

**STUDI PERENCANAAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA
MINIHIDRO (PLTM) DI SUNGAI WARKAPI DISTRIK TANAH
RUBUH KABUPATEN MANOKWARI PROVINSI PAPUA BARAT**

**SKRIPSI
TEKNIK PENGAIRAN**

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



**DWI MAHENRA SUKMA
NIM. 145060401111045**

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
MALANG
2018**

PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI

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

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

Malang, 30 Mei 2018

Dwi Mahendra Sukma

NIM. 145060401111045

LEMBAR PENGESAHAN
STUDI PERENCANAAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA
MINIHIDRO (PLTM) DI SUNGAI WARKAPI DISTRIK TANAH
RUBUH KABUPATEN MANOKWARI PROVINSI PAPUA BARAT
JURNAL
TEKNIK PENGAIRAN KONSENTRASI PEMANFAATAN DAN
PENDAYAGUNAAN SUMBER DAYA AIR

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



DWI MAHENRA SUKMA
NIM. 145060401111045

Skripsi ini telah direