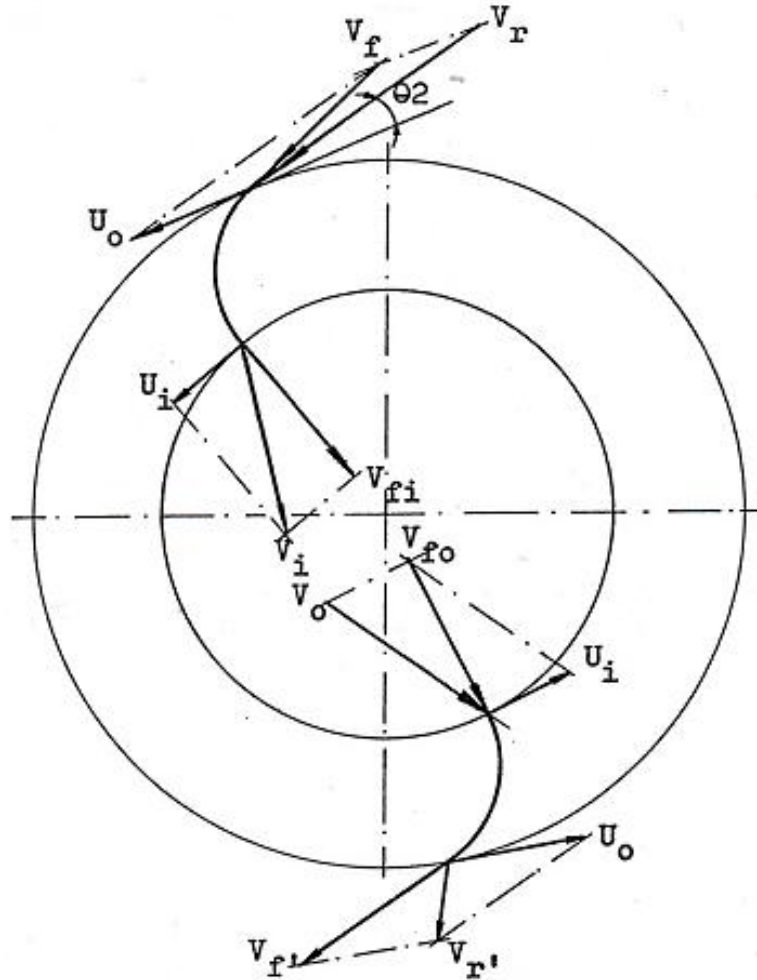
10.2.3 Sudut air masuk sudu $\theta_2 = 12^\circ$

Dari analisis segitiga kecepatan pada sudut masuk $\theta_2 = 12^\circ$ seperti dijelaskan pada gambar 54. diketahui, $V_r = 11$ m/det, maka efisiensi runner turbin adalah,

$$\eta_2 = (V_r - V_{r'} / V_r) \cdot 100 \%$$

$$\eta_2 = (38,6 \text{ m/det} - 11 \text{ m/det} / 38,6 \text{ m/det}) \cdot 100 \%$$

$$\eta_2 = 71,05 \%$$



Gambar 54. Analisis Segitiga Kecepatan Pada Sudut Masuk $\theta_2 = 12^\circ$ (Bachtiar, 2007)

10.3 Uji Efisiensi Dengan Variasi Perbandingan U_o/V_r

Uji efisiensi ini divariasikan untuk tiga nilai perbandingan U_o/V_r yang berbeda yaitu $U_o/V_r = 0,5$ dan lebih besar dari 0,5 yaitu $U_o/V_r = 0,7$ dan lebih kecil dari 0,5 yaitu $U_o/V_r = 0,3$.

10.3.1 Perbandingan $U_o/V_r = 0,5$

Dari analisis segitiga kecepatan dengan perbandingan $U_o/V_r = 0,5$ dan sudut masuk $\theta = 15^\circ$ seperti dijelaskan pada gambar 52. diketahui, $V_r = 38,6$ m/det dan $V_{r'} = 10$ m/det, maka efisiensi runner turbin adalah,

$$\eta = (V_r - V_{r'} / V_r) \cdot 100 \%$$

$$\eta = (38,6 \text{ m/det} - 10 \text{ m/det} / 38,6 \text{ m/det}) \cdot 100 \%$$

$$\eta = 74 \%$$

10.3.2 Perbandingan $U_o/V_r = 0,7$

$$U_o / V_r = 0,7$$

$$U_o = 0,7 \cdot V_r$$

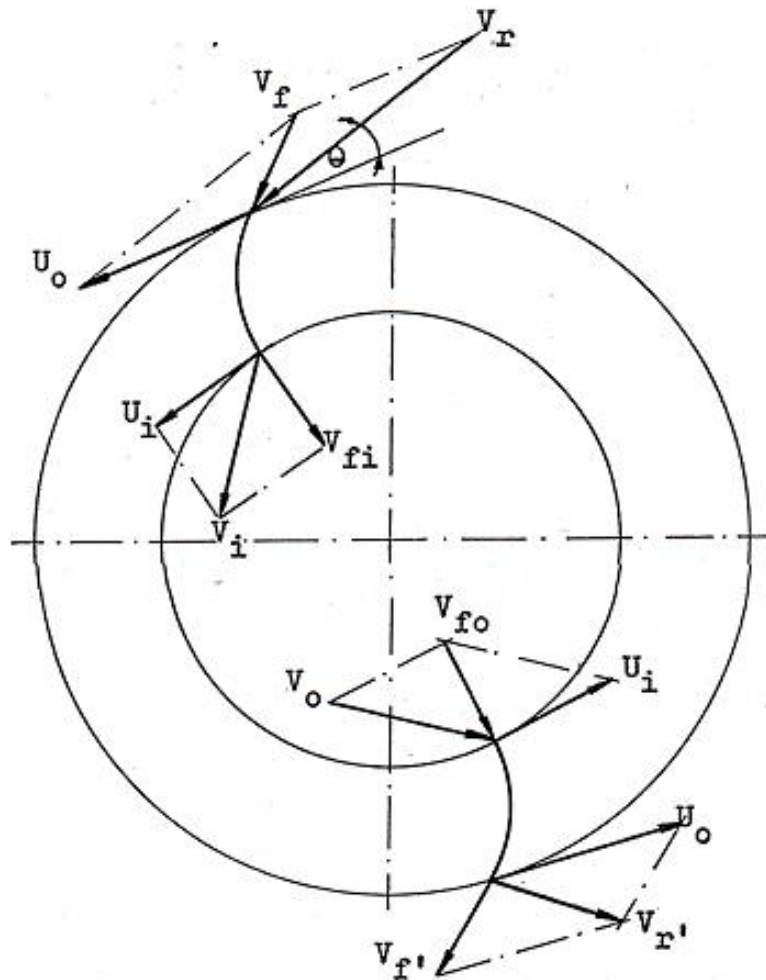
$$U_o = 0,7 \cdot 38,6 \text{ m/det}$$

$$U_o = 27,02 \text{ m/det} = 27,02 \text{ mm skala}$$

Maka, $U_i = 2/3 \cdot 27,02 \text{ mm skala}$

$$U_i = 18 \text{ mm skala}$$

Selanjutnya dibuat analisis segi tiga kecepatannya seperti dijelaskan pada gambar 55.



Gambar 55. Analisis Segi Tiga Kecepatan Pada Perbandingan $U_o / V_r = 0,7$ (Bachtiar, 2007)

Dari analisis gambar di atas diketahui,

$$V_{r'} = 19 \text{ mm skala}$$

Maka, $V_r = 19 \text{ m/det}$

Maka efisiensi runner turbin adalah,

$$\eta_3 = (V_r - V_{r'} / V_r) \cdot 100 \%$$

$$\eta_3 = (38,6 \text{ m/det} - 19 \text{ m/det} / 38,6 \text{ m/det}) \cdot 100 \%$$

$$\eta_3 = 51 \%$$

Ternyata $\eta_3 < \eta$ atau $51 \% < 74,096 \%$, maka dengan memilih perbandingan $U_o/V_r = 0,5$ menghasilkan efisiensi yang lebih baik dibanding apabila nilai perbandingan $U_o/V_r = 0,7$

10.3.3 Perbandingan $U_o/V_r = 0,3$

$$U_o / V_r = 0,3$$

$$U_o = 0,3 \cdot V_r$$

$$U_o = 0,3 \cdot 38,6 \text{ m/det}$$

$$U_o = 11,58 \text{ m/det}$$

$$U_o = 11,58 \text{ mm skala}$$

Maka, $U_i = 2/3 \cdot 11,58 \text{ mm skala}$

$$U_i = 7,8 \text{ mm skala}$$

Selanjutnya dibuat analisis segi tiga kecepatannya seperti dijelaskan pada gambar 56. Dari analisis gambar 56. diketahui,

$$V_{r'} = 15 \text{ mm skala}$$

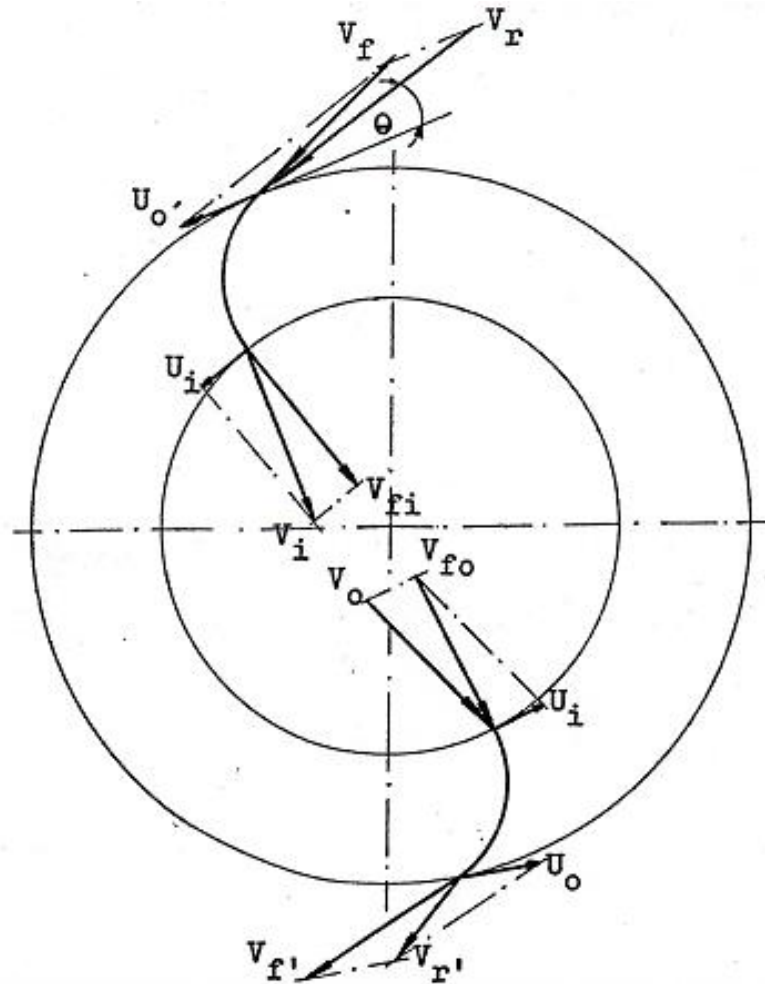
Maka, $V_{r'} = 15 \text{ m/det}$

Maka efisiensi *runner* turbin adalah,

$$\eta_4 = (V_r - V_{r'} / V_r) \cdot 100 \%$$

$$\eta_4 = (38,6 \text{ m/det} - 15 \text{ m/det} / 38,6 \text{ m/det}) \cdot 100 \%$$

$$\eta_4 = 61 \%$$



Gambar 56. Analisis Segi Tiga Kecepatan Pada Perbandingan $U_o / V_r = 0,3$ (Bachtiar, 2007)

Ternyata $\eta_4 < \eta$ atau $61 \% < 74,096 \%$, maka dengan memilih perbandingan $U_o / V_r = 0,5$ menghasilkan efisiensi yang lebih baik dibanding apabila nilai perbandingan $U_o / V_r = 0,3$. Hasil analisis pengujian telah membuktikan bahwa dengan mengoperasikan sudut masuk $\theta = 15^\circ$ akan menghasilkan efisiensi *runner Turbin Cross Flow* yang paling tinggi dibanding dengan pengoperasian sudut masuk pada posisi 12° dan 20° yaitu $74,096\% > 71,50\% > 63,76\%$. Pembuktian ini semakin memperkuat teori Haimerl (1960) tentang karakteristik *Turbin Cross Flow* yang ideal. Selanjutnya hasil pengujian dengan memvariasikan perbandingan U_o / V_r , diketahui pada nilai perbandingan $U_o / V_r = 0,5$ dihasilkan efisiensi *runner Turbin Cross Flow* yang paling tinggi dibanding dengan pengoperasian nilai perbandingan U_o / V_r pada posisi 0,3 dan 0,7 yaitu $74,096 \% > 61 \% > 51 \%$. Dengan demikian direkomendasikan bahwa untuk membuat *runner Turbin Cross Flow* yang berdaya guna tinggi maka dasar perencanaan ideal yang harus diperhatikan dan diterapkan ialah, sudut masuk $= \theta = 15^\circ$ dan perbandingan kecepatan keliling diameter luar *runner* dengan kecepatan air masuk sudu rim luar *runner* adalah $U_o / V_r = 0,5$.

Pengujian teoritis ini merupakan awal keberhasilan menuju eksperimen di lapangan. Untuk itu kepada pihak-pihak yang memiliki kesempatan dan tertarik dengan bidang kajian ini

merupakan pengalaman ilmiah yang sangat berkesan bila dapat melanjutkan ke eksperimen di lapangan, semoga !.

Perlatihan

Sebagai penutup dan sekaligus untuk mengetahui sejauh mana pemahaman dan keterampilan anda terhadap pokok bahasan di atas, maka jawablah pertanyaan-pertanyaan berikut ini,

1. Jelaskan apa yang dimaksud dengan pernyataan, efisiensi turbin = 85 % ?
2. Jelaskan apa yang dimaksud dengan kecepatan relatif pada analisis segi tiga kecepatan ?
3. Jelaskan apa perbedaan kecepatan keliling (rotasi) dengan kecepatan translasi dan bagaimana hubungan diantara keduanya ?
4. Untuk variabel yang sama seperti pada kasus *runner* di atas dan dengan cara gambar analisis segi tiga kecepatan, tentukanlah,
 - a. Berapa % efisiensi *runner Turbin Cross Flow* untuk sudut masuk $\theta = 10^\circ$?
 - b. Berapa % efisiensi *runner Turbin Cross Flow* untuk sudut masuk $\theta = 17^\circ$?
 - c. Berapa % efisiensi *runner Turbin Cross Flow* untuk perbandingan $U_o/V_r = 0,2$?
 - d. Berapa % efisiensi *runner Turbin Cross Flow* untuk perbandingan $U_o/V_r = 1,0$?

BAB XI

PENGEMBANGAN PLTMH

Dalam bab ini akan dijelaskan betapa strategisnya pengembangan PLTMH ke depan yang bertujuan untuk meningkatkan kinerja baik manajemen, organisasi maupun kemampuan teknis pemeliharaan PLTMH. Pengembangan PLTMH juga bertujuan untuk memperkuat keuangan PLTMH dengan cara mendayagunakan potensi daya yang dibangkitkan PLTMH dan juga dengan menambah bidang usaha. Orientasi PLTMH tidak hanya sekedar dapat memenuhi/ menyalurkan energi listrik, tetapi juga bagaimana dengan adanya PLTMH dapat memberikan kontribusi atau keuntungan lain bagi penduduk desa.

Berikut ini akan diuraikan tentang rekayasa bentuk/ sistem PLTMH yang dirancang sedemikian rupa guna mendukung usaha pengembangan PLTMH yaitu sistem PLTMH Terpadu sebagai alternatif dan sistem PLTMH Portabel yang praktis dan murah. Selanjutnya akan dijelaskan bagaimana pengembangan PLTMH melalui interkoneksi dengan jaringan listrik PLN.

Diharapkan setelah mempelajari uraian bab tentang pengembangan PLTMH ini, pembaca akan mampu,

1. Memahami dan terbuka wawasannya bahwa PLTMH adalah salah satu aplikasi teknologi tepatguna yang sangat terbuka, banyak aspek yang dapat dikembangkan dan kedepan akan menjadi bidang bisnis yang menguntungkan.
2. Memahami dengan baik bahwa dengan rekayasa PLTMH akan dihasilkan beberapa alternatif sistem PLTMH yang lebih menguntungkan.
3. Memahami dengan baik manajemen kepengurusan, pengelolaan, pemeliharaan, kerja sama dan usaha-usaha pengembangan lainnya sehingga PLTMH dapat lebih berkembang dimasa depan.
4. Memahami dengan baik bahwa PLN bukanlah saingan bagi PLTMH tetapi PLN akan menjadi mitra usaha yang saling menguntungkan.
5. Memahami dengan baik tahapan - tahapan dalam melakukan perjanjian interkoneksi antara PLTMH dengan PLN.

11.1 Syarat Pengembangan PLTMH

Bentuk umum pengembangan PLTMH selama ini ialah, masyarakat memanfaatkan energi listrik dari PLTMH untuk membuka usaha rumah tangga seperti perbengkelan, pengisian accu, bordir/ menjahit pakaian, industri makanan dan industri rumah tangga lainnya. Alternatif lain, bagaimana pada siang hari energi yang dibangkitkan PLTMH dapat dimanfaatkan untuk menggerakkan mesin-mesin produksi skala besar seperti rice milling, mesin pengaduk tanah liat untuk pembuatan batu bata atau genting, mesin penggergajian kayu atau untuk menggerakkan mesin giling, mesin press pengolah hasil pertanian. Tidak tertutup kemungkinan jika potensi daya

yang dibangkitkan PLTMH melebihi kebutuhan masyarakat, energi listrik dapat dijual kepada PLN sesuai dengan Keputusan Menteri ESDM No : 122 mengenai Pembangkit Skala Kecil (PSK) Tersebar yang mewajibkan PLN membeli listrik yang dihasilkan PLTMH masyarakat.

Beberapa syarat yang harus diperhatikan dalam pengembangan usaha PLTMH yaitu,

1. Ada kesempatan untuk melakukan peningkatan usaha, ada sumber daya alam atau bentuk pelayanan yang dapat dikembangkan.
2. Ada kesempatan bagi pelanggan untuk meningkatkan usaha PLTMH, dalam hal ini masyarakat mempunyai kesadaran bahwa mereka harus membagi energi listrik mereka untuk usaha / kegiatan lain.
3. Secara keuangan, pengurus PLTMH telah siap dan mampu menganalisis untung rugi dalam usaha pengembangan PLTMH tersebut terutama dalam hal kebutuhan biaya perawatan dan perbaikan PLTMH.
4. Ada pihak lain atau kelompok masyarakat yang bisa berperan aktif dalam mendukung pengembangan usaha PLTMH.
5. Ada personil yang mampu menjalankan pengembangan usaha tersebut atau secara teknis PLTMH telah siap untuk mendukungnya.
6. Dari awal pembangunan PLTMH sudah disiapkan untuk menjalankan peningkatan usaha seperti dengan pembangunan PLTMH Terpadu.

11.2 PLTMH Terpadu sebagai Alternatif.

Usul PLTMH Terpadu sebagai salah satu alternatif usaha pengembangan PLTMH merupakan gagasan penulis seperti yang pernah dituangkan dalam bentuk penelitian tahun 2003 dengan judul, “ Perencanaan PLTMH Terpadu Untuk Meningkatkan Ekonomi Masyarakat Desa di Kampung Lambah Air Tabit, Kecamatan Kinali Pasaman, Sumatera Barat “. Ruang lingkup penelitian tersebut dibatasi yakni lebih mendalami perencanaan aspek teknis dari komponen-komponen PLTMH Terpadu yaitu sistem koneksi daya dari turbin ke mesin penggilingan dan dari turbin ke generator, disamping itu juga mengidentifikasi tata letak penempatan dan keterkaitan antara kandang ayam/ peternakan dan kolam ikan/ perikanan. Uraian awal hasil penelitian tersebut menjelaskan definisi operasional yang berkaitan dengan topik bahasan yaitu,

Yang dimaksud dengan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) Terpadu ialah suatu tempat atau lokasi dengan segala peralatan dan perlengkapannya yang berguna untuk membangkitkan energi listrik yang dipadu dengan tiga usaha lainnya yaitu penggilingan, perikanan dan peternakan yang berada dalam satu lokasi dan masing-masing memiliki keterkaitan kepentingan yang sangat erat. Keterkaitan tersebut diantaranya pertama, air yang keluar dari PLTMH dapat dimanfaatkan untuk usaha perikanan air deras. Kedua, kotoran ternak dan pakan ternak yang tercecer dari kandang ayam yang berada di atas kolam ikan akan jatuh dan

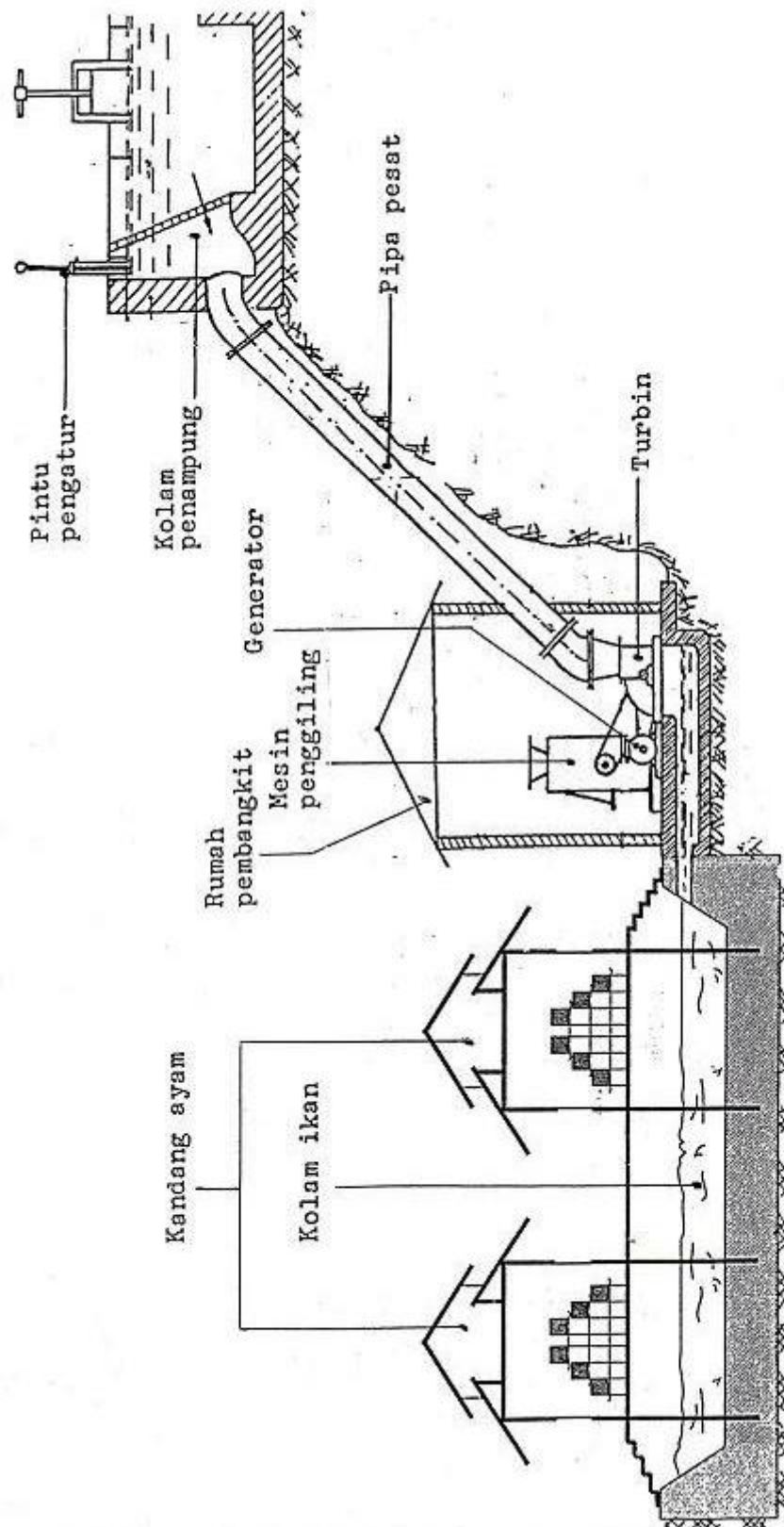
masuk ke kolam dan menjadi makanan ikan. Ketiga, Fungsi PLTMH disamping sebagai penggerak generator listrik juga pada siang hari dapat dimanfaatkan untuk menggerakkan mesin-mesin penggilingan. Listrik yang dihasilkan PLTMH disamping untuk penerangan masyarakat juga dapat digunakan untuk pemanasan anak-anak ayam. Keempat, fungsi mesin penggiling selain untuk mengolah biji-bijian untuk dijual juga untuk menggiling biji-bijian untuk konsumsi ayam dan ikan seperti jagung dan ikan kering.

Yang dimaksud dengan perikanan ialah usaha pembudidayaan ikan air deras dengan memanfaatkan air buangan PLTMH. Sasaran dari usaha ini ialah pembesaran ikan-ikan yang diharapkan setelah jangka waktu pemeliharaan tertentu berat ikan akan jauh bertambah dan kegiatan panen dapat dilakukan.

Yang dimaksud dengan peternakan ialah usaha budidaya dan pembesaran ayam kampung. Untuk mempercepat jumlah ayam yang dimiliki, setelah dua hari induk ayam menetas telur-telurnya, antara induk dengan anak ayam dipisah, anak ayam ditempatkan pada ruang pemanas lampu listrik sementara induknya dilepas ke kandang utama. Insya Allah dua bulan kemudian induk ayam telah dapat bertelur kembali dan bersamaan dengan itu anak-anak ayam yang telah dikurung selama dua bulan dapat dilepas ke kandang pembesaran.

Yang dimaksud dengan penggilingan ialah satu kegiatan usaha pembuatan tepung biji-bijian seperti beras, jagung, kopi dan kacang-kacangan melalui proses penggilingan oleh suatu mesin. Biaya produksi pembuatan tepung ini sangat murah karena penggerak mula yang digunakan adalah turbin yang tidak membutuhkan bahan bakar minyak.

Bagaimana sistem PLTMH Terpadu yang dimaksud, dapat lebih dijelaskan melalui gambar 57.



Gambar 57. Sistem PLTMH Terpadu

11.3 PLTMH Portabel yang Praktis dan Ekonomis

Gagasan PLTMH Portabel adalah berawal dari informasi yang penulis dapatkan tentang kurang berkembangnya penyebaran PLTMH di Sumatera Barat, hal ini menjadi latar belakang

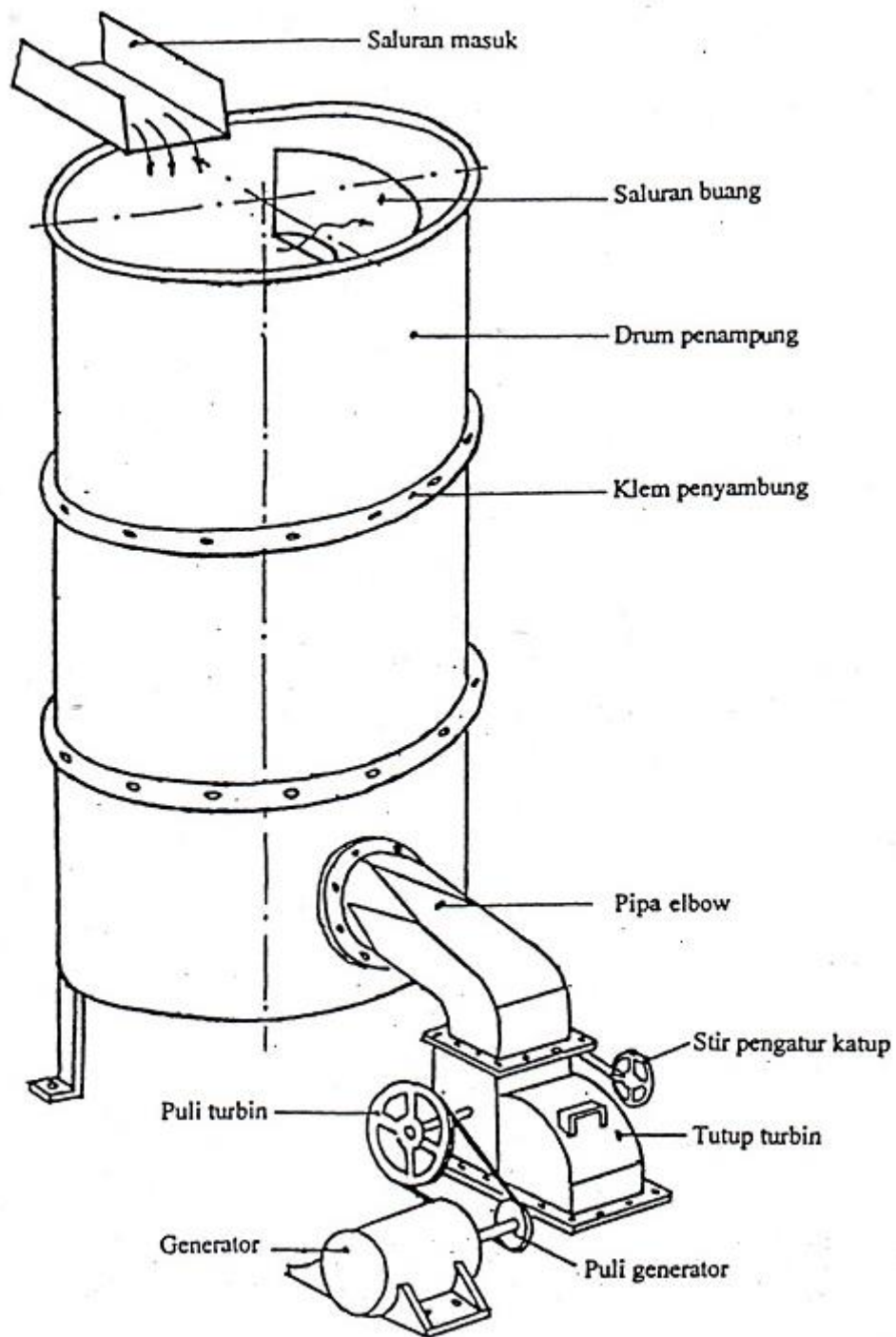
dari sebuah penelitian yang penulis lakukan di tahun 2001. Terkendalanya penyebaran PLTMH di Sumatera Barat diantaranya disebabkan oleh investasi PLTMH yang cukup mahal sehingga rencana pembangunan PLTMH yang cukup banyak belum dapat dilaksanakan secara maksimal oleh pemerintah, tabel 11. menjelaskan tentang kasus tersebut. Memperhatikan data tabel tersebut, terlihat Pemerintah Propinsi Sumatera Barat sangat berharap dapat menghasilkan daya listrik dari unit – unit PLTMH yang direncanakan. Tetapi jika memperhatikan kenyataan di lapangan, masih banyak potensi air yang mengalir melalui sungai – sungai kecil di pedesaan Sumatera Barat yang belum dimanfaatkan secara maksimal. Pemanfaatannya terbatas untuk mencuci dan irigasi desa sedang pemanfaatan sebagai sumber energi alternatif sangat terbatas.

Tabel 11. Pusat Pembangkit Listrik yang Akan
Diselesaikan pada Repelita VI 1994/1995 -1998/1999
(Pemda Tk.I Sumatera Barat, 1994)

Nama Pembangkit	Kapasitas (M Watt)	Lokasi
1. PLTA Singkarak	175	Padang Pariaman
2. PLTA Koto Panjang	114	Lima Puluh Kota
3. PLTG Padang	60	Padang
4. PLTU Ombilin	200	Sawah Lunto
5. PLTMH	7,7	Tersebar
6. PLTD	2	Tersebar

Memang saat ini telah dibangun pembangkit listrik skala kecil yang populer disebut Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH), tetapi itu jumlahnya sangat sedikit dibanding dengan potensi air yang ada. Semua PLTMH yang dioperasikan tersebut dibangun dengan konstruksi sistem pembangkit permanen dan digunakan untuk menggerakkan generator listrik. Sistem pembangkit ini semua komponen mulai dari bak penenang, pipa pesat, rumah pembangkit, penggerak mula, mesin kerja, dan saluran buang berada pada satu lokasi yang tetap, tidak dapat dibongkar – pasang dan tak dapat dipindah – pindahkan. Bangunan sipil sistem pembangkit ini lebih dominan baik volume kerja maupun bahan yang digunakan saat pembangunan, lahan yang dibutuhkanpun cukup luas sehingga biaya investasi dan pemeliharaan relatif mahal. Dengan karakteristik PLTMH seperti itu menjadi tantangan dan kendala bagi penyebaran dan pengembangan PLTMH di masyarakat. Ini sebuah kerugian besar karena potensi energi yang nyata ada di depan mata tak dapat dimanfaatkan segera. Memperhatikan kenyataan, tantangan, dan harapan di atas timbul pertanyaan, bagaimana menciptakan sistem pembangkit yang praktis, biaya investasi yang murah, mudah pengoperasiannya dan dapat dimiliki dengan mudah oleh perorangan atau kelompok masyarakat desa ?. Alhamdulillah melalui sebuah penelitian ini penulis berhasil menggagas ide dan mendalaminya hingga dihasilkan rumusan sistem pembangkit

yang praktis dan ekonomis, dapat dibongkar – pasang dengan mudah, dapat dipindah – pindahkan dengan cepat sesuai dengan lokasi potensi air berada serta dapat digunakan untuk menggerakkan mesin – mesin produksi disamping sebagai pembangkit listrik.



Gambar 58. Sistem PLTMH Portabel (Bachtiar, 2008)

11.3.1 Keunggulan PLTMH Portabel.

Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro Portabel adalah sistem pembangkit listrik yang menjadi alternatif dalam usaha pengembangan dan penyebaran PLTMH di pedesaan. Keunggulan-keunggulan PLTMH Portabel yang menjadi andalan dalam mendukung penyebaran PLTMH antara lain,

1. Sistem PLTMH Portabel cukup praktis yang terdiri dari beberapa komponen yang mudah dibongkar pasang, penempatannya di lapangan tidak membutuhkan tempat yang luas, proses perakitan dan pemasangannya lebih cepat sehingga biaya investasi akan lebih murah
2. PLTMH Portabel sangat cocok untuk memanfaatkan potensi air yang relatif kecil dibanding untuk PLTMH pada umumnya.
3. Sistem pembangkit tenaga mikro hidro portabel sangat cocok dioperasikan disamping rumah tangga yang berdekatan dengan sumber aliran air dan di dalamnya terdapat kegiatan industri (*home industry*). Daya yang dibangkitkan dimanfaatkan untuk menggerakkan mesin – mesin produksi seperti mesin penggilingan kopi, jagung, kacang – kacangan, kukuran kelapa, dan mesin – mesin industri lainnya seperti kompresor listrik, dan mesin gergaji listrik.
4. Sistem pembangkit portabel terdiri dari komponen-komponen yang lebih terurai sehingga mobilitasnya saat pengangkutan ke lokasi pembangkit lebih mudah, dengan demikian sistem PLTMH Portabel sangat tepat dioperasikan di daerah-daerah terpencil dengan kondisi jalan yang sulit.
5. Teknologi dari sistem pembangkit tenaga mikro hidro portabel sangat sederhana sehingga dapat dibuat oleh bengkel – bengkel kecil, hal ini akan menarik dan mendorong masyarakat desa untuk berkarya dan membuat sendiri sistem pembangkit sesuai dengan kemampuan dan pemanfaatannya.

Jika penyebaran sistem pembangkit portabel ini telah banyak di masyarakat diharapkan kegiatan ekonomi di desa – desa dapat lebih berkembang yang pada akhirnya dapat meningkatkan kesejahteraan mereka.

11.3.2 Bentuk Teknologi dan Mekanis Kerja PLTMH Portabel

Sistem pembangkit tenaga mikro hidro portabel termasuk teknologi tepat guna, pengoperasiannya di masyarakat desa sangat tepat dalam rangka pendayagunaan potensi desa dan pemenuhan kebutuhan energi masyarakatnya. Teknologinya sangat sederhana, masyarakat dapat dengan mudah dan cepat memahami prinsip kerjanya. Proses pembuatannya relatif mudah hingga masyarakat desa dapat membuat sendiri di tempat masing – masing. Sementara daya yang dibangkitkan oleh sistem pembangkit ini cukup besar, pemanfaatannya dapat divariasikan sesuai dengan potensi desa dan keterampilan masyarakatnya. Dengan keunggulan – keunggulan seperti

itu sangat optimis pengoperasiannya di tengah masyarakat akan mendapat dukungan dari banyak pihak.

Mekanisme kerja dari sistem pembangkit listrik tenaga mikro hidro portabel adalah,

1. Langkah awal, buka pintu pengatur hingga air dari bendungan mengalir melalui saluran terbuka yang terbuat dari bahan plat baja lalu masuk ke dalam drum penampung.
2. Biarkan air mengisi penuh drum penampung hingga air melimpah ke luar melalui saluran limpah.
3. Setelah permukaan air dalam drum penampung relatif tenang, bukalah katup turbin secara teratur.
4. Air yang keluar dari katup selanjutnya akan mendorong dan menggerakkan *runner* turbin *cross flow*.
5. Putaran dari *runner* turbin diteruskan oleh poros *runner* untuk menggerakkan puli penggerak. Selanjutnya sistem transmisi belt – puli akan bekerja memindahkan daya dan putaran dari turbin ke generator.
6. Jika daya dan putaran yang dibangkitkan belum sesuai dengan beban generator, perbesar bukaan katup dengan cara memutar tuas pengatur searah jarum jam hingga debit air yang keluar dari katup bertambah besar.
7. Untuk menghentikan sistem pembangkit, putarlah tuas pengatur berlawanan arah jarum jam sampai ke posisi minimum, saat itu katup pada posisi menutup penuh dan tidak ada air yang masuk ke dalam *runner*, *runner* pun berhenti berputar dan sistem pembangkit dinyatakan tidak beroperasi.

11.4 PLTMH dan Interkoneksi dengan Jaringan Listrik PLN

Saat ini usaha pengembangan PLTMH sebagai sumber pembangkit energi baru dan terbarukan telah memiliki payung hukum yang kuat. Dengan keluarnya undang-undang No. 30/2007 tentang energi, semakin mempertegas komitmen pemerintah dan atau pemerintah daerah untuk mendorong, memberi kemudahan dan atau insentif dalam pengembangan potensi energi baru dan terbarukan tak terkecuali untuk pengembangan PLTMH ke depan. Pengembangan PLTMH dapat dilakukan melalui dua pola, yaitu *off-grid* dan *on-grid*. Pola *off-grid* dilakukan di desa-desa yang belum terjangkau jaringan listrik PLN sedang pola *on-grid* dilakukan di desa-desa atau daerah yang sudah terjangkau jaringan PLN sehingga listrik yang dihasilkan dapat dijual ke PLN.

Penjualan listrik PLTMH ke PLN telah diatur oleh Keputusan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral No : 1122K/30/MEM/2002 tanggal 12 Juni 2002, yaitu tentang Pembangkit Skala Kecil (PSK) Tersebar. Garis besar skema PSK Tersebar adalah sebagai berikut,

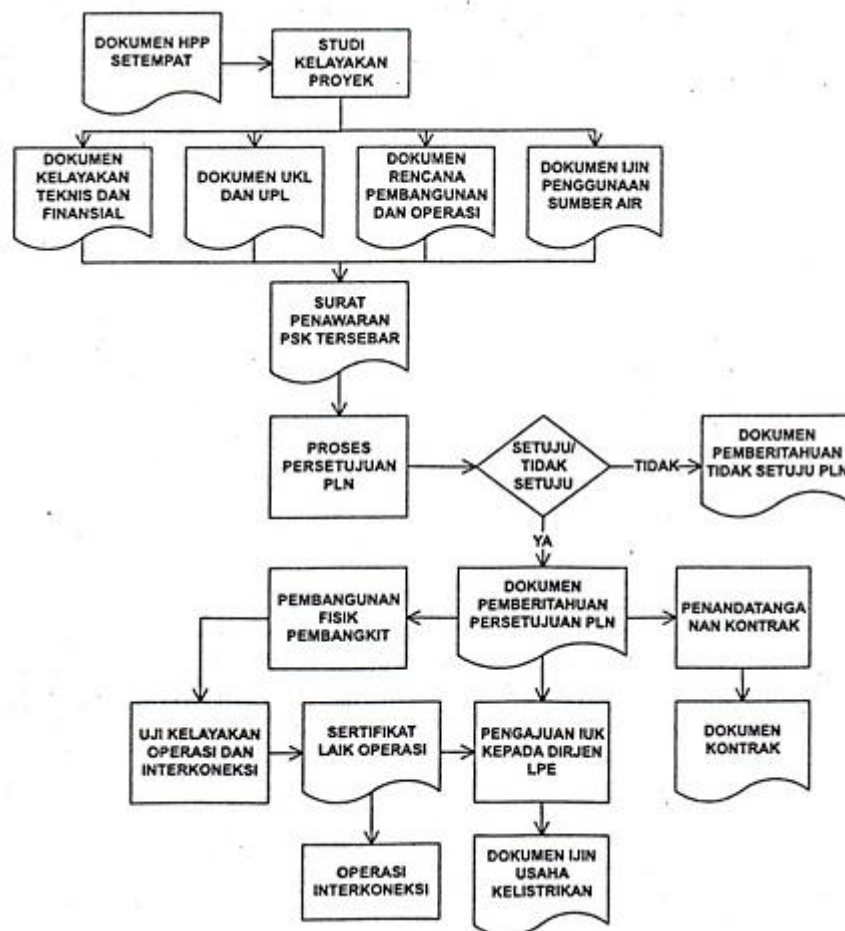
1. PLN setempat mengumumkan Harga Pokok Penjualan (HPK) sistem PLN pada titik Tegangan Rendah (TR) dan Tegangan Menengah (TM).
2. Masyarakat baik perorangan, perusahaan kecil dan koperasi dapat berpartisipasi membangun pembangkit listrik skala kecil energi terbarukan dengan kapasitas maksimum 1 MW.
3. Listrik yang dihasilkan pembangkit listrik skala kecil energi terbarukan dapat dijual ke PLN. Titik sambung ke jaringan PLN dapat dilakukan pada TM atau TR.

11.4.1 Syarat-syarat dan Proses Pengajuan PSK Tersebar.

Syarat-syarat PSK Tersebar adalah,

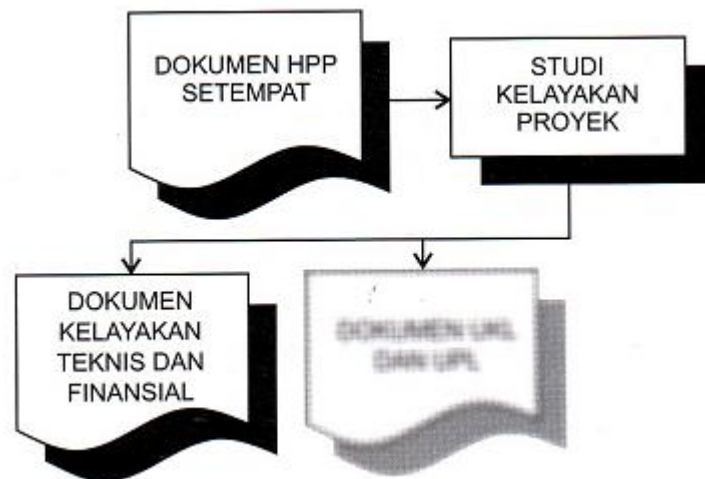
1. Diusahakan oleh usaha kecil dengan kriteria,
 - a. Memiliki kekayaan bersih maksimal Rp. 200.000.000; tidak termasuk tanah dan bangunan tempat usaha.
 - b. Memiliki hasil penjualan tahunan maksimal Rp. 1 milyar.
 - c. Dimiliki oleh warga negara Indonesia
 - d. Berdiri sendiri dan tidak berafiliasi dengan perusahaan yang lebih besar.
Berbentuk usaha perseorangan, badan usaha yang tidak berbadan hukum, badan usaha berbadan hukum termasuk koperasi.
2. Menggunakan energi terbarukan yang meliputi energi angin, energi matahari, energi air, energi dari sampah atau buangan dan energi panas bumi.
3. Merupakan pembangkit baru atau yang sudah direhabilitasi.

Proses pengajuan Pembangkit Skala Kecil (PSK) Tersebar adalah seperti dijelaskan gambar 59 diagram alir berikut ini,



Gambar 59. Diagram Alir Proses Pengajuan PSK Tersebar (Wibowo, 2005)

11.4.2 Tahap 1 - Studi Kelayakan.



Gambar 60. Diagram Alir Tahap 1 – Studi Kelayakan (Wibowo, 2005)

Studi kelayakan yang akan dievaluasi mencakup studi kelayakan teknis, finansial dan kelayakan kelembagaan. Dan untuk mengetahui daftar besar nilai Harga Pokok Penyediaan (HPP)

listrik PLN dapat diperoleh di kantor unit PLN setempat atau kantor PLN wilayah. Nilai HPP bisa dipergunakan selanjutnya untuk memperkirakan kelayakan keuangan PSK Tersebar.

Studi kelayakan teknis dilakukan untuk mengetahui,

1. Potensi energi terbarukan di lokasi yang dipilih dan fluktuasi yang terjadi.
2. Potensi permintaan energi listrik di sekitar lokasi dan fluktuasinya.
3. Hubungan antara potensi energi primer dan potensi produksi energi.
4. Gambaran detail mengenai fisik lokasi pembangkit dan daerah sekitarnya
5. Pilihan teknologi konversi energi yang paling tepat.
6. Studi kelayakan teknis juga dilengkapi gambar teknis dari sistem pembangkit beserta kelengkapannya termasuk diagram satu garis dari rangkaian interkoneksi dan perlengkapan lainnya.

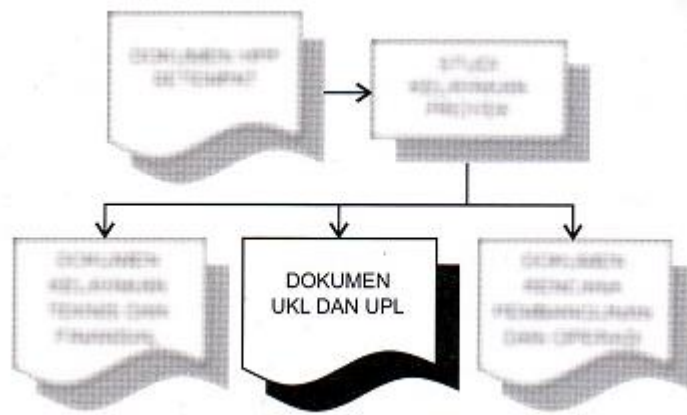
Kelayakan finansial dari suatu proyek perlu diteliti dengan menggunakan beberapa skenario dan menggunakan nilai HPP yang disediakan oleh PLN. Beberapa komponen kelayakan finansial adalah,

1. Kebutuhan investasi dan rencana pendanaan.
2. Rencana dan proyeksi penerimaan dan pengeluaran dari operasional
3. Rencana dan proyeksi produksi energi
4. Proyeksi aliran kas.
5. Perbandingan kinerja keuangan dengan pembangkit energi fosil dengan kapasitas daya yang sama.

Kelayakan kelembagaan dapat diperoleh dengan mengajukan lembaga untuk mempunyai akta kelahiran lembaga kepada notaris. Jenis lembaga yang didukung oleh PSK Tersebar adalah usaha perseorangan, Koperasi, lembaga tak berbadan hukum dan lembaga berbadan hukum (PT, CV, Firma dan lain- lain). Lembaga harus paling tidak memiliki Anggaran Dasar (AD) dan Anggaran Rumah Tangga (ART) sebagai dokumen pelengkap menghadap notaris.

Surat-surat yang diperlukan antara lain surat permohonan daftar HPP daerah kepada PLN wilayah dan surat permohonan pembuatan akta pendirian lembaga kepada notaris. Selanjutnya jika prosedur-prosedur di atas telah terpenuhi dan dilaksanakan maka pemohon akan mendapatkan dokumen daftar HPP setempat, dokumen studi kelayakan teknis dan finansial serta surat akta pendirian organisasi dari notaris dan pengadilan negeri.

11.4.3 Tahap 2 - Pengajuan Dokumen Usaha Pengelolaan Lingkungan (UPL)



Gambar 61. Diagram Alir Tahap 2 – Pengajuan Dokumen Usaha Pengelolaan Lingkungan (Wibowo, 2005)

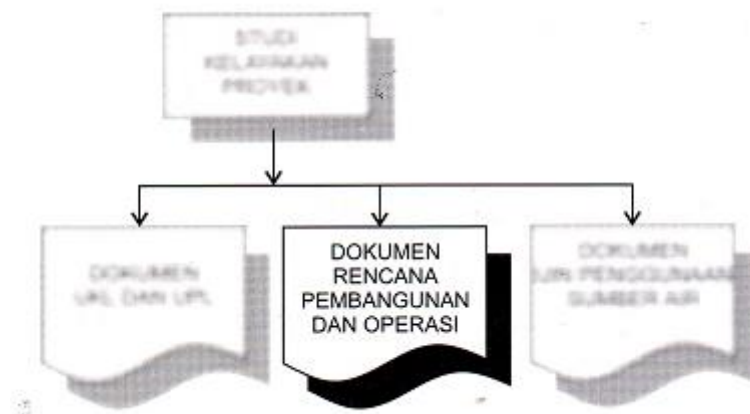
Dokumen UPL diajukan kepada Badan Pengendalian Dampak Lingkungan Daerah (Bapedalda) kabupaten atau kotamadya. Dokumen UPL ini sebaiknya disusun oleh institusi yang memiliki akreditasi minimal AMALA.

Komponen-komponen dokumen UPL antara lain,

1. Deskripsi kegiatan proyek. Deskripsi kegiatan harus menunjukkan tahapan-tahapan kegiatan proyek serta detil kegiatan yang dilaksanakan.
2. Identifikasi dampak di setiap kegiatan untuk komponen lingkungan fisik, biologi dan sosial.
3. Upaya pengelolaan lingkungan yang dilakukan untuk meminimalkan dampak lingkungan yang ditimbulkan oleh proyek.
4. Upaya pemantauan lingkungan yang merupakan monitoring dari upaya pengelolaan dampak yang telah direncanakan.

Syarat yang diperlukan untuk pengajuan dokumen UPL ialah surat pengantar dari pengusaha kepada Bapedalda. Selanjutnya setelah semua syarat terpenuhi, pemohon akan mendapatkan dokumen UPL yang telah disetujui Bapedalda.

11.4.4 Tahap 3 - Perencanaan Pembangunan dan Operasi.



Gambar 62. Diagram Alir Tahap 3 – Perencanaan Pembangunan dan Operasi (Wibowo, 2005)

Perencanaan pembangunan dan operasi pada dasarnya merupakan bagian tak terlepaskan dari studi kelayakan, komponen dalam perencanaan pembangunan antara lain,

1. Jadwal pelaksanaan pembangunan.
2. Gambar denah lokasi pembangunan dan jaringan PLN terdekat.
3. Gambar detail teknis bangunan pembangkit.
4. Gambar detail teknis bangunan penunjang.
5. Gambar diagram satu garis sistem kelistrikan interkoneksi.
6. Gambar lain yang menunjang kepada proses pembangunan fisik pembangkit.

Dokumen di atas selain berguna untuk penawaran PSK Tersebar juga penting untuk pengajuan izin mendirikan bangunan (IMB).

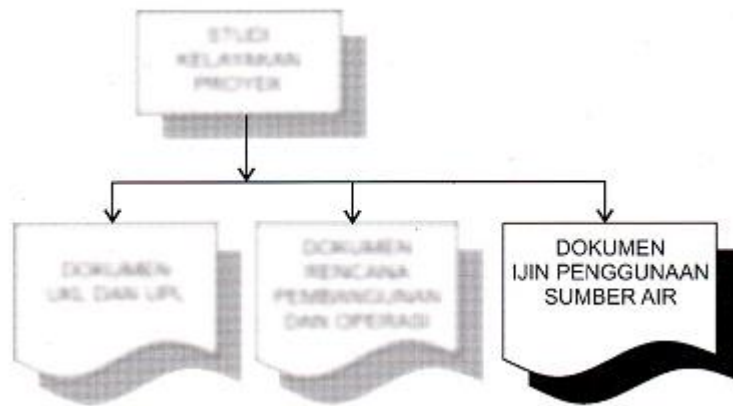
Perencanaan operasi pada dasarnya merupakan dokumen Prosedur Operasi Standar (POS) dari pembangkit, adanya POS merupakan syarat dasar dalam pengajuan penawaran PSK Tersebar kepada PLN. Komponen utama POS antara lain,

1. Jadwal operasi pembangkit.
2. Langkah-langkah pengoperasian pembangkit.
3. Jadwal perawatan pembangkit.
4. Kegiatan-kegiatan perawatan pembangkit.
5. Langkah-langkah dalam keadaan darurat.
6. Aspek keselamatan operator.
7. Aspek pengelolaan lingkungan

Surat yang diperlukan pada tahap ke tiga ini ialah surat pengajuan IMB kepada Dinas Pendapatan Daerah/ Dinas Tata Kota di kabupaten/ kotamadya. Selanjutnya setelah semua syarat

terpenuhi, pemohon akan memperoleh surat izin mendirikan bangunan (IMB) dan dokumen perencanaan pembangunan fisik serta dokumen POS pembangkit.

11.4.5 Tahap 4 - Perizinan Pemanfaatan Sumber Daya Lokal.

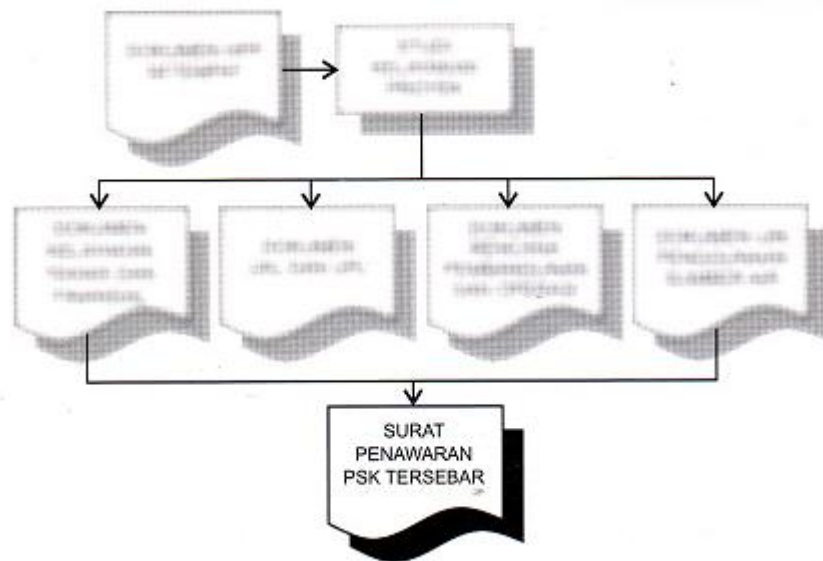


Gambar 63. Diagram Alir Tahap 4 – Perizinan Pemanfaatan Sumber Daya Lokal (Wibowo, 2005)

Perizinan untuk menggunakan sumberdaya lokal berlaku terutama untuk pembangkit listrik tenaga air (*hydro power*). Sesuai dengan PP 65 tahun 2001 mengenai pajak daerah, air permukaan merupakan obyek kena pajak. Penggunaan air permukaan diwajibkan membayar pajak. Oleh karena itu perlu diperoleh surat izin untuk menggunakan air permukaan sebagai fluida pembangkit listrik. Untuk mendapatkan izin tersebut, permohonan dapat diajukan kepada dinas pengairan dan dinas yang bertanggung jawab mengenai tata air setempat.

Surat yang diperlukan untuk mendapatkan izin tersebut ialah surat permohonan izin penggunaan air permukaan yang ditujukan kepada kepala daerah melalui dinas terkait/dinas pengairan disertai uraian rencana penggunaan air. Selanjutnya surat yang akan diperoleh ialah surat izin pemanfaatan air permukaan untuk usaha.

11.4.6 Tahap 5 - Pengajuan Penawaran PSK Tersebar kepada PLN.



Gambar 64. Diagram Alir Tahap 5 – Pengajuan Penawaran PSK Tersebar Kepada PLN (Wibowo, 2005)

Proses pengajuan penawaran PSK Tersebar kepada PLN dimulai dengan pengiriman surat pengajuan penawaran beserta kelengkapan proposalnya antara lain,

1. Studi kelayakan teknis dan finansial lengkap.
2. Dokumen UPL yang telah disetujui oleh Bapedalda daerah.
3. Jadwal pembangunan pembangkit dan operasi pembangkit.
4. Gambar lokasi pembangkit yang juga menggambarkan lokasi jaringan PLN terdekat beserta gambar teknis pendukung.
5. Gambar instalasi serta spesifikasi peralatan yang digunakan berikut interkoneksi dengan sistem PLN.
6. Surat izin penggunaan sumber daya alam yang dikeluarkan oleh kepala daerah beserta uraian penggunaan sumber daya tersebut.
7. Akta lembaga yang dikeluarkan oleh notaris.
8. Prosedur Operasi Standar (POS) pembangkit.

Surat penawaran oleh pengusaha ditujukan kepada kepala cabang PLN di tingkat kabupaten/ kotamadya setempat dengan tembusan kepada,

1. Direktur Jendral Listrik dan Pemanfaatan Energi.
2. Bupati/ walikota setempat.
3. Kepala wilayah PT. PLN di propinsi bersangkutan.
4. Direktur PLN Pusat.
5. Kepala Bapedalda kabupaten/ kotamadya setempat.
6. Direktur Sub- Direktorat Energi Baru Terbarukan dan Konservasi Energi Dirjen LPE.

Dalam pengajuan penawaran ini PLN akan melakukan evaluasi selama maksimal 60 hari dan dalam masa 60 hari tersebut pemohon disarankan untuk selalu meminta dukungan dari,

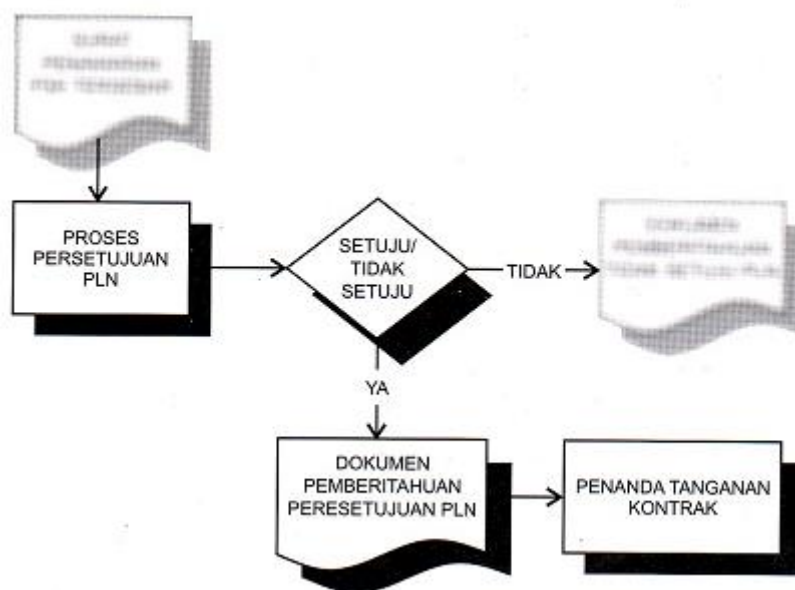
1. Direktorat Jenderal LPE khususnya dari Sub- Direktorat Energi Baru dan Terbarukan dan Konservasi Energi.

2. Kepala daerah kabupaten/ kotamadya setempat.

Disamping meminta dukungan di atas, pemohon supaya melakukan penelusuran/ *follow up* proses evaluasi di PLN. PLN wajib menerima penawaran yang diajukan selama dilokasi telah ada jaringan listrik PLN sesuai dengan Kepmen PSK Tersebar pasal 10. Jika penawaran disetujui, maka PLN akan menginformasikan kepada pemohon/ pengusaha secara tertulis, begitu juga jika tawaran ditolak.

Surat yang diperlukan pada penyelesaian tahap 5 ini ialah surat penawaran PSK Tersebar kepada PLN yang ditujukan kepada kepala cabang PLN setempat dengan tembusan seperti disebutkan di atas. Selanjutnya jika penawaran disetujui, pemohon akan memperoleh surat persetujuan penawaran PSK Tersebar yang dikirim oleh PLN, dimungkinkan pula untuk mendapatkan surat dukungan formal dari Direktur Jenderal LPE dan kepala daerah setempat.

11.4.7 Tahap 6 - Kontrak PSK Tersebar.



Gambar 65. Diagram Alir Tahap 6 – Kontrak PSK Tersebar (Wibowo, 2005)

Kontrak PSK Tersebar harus ditandatangani oleh kedua belah pihak dalam jangka waktu tiga bulan setelah surat penawaran persetujuan penawaran PSK Tersebar di setujui oleh PLN. Kontrak PSK Tersebar selama ini berjangka waktu 1 tahun dan dapat diperbaharui. Komponen surat kontrak adalah, ketentuan umum, ruang lingkup, tujuan kerjasama, hak dan kewajiban, titik

transaksi dan pengukuran, interkoneksi dan operasi, jual beli energi listrik, cara pembayaran, batas pertanggungjawaban, penyelesaian perselisihan, pemindahan hak, jangka waktu dan pemutus perjanjian, lampiran dan lain-lain. Penandatanganan kontrak ini bisa menjadi hambatan yang paling berat dalam proses PSK Tersebar. Pada tahap ini pemohon/ pengusaha disarankan untuk selalu,

1. mencari dukungan dari Direktorat Jenderal LPE khususnya untuk mendorong semangat kepada PLN untuk mengeluarkan kontrak.
2. Mencari dukungan dari pemerintah daerah setempat khususnya untuk memberi dorongan semangat kepada PLN untuk mengeluarkan kontrak.
3. Mencari tahu sejauh mana proses telah berlangsung di PLN secara teratur misalnya dua kali seminggu secara resmi dengan cara mengirim surat kepada PLN dengan tembusan kepada Direktorat Jenderal LPE dan kepala daerah setempat.

Dalam Kepmen 1122 mengenai PSK Tersebar tidak terdapat pasal yang menjelaskan penalti bila PLN lambat dalam memproses kontrak. Kepmen 1122 memberikan penalti kepada pemohon/ pengusaha jika pengusaha lambat dalam memproses kontrak.

Selama proses kerjasama berjalan terdapat kemungkinan PLN memperbaharui Harga Pokok Penjualan (HPP) setempat. Pada kondisi seperti ini perpanjangan kontrak dimungkinkan menggunakan HPP yang baru. Pada prinsipnya harga jual listrik akan berubah jika HPP berubah. Ada kemungkinan PLN akan berusaha menurunkan nilai HPP tanpa penjelasan yang akurat dan terbuka. Logika yang ada adalah bahwa harga bahan bakar akan semakin mahal sehingga HPP juga akan semakin tinggi.

Pada keadaan PLN memberikan HPP yang lebih kecil dari tahun sebelumnya, maka pengusaha diharapkan segera melakukan kontak dengan Direktorat Jenderal LPE khususnya Direktorat Energi Baru dan Terbarukan untuk mendapatkan dukungan formal dalam mendapatkan nilai yang wajar saat itu.

Harga jual listrik dari pengusaha kepada PLN tergantung dari titik interkoneksinya. Untuk interkoneksi pada tegangan rendah maka harga jual listrik adalah 0,6 kali HPP. Untuk interkoneksi pada tegangan menengah maka harga jual listrik adalah 0,8 kali HPP. Misalkan , HPP tegangan rendah adalah RP. 600;,,

maka harga jual listrik pada interkoneksi tegangan rendah adalah Rp. 360;.

Kontrak PSK Tersebar saat ini dalam praktek adalah satu tahun, kebijakan ini dalam waktu yang tidak lama akan berubah. Untuk mempersiapkan kontrak selanjutnya, maka pengusaha direkomendasikan untuk mulai mengurus perpanjangan kontrak dengan PLN setengah tahun sebelum kontrak yang berjalan selesai.

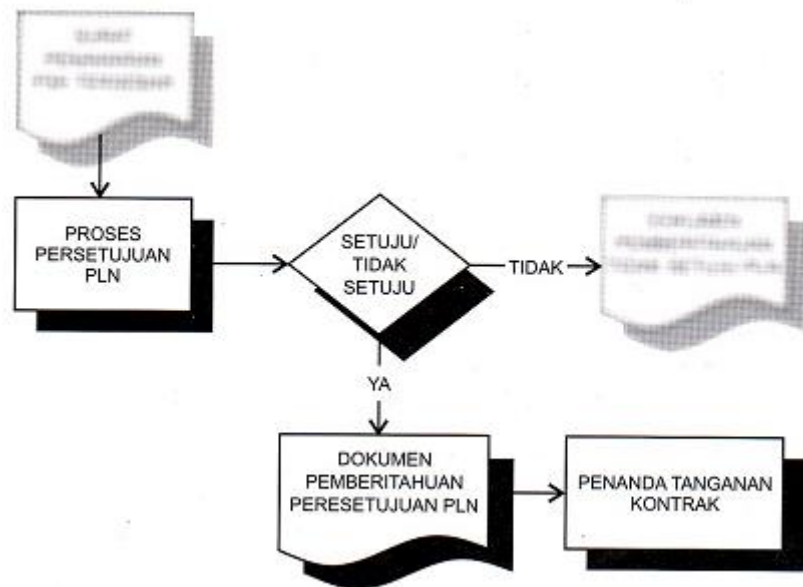
Surat yang diperlukan untuk penyelesaian kontrak PSK Tersebar adalah,

1. Surat permohonan kepada PLN untuk menginformasikan proses kontrak.

2. Surat permohonan kepada PLN untuk menginformasikan HPP yang terbaru.
3. Surat permohonan kepada PLN untuk memperpanjang kontrak PSK Tersebar.
4. Surat pemberitahuan kepada Direktorat Jenderal Listrik dan Pemanfaatan Energi, Direktur Direktorat Energi Baru dan Terbarukan mengenai dukungan formal untuk memperoleh nilai HPP yang wajar.

Pada akhirnya surat atau dokumen yang akan diperoleh pengusaha adalah dokumen kontrak PSK Tersebar antara pengusaha dengan PLN.

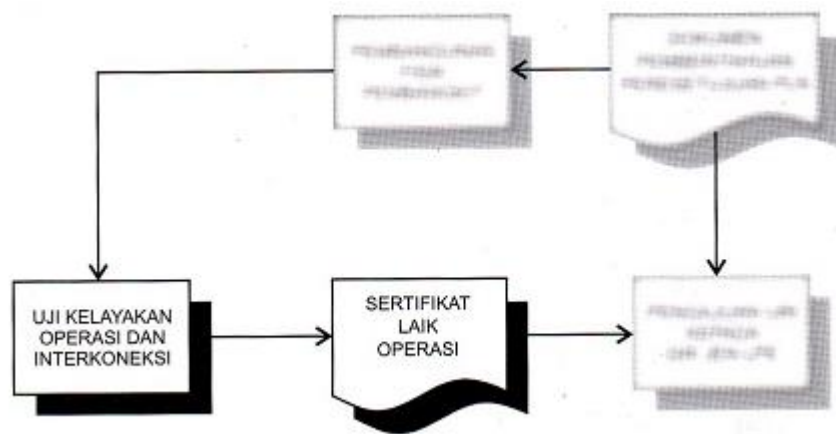
11.4.8 Tahap 7 - Pembangunan Fisik Pembangkit Listrik.



Gambar 66. Diagram Alir Tahap 7 – Pembangunan Fisik Pembangkit Listrik (Wibowo, 2005)

Pembangunan fisik pembangkit merupakan proses yang sepenuhnya berada ditangan pengusaha. Satu syarat yang tidak boleh dilupakan adalah jika lewat 12 bulan setelah kontrak PSK Tersebar ditandatangani, pengusaha tidak memulai pembangunan fisik pembangkit, maka kontrak PSK tersebut gugur demi hukum.

11.4.9 Tahap 8 - Pengujian Kelayakan Operasi Pembangkit.



Gambar 67. Diagram Alir Tahap 8 – Pengujian Kelayakan Operasi Pembangkit (Wibowo, 2005)

Proses pengujian kelayakan operasi suatu pembangkit listrik harus dilakukan oleh lembaga inspeksi pemegang Izin Usaha Penunjang.Tenaga Listrik (IUPTL) yang telah diakreditasi oleh lembaga akreditasi.

Pengusaha dapat meminta lembaga inspeksi tersebut untuk melakukan uji kelayakan operasi / komisioning dengan cara,

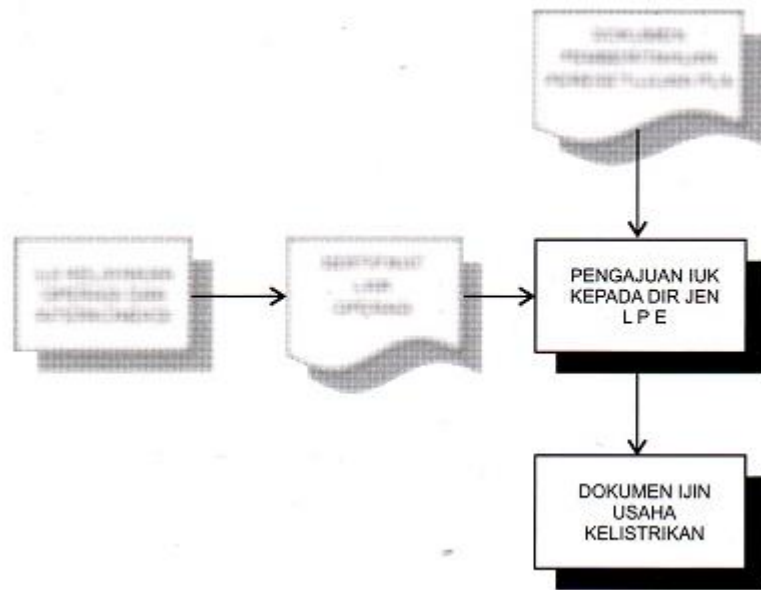
1. Menuliskan surat penawaran permintaan penawaran dilakukannya pengujian kelayakan operasi kepada lembaga inspeksi.
2. Melampirkan informasi teknis mengenai pembangkit khususnya dalam aspek mekanikal dan elektrik.

Surat permohonan ini ditembuskan kepada Direktur Jenderal LPE dan kepala cabang PLN setempat. Pada saat inspeksi harus terdapat pihak ketiga yang menjadi saksi proses inspeksi dan hasil inspeksi. Lembaga inspeksi akan menerbitkan laporan hasil pemeriksaan dan pengujian. Lembaga inspeksi kemudian akan menerbitkan Sertifikat Layak Operasi yang berlaku selama 5

tahun. Penerbitan sertifikat ini ditembuskan kepada Direktur Jenderal LPE.

Surat yang diperlukan pada tahap ke 8 ini ialah surat permohonan kepada lembaga inspeksi untuk melakukan inspeksi instalasi dengan tembusan kepada Direktur Jendral LPE dan kepala cabang PLN setempat. Selanjutnya dokumen yang akan diperoleh oleh pengusaha adalah laporan hasil pemeriksaan dan pengujian serta sertifikat layak operasi.

11.4.10 Tahap 9 - Perizinan Usaha Kelistrikan



Gambar 68. Diagram Alir Tahap 9 – Perizinan Usaha Kelistrikan(Wibowo, 2005)

Proses permohonan Izin Usaha Kelistrikan (IUK) diajukan kepada Direktorat Jenderal Listrik dan Pemanfaatan Energi. Syarat-syarat pengajuan IUK antara lain,

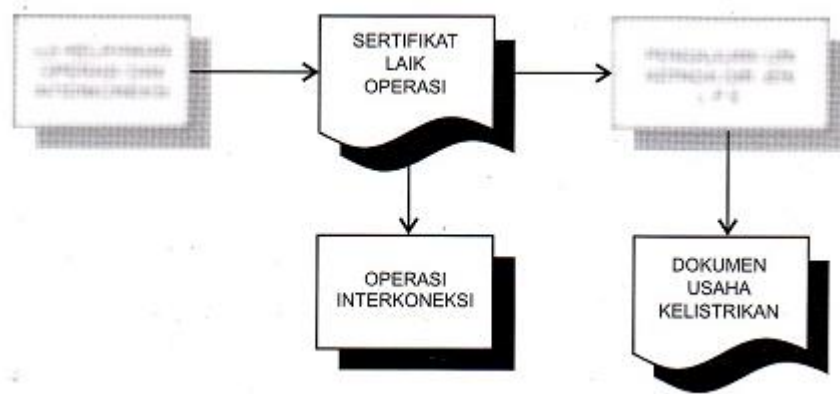
1. Surat persetujuan penawaran PSK Tersebar dari PLN.
2. Sertifikat layak operasi yang diterbitkan oleh lembaga inspeksi.
3. Informasi lokasi proyek.
4. Tipe dan kapasitas pembangkit listrik.
5. Tipe sumber energi penggerak pembangkit listrik.
6. Wilayah kerja pembangkit listrik.
7. Jadwal pembangunan pembangkit.
8. Biaya pembangunan pembangkit
9. Jadwal operasi pembangkit beserta POS nya.
10. Gambar-gambar teknis, diagram-diagram serta peta untuk menerangkan proyek secara lebih detil.
11. Dokumen UKL dan UPL serta surat persetujuan dari Bapedalda.

Pengajuan IUK ini bisa dilakukan bersamaan atau paralel dengan persiapan penandatanganan kontrak PSK Tersebar. Surat permohonan IUK direkomendasikan untuk ditembuskan kepada kepala cabang PLN setempat.

Surat-surat yang diperlukan adalah surat persetujuan penawaran PSK Tersebar dari PLN, sertifikat layak operasi dari lembaga inspeksi dan surat permohonan IUK kepada Direktorat Jenderal LPE.

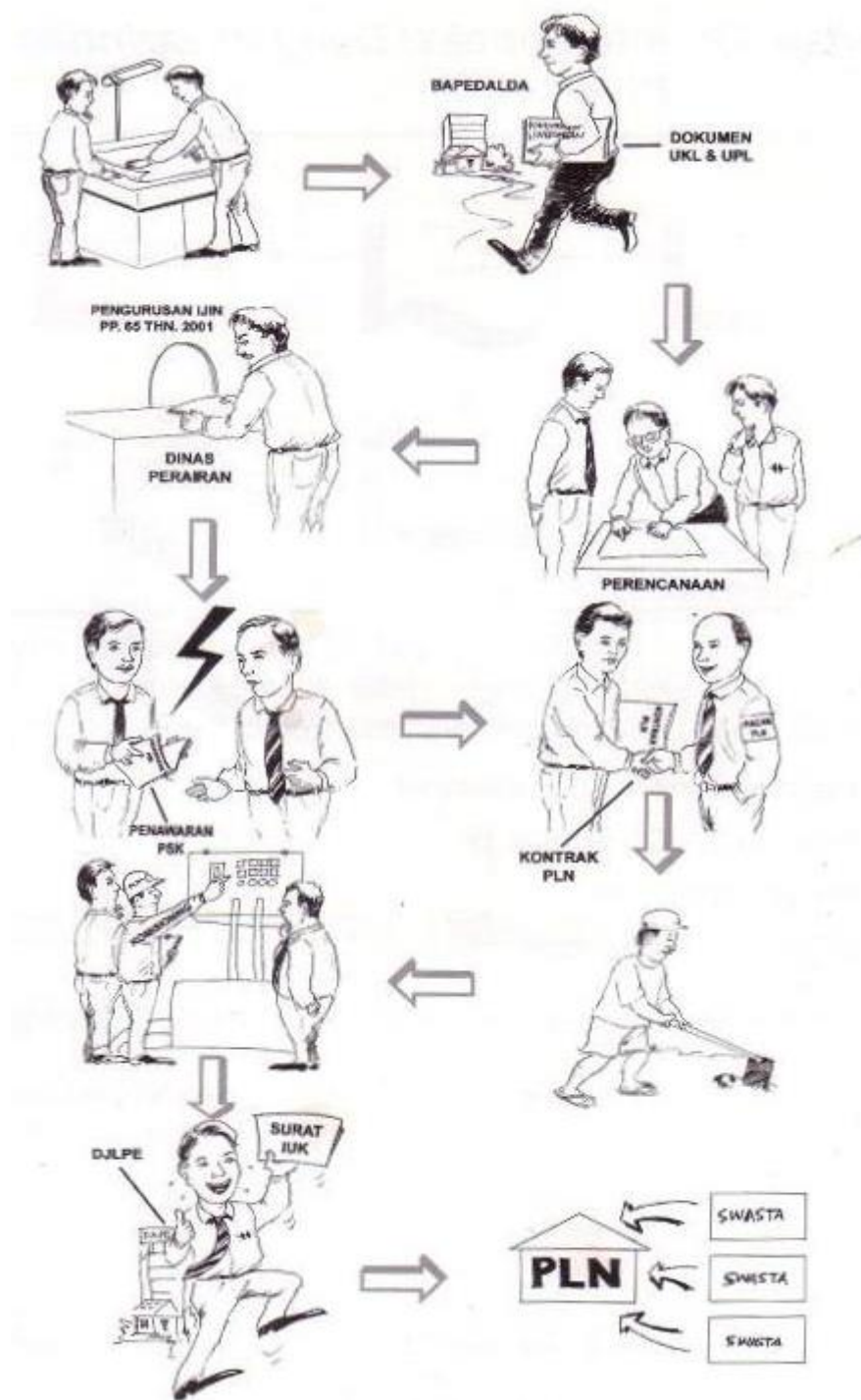
Selanjutnya dokumen yang akan diperoleh adalah surat Keputusan Menteri mengenai pemberian izin usaha penyediaan tenaga listrik untuk pembangkit listrik skala kecil tersebar.

11.4.11 Tahap 10 - Interkoneksi dengan Jaringan PLN.



Gambar 69. Diagram Alir Tahap 10 – Interkoneksi Dengan Jaringan PLN
(Wibowo, 2005)

Setelah semua persyaratan dan pembangkit siap, maka pembangkit PSK Tersebar bisa diinterkoneksi ke jaringan PLN. Detik-detik interkoneksi dianjurkan dapat disaksikan oleh pejabat dari pemda setempat, pejabat dari Direktorat Jenderal LPE, pejabat dari PLN, pemuka masyarakat dan anggota masyarakat setempat.



Gambar 70. Skema Sepuluh Tahap Proses Pengajuan PSK Tersebar (Wibowo, 2005)

Perlatihan

Sebagai penutup dan sekaligus untuk mengetahui sejauh mana pemahaman dan keterampilan anda terhadap pokok bahasan di atas, maka jawablah pertanyaan-pertanyaan berikut ini,

1. Apa keuntungannya jika kegiatan usaha telah memiliki badan hukum ?
2. Dikenal macam-macam badan hukum kegiatan usaha seperti PT, CV, Koperasi, Yayasan dan lain-lain. Jelaskan karakteristik dari masing-masing badan hukum tersebut ?
3. Jelaskan apa tujuan dan manfaat yang diperoleh dari usaha pengembangan PLTMH ?
4. Jelaskan beberapa alternatif dalam pengembangan PLTMH ?
5. Jelaskan perbedaan antara PLTMH, PLTMH Portabel dan PLTMH Terpadu ?
6. Jelaskan manfaat yang diperoleh pengusaha dari pengembangan PLTMH melalui kerjasama antara Pembangkit Skala Kecil (PSK) Tersebar yang dimilikinya dengan interkoneksi jaringan listrik PLN ?
7. Jelaskan syarat-syarat pengembangan PLTMH ?
8. Jelaskan sepuluh tahap pengajuan PSK Tersebar ?
9. Jelaskan instansi-instansi yang terlibat pada proses pengajuan PSK Tersebar ?

BAB XII

STUDI KELAYAKAN PEMBANGUNAN PLTMH

Salah satu kelengkapan surat pengajuan penawaran PSK Tersebar kepada PLN seperti dijelaskan pada sub bab 11.4.2 adalah harus melampirkan hasil studi kelayakan aspek teknis dan finansial. Menanggapi hal tersebut, pada bab 12 berikut ini penulis akan menguraikan contoh studi kelayakan yang penulis lakukan melalui sebuah penelitian pada tahun 2003 yang berjudul “ Studi Kelayakan Pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) di Kampung Air Rau Desa VI Koto Utara Kinali Pasaman Sumatera Barat “, berikut uraiannya.

Setelah mempelajari dan memperhatikan pokok bahasan tentang studi kelayakan pembangunan PLTMH berikut ini, diharapkan pembaca mampu,

1. Memahami dengan baik bahwasannya studi kelayakan adalah salah satu komponen penting dalam mendukung keberhasilan suatu kegiatan pembangunan fisik khususnya pembangunan PLTMH yang sangat strategis ini.
2. Memahami dengan baik bahwa luaran dari studi kelayakan adalah informasi awal yang menjadi ukuran/acuan layak tidaknya rencana proyek pembangunan PLTMH ini dilanjutkan ke bentuk kegiatan fisik.
3. Memahami dengan baik tentang data-data apa saja yang harus disiapkan dalam analisis studi kelayakan sebelum melanjutkan ke proses pengolahan.
4. Memahami dengan baik tentang langkah-langkah atau tahapan-tahapan proses analisis studi kelayakan sampai kepada suatu keputusan “ layak atau tidak layak”.

12.1 Metode Penelitian Studi Kelayakan.

Jenis penelitian ini adalah penelitian survey, tahap awal penelitian ini adalah pengumpulan data di lapangan. Survey pendahuluan penulis lakukan pada awal bulan September 2003 yang lalu dan survey lanjutan dilakukan dua kali pada bulan Oktober 2003. Dari kegiatan survey tersebut Alhamdulillah data-data primer yang dibutuhkan telah penulis dapatkan diantaranya posisi pembangkit yang ideal, kecepatan rata-rata arus air Batang Tabit, tinggi jatuh aktual, luas penampang sungai dan jumlah rumah disekitar lokasi pembangkit. Atas dasar data-data lapangan tersebut tahap selanjutnya adalah analisis perhitungan dengan melibatkan beberapa formula teknis dan kelayakan finansial. Hasil akhir dari analisis tersebut dapat memberikan jawab terhadap tujuan penelitian ini.

Pemilihan lokasi penelitian didasarkan kepada kriteria bahwa di lokasi tersebut terdapat potensi air mengalir yang cukup serta perkampungan penduduk yang belum terjangkau oleh jaringan listrik PLN. Lokasi rencana pembangunan PLTMH ini ialah di Kampung Air Rau Desa VI Koto Utara Kinali, dari jalan raya Pasaman belok kanan melalui jalan desa yang bagus sejauh 1 km.

PLTMH direncanakan dibangun di sekitar aliran Batang Tabit yaitu anak sungai yang melalui Kampung Air Rau.

Variabel yang terlibat dalam penyelesaian penelitian survey ini ialah,

1. Debit sungai

Indikator pendukung untuk mengetahui debit sungai ialah kecepatan arus air, lebar sungai dan kedalaman air rata-rata.

2. Daya turbin

Indikator pendukung untuk mengetahui daya turbin yang dibangkitkan ialah debit alir, head aktual, head loses, efisiensi turbin dan efisiensi transmisi.

3. Investasi PLTMH

4. Umur ekonomis PLTMH

5. Depresiasi PLTMH

6. Nilai sisa PLTMH

7. Biaya tetap dan tidak tetap

8. Jumlah konsumen listrik dan harga jual listrik per kepala keluarga.

12.2 Deskripsi Daerah Penelitian

Langkah awal penelitian ini adalah melakukan survey ke lapangan untuk mengetahui data-data teknis yang akan menjadi bahan pertimbangan pembangunan PLTMH. Di bawah ini akan diuraikan data-data teknik hasil survey yang meliputi keadaan lokasi secara umum, tinjauan penduduk desa, sumber air dan tinggi air jatuh yang bisa dimanfaatkan.

1. Data lokasi secara umum

Batang Tabit yaitu sebuah anak sungai yang melalui Kampung Air Rau. Di sekitar lokasi terdapat air terjun yang cukup tinggi yaitu sekitar 3 meter, hal ini akan mendukung dan akan membantu memudahkan dalam menentukan lokasi penempatan unit pembangkit yang ideal yaitu unit pembangkit yang mempunyai tinggi jatuh relatif tinggi sehingga akan dibangkitkan daya listrik yang maksimal. Daerah sekitar lokasi pembangkit berupa daerah peladangan penduduk, sebagian dari tanah darat tersebut berupa semak-semak, persawahan dan perkampungan.

2. Sumber air

Sumber air Batang Tabit berasal dari rembesan mata air disepanjang Gunung Pasaman, dari hasil pengukuran diketahui debit alir sungai sekitar 200 liter perdetik. Dengan demikian penyediaan air untuk PLTMH cukup ideal.

3. Tinggi air jatuh

Dengan membuat bendungan pada saluran Batang Tabit, permukaan air akan naik sedang pada lokasi rumah pembangkit diadakan penggalian. Dengan demikian setelah air di salurkan

melalui kanal terbuka sepanjang 30 meter maka akan diperoleh tinggi jatuh aktual sekitar 4,5 meter.

4. Tinjauan tentang penduduk desa.

Penduduk Kampung Air Rau dan sekitarnya berjumlah 30 kepala keluarga tetapi yang mungkin akan memanfaatkan energi listrik dari PLTMH sekitar 20 kepala keluarga. Tak terpenuhinya penyaluran energi listrik ke semua rumah penduduk tersebut disebabkan terpecar-pencarnya sebagian rumah penduduk. Calon konsumen sebagian besar merupakan masyarakat petani yang cukup maju dengan penghasilan relatif cukup yang diharapkan nantinya mereka mampu membayar iuran listrik. Berhubung kehidupan di desa yang cukup sederhana, pemanfaatan listrik tidak semewah perkotaan, oleh karena itu diperkirakan setiap rumah memerlukan daya listrik sekitar 200 Watt yang umumnya digunakan untuk keperluan rumah tangga yang sebagian besar untuk penerangan. Dari rincian di atas maka untuk 20 rumah diperlukan energi listrik sebesar 4.000 Watt. Setelah ditambah dengan kerugian jaringan dan untuk penerangan masjid serta jalan maka diperlukan total daya listrik sekitar 5,5 kW. Untuk mendapatkan daya 5,5 kW dibutuhkan generator dengan daya terpasang sekitar 7 kVA.

12.3 Studi Kelayakan Aspek Teknis

Penggerak mula yang umum digunakan untuk PLTMH diantaranya *Turbin Pelton*, *Turbin Francis*, *Turbin Kaplan*, dan *Turbin Cross Flow*. Penulis memilih *Turbin Cross Flow* dengan pertimbangan pembuatannya relatif lebih mudah, material yang dibutuhkan banyak dijual dipasaran dan pemeliharaan dan pengoperasiannyapun lebih murah dan mudah. Sampai saat ini penggunaan *Turbin Cross Flow* di beberapa negara lain terutama Jerman sudah tersebar luas bahkan yang dibuat oleh pabrik *Turbin Ossberger* sudah mencapai 5000 unit lebih sebagaimana yang diungkapkan oleh Prof Haimerl (1960).

Spesifikasi PLTMH selengkapnya adalah sebagai berikut,

- a. Jenis turbin : *Turbin Cross Flow*
- b. Daya turbin : 6,5 kW
- c. Putaran turbin : 300 rpm

Turbin air ini akan menggerakkan generator dengan spesifikasi sebagai berikut,

- a. Daya / putaran : 7,0 kVA / 1500 rpm
- b. *Power faktor* : 0,8
- c. Frekwensi : 50 Hz
- d. Jumlah kutub / phase : 8 / 3
- e. Tegangan : 220 / 380 Volt

Spesifikasi elemen-elemen turbin hasil perencanaan adalah sebagai berikut,

- a. Pipa pesat

- 1) Diameter : 60 cm
 - 2) Panjang : 5 m
 - 3) Tebal : 3 mm
 - 4) Bahan : ST. 37
- b. Elbow
- 1) Diameter : 40 cm
 - 2) Tebal : 3 mm
 - 3) Bahan : ST. 37
- c. Nozel
- 1) Penampang masuk : 38 x 19 cm
 - 2) Sudut air keluar : 115 °
 - 3) Bahan : ST. 37
- d. *Runner*
- 1) Panjang : 38 cm
 - 2) Diameter luar/ dalam : 25 cm/ 16 cm
 - 3) Jumlah sudu : 32 buah
 - 4) Bahan : ST. 50
- e. Poros *runner*
- 1) Panjang : 75 cm
 - 2) Diameter : 5,5 / 5 / 4,5 cm
 - 3) Bahan : ST.55
- f. Katup
- 1) Panjang : 37,5 cm
 - 2) Penampang samping : Lonjong - tajam
 - 3) Bahan : ST. 40
- g. Poros katup
- 1) Panjang : 77,5 cm
 - 2) Diameter : 3,0 cm
 - 3) Bahan : ST.40

12.4 Studi kelayakan aspek finansial

Variabel-variabel aspek finansial yang terlibat dalam analisis studi kelayakan ini seperti dijelaskan tabel 12.

Tabel 12. Variabel Aspek Finansial (Bachtiar, 2003)

No	Variabel	Nilai
1.	Investasi PLTMH	Rp 35.540.000
2.	Umur ekonomis	10 tahun
3.	Nilai sisa	Rp 2.500.000
4.	Depresiasi pertahun	Rp 3.304.000
5.	Biaya POP tahun pertama	Rp 5.735.400
6.	Kenaikan POP pertahun	5 %
7.	Pendapatan dari biaya penjualan listrik tahun pertama	Rp 9.385.200
8.	Kenaikan pendapatan pertahun	5 %

12.4.1 Analisis *Payback Period* (PBP)

Payback Period adalah periode yang dibutuhkan untuk dapat menutup kembali pengeluaran investasi dengan menggunakan proceeds atau aliran kas netto. Dengan analisis ini dapat diketahui panjang waktu yang diperlukan agar dana yang tertanam pada proyek PLTMH dapat diperoleh kembali seluruhnya. Tabel 13. membandingkan setoran pendapatan (*benefit*) dengan biaya (*cost*) atas dasar nilai sekarang (*present value*).

Tabel 13. Analisis Payback Period (x Rp 1.000) (Bachtiar, 2003)

Tahun	<i>Present Value</i>		
	<i>Benefit (Rp)</i>	<i>Cost (Rp)</i>	<i>Cost Flow (Rp)</i>
0		35.540	35.540
1	9.385	3.650	5.735
2	8.573	3.334	5.239
3	7.823	3.042	4.781
4	7.151	2.781	4.370
5	6.324	2.537	3.787
6	6.955	2.316	3.639
7	5.384	2.094	3.290
8	4.954	1.927	3.027
9	4.532	1.762	2.770
10	4.138	1.609	2.529
Total			39.167

$$PBP = 8 \text{ tahun} + \left(\frac{35.540 - 33.868}{2.770} \right) \text{ tahun}$$

$$PBP = 8,6 \text{ tahun}$$

12.4.2 Analisis *Benefit Cost Ratio* (BCR)

Analisis BCR membandingkan setoran (benefit) dari penjualan listrik dengan biaya penyusutan operasi dan pemeliharaan / POP (Cost) PLTMH atas dasar nilai sekarang (present value) seperti tabel 14.

Tabel 14. Analisis BCR (x Rp 1.000) (Bachtiar, 2003)

Tahun Ke	Benefit (Rp)	DF (i = 15 %)	PV (Rp)	Cost (Rp)	PV (Rp)
1	10.800	0,869	9,385	4.200	3,650
2	11.340	0,756	8,573	4.410	3,334
3	11.907	0,657	7,822	4.630	3,542
4	12.502	0,572	7,151	4.862	2,782
5	13.127	0,497	6,234	5.105	2,537
6	13.784	0,432	5,955	5.360	2,315
7	14.473	0,372	5,384	5.628	2,094
8	15.197	0,326	4,954	5.910	1,926
9	15.957	0,284	4,532	6.205	1,726
10	16.754	0,247	4,138	6.516	1,609
Total			64,219		25,053

$$BCR = \frac{64,219}{25,053 + 35,540}$$

$$BCR = 1,059$$

12.4.3 Analisis *Net Present Value* (NPV)

Berdasarkan setoran dan biaya pengoperasian PLTMH selama 10 tahun yang akan datang, maka analisis NPV untuk PLTMH tersebut adalah sebagai berikut,

Tabel 15. Analisis NPV (x Rp 1.000) (Bachtiar, 2003)

Variabel	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1.Benefit											
a.Penjualan	10.800	11.340	11.907	12.502	13.127	13.127	13.784	14.473	15.197	15.957	16.754
b. Nilai sisa											2.500
Total Benefit	10.800	11.340	11.907	12.502	13.127	13.127	13.784	14.473	15.197	15.957	19.254
2.Cost											
a.Investasi	35.540	4.200	4.410	4.630	4.860	5.100	5.360	5.620	5.910	6.200	6.510
b. POP		0	0	0	2	5	0	8	0	5	6
Total Cost	35.540	4.200	4.410	4.630	4.860	5.100	5.360	5.620	5.910	6.200	6.510
3.Net Benefit	1,00	6.600	6.930	7.270	7.640	8.020	8.420	8.840	9.280	9.750	12.738
DF (i=15%)		0,869	0,756	0,657	0,572	0,497	0,432	0,372	0,326	0,284	0,247
4.Present Value	35.540	5.735	5.238	4.780	4.370	3.987	3.638	3.3290	3.027	2.769	3.146

$$NPV = 39.980 - 35.540$$

$$NPV = 4.440$$

12.4.4 Analisis *Internal Rate of Return* (IRR)

Memperhatikan hasil analisis BCR dan NPV di atas yang menunjukkan bahwa pendapatan dari pengoperasian PLTMH hampir mendekati investasi, Maka analisis IRR akan dilakukan dua uji coba pada posisi bunga 15 % dan 30 % sebagai berikut,

Tabel 16. Analisis *Internal Rate of Return* (IRR) (x Rp 1.000) (Bachtiar, 2003)

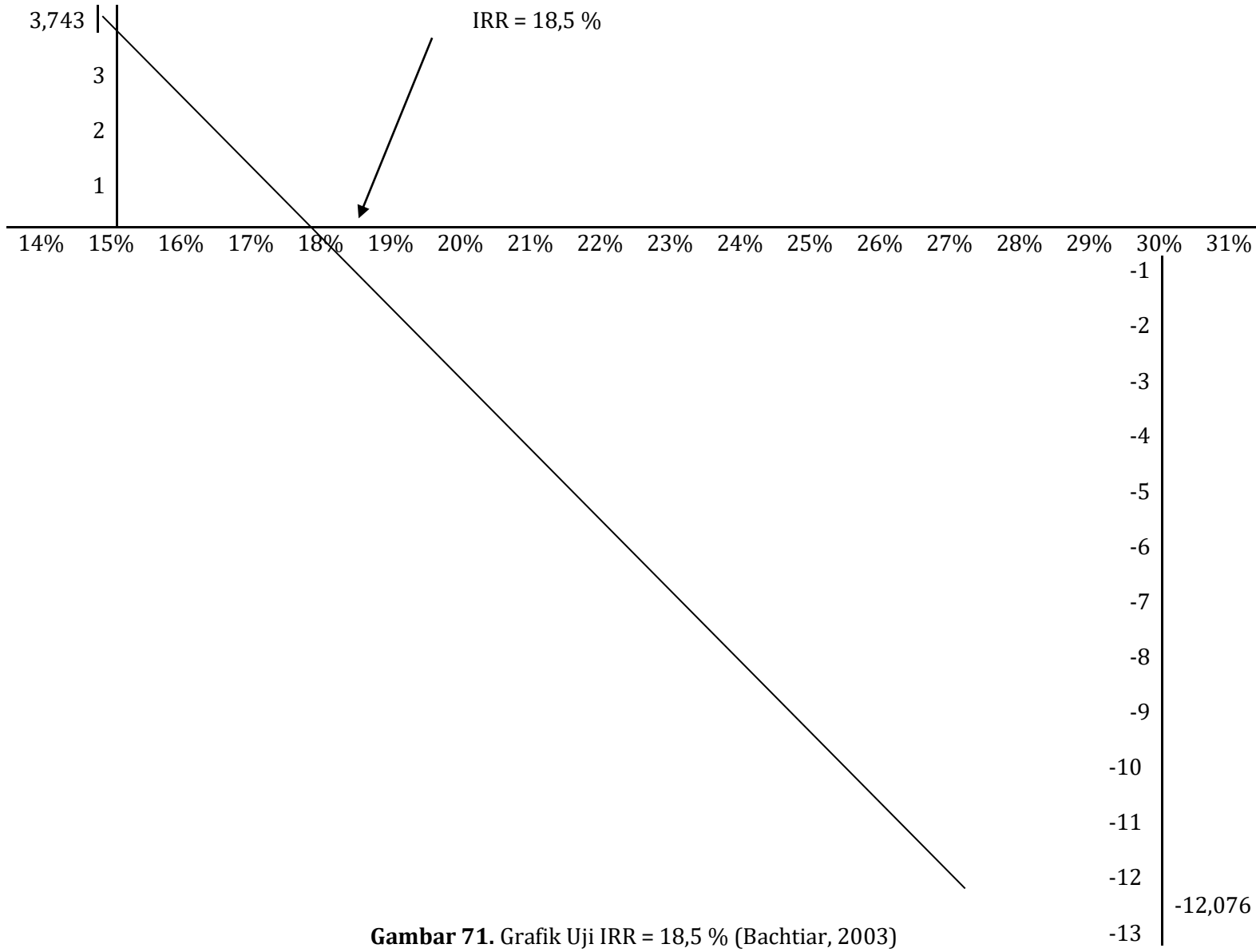
Tahun	<i>Net Benefit</i>	Coba I DF (i = 15 %)	PV	Coba II DF (i = 30 %)	PV
0	35.540	1,00	(35.540)	1,00	(35.540)
1	6.600	0,869	5.735	0,769	5.075
2	6.930	0,756	5.238	0,592	4.102
3	7.277	0,657	4.780	0,455	3.516
4	7.640	0,572	4.370	0,350	2.674
5	8.022	0,497	3.987	0,269	2.158
6	8.424	0,432	3.638	0,207	1.174
7	8.845	0,372	3.290	0,159	1.406
8	9.287	0,326	3.027	0,122	1.133
9	9.752	0,284	2.769	0,099	920
10	10.238	0,247	2.529	0,072	737
Total			39.363		
			+3.743		
					23.464
					-12.076

$$IRR = \frac{15\% - 3,743(30\% - 15\%)}{-12,076 - 3,743}$$

$$IRR = 15\% + 3,5\%$$

$$IRR = 18,5\%$$

IRR adalah tingkat suku bunga pada posisi BCR = 1 atau NPV = 0, maka nilai IRR = 18,5 % dapat diuji dengan memasukkan kedua nilai NPV dan suku bunga di atas kedalam gambar 71.



Gambar 71. Grafik Uji IRR = 18,5 % (Bachtiar, 2003)

Untuk menguji lebih akurat lagi posisi IRR = 18,5 % dapat diketahui dengan menganalisis fungsi regresi dari garis lurus yang terbentuk yang dikategorikan sebagai garis lurus regresi sederhana yaitu $y = a + b.x$ dengan berpedoman kepada lima koordinat berikut.

i = 5 %	→	BCR = 1,362
i = 10 %	→	BCR = 1,2029
i = 15 %	→	BCR = 1,059
i = 20 %	→	BCR = 0,944
i = 25 %	→	BCR = 0,842

Berikut analisis regresi pengujian IRR = 18,5 %.

Tabel 17. Pengujian IRR dengan regresi (Bachtiar, 2003)

No	X_i	Y_i	X_i^2	Y_i^2	$X_i.Y_i$
1	0,050	1,362	0,003	1,855	0,068
2	0,100	1,203	0,010	1,447	0,120
3	0,150	1,059	0,023	1,121	0,159
4	0,200	0,944	0,040	0,891	0,189
5	0,250	0,842	0,063	0,709	0,211
Σ	0,750	5,410	0,138	6,024	0,747

Konstanta a dan b dapat diketahui dengan rumus statistik dan didapatkan,

$$b = \frac{\sum X_i.Y_i - \frac{1}{n} \sum X_i \cdot \sum Y_i}{\sum X_i^2 - \frac{1}{n} (\sum X_i)^2}$$

$$b = -2,6284$$

$$a = \bar{y} - b.\bar{x}$$

$$a = 1,08198 + 0,39426$$

$$a = 1,47624$$

Pada ordinat $y=1$ yang artinya nilai BCR = 1, maka nilai x atau suku bunga IRR yang tepat adalah,

$$y = a + b.x$$

$$x = \frac{y - a}{b}$$

$$x = \frac{1 - 1,47629}{-2,6284}$$

$$x = 0,185$$

$$x = 18,5 \%$$

12.4.5 Analisis *Sensitifitas*

Ada dua kemungkinan kesalahan tak terduga yang dapat mempengaruhi analisis investasi PLTMH yaitu kemungkinan ongkos *over run* atau kenaikan biaya penyusutan, operasi dan perawatan (POP) dari PLTMH. Kemungkinan kedua adalah terjadi kesalahan dalam perhitungan jumlah rumah/ konsumen listrik. Untuk kedua kemungkinan kesalahan tersebut masing-masing diasumsikan sebesar 5 %. Hasil analisis finansial dengan mempertimbangkan dua faktor *sensitifitas* tersebut diketahui,

$$BCR = 1,024$$

$$PBP = 9,2 \text{ tahun}$$

$$NPV = 2.8500.000$$

$$IRR = 16,72 \%$$

Angka-angka hasil analisis menunjukkan PBP kurang dari 10 tahun, BCR lebih dari 1, NPV bernilai positif dan IRR lebih dari suku bunga bank yang berlaku, maka investasi PLTMH dinilai masih tetap layak.

12.5 Kesimpulan dan Saran.

12.5.1 Kesimpulan

Dari hasil analisis studi kelayakan disimpulkan bahwa,

- a. Dari analisis aspek teknis, karakteristik dari PLTMH telah dapat diketahui sehingga pembangunan PLTMH sangat optimis dapat dilaksanakan bahkan unit turbin sebagai penggerak mula dari sistem PLTMH dapat dibuat sendiri.
- b. Dari analisis aspek finansial menghasilkan nilai PBP = 8,6 tahun artinya investasi PLTMH dapat kembali sebelum mencapai umur ekonomis 10 tahun. BCR = 1,059 lebih besar dari satu artinya pendapatan dari pengoperasian PLTMH melebihi dari biaya yang dikeluarkan, NPV = 4.400.000 artinya keuntungan dari PLTMH selama 10 tahun beroperasi sebesar Rp 4.400.000, IRR = 18,5 % lebih besar dari suku bunga bank 15 %, maka hasil analisis di atas menunjukkan pembangunan PLTMH layak bahkan dengan mempertimbangkan dua faktor *sensitifitas* dengan hasil PBP = 9,2 tahun, BCR = 1,024, NPV = 2.850.000 dan IRR = 16,72 % maka rencana pembangunan PLTMH masih tetap layak untuk dilanjutkan.
- c. Walaupun keuntungan dari investasi PLTMH ini relatif kecil tetapi mengingat pembangunan PLTMH termasuk proyek dengan kandungan aspek sosial yang sangat besar maka posisi layak dari pembangunan PLTM ini semakin kuat.

12.5.2 Saran – Saran

Konsep di atas kertas belum merupakan akhir dari suatu penelitian, untuk itu perlu dilanjutkan dengan penelitian eksperimen di lapangan. Kepada pihak-pihak yang punya

kemampuan modal dan keahlian marilah membangun desa melalui PLTMH yang secara ilmiah telah teruji keuntungannya. Amal jariyah sangat diharapkan dan sangat bermanfaat bagi masyarakat desa. Keberhasilan pembangunan PLTMH ini akan menjadi proyek percontohan bagi kampung-kampung lainnya yang belum memiliki jaringan listrik.

Perlatihan

Sebagai penutup dan sekaligus untuk mengetahui sejauh mana pemahaman dan keterampilan anda terhadap pokok bahasan di atas, maka jawablah pertanyaan-pertanyaan berikut,

1. Jelaskan apa manfaat studi kelayakan terhadap rencana pembangunan suatu proyek ?
2. Jelaskan apakah setiap orang berhak melakukan studi kelayakan terhadap rencana proyek pembangunan yang dilaksanakan oleh pihak lain ?
3. Jika anda melakukan studi kelayakan terhadap suatu rencana proyek dan dari hasil analisis diketahui rencana proyek tersebut dinyatakan tidak layak, apakah bentuk rekomendasi anda selanjutnya ?
4. Selain aspek teknis dan finansial, jelaskan aspek-aspek lain yang menjadi pembahasan dalam analisis studi kelayakan ?.
5. Jelaskan perbedaan ruang lingkup aspek teknis dan ruang lingkup aspek finansial ?.
6. Jelaskan apa yang dimaksud dengan istilah-istilah berikut ini : investasi, umur ekonomis, nilai sisa, *depresiasi*, *discount factor*, *present value*, *benefit*, *cost* dan *sensitivitas* ?.
7. Jelaskan apa yang dimaksud dengan pernyataan berikut ini :
 - a. PBP = 8,2 tahun
 - b. BCR = 1,57
 - c. NPV = 5.200.000
 - d. IRR = 14,5 %
8. Jelaskan tahapan-tahapan dalam melakukan studi kelayakan pembangunan PLTMH di suatu desa terpencil ?
9. Adakah perbedaan pembahasan dalam melakukan studi kelayakan pembangunan PLTMH dibanding dengan studi kelayakan pembangunan PLTA ?

BAB XIII

EKSPERIMEN PEMBANGUNAN SISTEM PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKRO HIDRO MODEL DRUM (PLTMH MODEL DRUM)

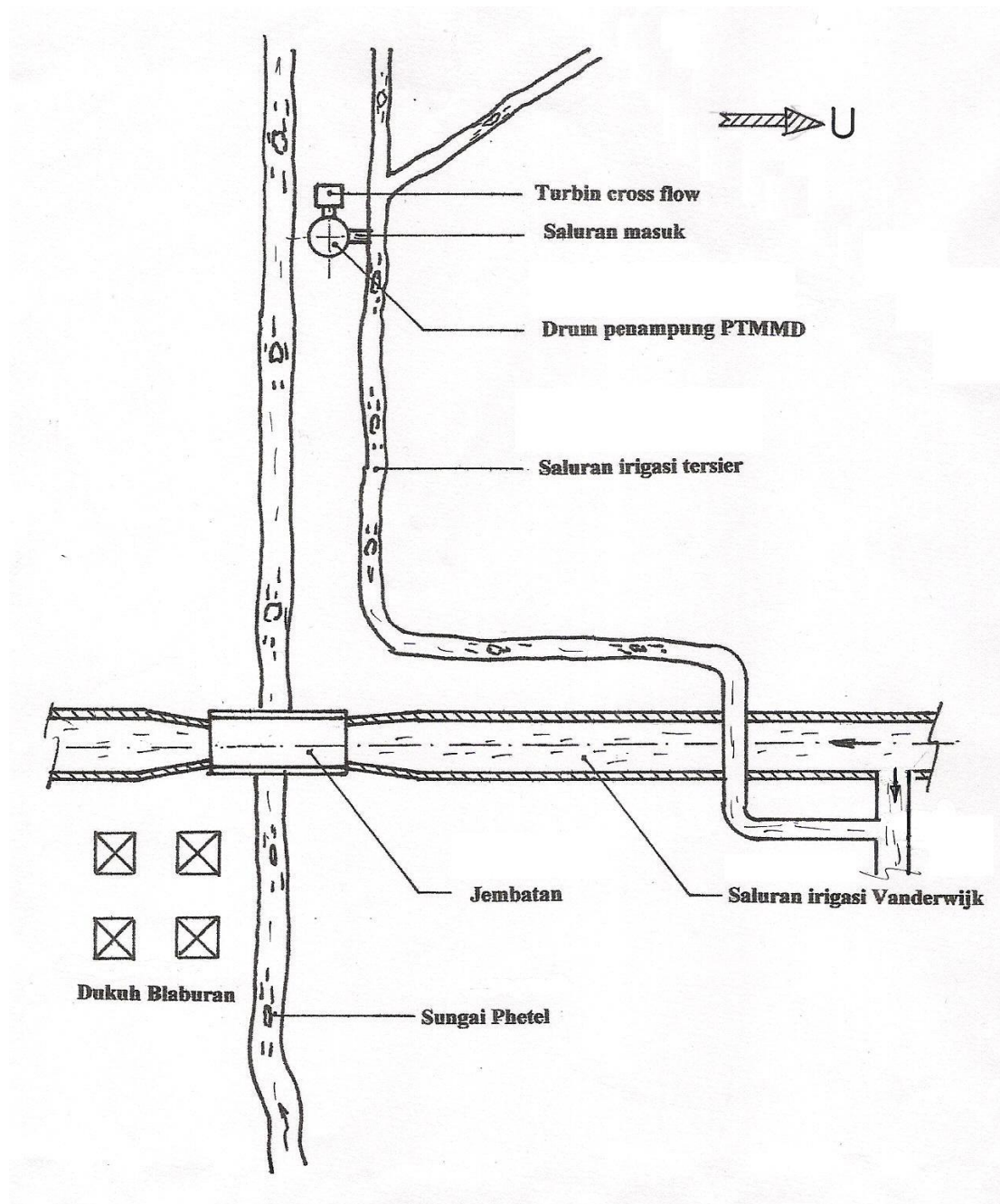
Saat ini telah dibangun pembangkit listrik skala kecil yang populer disebut Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH), tetapi itu jumlahnya sangat sedikit dibanding dengan potensi air yang ada. Semua PLTMH yang dioperasikan tersebut dibangun dengan konstruksi permanen dan hanya difungsikan untuk menggerakkan generator listrik. Bangunan sipil sistem pembangkit ini lebih dominan baik volume kerja maupun bahan yang digunakan saat pembangunan, lahan yang dibutuhkannya pun cukup luas sehingga biaya investasi dan pemeliharaan relatif lebih mahal. Dengan karakteristik seperti itu menjadi kendala bagi penyebaran dan pengembangan PLTMH di masyarakat. Ini sebuah kerugian besar karena potensi energi yang ada di depan mata tak dapat dimanfaatkan segera. Memperhatikan kenyataan, tantangan dan harapan di atas timbul pertanyaan, bagaimana menciptakan sistem pembangkit yang praktis, biaya investasi yang murah, mudah pengoperasiannya hingga dapat dimiliki dengan mudah oleh perorangan atau oleh kelompok masyarakat desa ?. Melalui sebuah penelitian penulis mencoba menggagas ide untuk membangun sistem Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro Model Drum (PLTMH Model Drum)) yang memiliki pekerjaan mekanik lebih dominan. Keunggulan dari sistem pembangkit model drum ini ialah mulai dari drum/bak penenang sampai saluran buang dapat diurai menjadi beberapa komponen, dengan demikian pelaksanaan pembangunan/ perakitan PLTMH Model Drum di lapangan relatif lebih cepat dan investasi PLTMH Model Drum relatif lebih murah sehingga menjadi solusi dalam mempercepat penyebaran dan pengembangan pembangkit mikrohidro ke depan. Dengan memanfaatkan head 2,5 m dan debit 20 liter/det, penggerak mula yang digunakan *Turbin Cross Flow* diameter *runner* 80 mm dengan putaran rencana 810 rpm diproyeksikan PLTMH Model Drum yang dibangun ini akan dapat membangkitkan daya sekitar 400 Watt yang dimanfaatkan untuk menggerakkan generator listrik.

Diharapkan setelah memperhatikan dan mempelajari topik bahasan berikut ini pembaca mampu,

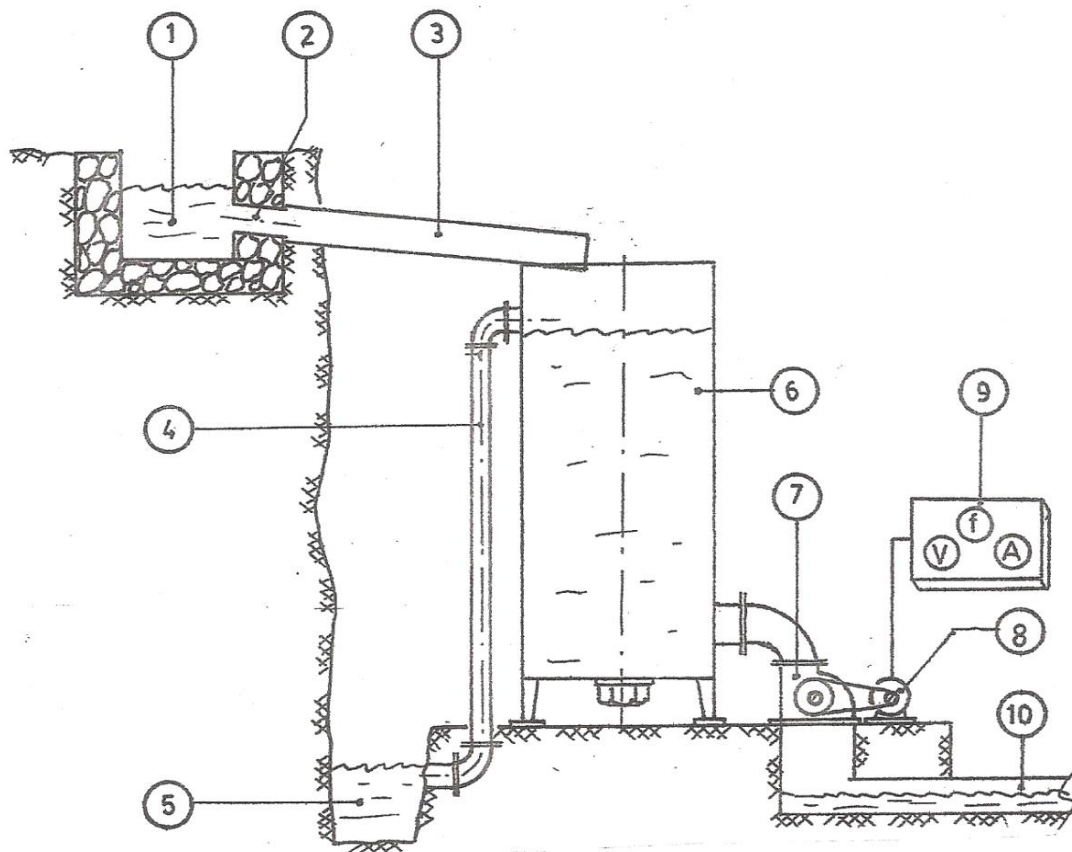
1. Memahami dengan baik bahwa PLTMH Model Drum menjadi alternatif dalam pembangunan sistem pembangkit mikro hidro yang praktis dan ekonomis.
2. Memahami dengan baik tahapan-tahapan pembangunan sebuah sistem pembangkit khususnya PLTMH Model Drum.
3. Memahami dengan baik pemilihan lokasi survey yang akan menjadi lokasi pengujian dengan segala tantangannya di lapangan.
4. Memahami dengan baik prosedur pengujian sistem pembangkit mikro hidro.
5. Memahami dengan baik prosedur pemeliharaan atau perawatan preventif dan perawatan korektif sistem PLTMH Model Drum.

13.1 Deskripsi Lokasi Pengujian PLTMH Model Drum

Ada dua alternatif proses pengujian yaitu pengujian di laboratorium dan pengujian di lapangan. Prosedur pengujian di laboratorium tak akan menghasilkan prosedur pengujian yang ideal yang identik dengan kondisi pengoperasian pembangkit yang sebenarnya di lapangan. Disamping itu pengujian laboratorium membutuhkan instalasi pendukung yang lengkap seperti pompa kapasitas besar sampai 30 lt/det, pompa seperti itu cukup sulit diperoleh. Alternatif lain adalah pengujian di lapangan. Dalam hal ini penulis telah berusaha melakukan survey ke beberapa lokasi yang dicurigai memiliki potensi air yang tepat untuk sumber pembangkit diantaranya ke beberapa desa di Kabupaten Bantul, Sleman dan Magelang. Ada dua variabel yang menjadi perhatian dalam pemilihan lokasi yaitu debit air (Q) dan *head* (H) yang memadai. Dari pengalaman survey ternyata menyatukan kedua variabel tersebut cukup sulit, ada lokasi yang memiliki potensi debit yang besar tetapi *head*-nya rendah, sebaliknya ada lokasi yang memiliki *head* yang cukup tinggi seperti air terjun tetapi debitnya kecil. Dari kegiatan survey selama dua hari di Desa Bligo, Kecamatan Ngluwar, Kabupaten Magelang, Alhamdulillah peneliti beserta teman-teman menemukan satu lokasi yang sangat strategis, akses ke lokasi cukup mudah, debit air yang dibutuhkan bisa diatur, dan *head*-nya cukup tinggi sekitar 4 m padahal *head* yang dibutuhkan sekitar 2,5 m. Sumber air yang akan dimanfaatkan berasal dari saluran irigasi tersier yang bersumber dari Saluran Irigasi Primer Vanderwijk. Sekitar 200 m dari hulu saluran irigasi tersier tersebut terdapat lubang pembilas, air bilasan tersebut jatuh setinggi 4 m ke dasar tebing yang sangat terjal. Debit saluran tersier rata-rata 40 lt/det, penambahan debit diusahakan dengan cara membuka pintu pengatur pada saluran primer Vanderwijk. Debit air saluran tersier dimanfaatkan untuk pengairan sawah sedang air bilasan yang jatuh akan mengalir masuk ke Sungai Phetel yang ada di bawahnya. Daerah sekitar rencana pembangkit berupa daerah perladangan penduduk, sebahagian tanah darat tersebut berupa semak-semak, pesawahan dan perkampungan.

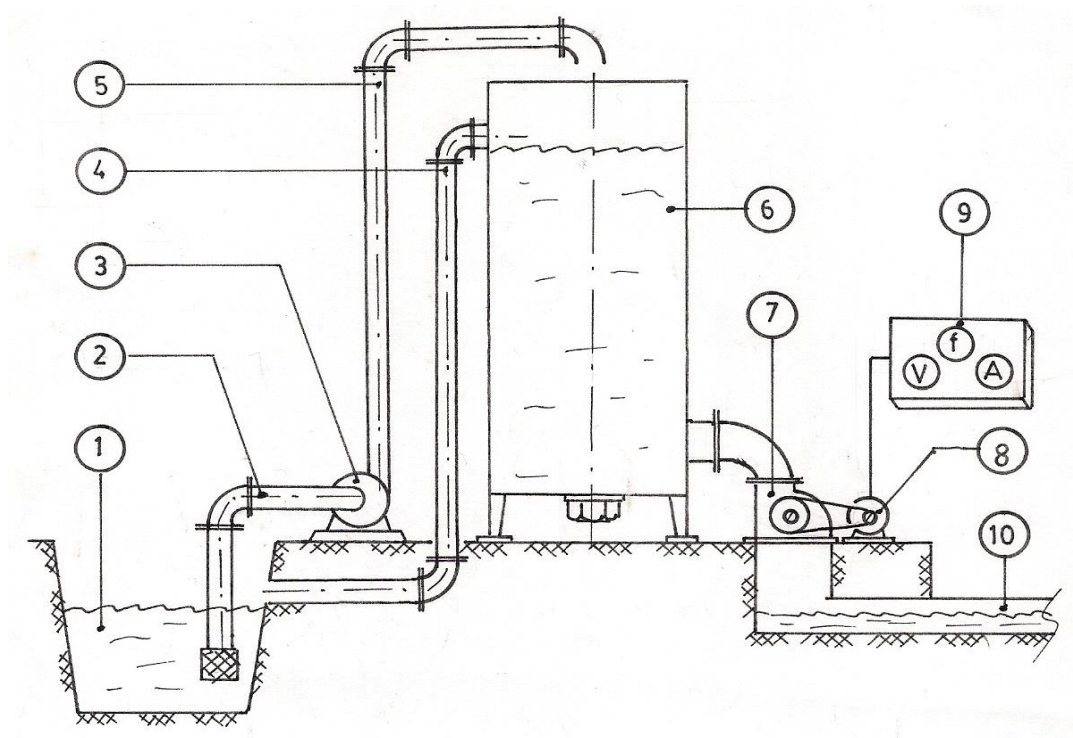


Gambar 72. Layout Out di Sekitar Lokasi Pengujian PLTMH Model Drum, Dukuh Blaburan, Desa Bligo, Kecamatan Ngluwar, Kabupaten Magelang (Bachtiar, 2010)



- | | |
|----------------------|--------------------------|
| 1. Saluran irigasi | 6. Drum penampung |
| 2. Lubang pembilas | 7. Penggerak mula turbin |
| 3. Saluran masuk | 8. Generator |
| 4. Saluran impah | 9. Panel kontrol |
| 5. Selokan penampung | 10. Saluran buang |

Gambar 73. Instalasi Pengujian Sistem PLTMH Model Drum (Bachtiar, 2010)



- | | |
|-------------------|-------------------------|
| 1. Bak penampung | 6. Drum penampung |
| 2. Pipa isap | 7. Turbin |
| 3. Pompa | 8. Generator |
| 4. Saluran limbah | 9. Panel beban/ kontrol |
| 5. Pipa tekan | 10. Saluran buang |

Gambar 74. Alternatif Lain Pengujian PLTMH Model Drum (Bachtiar, 2010)

13.2 Alat yang Dibutuhkan

Alat yang digunakan dalam proses pengujian diantaranya,

1. Tachometer

Tachometer digunakan untuk mengukur putaran poros turbin dan poros generator.

2. Powermeter

Powermeter digunakan untuk mengukur karakteristik listrik yang keluar dari generator yaitu daya, frekwensi, tegangan, arus dan *power factor*.

3. Panel listrik

Panel listrik digunakan untuk menampilkan variasi beban lampu dan alat kontrol pendukung seperti MCB, kapasitor dan saklar.

4. Motor induksi 0,5 HP

Motor induksi berfungsi sebagai generator (MISG) dengan proses merubah energi mekanik turbin menjadi energi listrik.

13.3 Prosedur Pengujian

Prosedur pengujian PLTMH Model Drum adalah sebagai berikut,

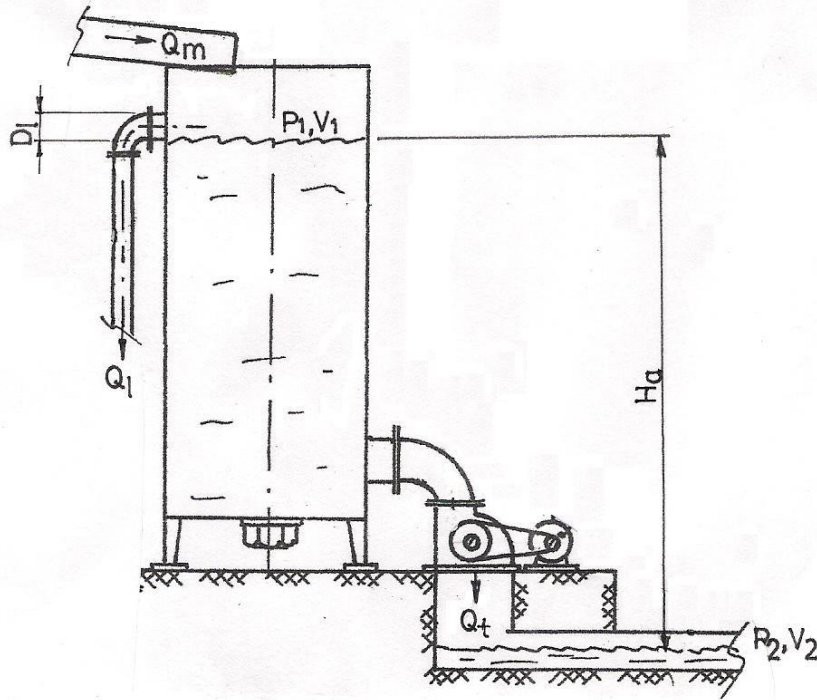
1. Siapkan komponen – komponen PLTMH Model Drum dan peralatan pendukung yang dibutuhkan ke lokasi pengujian seperti drum penampung, saluran masuk, saluran limbah, saluran buang, penggerak mula turbin, generator, alat-alat ukur, cangkul, linggis, parang, paku, kunci-kunci, tali, kawat, tangga, kayu kaso-kaso untuk penyanggah/ frame dan lain-lain.
2. Rakit komponen PLTMH Model Drum membentuk sistem PLTMH Model Drum yang lengkap dan siap untuk diuji, pastikan kembali PLTMH Model Drum telah terakit dengan baik, lengkap dan kuat.
3. Atur katup ke posisi menutup penuh dengan cara memutar regulator berlawanan arah jarum jam.
4. Buka lubang pembilas pada saluran irigasi sehingga air mengalir jatuh dan masuk kedalam drum melalui saluran masuk.
5. Perhatikan drum telah penuh terisi air ditandai ada air yang keluar melalui saluran limbah.
6. Cek dan perhatikan jika ada kebocoran terutama pada sambungan drum, sambungan perpak, dan seal yang terdapat pada sistem penggerak mula, catat posisi kebocoran jika ada.
7. Buka katup secara bertahap mulai bukaan 25%, 50%, 75% dan bukaan penuh (100%), hubungkan generator dengan beban pada masing-masing bukaan katup dan catat daya maksimum yang dapat dibangkitkan.
8. Catat kecepatan putaran turbin, generator dan debit air pada saluran buang pada posisi bukaan penuh.
- 9 Tabulasi data adalah proses selanjutnya dari proses pengujian untuk acuan dalam memberikan kesimpulan dan rekomendasi terhadap penyempurnaan pembuatan penggerak mula *Turbin Cross Flow* dan pengembangan PLTMH Model Drum ke depan.

13.4 Hasil Pengujian dan Pembahasan.

Pengujian PLTMH Model Drum mencakup analisis aplikasi persamaan Bernaulli pada sistem PLTMH Model Drum, kesetimbangan debit alir, pengamatan kebocoran, uji prestasi regulator dan katup, uji efisiensi sistem transmisi, uji efisiensi sistem pembangkit dan uji efisiensi penggerak mula *Turbin Cross Flow*.

1. Analisis aplikasi persamaan Bernaulli pada sistem PLTMH Model Drum.

Aplikasi persamaan Bernaulli pada sistem PLTMH Model Drum dapat dijelaskan dengan gambar 75. berikut,



Gambar 75. Kesetimbangan Energi Pada Sistem PLTMH Model Drum (Bachtiar, 2010)

Diketahui, P_1 = tekanan di permukaan air dalam drum penampung

P_1 = 1 atm, sama dengan tekanan udara luar

V_1 = kecepatan air pada permukaan air dalam drum penampung

V_1 = 0, posisi permukaan air tidak pernah berubah/ turun

Z_1 = level permukaan air dalam drum penampung

P_2 = tekanan pada permukaan air dalam saluran buang

P_2 = 1 atm, sama dengan tekanan udara luar

V_2 = kecepatan air pada saluran buang

Z_2 = level permukaan air pada saluran buang

H_a = *Head* aktual, yaitu beda tinggi permukaan air pada drum penampung dengan permukaan air pada saluran buang

H_a = 2,7 m

H_1 = *head losses* dari aliran air dari drum penampung sampai saluran buang

H_1 = 20 cm, diasumsikan relatif kecil mengingat diameter drum cukup besar dan hanya ada satu elbow yang dilalui air

Persamaan kesetimbangan energi Bernaulli adalah,

$$P_1/\gamma + V_1^2/2.g + Z_1 = P_2/\gamma + V_2^2/2.g + Z_2 + H_1$$

$$Z_1 = V_2^2/2.g + Z_2 + H_1$$

$$V_2^2/2.g = (Z_1 - Z_2) - H_1$$

$$V_2^2/2.g = H_a - H_1$$

$$V_2^2/2.g = H_t$$

$$V_2 = (2 . g . H_t)^{1/2}$$

maka,

$$V_2^2/2.g = 2,7 \text{ m} - 0,2 \text{ m}$$

$$V_2^2/2.g = 2,5 \text{ m}$$

$$V_2 = (2 . 9,8 \text{ m/det} . 2,5 \text{ m})^{1/2}$$

$$V_2 = 7 \text{ m/det}$$

2. Spesifikasi Saluran Limbah

Kesetimbangan debit pada sistem PLTMH Model Drum adalah,

Debit air saluran masuk = debit turbin + debit saluran limbah

$$Q_m = Q_t + Q_l$$

Direncanakan,

$$Q_m = 1,25 . Q_t$$

$$Q_m = 1,25 . 40 \text{ lt/det} = 50 \text{ lt/det}$$

Maka debit limbah pada kondisi normal adalah,

$$Q_l = 50 \text{ lt/det} - 40 \text{ lt/det} = 10 \text{ lt/det}$$

Tetapi dalam perencanaan ukuran saluran limbah dikondisikan sistem dalam keadaan tidak ideal/ kritis yaitu terjadi penutupan katup secara mendadak sehingga semua debit air dari saluran masuk mengalir ke dalam saluran limbah hingga saat itu, $Q_l = 50 \text{ lt/det}$.

Saluran limbah direncanakan menggunakan pipa PVC, kecepatan air mengalir masuk ke saluran limbah diasumsikan $V_l = 2 \text{ m/det}$, maka diameter pipa PVC yang digunakan adalah,

$$Q_l = A_l . V_l$$

$$Q_l = 0,785 . D_l^2 . V_l$$

$$D_l = \{Q_l / (0,785 . V_l)\}^{1/2}$$

$$D_l = \{0,05 \text{ m}^3/\text{det} / (0,785 . 2 \text{ m/det})\}^{1/2}$$

$$D_l = (0,05 \text{ m} / 1,57)^{1/2}$$

$$D_l = 17,7 \text{ cm}$$

$$D_l = 7 \text{ inc}$$

3. Pengamatan kebocoran

Salah hal yang sangat sensitif dalam sistem pembangkit turbin air adalah masalah kebocoran. Hal ini akan sangat mudah terjadi mengingat air dalam drum dan dalam penggerak mula memiliki tekanan yang cukup besar bahkan untuk head 2,5 m tekanan air di dasar drum dapat mencapai 125.000 N/m^2 atau 1,25 atmosfir. Dengan demikian jika sambungan las antar drum, perpak dan seal yang digunakan tidak baik sangat mungkin mudah terjadi kebocoran. Ada dua lingkaran sambungan las pada drum yang cukup panjang, tiga sambungan perpak dan empat

sambungan seal yaitu dua pada poros runner dan dua pada poros katup. Dari pengamatan selama 5 jam turbin beroperasi, Alhamdulillah tidak ada kebocoran sedikitpun sehingga lingkungan di sekitar drum dan penggerak mula tetap kering dan bersih. Dengan demikian maka penilaian prestasi PLTMH Model Drum dari resiko kebocoran dapat mencapai 100%, dengan tabel hal tersebut dapat lebih dijelaskan sebagai berikut,

Tabel 18. Prestasi PLTMH Model Drum Terhindar Dari Resiko Kebocoran (Bachtiar, 2010)

No	Posisi	Prestasi dari Resiko Kebocoran (%)
1.	Sambungan las antar drum	100
2.	Sambungan perpak drum dengan elbow	100
3.	Sambungan perpak elbow dengan nozel	100
4.	Sambungan perpak tutup dengan rumah turbin	100
5.	Sambungan seal poros runner dengan bantalan	100
6.	Sambungan seal poros katup dengan ring	100

4. Uji Efisiensi Regulator dan Katup

Regulator berfungsi untuk meringankan dan memudahkan perubahan posisi katup dari posisi menutup ke posisi terbuka dan sebaliknya. Cara kerja regulator adalah merubah gerak translasi menjadi gerak rotasi roda pemutar. Dari hasil pengujian, total putaran untuk merubah posisi katup dari menutup penuh ke posisi terbuka penuh adalah 36 putaran sementara perlakuan pengujian dilakukan pada empat posisi katup dengan konsekwensi debit dan efisiensi katup.

Berhubung debit riil relatif kecil maka pengukuran debit riil yaitu debit yang keluar mengalir melalui saluran buang diukur langsung. Proses pengukuran ialah air yang keluar dari saluran buang langsung ditampung ke dalam bejana/ wadah selama 5 detik. Air yang tertampung selanjunya diukur volumenya yaitu,

$$V_t = p_b \cdot l_b \cdot t_a$$

Diketahui, p_b = panjang penampang bejana

l_b = lebar penampang bejana

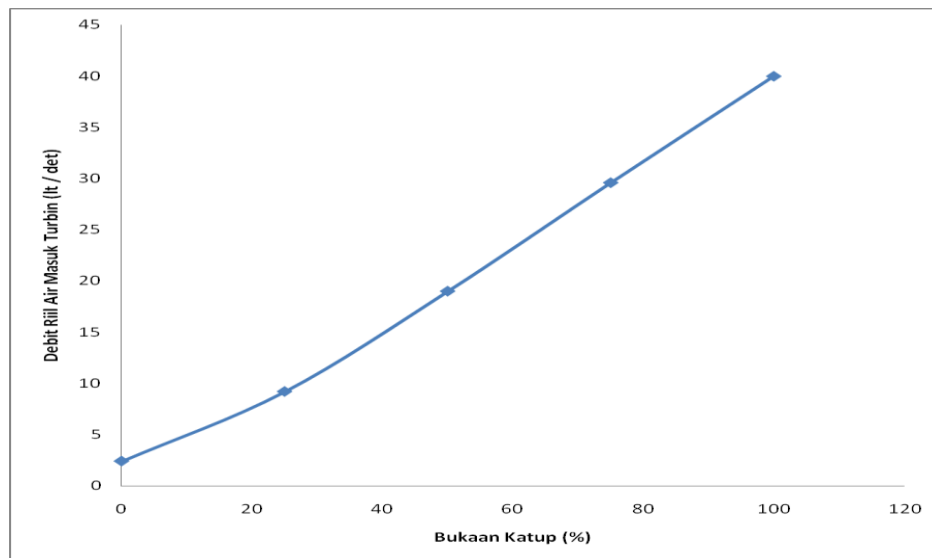
Dan debit riil air masuk turbin dapat dicari dengan rumus,

$$Q_{rt} = V_t / t$$

Debit riil air masuk turbin untuk lima posisi katup dijelaskan Tabel 19. berikut,

Tabel 19. Variasi Debit Riil Air Masuk Turbin Untuk Empat Posisi Buka-an Katup

No	Posisi Katup	Tinggi Air Dalam Bejana (cm)	Volume Air yang Tertampung (lt)	Waktu Tampung (det)	Debit riil air Masuk Turbin (lt/det)
1.	Tertutup penuh	4	12	5	2,4
2.	Terbuka 25%	7,2	46	5	9,2
3.	Terbuka 50%	17,2	95	5	19
4.	Terbuka 75%	25,6	148	5	29,6
5.	Terbuka 100%	34,6	200	5	40



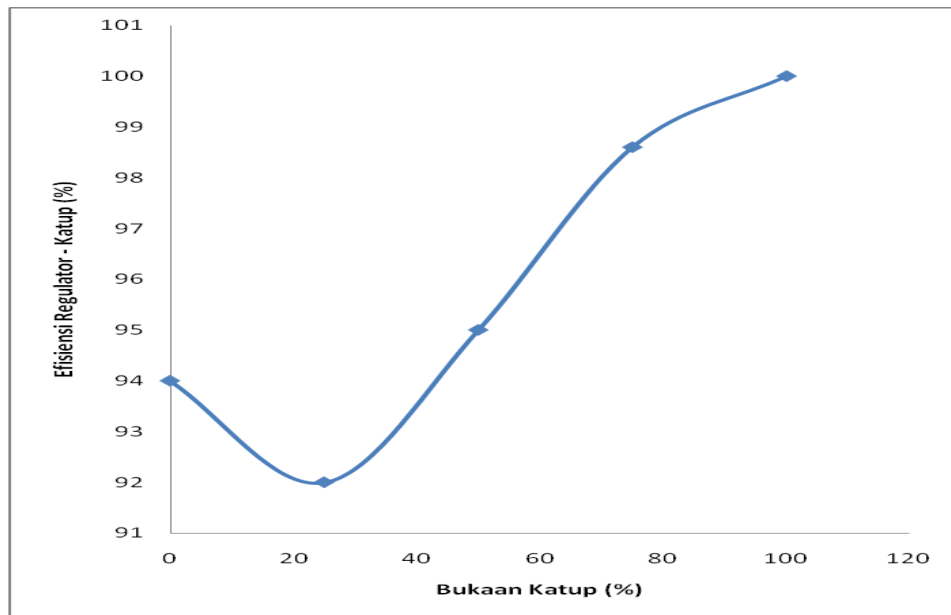
Gambar 76. Pengaruh Perubahan Buka-an Katup Terhadap Debit Riil Air Masuk Turbin

Selanjutnya efisiensi regulator-katup dapat diketahui dengan acuan debit rencana 40 lt/det seperti Tabel 20.

Tabel 20 Efisiensi Regulator-Katup Dengan Acuan Debit Rencana (Bachtiar, 2010)

No	Posisi Katup	Jumlah Putaran Regulator (putaran)	Debit Rencana (lt/det)	Debit Riil (lt/det)	Efisiensi Regulator-Katup (%)
1.	Tertutup penuh	0	0	2,4	94
2.	Terbuka 25%	9	10	9,2	92
3.	Terbuka 50%	18	20	19	95
4.	Terbuka 75%	27	30	29,6	98,6
5.	Terbuka 100%	36	40	40	100

Trend efisiensi regulator-katup dengan kurva dapat dijelaskan dengan Gambar 77.



Gambar 77. Trend Efisiensi Regulator-Katup untuk Empat Posisi Bukaan Katup (Bachtiar, 2010)

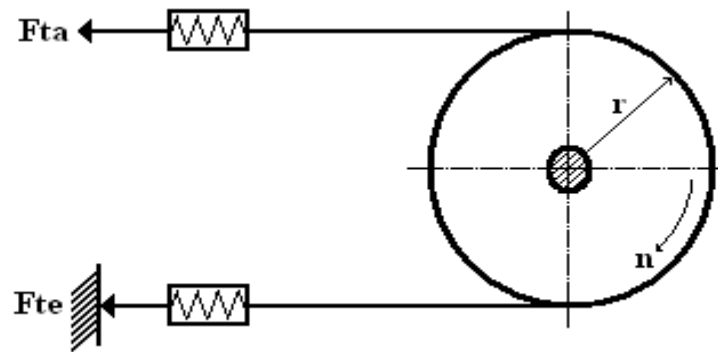
5. Uji Efisiensi Penggerak Mula Turbin Cross Flow

Pengujian efisiensi penggerak mula *Turbin Cross Flow* dilakukan dengan mekanisme pengereman guna mengetahui torsi yang dibangkitkan runner turbin. Komponen penting dalam proses pengereman adalah belt atau tali rem yang dipasang melingkari setengah lingkaran puli atau sudut kontak $\theta = 180^\circ$. Kedua ujung belt dihubungkan dengan timbangan pegas, salah satu pengait timbangan pegas tersebut dipasang tetap sementara pengait timbangan satu lagi akan mendapat perlakuan tarik (lihat Gambar 78.). Pada proses pengereman, akan timbul gaya tarik F_{ta} dan gaya tekan F_{te} , selisih antara F_{ta} dan F_{te} itulah gaya pengereman atau gaya gesek (F_g). Nilai F_{ta} dan F_{te} yang dijadikan acuan dalam pengukuran ialah pada posisi sesaat runner turbin berhenti berputar. Selanjutnya torsi yang terjadi dapat dicari dengan rumus,

$$T = F_g \cdot r$$

Diketahui, r = jari-jari puli turbin

$$r = 127 \text{ mm}/2 = 0,0635 \text{ m}$$

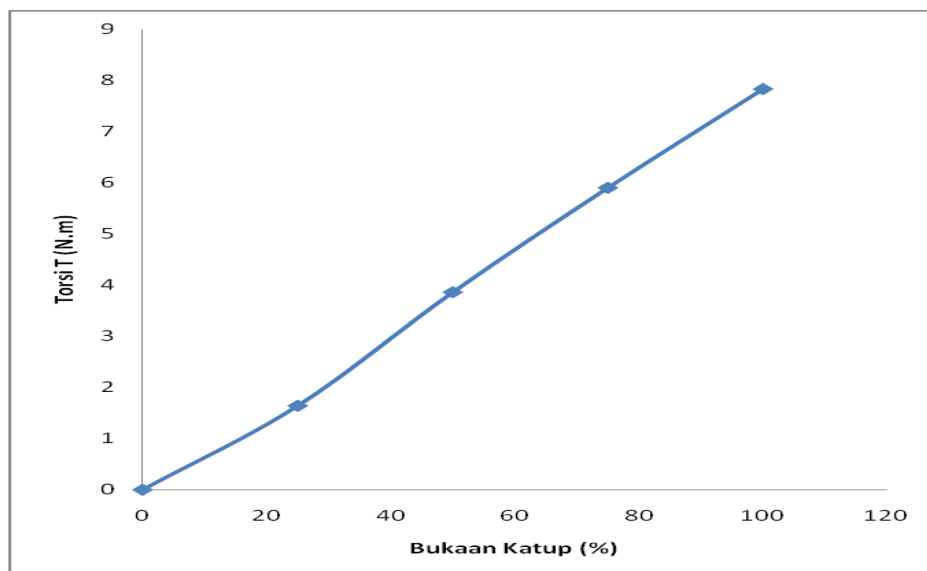


Gambar 78. Pengukuran Torsi dengan Mekanisme Pengereman (Bachtiar, 2010)

Dari hasil pengujian dengan variasi empat posisi katup didapat karakteristik pengereman puli penggerak mula *Turbin Cross Flow* sebagai berikut,

Tabel 21. Karakteristik Uji Pengereman (Bachtiar, 2010)

No	Posisi Katup Terbuka (%)	Putaran puli, n (rpm)	Debit Riil Turbin (lt/det)	Gaya Tarik, F_{ta} (N)	Gaya Tekan, F_{te} (N)	Gaya Gesek, F_g (N)	Torsi, T (N.m)
1.	0	0	0	0	0	0	0
2.	25	925	9,2	41	15	26	1,64
3.	50	970	19	93	32	61	3,86
4.	75	1005	29,6	140	47	93	5,9
5.	100	1049	40	189	66	123	7,83



Gambar 79. Torsi yang Dibangkitkan Turbin untuk Empat Posisi Bukaan Katup (Bachtiar, 2010)

Berikut uraian dalam menentukan besar daya riil yang dibangkitkan penggerak mula *Turbin Cross Flow* untuk empat posisi katup (lihat Tabel 21.) yaitu,

a. Posisi katup terbuka 25%

$$T_1 = F_{g1} \cdot r$$

$$T_1 = 26 \text{ N} \cdot 0,0635 \text{ m}$$

$$T_1 = 1,64 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$N_1 = 2 \cdot \pi \cdot n_1 \cdot T_1$$

$$N_1 = 2 \cdot 3,14 \cdot 925 \text{ rpm} \cdot 1,64 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$N_1 = 2 \cdot 3,14 \cdot 925 \text{ put} \cdot 1,64 \text{ N} \cdot \text{m}/60 \text{ det}$$

$$N_1 = 159 \text{ N} \cdot \text{m}/\text{det}$$

$$N_1 = 159 \text{ Joule}/\text{det}$$

$$N_1 = 159 \text{ Watt}$$

$$N_1 = 0,159 \text{ kW}$$

b. Posisi katup terbuka 50%

$$T_2 = F_{g2} \cdot r$$

$$T_2 = 61 \text{ N} \cdot 0,0635 \text{ m}$$

$$T_2 = 3,86 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$N_2 = 2 \cdot \pi \cdot n_2 \cdot T_2$$

$$N_2 = 2 \cdot 3,14 \cdot 970 \text{ rpm} \cdot 3,86 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$N_2 = 2 \cdot 3,14 \cdot 970 \text{ put} \cdot 3,86 \text{ N} \cdot \text{m}/60 \text{ det}$$

$$N_2 = 392 \text{ N} \cdot \text{m}/\text{det}$$

$$N_2 = 392 \text{ Joule}/\text{det}$$

$$N_2 = 392 \text{ Watt}$$

$$N_2 = 0,392 \text{ kW}$$

c. Posisi katup terbuka 75%

$$T_3 = F_{g3} \cdot r$$

$$T_3 = 93 \text{ N} \cdot 0,0635 \text{ m}$$

$$T_3 = 5,9 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$N_3 = 2 \cdot \pi \cdot n_3 \cdot T_3$$

$$N_3 = 2 \cdot 3,14 \cdot 1005 \text{ rpm} \cdot 5,9 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$N_3 = 2 \cdot 3,14 \cdot 1005 \text{ put} \cdot 5,9 \text{ N} \cdot \text{m}/60 \text{ det}$$

$$N_3 = 622 \text{ N} \cdot \text{m}/\text{det}$$

$$N_3 = 622 \text{ Joule}/\text{det}$$

$$N_3 = 622 \text{ Watt}$$

$$N_3 = 0,622 \text{ kW}$$

d. Posisi katup terbuka 100%

$$T_4 = F_{g4} \cdot r$$

$$T_4 = 123 \text{ N} \cdot 0,0635 \text{ m}$$

$$T_4 = 7,83 \text{ kgf} \cdot \text{m}$$

$$N_4 = 2 \cdot \pi \cdot n_4 \cdot T_4$$

$$N_4 = 2 \cdot 3,14 \cdot 1049 \text{ rpm} \cdot 7,83 \text{ N.m}$$

$$N_4 = 2 \cdot 3,14 \cdot 1049 \text{ put} \cdot 7,83 \text{ N.m/60 det}$$

$$N_4 = 860 \text{ N.m/det}$$

$$N_4 = 860 \text{ Joule/det}$$

$$N_4 = 860 \text{ Watt}$$

$$N_4 = 0,86 \text{ kW}$$

Sementara daya potensi air atau daya teoritis penggerak mula Turbin Cross Flow untuk empat posisi katup adalah,

a. Posisi katup terbuka 25%

$$N_{p1} = \rho_{\text{air}} \cdot g \cdot Q_1 \cdot H_t$$

$$N_{p1} = 1.000 \text{ kg/m}^3 \cdot 9,81 \text{ m/det}^2 \cdot 0,0092 \text{ m}^3/\text{det} \cdot 2,5 \text{ m}$$

$$N_{p1} = 226 \text{ Watt}$$

b. Posisi katup terbuka 50%

$$N_{p2} = \rho_{\text{air}} \cdot g \cdot Q_2 \cdot H_t$$

$$N_{p2} = 1.000 \text{ kg/m}^3 \cdot 9,81 \text{ m/det}^2 \cdot 0,019 \text{ m}^3/\text{det} \cdot 2,5 \text{ m}$$

$$N_{p2} = 466 \text{ Watt}$$

c. Posisi katup terbuka 75%

$$N_{p3} = \rho_{\text{air}} \cdot g \cdot Q_3 \cdot H_t$$

$$N_{p3} = 1.000 \text{ kg/m}^3 \cdot 9,81 \text{ m/det}^2 \cdot 0,0296 \text{ m}^3/\text{det} \cdot 2,5 \text{ m}$$

$$N_{p3} = 726 \text{ Watt}$$

d. Posisi katup terbuka 100%

$$N_{p4} = \rho_{\text{air}} \cdot g \cdot Q_4 \cdot H_t$$

$$N_{p4} = 1.000 \text{ kg/m}^3 \cdot 9,81 \text{ m/det}^2 \cdot 0,04 \text{ m}^3/\text{det} \cdot 2,5 \text{ m}$$

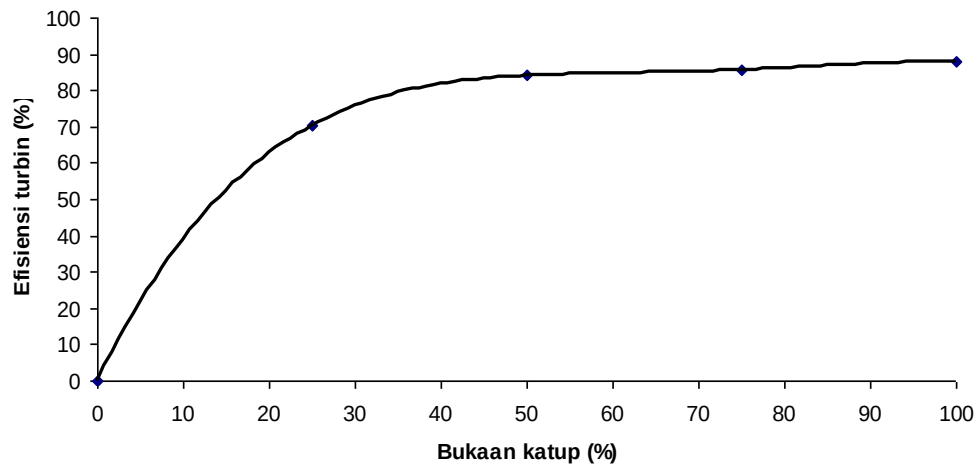
$$N_{p4} = 980 \text{ Watt}$$

Dari data-data daya riil dan daya potensi tersebut selanjutnya dapat ditentukan efisiensi penggerak mula Turbin Cross Flow untuk empat posisi bukaan katup seperti dijelaskan Tabel 22. berikut,

Tabel 22. Efisiensi Penggerak Mula Turbin Cross Flow untuk Empat Posisi Bukaan Katup (Bachtar, 2010)

No	Posisi Katup Terbuka (%)	Daya Potensi (Watt)	Daya Riil (Watt)	Efisiensi Penggerak Mula Turbin Cross Flow (%)
1.	25	226	159	70,3
2.	50	466	392	84,1
3.	75	726	622	85,7
4.	100	980	860	87,8

Selanjutnya trend atau kecenderungan dari pengaruh perubahan posisi katup terhadap efisiensi penggerak mula Turbin Cross Flow dapat dijelaskan dengan gambar kurva berikut. Dari gambar tersebut ditunjukkan hubungan antara efisiensi dengan pembesaran bukaan katup yang mengakibatkan penambahan debit air masuk turbin yang dinyatakan dalam persentase bukaan katup. Dari hasil pengujian, ternyata pada posisi bukaan katup 100% menunjukkan efisiensi turbin yang tertinggi sekitar 87,8%, dan untuk perubahan bukaan katup mulai 50% dan seterusnya menunjukkan nilai efisiensi yang relatif tetap (lihat Gambar 80.).



Gambar 80. Trend Efisiensi Penggerak Mula Turbin Cross Flow untuk Empat Posisi Bukaan Katup (Bachtiar, 2010)



Gambar 81. Penulis Berada di Sekitar Sistem PLTMH Model Drum yang Sedang beroperasi Ditandai Oleh Air Keluar Dari Saluran Limpah (Bachtiar, 2010)



Gambar 82. Keberhasilan PLTMH Model Drum Membangkitkan Listrik Mendapat Apresiasi dari Bapak Lurah Bligo, Kecamatan Ngluwar, Kabupaten Magelang (Bapak Arismunandar, Memakai Topi), Terimakasih Pak ! Atas Izin Penggunaan Tanah Bengkok Untuk Lokasi Pengujian PLTMH Model Drum (Bachtiar, 2010)

13.5 Prosedur Pembangunan dan Pengoperasian PLTMH Model Drum

13.5.1 Prosedur Pembangunan PLTMH Model Drum

Langkah awal untuk melaksanakan pembangunan PLTMH Model Drum ialah melakukan studi kelayakan yang meliputi pemilihan lokasi pembangkit yang tepat dilanjutkan dengan melakukan pengukuran dan menentukan lokasi penempatan sistem PLTMH Model Drum secara keseluruhan. Misalnya menentukan letak rumah pembangkit, drum penampung, saluran masuk dan bendungan, setelah itu pastikan apakah luas lahan yang ada cukup untuk digunakan. Itulah pekerjaan awal di lapangan. Pekerjaan selanjutnya ialah membuat atau melaksanakan pembangunan PLTMH Model Drum mencakup pekerjaan sipil dan pekerjaan mekanik. Yang termasuk pekerjaan sipil yaitu membangun bendungan, saluran masuk, saluran limbah, rumah pembangkit dan saluran buang. Sedangkan yang termasuk pekerjaan mekanikal ialah membuat drum penenang, elbow, penggerak mula turbin, sistem transmisi dan membuat frame atauudukan generator.

Prosedur pemasangan turbin ialah terlebih dahulu pasanglah rangka pondasi turbin melalui proses pengecoran. Setelah coran kering, pasang rumah turbin atau casing di atasnya, gunakan baut-mur sebagai pengikat agar rumah turbin tidak bergeser-geser. Selanjutnya *runner* dan katup dipasang, pemasangan kedua komponen turbin ini harus hati-hati agar *runner* dan katup tidak bergesekan dengan rumah turbin. Posisi bantalan yang penumpu poros *runner* dipasang simetris agar tidak menimbulkan tahanan terhadap putaran poros *runner*. Komponen lain yang

harus dipasang pada ujung poros *runner* adalah transmisi belt-puli. Selanjutnya pasanglah tutup turbin pada rumah turbin dengan sabungan baut-mur. Pada bagian bawah drum terdapat adapter dengan penampang mulut segiempat, sambungkan ujung elbow ke mulut rumah turbin yang sama-sama berpenampang segi empat pula.

Pekerjaan terakhir yang dilakukan di rumah pembangkit ialah pemasangan peralatan kontrol (*switching*), *trafo step-up*, *saklar*, *Voltmeter*, *Amperemeter*, lampu kontrol, lampu penerangan dalam rumah pembangkit dan alat perlindungan dan pengaman lainnya.

Selama pekerjaan di dalam rumah pembangkit sedang berlangsung, maka dalam waktu yang bersamaan pekerjaan elektrik di luar pembangkit dapat dilaksanakan seperti pemasangan tiang-tiang listrik (pole) beserta kabel distribusi dan pemasangan instalasi listrik di rumah-rumah penduduk. Tahap akhir adalah pengujian, diharapkan apabila uji prestasi PLTMH Model Drum berhasil dilaksanakan, maka PLTMH Model Drum dapat segera dioperasikan secara permanen sehingga masyarakat desa dapat segera menikmatinya.

13.5.2 Prosedur Pengoperasian PLTMH Model Drum

Prosedur pengoperasian PLTMH Model Drum adalah sebagai berikut,

- a. Pastikan katup turbin pada posisi tertutup penuh.
- b. Buka pintu air pada bendungan hingga air mengalir melalui saluran masuk dan masuk ke drum penampung.
- c. Perhatikan air dalam drum mencapai head maksimum yang ditandai ada debit air yang keluar melalui saluran limbah.
- d. Putar regulator secara bertahap ke posisi membuka hingga air keluar dari drum penampung dan masuk ke turbin.
- e. Seimbangkan posisi bukaan katup-regulator dengan beban listrik yang ada.
- f. Jika karakteristik listrik beban telah optimal yakni tegangan 220 Volt dan frekuensi 50 Hz, maka posisi regulator-katup dapat dijadikan pedoman untuk pengoperasian selanjutnya.

13.6 Kesimpulan dan Saran Pengujian

13.6.1 Kesimpulan

Hasil pengujian menunjukkan sistem PLTMH Model Drum yang dibangun memiliki karakteristik yang berbeda antara hasil perencanaan dengan hasil pengujian riil di lapangan yakni,

1. Debit maksimum air masuk turbin yang riil adalah 40 lt/det sesuai dengan debit perencanaan yaitu 40 lt/det.
2. Putaran riil turbin adalah 1049 rpm 25% lebih besar dari putaran rencana turbin 810 rpm.

3. Efisiensi riil turbin adalah 87,8% lebih besar dari efisiensi rencana/ asumsi yaitu 80%, dengan demikian maka kualitas penggerak mula Turbin Cross Flow yang dibangun cukup memuaskan dan dapat dibanggakan.

13.6.2 Saran

Menanggapi tampilan data pengujian di atas, maka untuk menghasilkan bangunan PLTMH Model Drum yang lebih baik ke depan, disarankan sebagai berikut,

1. Perlu penelitian mendalam tentang spesifikasi ideal katup agar menghasilkan koefisien katup riil yang mendekati koefisien rencana 96% sehingga aliran air menuju runner tidak mengalami banyak tahanan, dengan demikian debit turbin riil akan terjamin sesuai dengan debit perencanaan.
2. Untuk menyesuaikan dengan data putaran riil 1049 rpm yang lebih besar dari putaran rencana 810 rpm, maka perlu direvisi dan diuji ulang tentang perbandingan ideal kecepatan putaran runner diameter luar dengan kecepatan air keluar dari nozel dari nilai 0,5 menjadi lebih besar dari 0,5, atau dengan rumus ditulis,

$$U_o / V_r > 0,5$$

3. Dihasilkannya efisiensi turbin 87,8% adalah awal keberhasilan, perlu tindak lanjut berikutnya yakni identifikasi komponen penggerak mula yang dapat ditingkatkan kualitas kemampuannya sehingga efisiensi penggerak mula dapat lebih meningkat, lebih besar dari 87,5%, semoga.

Perlatihan

Sebagai penutup dan sekaligus untuk mengetahui sejauh mana pemahaman dan keterampilan anda terhadap pokok bahasan di atas, maka jawablah pertanyaan-pertanyaan berikut ini,

1. Jelaskan keunggulan sistem PLTMH Model Drum dibanding PLTMH konvensional ?
2. Ada 2 data yang ingin didapatkan dari kegiatan survey lapangan yaitu potensi debit sungai (Q) dan *head* (H), jelaskan bagaimana prosedur pengukuran debit sungai dan *head* di lapangan dan jelaskan peralatan yang dibutuhkan untuk mendapatkan kedua data tersebut ?
3. Apa yang dimaksud dengan *head aktual*, *head losses* dan *head efektif* ?
4. Apa perbedaan daya potensi dengan daya riil ?
5. Apa yang dimaksud dengan pernyataan, efisiensi turbin = 78 % ?
6. Mengapa semakin besar ukuran diameter runner turbin maka putarannya akan semakin kecil, jelaskan dengan rumus ?
7. Jelaskan prosedur uji torsi dengan rem prony ?
8. Jelaskan keunggulan dan kelemahan transmisi belt-puli dibanding dengan transmisi rantai-sproket ?

9. Mengapa dengan bantuan regulator, pembukaan dan penutupan katup dapat dilakukan dengan mudah dan ringan ?
10. Jelaskan tahapan-tahapan pembangunan PLTMH Model Drum ?
11. Jelaskan perbedaan perawatan preventif dengan perawatan korektif ?

BAB XIV
CONTOH PROPOSAL PENELITIAN PEMBANGUNAN PEMBANGKIT TENAGA MIKRO HIDRO
PORTABEL (PTMHP)

Salah satu sarana untuk mengekspresikan ide atau gagasan adalah dengan menyusun proposal untuk diajukan ke lembaga/ instansi terkait dengan harapan mendapat dukungan dan dapat dilaksanakan. Keberhasilan suatu gagasan ditentukan oleh kualitas proposal yang dibuat, hal itu tercermin dari tampilan data yang akurat, penyampaian yang sistematis, redaksional yang tepat dan tegas dan yang tak kalah penting adalah gagasan yang diusulkan adalah hal baru yang penting dan strategis menyangkut kepentingan masyarakat. Dengan kata lain gagasan tersebut harus bermanfaat nyata bagi masyarakat. Salah satu bentuk proposal yang dikenal masyarakat khususnya di lingkungan akademis adalah proposal penelitian. Proposal penelitian adalah ekspresi dari gagasan yang berkaitan dengan usaha peningkatan efisiensi dan usaha memberi jawab ilmiah dari suatu masalah. Pada sub bab berikut ini penulis akan menguraikan sebuah contoh proposal penelitian Hibah Bersaing yang disponsori Ditjen DIKTI Depdiknas di Jakarta yang penulis usulkan pada periode Maret 2008 dan telah diseminarkan di Medan pada tanggal 3 Oktober 2008. Walau di sana-sini banyak kekurangannya mudah-mudahan contoh proposal penelitian ini menjadi salah satu rujukan. Dan jika anda memiliki gagasan membangun sebuah pembangkit tenaga mikro hidro dan anda ingin mewujudkan gagasan tersebut dalam bentuk proposal, mudah-mudahan contoh proposal penelitian ini dapat bermanfaat.

Adapun yang melatarbelakangi penulis dalam pembuatan proposal penelitian ini ialah, kenyataan bahwa sejak ditemukan teknologi turbin air dengan segala karakteristiknya hingga sekarang, usaha-usaha kearah penyempurnaan untuk menghasilkan sistem turbin yang lebih efisien terus dilakukan oleh para ahli. Dan selama manusia membutuhkan energi dan di permukaan bumi ini masih terdapat potensi air yang mengalir melalui sungai-sungai kecil, maka istilah Mikro Hidro tidak akan berhenti menjadi wacana dan pembendaharaan kata yang dibahas melalui penelitian-penelitian maupun forum-forum ilmiah lainnya. Intinya semua perhatian mereka diarahkan untuk mendapatkan rumusan sistem pembangkit tenaga mikro hidro yang efisien, investasi yang murah, praktis dan dapat membangkitkan daya semaksimal mungkin. Dalam kaitan ini penulis tertarik ingin berpartisipasi, mengagas ide, merintis dalam usaha mewujudkan sistem pembangkit yang lebih baik sesuai dengan potensi kebutuhan dan tantangan yang ada. Pembangkit Tenaga Mikro Hidro Portabel (PTMHP) yang penulis jadikan kata kunci melalui proposal penelitian ini difungsikan bukan hanya untuk menggerakkan generator listrik tetapi juga dapat didayagunakan untuk menggerakkan mesin-mesin produksi pengolah hasil pertanian. Komponen Sistem PTMHP mulai dari drum penenang sampai ke saluran buang dapat diurai menjadi beberapa komponen kecil sehingga mobilitasnya lebih mudah, proses perakitan saat dibangun relatif lebih cepat

sehingga sistem pembangkit ini dinamakan PTMHP. Diharapkan PTMHP ini menjadi proyek percontohan dan secara umum menjadi alternatif sistem pembangkit multi fungsi yang handal.

Setelah pembaca mempelajari contoh proposal penelitian ini dengan judul, “ Pembangunan Pembangkit Tenaga Mikro Hidro Portabel (PTMHP) yang Praktis Sebagai Alternatif Pemanfaatan Potensi Air di Pedesaan Sumatera Barat “, diharapkan pembaca mampu,

1. Memahami dengan baik bahwasannya teknologi turbin air adalah teknologi yang dinamis, terus berinovasi, aplikasinya terus berkembang sesuai potensi, tantangan dan harapan masyarakat.
2. Memahami dengan baik, bahwasannya proposal penelitian dapat dijadikan media perantara dalam mengekspresikan ide, pengetahuan, tantangan dan harapan yang diketahuinya demi pembangunan kesejahteraan masyarakat.
3. Memahami dengan baik tahapan-tahapan yang harus dilalui dalam membuat sebuah proposal penelitian.
4. Memahami dengan baik bahwasannya proposal yang baik harus didukung oleh data dan informasi yang ilmiah, terkini dan terpercaya.
5. Memahami dengan baik bahwa forum-forum penelitian dapat menjadi pembelajaran yang mendorong peneliti untuk sering menulis, belajar kembali dan mencari banyak pengalaman.

14.1 Daftar Isi Proposal Penelitian

DAFTAR ISI

Halaman

I. IDENTITAS PENELITIAN	
II. SUBSTANSI PENELITIAN	
ABSTRAK	
BAB I. PENDAHULUAN	
I.1. Latar Belakang	
I.2. Tujuan Khusus	
I.3. Urgensi atau Keutamaan Penelitian	
BAB II. STUDI PUSTAKA	
BAB III. METODE PENELITIAN.....	
BAB IV. PEMBIAYAAN DAN JADWAL PENELITIAN.....	
DAFTAR KEPUSTAKAAN.....	
LAMPIRAN	

1. Pertimbangan Alokasi Biaya Tahun Ke 1.....
2. Pertimbangan Alokasi Biaya Tahun Ke 2
3. Dukungan Pada Pelaksanaan Penelitian
4. Sarana

14.2 Identitas Penelitian

14.2.1 Judul Usulan : Pembangunan Pembangkit Tenaga Mikro Hidro Portabel (PTMHP) yang Praktis Sebagai Alternatif Pemanfaatan Potens Air di Pedesaan Sumatera Barat

14.2.2 Objek Penelitian

Yang menjadi objek penelitian adalah suatu paket bangunan mesin yang disebut Pembangkit Tenaga Mikro Hidro Portabel (PTMHP) yang terdiri dari dua unit utama yaitu unit penggerak mula dan unit mesin yang digerakan. Kedua unit utama tersebut menyatu dalam satu sistem yang menghasilkan dua fungsi yaitu sebagai pembangkit listrik dan sebagai penggerak mesin pengolah hasil pertanian. Karena yang menjadi objek penelitian adalah bangunan mesin yang cukup besar yang manfaatnya dapat langsung dirasakan masyarakat hingga penempatannyapun di masyarakat memerlukan banyak pertimbangan, maka masalah yang akan diteliti dari objek penelitian ini cukup luas diantaranya ialah bagaimana di lapangan dapat menentukan lokasi penempatan bangunan PTMHP yang tepat ?, bagaimana dapat menghasilkan rancangan yang akurat ?. Hal lain yang ingin dicapai ialah bagaimana pada proses pengadaan alat dan bahan akan mendapatkan komponen/ spare part dan mesin yang tepat berkualitas dengan harga yang bersaing ?, bagaimana menghasilkan sistem transmisi daya dan putaran dari unit penggerak mula ke unit-unit mesin produksi yang praktis dan efisien ?. Yang akhirnya bagaimana dapat mewujudkan bangunan PTMHP yang praktis, murah dan dapat bermanfaat bagi masyarakat ?. Insya Allah pertanyaan-pertanyaan penelitian tersebut akan terjawab dengan baik melalui proses penelitian ke depan.

14.2.3 Masa Pelaksanaan Penelitian

Mulai : 2009

Berakhir : 2010

14.2.4 Anggaran Yang Diusulkan :

Tahun pertama : Rp. 49.588.000;

Tahun keseluruhan : Rp. 99.188.000;

14.2.5 Lokasi Penelitian

Sesuai dengan tahapan penelitian yang akan dilalui, maka ada dua lokasi penelitian yaitu Laboratorium Proses Produksi Sekolah Tinggi Teknologi Industri (STTIND) Padang sebagai lokasi pembuatan komponen dan pengujian statis sistem PTMHP. Lokasi yang kedua adalah Desa Sariék Alahan Tigo, Kecamatan Talang Babungo, Kabupaten Solok, Provinsi Sumatera Barat sebagai lokasi penempatan PTMHP untuk proses pengujian dan evaluasi. Untuk jangka panjang diharapkan lokasi penelitian ini akan menjadi desa binaan untuk pengembangan PTMHP ke depan.

14.2.6 Hasil Yang Ditargetkan

Selama ini pembangkit tenaga mikro hidro yang dioperasikan masyarakat hanya difungsikan untuk menggerakkan generator listrik sehingga disebut Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH). PLTMH dibangun dengan konstruksi permanen dengan biaya investasi dan perawatan relatif lebih mahal. Sementara sampai saat ini belum ada temuan Pembangkit Tenaga Mikro Hidro Portabel (PTMHP) dan belum ada PTMHP yang dioperasikan. Kami berkeyakinan bahwa inilah temuan baru, inovasi baru sebuah PTMHP pertama yang akan dibangun. Hasil yang ditargetkan dari penelitian ini adalah dapat mewujudkan PTMHP tepat waktu, tepat design, tepat teknologi, tepat prestasi, tepat sasaran dan secara umum diharapkan sistem PTMHP memiliki efisiensi yang tinggi hingga dapat memenuhi kebutuhan dan harapan masyarakat.

14.2.7 Institusi Lain Yang Terlibat : Tidak ada

14.2.8 Keterangan Lain Yang Dianggap Perlu

PTMHP adalah sebuah solusi dalam rangka penciptaan dan pemanfaatan energi baru dan terbarukan. Dengan kepraktisan dan investasi yang relatif lebih murah diharapkan menjadi faktor pendorong penyebaran PTMHP di masyarakat. Pada prosesnya PTMHP dapat meningkatkan ekonomi dan pendapatan masyarakat desa yang pada akhirnya dapat meningkatkan kesejahteraannya. Dukungan dan partisipasi semua pihak terhadap usulan penelitian ini merupakan langkah awal menuju sukses kita semua.

14.3 Abstrak

PTMHP adalah inovasi baru sistem pembangkit tenaga dengan penggerak mula turbin air yang dirancang untuk dua fungsi yaitu sebagai penggerak generator listrik dan sebagai penggerak mesin-mesin produksi pengolah hasil pertanian. PTMHP yang murah dan praktis akan menjadi solusi selama ini tentang masalah investasi yang menjadi kendala mandegnya penyebaran Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) di masyarakat. Secara teknis PTMHP merupakan alternatif yang tepat dalam pemanfaatan potensi air dengan debit dan head yang relatif kecil dibanding untuk PLTMH pada umumnya sehingga dapat dikatakan sekecil apapun potensi air yang ada dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi yang bermanfaat. Insya Allah keberhasilan pembangunan PTMHP ini akan menjadi proyek percontohan untuk desa-desa

disekitarnya. Kedepan tim peneliti terobsesi untuk menawarkan beberapa paket PTMHP kepada masyarakat dengan variabel debit air (Q) dan head (H). Tahapan yang akan dilakukan dalam penelitian eksperimen ini ialah, tahap awal melakukan survey ke lokasi rencana penempatan PTMHP untuk mengetahui data teknis yang ada. Data-data tersebut merupakan variabel yang akan diolah ke dalam perencanaan, hasil dari perencanaan yang matang akan dijadikan pedoman proses pembuatan di laboratorium. Tahapan selanjutnya pemasangan dan pengujian di lapangan yang merupakan tahapan terakhir untuk mengetahui prestasi PTMHP sebagai luaran dari penelitian ini.

14.4 Pendahuluan

14.4.1 Latar Belakang

Potensi air di pedesaan Sumatera Barat cukup banyak mengingat di propinsi ini terdapat empat danau besar dan topografi daerah umumnya berada di dataran tinggi yang banyak memiliki sumber air. Tetapi memperhatikan kenyataan di lapangan, banyak potensi air yang mengalir melalui sungai-sungai kecil tersebut belum dimanfaatkan secara maksimal. Pemanfaatannya terbatas untuk mencuci dan irigasi desa sedang pemanfaatan sebagai sumber energi alternatif masih terbatas. Memang saat ini telah dibangun pembangkit listrik skala kecil yang populer disebut Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH), tetapi itu jumlahnya sangat sedikit dibanding dengan potensi air yang ada. Semua PLTMH yang dioperasikan tersebut dibangun dengan konstruksi permanen dan hanya difungsikan untuk menggerakkan generator listrik. Sistem pembangkit ini semua komponen mulai dari bak penenang, pipa pesat, rumah pembangkit, penggerak mula, mesin kerja dan saluran buang berada pada satu lokasi yang tetap, tidak dapat dibongkar pasang dan tak dapat dipindah-pindahkan. Bangunan sipil sistem pembangkit ini lebih dominan baik volume kerja maupun bahan yang digunakan saat pembangunan, lahan yang dibutuhnyapun cukup luas sehingga biaya investasi dan pemeliharaan relatif lebih mahal. Dengan karakteristik seperti itu menjadi kendala bagi penyebaran dan pengembangan PLTMH di masyarakat. Ini sebuah kerugian besar karena potensi energi yang ada di depan mata tak dapat dimanfaatkan segera. Memperhatikan kenyataan, tantangan dan harapan di atas timbul pertanyaan, bagaimana menciptakan sistem pembangkit yang praktis, biaya investasi yang murah, mudah pengoperasiannya hingga dapat dimiliki dengan mudah oleh perorangan atau kelompok masyarakat desa ?. Alhamdulillah melalui proposal penelitian ini tim peneliti mencoba menggagas ide untuk membangun sistem Pembangkit Tenaga Mikro Hidro Portabel disingkat PTMHP yang memiliki volume bangunan mekanik lebih dominan sehingga mulai dari drum/bak penenang sampai saluran buang dapat diurai menjadi beberapa komponen. Dengan demikian investasi PTMHP relatif lebih murah dan pelaksanaan pembangunan/ perakitan PTMHP di lapangan relatif lebih cepat. PTMHP diproyeksikan untuk dapat digunakan menggerakkan mesin-mesin produksi pengolah hasil pertanian disamping sebagai pembangkit listrik. Untuk mengalihkan fungsi sistem transmisi dari penggerak generator menjadi penggerak mesin-mesin produksi adalah perkecil dahulu debit air yang masuk ke *runner*, selanjutnya lepaskan kopling cakram pada poros puli

penggerak generator dan hubungkan kopling cakram pada poros puli penggerak mesin produksi. Cukup dengan langkah seperti itu maka pengalihan transmisi daya dapat berlangsung cepat dan mudah.

14.4.2 Tujuan Khusus

Sesuai dengan latar belakang di atas, tujuan khusus penelitian ini adalah dapat mewujudkan sistem PTMHP yang handal, praktis, murah dan dapat memenuhi harapan dan kebutuhan masyarakat desa. Secara teknis diharapkan PTMHP yang akan dibangun ini menjadi contoh teknologi tepatguna yang komponen-komponennya dapat dibuat oleh bengkel-bengkel kecil sehingga penyebarannya di masyarakat akan lebih cepat. Tujuan khusus lainnya ialah untuk dapat mengidentifikasi kekurangan dan tantangan yang terjadi selama proses pembuatan dan pengujian di lapangan, hal ini akan dijadikan pedoman untuk penelitian selanjutnya guna mendapatkan sistem PTMHP yang ideal yakni yang memiliki efisiensi tertinggi dan prestasi mesin yang lebih baik.

14.4.3 Urgensi atau Keutamaan Penelitian

Tim peneliti optimis proposal penelitian ini akan mendapat tanggapan yang baik dari banyak pihak mengingat ditinjau dari beberapa aspek, penelitian ini memiliki urgensi atau keutamaan yang dapat dibanggakan diantaranya,

1) Aspek keselarasan dengan program pemerintah

Yang menjadi luaran penelitian ini diantaranya ialah dapat dihasilkannya Energi alternatif beserta pemanfaatannya yang sangat strategis. Hal ini sangat selaras dengan fokus kedua dari enam fokus kebijaksanaan Iptek 2005 – 2006 dan sesuai dengan Rencana Pembangunan Jangka Menengah Nasional (RPJMN) yaitu : (1) pembangunan ketahanan pangan, **(2) Penciptaan dan pemanfaatan sumber energi baru dan terbarukan**, (3) pengembangan teknologi dan manajemen transportasi, (4) pengembangan teknologi informasi dan komunikasi, (5) pengembangan teknologi pertahanan dan keamanan, dan (6) pengembangan teknologi kesehatan dan obat-obatan. Fokus kedua seperti di atas jika diimplementasikan di Sumatera Barat sungguh sangat menantang. Alasannya adalah jika dibanding provinsi tetangga lainnya, Sumatera Barat memiliki lebih banyak potensi energi yang dapat terus dikembangkan diantaranya batubara dan energi air. Selain Ombilin, beberapa lokasi tambang batubara baru telah ditemukan sedang potensi air di Sumatera Barat cukup banyak mengingat di provinsi ini terdapat empat danau besar dan topografi daerah umumnya berada di dataran tinggi yang banyak memiliki sumber air.

2) Aspek manfaat objek penelitian

Hasil akhir penelitian ini bukan sebuah rumusan, konsep maupun prototipe, tetapi sebuah wujud teknologi tepatguna PTMHP yang manfaatnya dapat langsung dirasakan oleh masyarakat.

Keunggulan inilah yang menjadi kebanggaan tim peneliti dan menjadi motivasi kuat untuk dapat mewujudkan dan dapat mempersembahkannya kepada masyarakat. Sangat beralasan jika dapat dikatakan bahwa penelitian ini dapat menghasilkan salah satu contoh teknologi tepatguna yang bermanfaat.

3) Aspek partisipasi masyarakat

Keunggulan lain dari penelitian eksperimen ini ialah terbentuknya partisipasi masyarakat desa sebagai pihak pengguna baik selama maupun setelah pembangunan PTMHP. Sikap yang ramah dan respon yang baik terhadap masuknya teknologi ke lingkungan mereka merupakan kontribusi yang tak ternilai untuk suksesnya kegiatan penelitian ini. Untuk penelitian yang membutuhkan waktu penyelesaian lebih dari satu tahun, maka partisipasi jangka panjang masyarakat desa merupakan salah satu faktor pendukung. Dengan demikian disamping dibutuhkan keterampilan teknis juga dibutuhkan keterampilan seni, seni mengambil hati masyarakat agar mereka dapat mendukung dan dapat diajak bekerjasama mewujudkan PTMHP. Inilah ciri khas yang menjadi keunggulan penelitian ini.

4) Aspek turunan penelitian

PTMHP yang dapat beroperasi dengan baik merupakan asset berharga bagi masyarakat. Dari aspek teknis hal tersebut merupakan indikator bahwa PTMHP tersebut dinilai layak untuk dikembangkan. Tetapi jika PTMHP ingin dikelola secara profesional dan berorientasi sosial dan bisnis perlu dikaji turunan penelitian berikutnya yaitu penelitian dari aspek finansial dan dari aspek sosial ekonomi jangka panjang. Dengan demikian keberlanjutan penelitian ini sangat terbuka luas hingga dibutuhkan kepedulian dan dukungan dari banyak pihak.

5) Aspek inovasi teknologi

PTMHP adalah inovasi teknologi pada sistem pembangkit tenaga dengan penggerak mula turbin air yang belum ada dioperasikan masyarakat. Kami menduga sampai saat ini belum ada peneliti lain yang melakukan riset dengan objek yang sama atau sejenis PTMHP. Bagi kami ini sebuah tantangan yang menambah semangat kami untuk mewujudkannya. Kami optimis berbekal pengalaman riset, pengalaman profesional dan dukungan dari banyak pihak maka tujuan penelitian dapat tercapai dengan baik. Itulah keutamaan menonjol lainnya dari penelitian ini.

14.5 Studi Pustaka

Studi pustaka dengan topik bahasan yang sejenis PTMHP adalah salah satu sub bab yang dapat membackup penyelesaian penelitian ini ke depan dan menjadi acuan yang sangat membantu, memperkaya, mempercepat dan meningkatkan pencapaian luaran dari penelitian ini yaitu PTMHP yang akan dibangun. Berikut studi pustaka yang relevan, mutakhir dalam bentuk artikel jurnal ilmiah yang berkaitan dengan topik bahasan PTMHP yang secara umum mereka

membahas tentang Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) dari sisi pendalaman yang berbeda.

Enoh,R.Moh. dalam penelitiannya yang berjudul “Suatu eksperimen Pembuatan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) dengan Penggerak Mula Turbin Banki Untuk Kelistrikan Desa Di Kecamatan Lembang Jaya Kabupaten Solok Sumatera Barat” seperti yang dimuat pada Laporan Penelitian IKIP Padang tahun 1983, menjelaskan bahwa tujuan penelitian ini adalah untuk mewujudkan sebuah unit PLTMH yang digunakan untuk pembangkit listrik pedesaan di Desa Taratak Panas yang belum memiliki jaringan listrik. Hasil penelitian menunjukkan PLTMH dapat dibangun sesuai dengan jadwal walau dalam beberapa hal teknis terdapat kekurangan mengingat terbatasnya dana diantaranya jaringan listrik distribusi yang belum sepenuhnya dibangun. Penggerak mula yang digunakan adalah turbin *cross flow* yang dibuat sendiri oleh tim peneliti. Dengan memanfaatkan debit air 160 liter/detik dan head efektif 5 meter dapat dibangkitkan daya 5,7 HP pada putaran turbin 420 rpm. Spesifikasi komponen pembangkit lainnya adalah pipa pesat yang digunakan berdiameter 50 cm, transmisi daya V belt dengan ratio 1 : 4,25, generator AC tiga fasa kapasitas 10 kVA pada putaran 1500 rpm, sistem pengatur katup masih manual. Hasil pengujian menunjukkan, kemampuan sarana pengadaan air mencapai rata-rata 95%, turbin dan kelengkapannya mencapai 75%, generator dan kelengkapannya mencapai 92%, rumah pembangkit 98%, jaringan listrik 60% dan efisiensi turbin 81%.

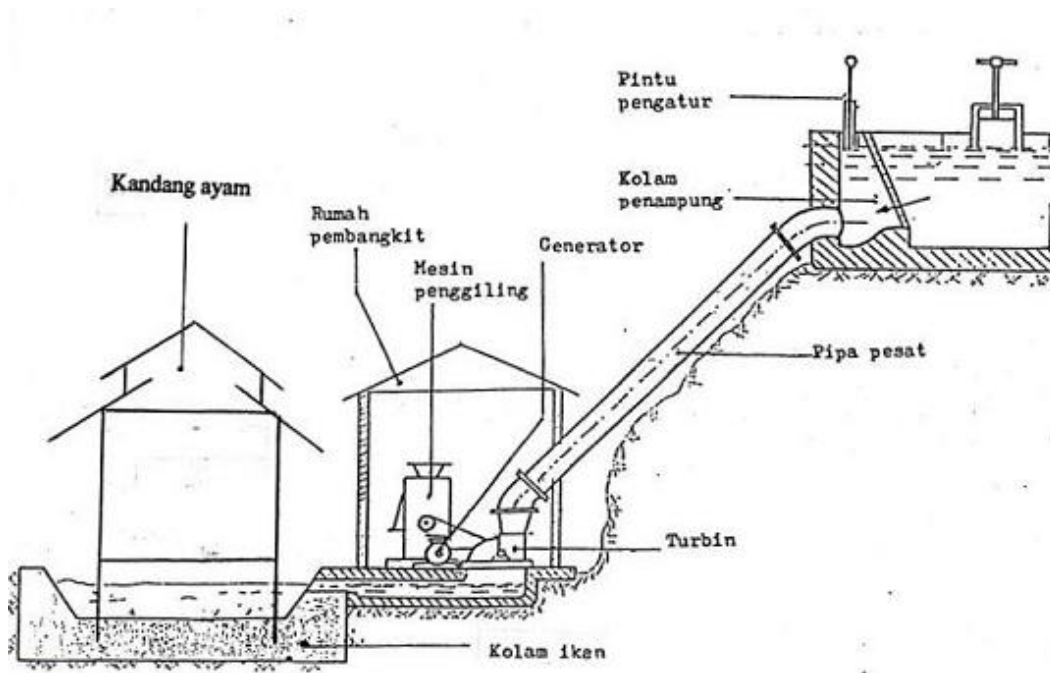
Bachtiar, Asep Neris dalam penelitiannya yang berjudul “ Studi Kelayakan Pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) di Kampung Air Rau Kinali Pasaman’ yang dimuat pada Jurnal Akademika Vol. 7 No.2 Desember 2003 bertujuan untuk mengidentifikasi layak tidaknya rencana pembangunan PLTMH di Kampung Air Rau ditinjau dari aspek teknis dan aspek finansial. Hasil penelitian menunjukkan dari aspek teknis pembangunan PLTMH dinilai layak karena beberapa indikator menunjukkan di kampung ini belum terdapat jaringan listrik sementara di sekitar kampung terdapat potensi air yang cukup besar yang mengalir melalui Batang Tabit dengan debit 200 liter/detik. Dan pada suatu posisi di sepanjang sungai ini terdapat lokasi air terjun setinggi 4,5 m. Indikator teknis lainnya yang mendukung ialah dipilihnya turbin *cross flow* sebagai penggerak mula PLTMH dengan pertimbangan jenis turbin ini relatif lebih mudah dibuat sendiri. Daya yang dibangkitkan sekitar 6,5 kW yang cukup untuk memenuhi kebutuhan sekitar 20 kepala keluarga yang masing-masing membutuhkan daya listrik 200 Watt. Dari aspek finansial dengan mengasumsikan umur ekonomis PLTMH sekitar 10 tahun, investasi Rp.35.540.000; , nilai sisa Rp. 2.500.000; dan suku bunga 15%, diketahui hasil analisis empat indikator yang menjadi acuan yaitu *Pay Back Period* (PBP) = 8,6 tahun, *Benefit Cost Ratio* (BCR) = 1,05, *Net Present Value* (NPV) = 4.440.000 dan *Internal Rate of Return* (IRR) = 18,5 %. Keempat indikator menunjukkan

nilai yang memuaskan sehingga direkomendasikan PLTMH dinilai layak dibangun di Kampung Air Rau.

Mulyadi, Rodesri dalam penelitiannya yang berjudul “ Progran Simulasi Turbo Pascal Untuk Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH)” yang dimuat pada Jurnal Sains dan Teknologi Vol. 1 No. 1 Juni 2002 bertujuan untuk menghasilkan suatu progran simulasi yang bersifat fleksibel yang praktis dan mudah diaplikasikan masyarakat membangun PLTMH di berbagai lokasi dengan variabel debit (Q) dan *head* (H). Hasil penelitian telah menghasilkan suatu program simulasi yang simpel, cukup dengan memasukan inputnya yaitu debit dan head, maka setelah program ini dijalankan (dieksekusi) maka akan tampil output berupa daya terpasang serta spesifikasi dimensi dari komponen-komponen turbin dan generator. Sebagai studi kasus peneliti memilih lokasi di Desa Pelangai Gadang Kecamatan Barung-barung Balantai Kabupaten Pesisir Selatan. Kebutuhan daya listrik di desa ini sekitar 26 HP untuk disalurkan pada 50 rumah, 1 mesjid, 2 SD dan 1 puskesmas. Di sekitar desa terdapat air terjun dengan ketinggian 23 m dan debit 300 liter/detik. Dengan debit yang dapat dimanfaatkan masuk turbin 200 liter/detik dan head aktual sekitar 20 m dan efisiensi turbin 80%, akan dapat dibangkitkan daya sekitar 26 HP. Spesifikasi komponen turbin yang menjadi luaran dari program simulasi ini diantaranya daya generator 30 HP, panjang pipa pesat 25 m, *head efektif* 16 m, panjang runner 50 cm, diameter luar runner 30 cm, lebar katup 52 cm dan diameter poros runner 40 mm.

Bachtiar, Asep Neris dalam penelitiannya yang berjudul “Perencanaan PLTMH Terpadu di Kampung Lambah Air Tabit Kinali Pasaman” yang dimuat pada Jurnal Sain dan Teknologi Vol 4 No 1 Juni 2005 bertujuan untuk menghasilkan rancangan sistem PLTMH Terpadu serta spesifikasi komponen-komponen yang terlibat dalam sistem tersebut. Hasil penelitian telah dapat merumuskan konsep PLTMH Terpadu yang diorientasikan sebagai alternatif yang tepat dalam pendayagunaan sumber daya air di pedesaan untuk pembangunan. Dengan segala peralatan dan perlengkapannya PLTMH Terpadu akan menghasilkan energi listrik yang murah dan dipadu dengan tiga usaha lain yaitu penggilingan hasil pertanian, perikanan air deras dan peternakan ayam yang berada dalam satu lokasi dan memiliki keterkaitan kepentingan yang sangat erat. Keterkaitan itu diantaranya pertama, fungsi PLTMH disamping sebagai penggerak generator listrik juga pada siang hari dapat digunakan untuk menggerakkan mesin penggiling hasil pertanian. Kedua, air yang keluar dari PLTMH Terpadu dapat dimanfaatkan kembali untuk usaha perikanan air deras. Ketiga, kotoran dan pakan ternak yang tercecer akan jatuh dan masuk ke kolam dan menjadi makanan ikan. Keempat, listrik yang dihasilkan PLTMH disamping untuk penerangan desa juga dapat digunakan untuk penetasan dan pemanasan anak-anak ayam. PLTMH Terpadu ini direncanakan dibangun pada daerah aliran Batang Air Rau yaitu sebuah anak sungai yang melalui

Kampung Air Rau Desa VI Koto Utara Kinali Pasaman. Persyaratan teknis yang terpenuhi dan potensi ekonomi yang dimiliki desa sangat mendukung pada pembangunan PLTMH Terpadu ini. Diharapkan keberhasilan pembangunan PLTMH Terpadu nantinya akan menjadi proyek percontohan yang dapat merangsang penduduk desa lainnya untuk membangun PLTMH Terpadu di tempat masing-masing. Gambar 72. lebih menjelaskan hasil rancangan sistem PLTMH Terpadu yang dimaksud !.



Gambar 83. Sistem PLTMH Terpadu (Bachtiar, 2005)

Rukun, Kasman dalam penelitiannya yang berjudul “Aplikasi Sistem Mikrokontroler Berbasis Logika Fuzzy Pada Sistem PLTMH” yang dimuat pada Jurnal Sains dan Teknologi Vol.6 No.1 Juni 2007 bertujuan untuk merancang sistem kendali dan pengembangan suatu algoritma cerdas untuk menghasilkan tegangan dan frekwensi nominal serta PLTMH beroperasi dalam keadaan stabil. Hasil penelitian telah berhasil menyimpulkan bahwa kinerja sistem kendali yang dirancang mampu menstabilkan tegangan keluaran generator 5 kW dengan menambah tegangan eksitasi sesuai dengan penambahan beban yang dilakukan. Penambahan tegangan dilakukan melalui penambahan tegangan keluaran DAC. Tegangan keluaran DAC disebut dengan tegangan aksi kendali yang merupakan hasil penalaran logika *fuzzy*. Hal ini membuktikan logika *fuzzy* mampu melakukan kendali sesuai yang diharapkan yang dapat diintegrasikan pada sistem kendali nyata PLTMH sebagai salah satu bagian pengendalian. Pengembangan selanjutnya adalah tahapan pengendalian frekwensi keluaran generator yang dikendalikan oleh penggerak mula (turbin). Dengan kemampuan *mikrokontroler* Atmega 8535 hal ini dapat dilakukan dengan hanya menambah sensor frekwensi, DAC dan rangkaian pengendali daya. Apabila tahap ini dilalui, pengintegrasian seluruh sistem dapat dilakukan pada PLTMH sesungguhnya.

Wibowo, Catur dalam bukunya berjudul “Langkah-langkah Pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH)” yang diterbitkan MHPP-GTZ Bandung menjelaskan dengan detail tentang tahapan-tahapan dalam proses pembangunan PLTMH. Pembahasan buku ini sangat mendalam, praktis dan terperinci mulai dari pengenalan apa itu PLTMH, aturan pengelolaan PLTMH, mengelola PLTMH secara teknis dan administratif dan pengembangan PLTMH dalam sistem interkoneksi dengan jaringan PLN. Pada bab terakhir buku ini dijelaskan pengembangan PLTMH diantaranya pemanfaatan daya PLTMH di siang hari untuk menggerakkan rice milling, mesin penggiling kopi, mesin pengolah kapuk, pengembangan perbengkelan, dan pengisian accu. Contoh kasus yang diangkat dalam buku ini ialah PLTMH yang dikelola oleh Yayasan Al Hikmah di Desa Sarasah Kanaikan, Pasaman Barat, Sumatera Barat. PLTMH ini dirancang secara terpadu dengan menggabungkan usaha kolam ikan air deras, usaha listrik dan usaha penggilingan padi. Contoh kasus lain ialah energi listrik yang dihasilkan PLTMH di Desa Silayang Sumatera Barat dimanfaatkan sebagai sumber energi panas pada proses penggorengan biji kopi. Usaha kopi ini merupakan usaha yang dimiliki desa dan dikelola oleh warga desa sendiri sehingga keuntungan dari usaha kopi ini dapat dinikmati oleh seluruh warga desa.



Gambar 84. Turbin yang Sekaligus Menggerakkan Mesin Giling padi (Wibowo, 2005)



Gambar 85. Turbin yang Sekaligus Menggerakkan Mesin Giling Kopi
(Wibowo, 2005)

Bachtiar, Asep Neris dalam penelitiannya yang berjudul “Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) Portabel Untuk Debit dan Head Ekonomis” yang dimuat pada Jurnal Sains dan Teknologi Vol. 6 No.2 Desember 2007 bertujuan untuk menghasilkan rancangan sistem Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) Portabel yang praktis dan murah dan bermanfaat bagi masyarakat. PLTMH Portabel direncanakan untuk mendayagunakan potensi air yang relatif lebih kecil dibanding untuk PLTMH konvensional. Debit dan head ekonomis yang dijadikan studi kasus dalam penelitian ini ialah debit 100 liter/detik dan head 4 meter yang diproyeksikan terdapat pada suatu posisi di sekitar aliran Batang Lembang Kecamatan Lembang Jaya Kabupaten Solok. Dengan mengasumsikan efisiensi turbin 85% maka dapat dibangkitkan daya sekitar 4,5 HP. Komponen-komponen utama PLTMH Portabel diantaranya saluran masuk, drum penenang, saluran limbah, turbin, sistem transmisi dan rumah pembangkit. Drum penampung direncanakan berpenampang bulat bediameter 1,2 m, di dalam drum penampung terdapat saluran limbah yang dipasang vertikal yang bagian ujungnya berada di bawah rumah pembangkit yang sekaligus berfungsi sebagai saluran buang. Drum penampung, saluran limbah dan saluran buang masing-masing terdiri dari beberapa bagian, proses perakitan bagian-bagian tersebut dihubungkan dengan sambungan baut-mur. Demikian juga dengan rumah pembangkit, konstruksinya direncanakan dengan sistem knock-down yang dapat dibuka kembali dengan tanpa merusaknya, hal tersebut akan memudahkan dan mempercepat proses pengangkutan/mobilitas maupun proses pemasangan. Dengan karakteristik seperti itulah maka peneliti memberi istilah sistem pembangkit ini sebagai sistem pembangkit portabel. Gambar 58. dapat menjelaskan rancangan PLTMH Portabel yang diusulkan !.

Secara umum objek penelitian yang dibahas oleh peneliti-peneliti di atas adalah sistem pembangkit turbin air konvensional yang populer disebut Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro

(PLTMH), yang membedakan diantara penelitian pertama sampai keenam ialah terletak pada pendalaman dari karakteristik PLTMH. Walau demikian hasil-hasil penelitian tersebut sangat bermanfaat dan menjadi acuan bagi tim peneliti kami, yang jelas bahwa ada perbedaan nyata antara materi penelitian yang kami ajukan ini dengan keenam peneliti sebelumnya yaitu terletak pada sistem pembangkit secara umum, kami menggagas sistem pembangkit portabel yang dapat memudahkan proses pembangunan/ perakitan sistem pembangkit di lapangan. Sementara peneliti-peneliti lain masih mendalami sisi lain dari PLTMH konvensional atau PLTMH permanen. Adapun hasil penelitian terakhir yang dilakukan oleh Bachtiar, Asep Neris seperti dijelaskan pada akhir studi pustaka di atas akan menjadi acuan penting bagi tim peneliti pada saat proses perencanaan, pembuatan maupun pengujian PTMHP.

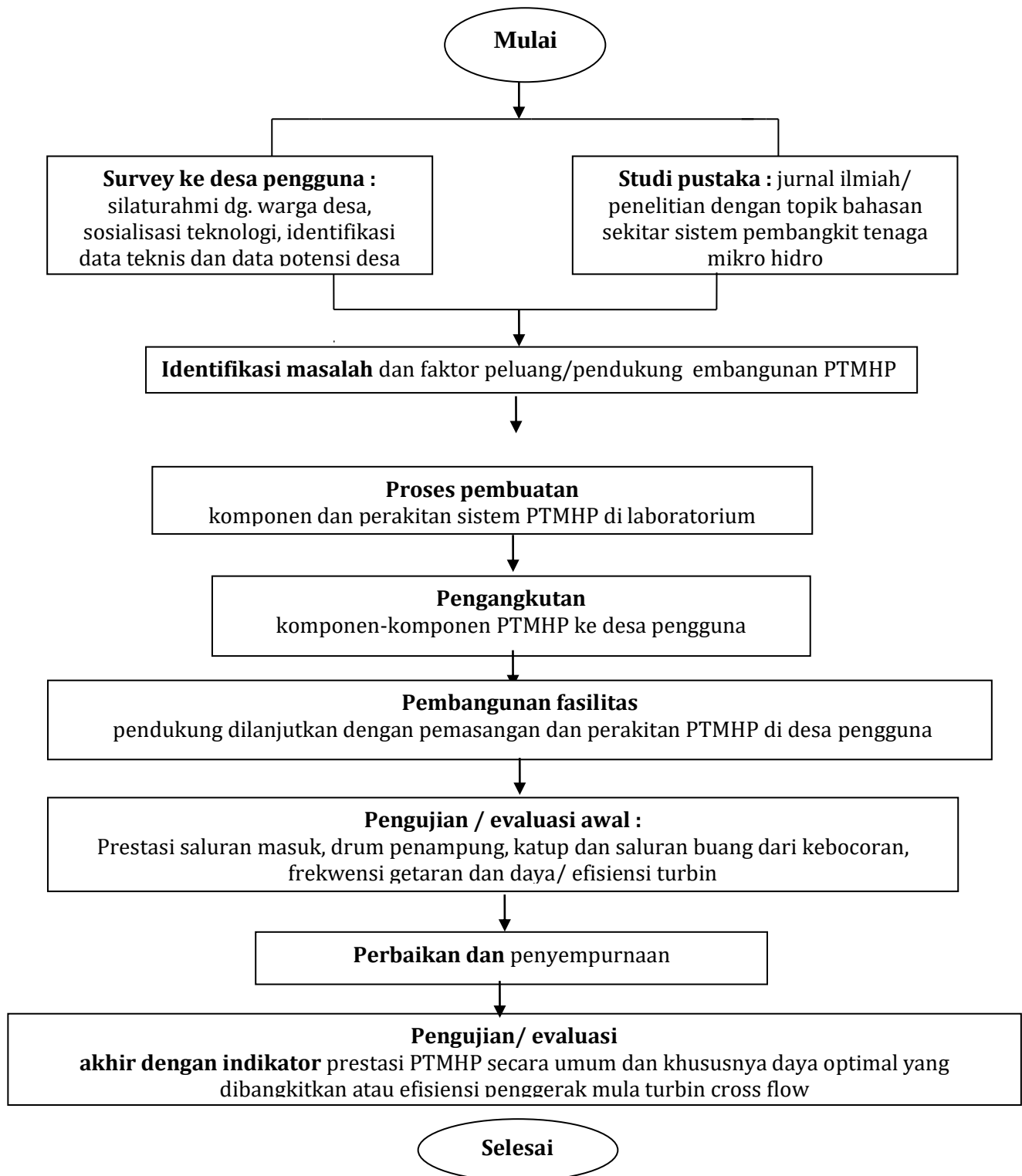
14.6 Metodologi Penelitian

Jenis penelitian yang akan dilaksanakan adalah penelitian eksperimen yaitu eksperimen membangun unit PTMHP lengkap dengan segala komponen pendukungnya hingga PTMHP dapat dioperasikan di masyarakat. Pengujian atau evaluasi terstruktur merupakan tahapan penting dari kegiatan eksperimen untuk mengetahui kekurangan-kekurangan yang terjadi dan mengidentifikasi peluang-peluang teknis yang dapat lebih didayagunakan untuk proses selanjutnya di lapangan. Akhir penelitian akan dihasilkan sistem PTMHP dengan prestasi yang optimal. Waktu yang dibutuhkan untuk penyelesaian penelitian ini sekitar dua tahun dengan tahapan-tahapan penyelesaian sebagai berikut,

14.6.1 Tahapan penelitian tahun pertama

Tahap awal yang dilakukan adalah melakukan studi kepustakaan terhadap jurnal-jurnal ilmiah/penelitian yang berkaitan dengan topik bahasan PTMHP. Studi kepustakaan ini sangat penting sebagai acuan yang sangat membantu memperkaya ide, mempercepat meningkatkan pencapaian kualitas dan kuantitas penelitian. Sejalan dengan studi kepustakaan, tim peneliti akan melakukan survey ke lapangan ke lokasi rencana penempatan PTMHP guna mengidentifikasi data-data primer yang mencakup data teknis dan non teknis yang akan dijadikan dasar pertimbangan dalam menentukan kebijaksanaan perencanaan dan pembangunan PTMHP ke depan. Lokasi survey adalah sebuah kampung yang telah teridentifikasi sebelumnya dari hasil survey pendahuluan yaitu Desa Sariék Alahan Tigo, Kecamatan Talang Babungo, Kabupaten Solok, Propinsi Sumatera Barat yang berjarak sekitar 120 km dari Kota Padang. Desa Sariék Alahan Tigo adalah desa terpencil yang belum memiliki jaringan listrik, di pinggiran desa ini mengalir sebuah sungai cukup besar Batang Talang Babungo dengan debit alir 200 liter/detik yang potensial untuk dimanfaatkan sebagai fluida penggerak turbin air. Potensi ekonomi di desa ini cukup maju karena jumlah penduduknya cukup banyak didukung lahan pertanian yang subur serta hasil pertanian

yang beragam. Atas dasar peluang dan keunggulan-keunggulan itulah menjadi alasan tim peneliti memilih Desa Sareik Alahan Tigo sebagai desa pengguna PTMHP. Setelah data survey diolah, tahap selanjutnya adalah melakukan perencanaan yang mencakup penentuan sistem PTMHP dan menentukan spesifikasi bahan serta ukuran dari komponen-komponen/spare part PTMHP. Kegiatan perencanaan tersebut melibatkan banyak formula perencanaan teknik mesin. Setelah hasil perencanaan dibakukan dan dikonversikan ke bentuk gambar mesin, tahap selanjutnya adalah optimalisasi peralatan bengkel/laboratorium proses produksi dan pengadaan alat dan bahan yang dibutuhkan. Setelah alat dan bahan tersedia dengan lengkap, maka dimulailah proses pembuatan komponen-komponen PTMHP yang dilaksanakan di bengkel Laboratorium Proses Produksi STTIND Padang. Fasilitas mesin-mesin produksi di laboratorium ini cukup lengkap mulai dari peralatan kerja bangku sampai mesin bengkel produksi cukup tersedia sehingga dapat memperlancar proses pengerjaan. Setelah semua komponen diproduksi dengan baik, selanjutnya dilakukan perakitan pendahuluan untuk mengetahui kesesuaian, kecocokan dan keserasian fungsi serta penampilan dari sistem PTMHP yang terbentuk. Proses penyempurnaan akan dilakukan saat itu juga hingga akhirnya dihasilkan sistem dan komponen PTMHP yang optimal untuk siap dibawa ke lapangan. Di lapangan inilah dilakukan pengujian perdana untuk mengetahui prestasi PTMHP yang menjadi indikator capaian terukur sebagai luaran dari penelitian ini diantaranya ialah daya yang dapat dibangkitkan (HP), putaran *runner* pada beban penuh (rpm), efisiensi penggerak mula turbin (%), kualitas katup menutup kebocoran (%), kualitas saluran masuk dan drum penampung (%) dan Frekwensi getaran mesin (Hz). Dengan bagan alir tahapan-tahapan tersebut dapat dijelaskan seperti gambar 86.

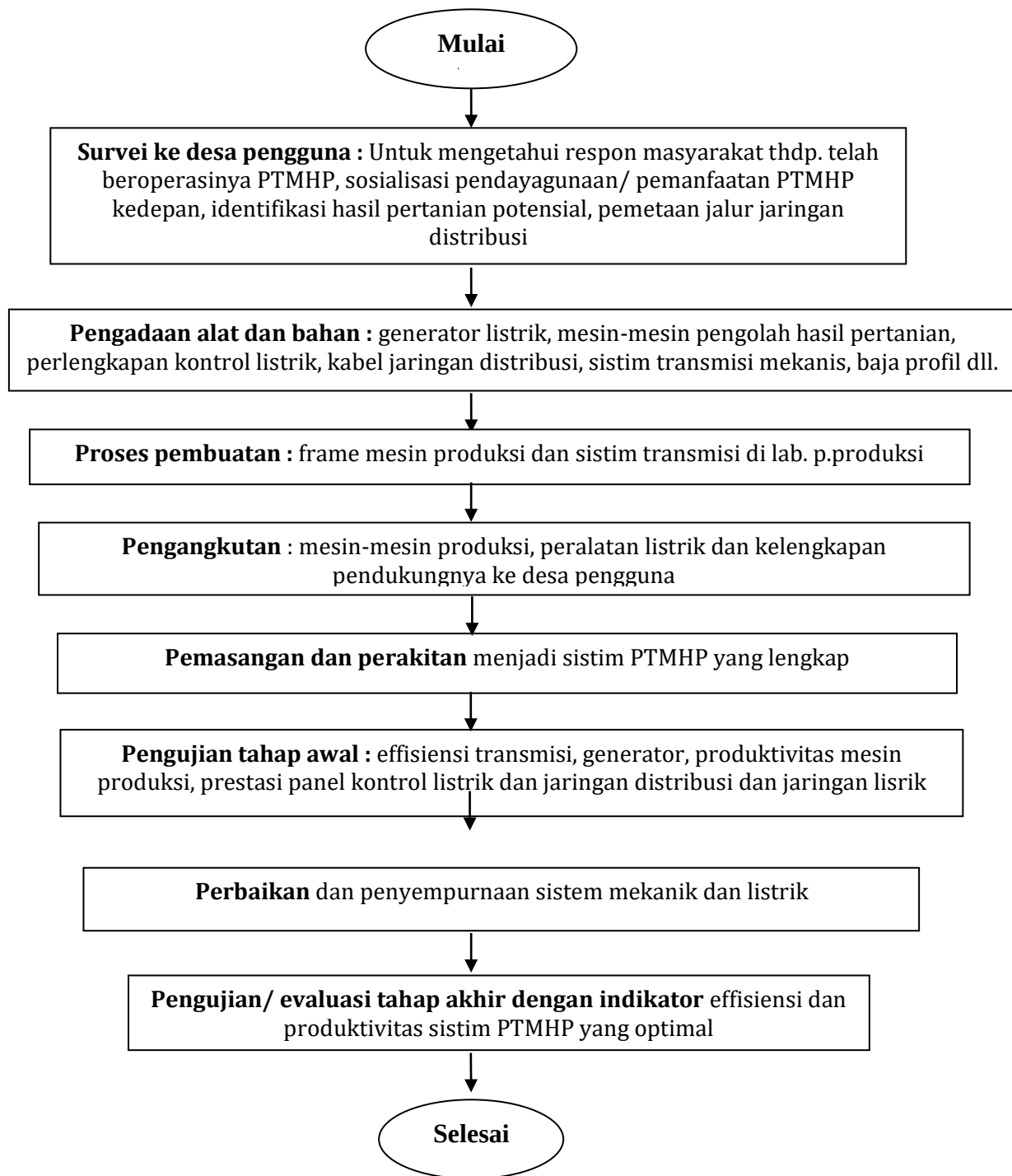


Gambar 86. Bagan Alir Tahapan Penelitian Pada Periode Tahun Pertama

14.6.2 Tahapan Penelitian Tahun Kedua

Orientasi penelitian pada periode tahun kedua lebih ditekankan pada bagaimana pemanfaatan secara optimal daya yang dibangkitkan. Tahap awal adalah melakukan survey ke lapangan untuk mengetahui sejauh mana respon masyarakat terhadap keberhasilan dibangkitkannya daya oleh penggerak mula turbin. Tujuan lain ialah untuk memastikan jumlah rumah yang mungkin dapat dialiri listrik karena rumah-rumah di sini terpencar-pencar jadi tidak

mungkin semuanya dapat dilalui jaringan listrik. Hal lain yang ingin disurvei ialah ingin memastikan kembali potensi hasil pertanian yang dapat diolah. Identifikasi awal diketahui diantaranya ialah jagung, kopi dan buah kelapa. Atas dasar data-data survey tersebut, tahap selanjutnya adalah pengadaan mesin penggiling, mesin kukuran kelapa, generator listrik, sistem transmisi, panel kontrol listrik dan peralatan pendukung lainnya. Setelah peralatan mekanik dan listrik diadakan, tahap berikutnya adalah pembuatan frame/dudukan dari setiap mesin produksi disesuaikan dengan ukuran jarak, tinggi dan diameter lubang baut masing-masing mesin. Semua mesin produksi beserta perlengkapannya dibawa ke lapangan untuk disinkronkan dan dipasangkan dengan penggerak mula turbin. Tahap selanjutnya adalah pengujian atau evaluasi terhadap kinerja atau prestasi dari masing-masing unit mesin dan peralatan pendukungnya. Luaran dari pengujian awal ini dijadikan dasar untuk proses perbaikan dan penyempurnaan hingga dilakukan pengujian akhir dan dihasilkan luaran yang optimal antara lain, efisiensi transmisi (%), efisiensi generator (%), produktivitas mesin-mesin produksi (kg/jam) dan kualitas panel kontrol (%). Dengan bagan alir, tahapan-tahapan penelitian yang akan dikerjakan pada periode tahun kedua dapat dijelaskan seperti pada gambar 87.



Gambar 87. Bagan Alir Tahapan Penelitian Pada Periode Tahun Kedua

14.7 Pembiayaan dan Jadwal Penelitian

14.7.1 Pembiayaan.

Perincian biaya yang dibutuhkan untuk penelitian ini sebagai berikut,

Tabel 23. Perincian Penggunaan Anggaran Biaya

No	Jenis Pengeluaran	Anggaran Biaya Yang Diusulkan (Rp)	
		Tahun ke 1	Tahun ke 2
1.	Honorarium tim peneliti	12.600.000	12.600.000
2.	Peralatan	6.100.000	17.100.000
3.	Bahan habis pakai PTMHP	20.308.000	10.320.000
4.	Bahan habis pakai ATK	780.000	780.000
5.	Perjalanan Padang-Pasaman	5.400.000	4.400.000
6.	Perjalanan dalam kota Padang	400.000	400.000
7.	Perjalanan lokakarya/seminar	2.000.000	2.000.000
8.	Lain-lain	2.000.000	2.000.000
Total anggaran		49.588.000	49.600.000
Total Keseluruhan Anggaran		99.188.000	

14.7.2 Jadwal Penelitian Periode Tahun Pertama**Tabel 24.** Jadwal Penelitian Tahun Pertama

No	Kegiatan	Bulan Ke							
		1		2		3		4	
1.	Persiapan umum								
2.	Survey ke desa pengguna dan studi pustaka								
3.	Perencanaan sistem dan komponen penggerak mula PMPMF								
	Pengadaan alat dan bahan								
4.	Operasionalisasi di bengkel dan di								
5.	lapangan di desa pengguna :								
	a. Persiapan/pembersihan di sekitar lokasi PMPMF								
	b. Pelaksanaan pekerjaan mekanik : pembuatan komponen penggerak mula turbin, perakitan dan pengecatan								
	c. Pelaksanaan pekerjaan sipil : pembuatan bendungan dan pondasi/lantai rumah pembangkit								

	d. Pemasangan/ perakitan penggerak mula turbin di lokasi pembangkit								
	e. Pengujian/ evaluasi awal prestasi penggerak mula turbin								
	f. Perbaikan/ penyempurnaan								
	g. Pengujian/ evaluasi akhir								
	Tabulasi dan analisis data								
6.	Penyusunan laporan								
7.	Pengiriman laporan								
8.									

14.7.3 Jadwal Penelitian Periode Tahun Kedua

Tabel 25. Jadwal Penelitian Tahun Kedua (Bachtiar, 2008)

No	Kegiatan	Bulan Ke							
		1	2	3	4				
1.	Persiapan umum								
2.	Survey ke desa pengguna untuk mengetahui respon masyarakat terhadap pemanfaatan daya PMPMF ke depan dan identifikasi data								
3.	Perencanaan sistem transmisi daya dan jaringan listrik distribusi								
4.	Pengadaan alat dan bahan								
5.	Operasionalisasi di bengkel dan di lapangan di desa pengguna :								
	a. Persiapan/pembersihan di sepanjang jalur yang akan dilalui jaringan distribusi								
	b. Pelaksanaan pekerjaan mekanik : pembuatan frame/ dudukan mesin-mesin produksi dan pembuatan komponen tulangan untuk rumah pembangkit, perakitan dan pengecatan								

	c. Pelaksanaan pekerjaan elektrikal : pemasangan panel- panel kontrol di dalam rumah pembangkit dan pemasangan jaringan distribusi:								
	d. Pemasangan/ perakitan mesin-mesin produksi beserta komponen pendukungnya menjadi sistim PMPMF yang lengkap								
	e. Pengujian/ evaluasi awal prestasi mesin produksi dan sistim elektrikal								
	f. Perbaikan/ penyempurnaan								
	g. Pengujian/ evaluasi akhir								
6.	Tabulasi dan analisis data								
7.	Penyusunan laporan								
8.	Penggandaan dan pengiriman laporan								

14.8 Daftar Pustaka

1. Bachtiar ,A. N. *Studi Kelayakan Pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTM) Di Kampung Air Rau Kinali Pasaman (Aspek Teknis dan Finansial)*. Jurnal Akademika. ISSN 0854-4336. volume 7. nomor 2. Desember 2003.
2. Bachtiar, A. N. *Perencanaan PLTMH Terpadu Di Kampung Lambah Air Tabit Kinali Pasaman*. Jurnal Sains Dan Teknologi. ISSN 1412- 5455. Volume 4. Nomor 1. Juni 2005.
3. Bachtiar, A. N. *Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) Portabel Untuk Debit dan Head Ekonomi*. Jurnal Sains dan Teknologi. ISSN 1412-5455. Volume 6. Nomor 2. Desember 2007.
4. Enoh, R.M. (2001). *Suatu Eksperimen Pembuatan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) Dengan Penggerak Mula Turbin Banki Untuk Kelistrikan Desa Di Kecamatan lembang Jaya Kabupaten Solok Sumatera Barat*. Institut Keguruan dan Ilmu Pendidikan (IKIP) Padang.
5. Mulyadi, R. *Program Simulasi Turbo Pascal Untuk Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH)*. Jurnal Sains DanTeknologi. ISSN 1412-5455. Volume 1. Nomor 1. Juni 2002.

6. Rukun, K. *Aplikasi Sistim Mikrokontroller Berbasis Logika Fuzzy pada Sistim PLTMH*. Jurnal Sains Dan Teknologi. ISSN 1412-5455. Volume 6. Nomor 1. Juni 2007.
7. Wibowo, C. (2005). *Langkah-langkah Pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH)*. Bandung : MHPP-GTZ.

14.9 Pertimbangan Alokasi Biaya Tahun Pertama

14.9.1 Anggaran Untuk Pelaksana

Honorarium dikeluarkan untuk ketua peneliti dengan alokasi waktu rata-rata 12 jam/minggu selama 35 minggu dengan rate Rp 10.000;/jam sedangkan untuk anggota peneliti 1, 2 dan 3 masing-masing dengan alokasi waktu 10 jam/minggu selama 35 minggu dengan rate Rp. 8.000;/jam, berikut perinciannya :

Tabel 26. Anggaran Untuk Pelaksana Tahun Pertama

Peran	Waktu Jam/Mg	Jumlah Minggu	Honor Rp/Jam	Biaya (Rp)
Ketua peneliti	12	35	10.000	4.200.000
Anggota peneliti 1	10	35	8.000	2.800.000
Anggota peneliti 2	10	35	8.000	2.800.000
Anggota peneliti 3	10	35	8.000	2.800.000
Jumlah biaya :				12.600.000

14.9.2 Anggaran Untuk Peralatan

Tabel 27. Anggaran Untuk Peralatan Pembuatan Penggerak Mula PTMHP

No	Nama Komponen	Spesifikasi	Kegunaan	Jml	Harga Satuan (Rp.)	Biaya (Rp.)
1.	Governor mekanis	600 rpm, dua bandul, tinggi angkat 15 cm	Penyesuaian otomatis antara bukaan katup dengan beban daya	1 set	2.000.000	2.000.000
2.	Tacho meter	2000 rpm Merk Toyo	Mengukur putaran poros turbin, poros generator dan poros mesin penggiling	1 set	250.000	250.000

3.	Torsi / dinamo meter	T=20kg.m, N=10 kW	Mengukur daya yang dibangkitkan penggerak mula turbin	1 set	250.000	250.000
4.	Adapter self ball bearing	SKF 1211K D = 50 mm	Bantalan poros runner turbin	4 set	400.000	1.600.000
5.	Sewa listrik dan peralatan utama			1 set	2.000.000	2.000.000
Jumlah biaya :						6.100.000 0

14.9.3 Anggaran Untuk Bahan Habis Pakai

Harga bahan yang ditampilkan adalah harga yang berlaku pada tahun 2008. Untuk bahan dengan satuan lembar dan batang, jumlah yang dibeli lebih banyak dibanding jumlah bahan yang dibutuhkan sebab bahan-bahan tersebut tidak bisa dibeli secara eceran misalnya $\frac{1}{2}$ lembar atau $\frac{1}{4}$ batang tetapi 1 lembar, 2 lembar, 1 batang atau 2 batang.

1) Bahan Habis Untuk Pembuatan PTMHP

Tabel 28. Anggaran Untuk Bahan Habis Pakai Pembangunan PTMHP

No	Nama Bahan	Kegunaan	Jml	Harga Satuan (Rp.)	Biaya (Rp.)
1.	Baja plat hitam 3 x 1.2m x 2,4m	Membuat saluran masuk, drum penampung, saluran limbah dan saluran buang,	12 lbr	500.000	6.000.000
2.	Baja plat hitam 4 x 1,2m x 2,4 m	Membuat casing turbin	1 lbr	600.000	600.000
3.	Baja strip 6 x 75mm x 6m	Membuat klem penyambung pada drum dan saluran limbah	6 lbr	140.000	840.000
4.	Baja strip 6 x 50mm x 6m	Membuat klem penyambung pada casing turbin	3 btg	110.000	110.000
5.	Baja siku 100x100x10mmx6m	Membuat landasan cor penggerak mula dan landasan cor mesin produksi dan untuk tiang-tiang rumah pembangkit	4 btg	250.000	1.000.000
6.	Baja siku 65x65x6mmx6m	Membuat pintu pengatur pada bendungan	2 btg	200.000	400.000
7.	Baja kanal C	Membuat frame/	2 btg	180.000	360.000

	75x45x15mmx6 m	tulangan drum penampung			
8.	Besi beton D =10mm x 12m	Membuat tulangan pada bendungan dan saluran terbuka	20 btg	60.000	1.200.000
9.	Baja poros D=60mm	Membuat poros runner turbin	1,5 m	150.000	225.000
10.	Baja poros D=30mm	Membuat poros katup turbin	1 m	50.000	50.000
11.	Pipa hitam 5"x 6m	Membuat sudu-sudu runner	1 btg	450.000	450.000
12.	Karet perpak 5mm x 1,2 m	Membuat perpak antar klem pada drum dan pada casing turbin	5 m	150.000	750.000
13.	Baut-mur D=12 x 25mm	Penyambung antar klem drum	120 bh	900	10.800
14.	Baut-mur D=8 x 25mm	Penyambung antar klem casing turbin	50 bh	700	35.000
15.	Sheal D=50mm	Penahan kebocoran antara poros runner dengan casing turbin	2 bh	45.000	90.000
16.	Sheal D=25mm	Penahan kebocoran antara poros katup dengan casing turbin	2 bh	35.000	70.000
17.	Elektroda las D = 2,6mm	Logam pengikat pada proses pengelasan	15 kg	17.500	262.500
18.	Mata gergaji rotasi	Kelengkapan gergaji rotasi listrik	2 bh	40.000	80.000
19.	Gas oksigen	Kelengkapan las asetilin untuk proses pemotongan	2 tabun g	400.000	800.000
20.	Gas asetilin	Kelengkapan las asetilin untuk proses pemotongan	2 tabun g	400.000	800.000
21.	Batu kali	Membuat bendungan dan saluran terbuka	10 m ³	90.000	900.000
22.	Pasir	Membuat Bendungan dan saluran terbuka	5 m ³	90.000	450.000
23.	Sirtu	Membuat bendungan dan saluran terbuka dan kolam penampung	2 m ³	90.000	180.000
24.	Batu bata	Membuat pembatas pada lantai rumah pembangkit	300 bh	400	120.000
25.	Semen PC	Komponen utama pembuat adukan untuk pemasangan batu/batubata	20 zak	50.000	1000.000

26.	Papan cor	Kelengkapan proses pengecoran	10 lbr	20.000	200.000
27.	Papan borneo	Membuat dinding rumah pembangkit yang bisa dibongkar pasang	40 lbr	40.000	1.600.000
28.	Kayu kaso-kaso	Untuk kaso-kaso pada atap rumah pembangkit dan untuk tulangan dinding rumah pembangkit	20 btg	30.000	600.000
29.	Seng gelombang	Atap rumah pembangkit	½ kodi	700.000	350.000
30.	Cat kayu/logam isi 850 cc dan tinner	Untuk mengecat saluran masuk, drum penampung, casing turbin, saluran limbah, rumah pembangkit dll.	5 kaleng	35.000	175.000
31	Paku seng	Memaku atap seng	1 kg	20.000	20.000
32.	Paku kayu	Memaku papan dan kaso-kaso	1 kg	10.000	10.000
33.	Kuas 2"	Untuk mengecat bangunan PLTMH	3 bh	10.000	30.000
34	Kaca	Untuk penerangan rumah pembangkit	1 m ³	80.000	80.000
Jumlah biaya :					20.308.300

2) Anggaran Untuk Alat Tulis Kantor

Tabel 29. Anggaran Untuk Alat Tulis Kantor

No	Jenis ATK	Kegunaan	Jml	Harga Satuan (Rp.)	Biaya (Rp.)
1.	Catridge	Desain, pengujian dan pelaporan	2 bh	150.000	300.000
2.	Kertas A4	Desain, pengujian dan pelaporan	3 rim	40.000	120.000
3.	Kertas gambar A1	Desain	1 lusin	60.000	60.000
4.	CD RW	Desain, pengujian dan pelaporan	1 kotak	100.000	100.000
5.	Photo copy	Desain, pengujian dan pelaporan	1 lot	200.000	200.000
Jumlah biaya :					780.000

14.9.4 Anggaran Untuk Perjalanan

Anggaran perjalanan dialokasikan untuk perjalanan antar kota dan dalam kota. Perjalanan antar kota yaitu perjalanan dari Kota Padang ke desa pengguna PTMHP yaitu Desa Sareik Alahan Tigo, Kecamatan Talang Babungo, Kabupaten Solok yang berjarak sekitar 120 km. Tujuan perjalanan antar kota ini ialah untuk (1) survey awal, (2) pengecekan persiapan, pembersihan dan pembangunan bendungan, saluran terbuka, lantai rumah pembangkit dan hal-hal pendukung lainnya, (3) pengangkutan kelengkapan penggerak mula, (4) pengontrolan pemasangan penggerak mula PTMHP, dan (5) pengujian/ evaluasi prestasi PTMHP. Dari masing-masing kegiatan perjalanan tersebut tim peneliti terdiri dari 2 atau 3 orang dan tinggal di desa pengguna lebih dari satu hari sehingga dibutuhkan biaya akomodasi yang cukup besar. Perjalanan dalam kota yaitu perjalanan dari kampus STTIND ke pasar yang berjarak sekitar 7 km dengan tujuan untuk pengadaan bahan dan alat-alat yang dibutuhkan untuk pembangunan PTMHP. Berikut perincian anggaran perjalanan yang dibutuhkan :

Tabel 30. Anggaran Untuk Perjalanan

No	Uraian	Volume	Biaya Satuan (Rp)	Biaya (Rp.)
Perjalanan dari Kota Padang ke desa pengguna PTMHP di Pasaman				
1.	Survey awal, sosialisasi pengenalan teknologi dan identifikasi data teknis	3 org	100.000	300.000
2.	Lumsum 3 orang	1 hari	300.000	300.000
3.	Pengecekan persiapan, pembersihan sarana PTMHP	2 orang	100.000	200.000
4.	Lumsum 2 orang	2 hari	200.000	400.000
5.	Sewa truk untuk pengangkutan komponen-komponen PTMHP ke desa pengguna	1 trip	2.000.000	2.000.000
6.	Mengawasi pengangkutan komponen-komponen PTMHP ke desa pengguna	2 orang	100.000	200.000
7.	Lumsum 2 orang	1 hari	200.000	200.000
8.	Pemasangan/ perakitan PTMHP di desa pengguna	2 orang	100.000	200.000
9.	Lumsum 3 orang	2 hari	200.000	400.000
10.	Pengujian/ evaluasi awal prestasi PTMHP di desa pengguna	2 orang	100.000	200.000
11.	Lumsum 2 orang	2 hari	200.000	400.000
12.	Pengujian/ evaluasi akhir prestasi PTMHP di desa pengguna	2 orang	100.000	200.000
13.	Lumsum 2 orang	2 hari	200.000	400.000

Jumlah				5.400.000
Perjalanan dalam Kota Padang				
1.	Survey alat dan bahan yang dibutuhkan untuk pembangunan PTMHP ke pasar di sekitar Kota Padang	2 orang	100.000	200.000
2.	Pembelian alat dan bahan yang dibutuhkan	2 orang	100.000	200.000
Jumlah				400.000
Pertemuan/ lokakarya/ seminar				
1.	Biaya seminar	1 set	300.000	300.000
2.	Seminar nasional (pesawat PP)	2 tiket	750.000	1.500.000
3.	Lumsum 1 orang	2 hari	100.000	200.000
Jumlah				2.000.000
Jumlah biaya :				7.800.000

14.9.5 Pengeluaran Lain

Tabel 31. Anggaran Untuk Pengeluaran Lain-lain

No	Uraian	Volume	Biaya Satuan (Rp.)	Biaya (Rp.)
1.	Biaya pemeliharaan penggerak mula PTMHP	1 set	500.000	500.000
2.	Perbaikan kerusakan	1 set	500.000	500.000
3.	Laporan/ publikasi ilmiah	1 set	500.000	500.000
4.	Administrasi surat menyurat, pemesanan dan pengiriman	1 set	500.000	500.000
Jumlah biaya :				2.000.000

14.10 Pertimbangan Alokasi Biaya Tahun Kedua

14.10.1 Anggaran Untuk Pelaksana

Tabel 32. Anggaran Untuk Pelaksana Tahun Kedua

Peran	Waktu Jam/Mg	Jumlah Minggu	Honor Rp/Jam	Biaya (Rp)
Ketua peneliti	12	35	10.000	4.200.000
Anggota peneliti 1	10	35	8.000	2.800.000
Anggota peneliti 2	10	35	8.000	2.800.000
Anggota peneliti 3	10	35	8.000	2.800.000
Jumlah biaya :				12.600.000

14.10.2 Anggaran Untuk Peralatan

Tabel 33. Anggaran Untuk Peralatan Pemanfaatan Potensi Daya PTMHP

No	Nama Kompo- nen	Spesifikasi	Kegunaan	Jml	Harga Satuan (Rp.)	Biaya (Rp.)
1.	Generator AC	10 kVA	Pembangkit listrik	1 set	7.000.000	7.000.000
2.	Mesin penggiling	6HP, FC 23- Denyo	Penggiling biji- bijian	1 set	2.500.000	2.500.000
3.	Mesin kukuran kelapa	Mata kukur tipe jantung dengan batok	Mengukur kelapa sbg. tahap awal pembuatan minyak murni	2 set	300.000	600.000
4.	Transmisi dua fungsi	Puli sabuk/ gearbox	Memindahkan daya/ putaran dari turbin ke generator dan ke mesin penggiling	1 set	3.000.000	3.000.000
5.	Panel kontrol listrik	Rangkaian saklar, amperemetr, voltmeter dan sikring otomatis	Pengontrol sekaligus pengaman sistim kelistrikan PTMHP	1 set	2.000.000	2.000.000
6.	Sewa listrik dan peralatan utama			1 set	2.000.000	2.000.000
Jumlah biaya :						17.100.000

14.10.3 Anggaran Untuk Bahan Habis Pakai

1) Bahan Habis Untuk Pemanfaatan Potensi Daya PTMHP

Tabel 34. Anggaran Untuk Bahan Habis Pakai

No	Nama Bahan	Kegunaan	Jml	Harga Satuan (Rp.)	Biaya (Rp.)
1.	Baja kanal C 75x45x15mmx6m	Membuat frame generator, mesin penggiling dan kukuran kelapa	4 bkg	180.000	720.000
2.	Kabel distribusi berisolasi	Menyalurkan daya listrik dari rumah pembangkit ke tengah - tengah perkampungan penduduk	500 m	8000	4.000.000
3.	Kabel instalasi SNY 2,5 mm	Jaringan instalasi listrik di rumah	10 Roll/	200.000	2.000.000

		penduduk	100m		
4.	MCB 1 Amper	Pengontrol beban listrik maksimum pada masing-masing rumah penduduk	40 buah	10.000	400.000
5.	Isolator, pipa instalasi, paku dll	Kelengkapan pemasangan instalasi di rumah penduduk	40 paket	20.000	800.000
6.	Tiang listrik dari kayu	Penyanggah kabel distribusi dari pusat pembangkit ke perkampungan penduduk	20 bh	70.000	1.400.000
7.	Ampang-ampang dan isolator	Dudukan kabel distribusi pada tiang listrik	20 set	50.000	1.000.000
Jumlah biaya :					10.320.000

2) Anggaran Untuk Alat Tulis Kantor

Tabel 35. Anggaran Untuk Alat Tulis Kantor

No	Jenis ATK	Kegunaan	Jumlah	Harga Satuan (Rp.)	Biaya (Rp.)
1.	Kertas A4	Desain, pengujian dan pelaporan	3 rim	40.000	120.000;
2.	Kertas gambar A1	Desain gambar besar	1 lusin	60.000	60.000
3.	Photo copy	Desain, pengujian dan pelaporan	1 lot	600.000	600.000
Jumlah biaya :					780.000

3) Anggaran Untuk Perjalanan

Tabel 36. Anggaran Untuk Perjalanan

No	Uraian	Volume	Biaya Satuan (Rp.)	Biaya (Rp.)
Perjalanan dari Kota Padang ke desa pengguna PTMHP				
1.	Sosialisasi keberhasilan PTMHP menghasilkan daya dan pemanfaatannya ke depan	3 orang	100.000	300.000
2.	Lumsum 3 orang	1 hari	300.000	300.000
3.	Identifikasi hasil pertanian potensial dan pemetaan jaringan distribusi di desa pengguna	2 orang	100.000	200.000

4.	Lumsum 2 orang	2 hari	200.000	400.000
5.	Sewa truk untuk pengangkutan generator, mesin produksi, kabel, tiang listrik dan kelengkapannya	1 trip	2.000.000	2.000.000
6.	Mengawasi pengangkutan generator dan mesin produksi, kabel, tiang listrik dan kelengkapannya	2 orang	100.000	200.000
7.	Lumsum 2 orang	1 hari	200.000	200.000
8.	Pemasangan generator dan mesin produksi, panel listrik di desa pengguna	2 orang	100.000	200.000
9.	Lumsum 2 orang	2 hari	200.000	400.000
10.	Pengecekan pemasangan jaringan distribusi	2 orang	100.000	200.000
11.	Lumsum 2 orang	2 hari	200.000	400.000
12.	Pengujian/ evaluasi prestasi generator, mesin penggiling, kukuran kelapa, instalasi listrik dan kelengkapan lainnya	2 orang	100.000	200.000
13	Lumsum 2 orang	2 hari	200.000;	400.000
Jumlah				4.400.000
Perjalanan dalam Kota Padang				
1.	Suvey alat dan bahan yang dibutuhkan ke pasar (generator, mesin produksi, peralatan listrik dll.)	2 orang	100.000	200.000
2.	Pembelian alat dan bahan yang dibutuhkan	2 orang	100.000	200.000
Jumlah				400.000
Pertemuan/ lokakarya/ seminar				
1.	Biaya seminar	1 set	300.000	300.000
2.	Seminar nasional (pesawat PP)	2 tiket	750.000	1.500.000
3.	Lumsum 1 orang	2 hari	100.000	200.000
Jumlah				2.000.000
Jumlah biaya :				6.800.000

4) Pengeluaran Lain

Tabel 37. Anggaran Untuk Pengeluaran Lain-lain

No	Uraian	Volume	Biaya Satuan (Rp.)	Biaya (Rp.)
1.	Biaya pemeliharaan mesin produksi, instalasi listrik dan PTMHP umumnya	1 set	500.000	500.000
2.	Perbaikan kerusakan PTMHP	1 set	500.000	500.000
3.	Laporan / publikasi ilmiah	1 set	500.000	500.000
4.	Administrasi surat menyurat, pemesanan dan pengiriman	1 set	500.000	500.000
Jumlah biaya :				2.000.000

14.11 Sarana

14.11.1 Laboratorium

Tabel 38. Sarana Laboratorium yang Dimiliki

No	Laboratorium	Kegiatan Yang Dilakukan
1.	Laboratorium Proses Produksi STTIND Padang	Perencanaan/desain sistim dan komponen PTMHP, pembuatan komponen-komponen PTMHP, perakitan dan pengujian statis
2.	Studio Gambar STTIND Padang	Membuat gambar kerja mencakup gambar rakitan, dan gambar proyeksi dari detail masing-masing komponen

14.11.2 Peralatan Utama

Tabel 39. Peralatan Utama yang Dimiliki

No	Nama Alat	Lokasi	Kegunaan	Kondisi
1.	Mesin bubut lantai	Lab P.Produksi	Membuat poros	Baik
2.	Mesin las listrik	Lab.P.Produksi	Penyambung	Baik
3.	Mesin roll	Lab.P.Produksi	Melengkungkan lembaran plat	Baik
4.	Mesin bor meja/tangan	Lab.P.Produksi	Membuat lubang	Baik
5.	Mesin tap/ snai	Lab.P.Produksi	Membuat ulir dalam/ luar	Baik
6.	Mesin Gerinda	Lab.P.Produksi	Meratakan/menghaluskan permukaan	Baik

7.	Mesin gergaji listrik	Lab.P.Produksi	Memotong	Baik
8.	Mesin kompressor	Lab.P.Produksi	Membersihkan dan untuk pengecatan	Baik
9.	Peralatan kerja bangku : ragam	Lab.P.Produksi	Mendukung fungsi dari mesin/ peralatan pada proses memegang, meratakan, mengikir membekokan dan memipihkan	Baik

14.11.3 Keterangan Tambahan

Sarana pendukung yang tersedia di STTIND Padang yang dapat dimanfaatkan untuk mendukung penyelesaian penelitian ini diantaranya,

- 1) Laboratorium Komputer STTIND Padang
- 2) Perpustakaan STTIND Padang

Perlatihan

Sebagai penutup dan sekaligus untuk mengetahui sejauh mana pemahaman dan keterampilan anda terhadap pokok bahasan di atas, maka jawablah pertanyaan-pertanyaan berikut ini,

1. Anda sering mendengar istilah proposal, jelaskan pengertian proposal secara umum ?
2. Pak Ahmad memiliki gagasan dan sekarang beliau sedang membuat sebuah proposal. Jelaskan kenapa Pak Ahmad harus bersusah payah membuat proposal dan apa manfaatnya bagi beliau ?
3. Jelaskan jenis-jenis penelitian yang anda kenal ?
4. Jelaskan ciri-ciri proposal penelitian yang baik ?
5. Jelaskan sistematika proposal penelitian yang sesuai dengan metoda penelitian ?
6. Jelaskan apakah ada perbedaan proposal penelitian bidang teknik dengan proposal penelitian bidang sosial ?
7. Jelaskan perbedaan studi pustaka atau tinjauan pustaka dengan daftar kepustakaan ?
8. Selanjutnya anda ditugaskan untuk membuat sebuah proposal penelitian tentang rencana pembangunan PLTMH di suatu desa yang belum memiliki jaringan listrik. Desa yang menjadi lokasi penelitian harus anda cari sendiri di sekitar propinsi tempat anda tinggal dengan memperhatikan kriteria-kriteria awal yang menunjukkan di desa tersebut layak dibangun PLTMH seperti memiliki sumber air yang cukup dan di sana ada lokasi yang memiliki tinggi jatuh. Tugas ini dikerjakan secara berkelompok, tiap kelompok terdiri dari 5 orang, masing-masing kelompok memiliki lokasi survey yang berbeda, tugas ini harus selesai dikerjakan dalam waktu 20 hari kalender. Selamat berjuang, hati-hati, jaga kesehatan dan merdeka !.

DAFTAR PUSTAKA

- Arismunandar, W.(1982). *Penggerak Mula Turbin*. Bandung : ITB Bandung
- Bachtiar, A.N. *Studi Kelayakan Pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) Di Kampung Air Rau Kinali Pasaman (Aspek Teknis dan Finansial)*. Jurnal Akademika. ISSN 0854-4336. volume 7. nomor 2. Desember 2003.
- Bachtiar, A.N. *Perencanaan PLTM Terpadu Di Kampung Lambah Air Tabit Kinali Pasaman*. Jurnal Sains dan Teknologi. ISSN 1412-5455. volume 4. nomor 1. Juni 2005
- Bachtiar, A.N. *Uji Efisiensi Runner Turbin Cross Flow Dengan Variasi Sudut Air Masuk Sudu (θ)*. Jurnal Momentum. ISSN 1411- 4617. volume 4 nomor 2, Desember 2007
- Bachtiar, A.N. *Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) Portabel Untuk Debit dan Head Ekonomis*, Jurnal Sains dan Teknologi. ISSN 1412-5455. volume 6. nomor 2. Desember 2008
- Bachtiar, A.N. *Daya Guna Debit Air Batang Lembang Sebagai Sumber Pembangkit Tenaga Listrik Pedesaan Dengan Memanfaatkan Teknologi PLTMH Portabel*. Jurnal Ekotrans. ISSN 1411-4615. volume 8 nomor 1, Januari 2008
- Bachtiar, A.N. (2009), *Studi Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) di Kabupaten Pariaman, Sumatera Barat*. Padang : Laporan Penelitian
- Bachtiar, A.N., (2010), *Pembangunan Pembangkit Tenaga Mikrohidro Model Drum (PTMMD) Sebagai Alternatif yang Praktis Dalam Pengembangan Sistem Pembangkit Mikrohidro di Pedesaan*, Padang : Laporan Penelitian Hibah Bersaing
- Bachtiar, A.N. *Rancang Bangun Turbin Cross Flow Sebagai Penggerak Mula Sistem Pembangkit Tenaga Mikro Hidro Model Drum (PTMMD)*. Jurnal Momentum. ISSN 1411- 4617. volume 4 nomor 2, Agustus 2010
- Bisowarno, B.(1984). *Serba Guna Tenaga Air*. Bandung : Terate
- Dietzel, F.(1988). *Turbin, Pompa Dan Kompresor*. Jakarta : Erlangga
- Giles, R. V. (1984). *Mekanika Fluida dan Hidrolika*. Jakarta : Erlangga
- Gupta. (1971). *Machine Design*. New Delhi : Metropolitan Book Co Private Ltd
- Haimerl, L.A.(1960). *The Cross Flow Turbine*. Jerman
- Harahap, G. (1978). *Turbin Air* . Medan : IMM USU
- Holowanko, A.R.(1985). *Dinamika Permesinan*. Jakarta : Erlangga
- Jagdish. (1975). *Hydraulic Machine*. New Delhi : Metropolitan Book Co Private Ltd
- Meier, U. S.(1981). *Local Experience With Micro Hydro Technology*. London : St Gall
- Pemda TK I Sumatera Barat. (1994/1995). *Rencana Pembangunan Lima Tahun ke Enam*. Padang : Bappeda Sumatera Barat
- Sutarno. (1973). *Sistem Listrik Mikro Hidro Untuk Kelistrikan Desa*. Yogyakarta : UGM Yogyakarta

- Sularso. (1991). *Elemen Mesin*. Jakarta : Pradnyaparamita
- White, F.M. (1987). *Mekanika Zahir*. Jakarta : Erlangga
- Wibowo, C. (2005). *Langkah-langkah Pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH)*, Bandung : MHPP-GTZ

GLOSARIUM

- analisis data : pengolahan data hasil survei yang melibatkan formula-formula dan luarannya berupa informasi karakteristik dari suatu komponen mesin/ turbin misalnya diameter, panjang, gaya operasi dan bahan baja yang digunakan, daya yang dibangkitkan, torsi yang beroperasi dll.
- analisis sensitivitas : salah satu aspek analisis dari studi kelayakan dengan mengasumsikan kondisi kritis berupa kenaikan biaya produksi dan penurunan jumlah konsumen atau permintaan beban listrik.
- aspek teknis : salah satu komponen studi kelayakan dengan indikator terpenuhi tidaknya syarat teknologi dari suatu proyek, misalnya adanya sumber air, adanya konsumen listrik dan jauh dekatnya jarak pembangkit ke perumahan penduduk.
- aspek finansial : salah satu komponen studi kelayakan dengan indikator tingkat keuntungan dari suatu proyek/ pembangunan PLTMH. Jika pada batas rate tertentu nilai keuntungan tersebut terpenuhi maka rencana proyek layak untuk terus dilanjutkan ke tahap pelaksanaan pembangunan begitu juga sebaliknya.
- Amperemeter : alat ukur arus listrik yang merupakan bagian dari sistem kontrol/ pengaman instalasi listrik yang dipasang di dalam rumah pembangkit.
- bagan alir : gambar diagram balok yang menjelaskan urutan kerja suatu proses/ siklus misalnya urutan/ tahapan kerja penyelesaian pembangunan PLTMH.
- BCR : *benefit cost ratio* atau perbandingan antara pendapatan dengan biaya, Ini adalah salah satu teknik analisis studi kelayakan, jika $BCR > 1$ maka rencana proyek dinilai layak dilanjutkan.
- daya efektif : daya yang dibangkitkan turbin setelah mempertimbangkan efisiensi dari sistem mesin lainnya seperti sistem transmisi, generator dan turbin itu sendiri.
- daya teoritis : daya listrik yang dibutuhkan oleh masyarakat dan besar daya ini diketahui dari hasil survey ke masyarakat dengan indikator jumlah rumah penduduk, jumlah daya masing-masing rumah dan kebutuhan untuk kepentingan umum serta kerugian daya pada jaringan.
- efisiensi transmisi : tingkat kemampuan sistem transmisi memindahkan daya/ putaran dari turbin ke generator atau dari turbin ke mesin penggiling.
- efisiensi turbin : tingkat kemampuan turbin membangkitkan daya dibandingkan dengan daya teoritis yang akan dibangkitkan turbin.
- efisiensi generator : tingkat kemampuan generator menghasilkan daya dibandingkan dengan daya yang masuk ke generator.
- elemen mesin : komponen atau spare part dari sistem mesin seperti poros, pasak, roda gigi, baut-mur dan kopling.
- energi baru dan terbarukan : energi yang dihasilkan dari suatu proses pengolahan bahan baku yang dapat dibudidayakan atau tanpa suatu keterbatasan seperti energi air, energi angin, energi sampah dan energi matahari.

evaluasi awal : proses pengujian setelah tahap pemasangan sistem PTMHP dilaksanakan di lapangan, hal ini bertujuan untuk mengetahui kelemahan/kekurangan dari sistem PTMHP secara umum dan kemampuan dari setiap komponennya seperti pipa pesat, turbin, katup dan lain-lain.

evaluasi akhir : proses pengujian tahap akhir setelah sistem PTMHP diperbaiki sesuai dengan usulan-usulan dari temuan pada kegiatan evaluasi awal sehingga dapat diketahui prestasi atau efisiensi PTMHP.

fluida alir : semua zat yang bisa mengalir akibat perbedaan tinggi atau akibat perbedaan tekanan seperti air, oli, minyak, udara, oksigen dan gas-gas lainnya.

governor mekanis : alat pengatur/ penyeimbang antara debit air masuk turbin dengan kebutuhan daya listrik oleh konsumen yang beroperasi secara mekanis.

gravitasi bumi : percepatan semua benda di permukaan bumi yang bergerak akibat gaya tarik bumi dengan nilai $9,81 \text{ m/det}^2$

head aktual : tinggi jatuh nyata yang dapat diukur langsung di lapangan yaitu perbedaan tinggi antara permukaan air di kolam penampung dengan posisi runner turbin.

head efektif : energi jatuh yang betul-betul dimanfaatkan oleh turbin untuk membangkitkan daya, head efektif merupakan selisih antara head aktual dengan head losses total.

head losses total : Rugi-rugi energi akibat gesekan dan akibat peralatan instalasi pipa.

head losses mayor : rugi-rugi energi akibat gesekan antara air dengan permukaan dalam pipa pesat.

head losses minor : rugi-rugi energi akibat peralatan instalasi pipa seperti elbow, sambungan pipa, katup dan nozel.

hydraulic prime mover : penggerak mula hidrolis yaitu mesin-mesin penggerak yang memanfaatkan energi potensial fluida dan merubahnya menjadi energi mekanis.

investasi awal : modal awal yang dikeluarkan untuk membangun PLTMH sampai PLTMH siap dioperasikan.

jaringan distribusi : jaringan kabel penyalur arus listrik yang dipasang dari rumah pembangkit ke tengah-tengah perumahan penduduk.

kecepatan spesifik : kecepatan putaran runner turbin yang dapat dihasilkan daya efektif 1 BHP untuk setiap tinggi jatuh 1 meter

koefisien gesek : nilai hambatan akibat kekasaran dinding dalam pipa yang akan mengurangi kecepatan air mengalir dalam pipa pesat.

koefisien tahanan : nilai hambatan dari peralatan instalasi pipa yang akan mengurangi kecepatan air mengalir dalam pipa pesat.

mesin produksi : semua mesin yang difungsikan untuk mengolah bahan baku menjadi bahan jadi yang memiliki nilai jual lebih tinggi.

nilai sisa : harga jual dari barang investasi pada akhir umur ekonomis PLTMH.

NPV : *net present value* yaitu selisih antara total pendapatan dengan total biaya selama umur ekonomis PLTMH dan dihitung saat sekarang.

pengujian statis : pengujian komponen PLTMH yang dilakukan di laboratorium sebelum dibawa ke lapangan.

penggerak mula : mesin yang menjadi sumber penggerak bagi mesin-mesin lainnya seperti turbin air, motor bakar dan ketel uap.

perawatan korektif : perbaikan terhadap komponen PLTMH saat mesin/ komponen tersebut dinyatakan rusak dan tidak ekonomis lagi atau dapat membahayakan sistem PLTMH secara umum.

perawatan preventif : perawatan komponen PLTMH yang dilakukan sebelum terjadi kerusakan seperti pembersihan, pengecatan, pemberian oli dan penggantian *spare part*.

prestasi mesin : batas kemampuan mesin beroperasi dengan acuan kemampuan baku yang telah direncanakan sebelumnya.

program simulasi : program komputer yang dapat menginformasikan dengan cepat hasil akhir suatu perencanaan dengan variabel yang berulang-ulang.

produktivitas mesin : kemampuan mesin menghasilkan/ mengolah bahan baku menjadi bahan jadi dalam satuan waktu tertentu.

PLTA : pembangkit listrik tenaga air yang dapat membangkitkan daya diatas 100 kW

PLTMH konvensional : pembangkit listrik tenaga mikro hidro yang menggunakan penggerak mula turbin air umum seperti turbin *francis*, turbin *pelton*, turbin *propeller* dan turbin *cross flow* dengan daya bangkit kurang dari 100 kW.

PLTMH portabel : pembangkit listrik tenaga mikro hidro yang dibangun dari komponen-komponen yang dapat dirakit lebih cepat dan mobilitasnya yang mudah sehingga biaya/ investasi pembangunannya relatif lebih murah.

PLTMH terpadu : sistem PLTMH yang dipadu dengan beberapa usaha lain seperti peternakan ayam, perikanan air deras dan pengolahan/ penggilingan hasil-hasil pertanian.

PSK tersebar : pembangkit skala kecil tersebar yaitu bangunan PLTMH yang menghasilkan energi listrik yang dapat dijual ke PLN dengan sistem interkoneksi.

PTMHP : pembangkit tenaga mikro hidro portable yaitu sistem pembangkit yang difungsikan bukan hanya untuk membangkitkan energi listrik juga difungsikan untuk menggerakkan mesin-mesin produksi yang dibangun dari komponen-komponen yang dapat dirakit lebih cepat dan mobilitasnya yang mudah sehingga biaya/ investasi pembangunannya relatif lebih murah.

rapat massa air : massa air persatuan volume dengan satuan kgm/m^3

rapat berat air : berat air persatuan volume dengan satuan kgf/m^3 atau N/m^3

sistem elektrikal : peralatan listrik yang terdapat di dalam rumah pembangkit yang berfungsi sebagai pengontrol, pengaman dan penyeimbang antara pemakaian listrik dengan kemampuan turbin.

sistem transmisi : sistem pemindah daya dan putaran dari turbin ke generator dan dari turbin ke mesin produksi.

studi kelayakan : suatu analisis untuk mengetahui layak tidaknya rencana pembangunan proyek/ PLTMH dengan mempertimbangkan banyak aspek yang terukur seperti aspek ekonomi, aspek sosial, aspek finansial dan aspek teknis.

tachometer : alat pengukur kecepatan putaran poros mesin dengan satuan rpm.

tepatguna : mesin-mesin yang diciptakan dengan memperhatikan aspek tepat sasaran, tepat masalah, tepat teknologi sehingga mesin yang dioperasikan benar-benar bermanfaat bagi masyarakat.

torsimeter : alat pengukur torsi yang dibangkitkan poros mesin dengan satuan kgf.m atau N.m

trafo step-up : trafo yang berfungsi untuk menaikkan tegangan listrik yang dipasang di dalam rumah pembangkit

trafo step-down : trafo yang berfungsi untuk menurunkan tegangan sampai batas yang direncanakan yang dipasang di tengah-tengah perkampungan penduduk.

turbin *cross flow* : turbin aliran menyebrang, yakni air melakukan dua kali dorongan terhadap sudu runner yaitu pada saat air mulai masuk ke dalam runner dan kedua saat air meninggalkan runner.

Voltmeter : alat pengukur tegangan listrik yang dipasang di dalam rumah pembangkit

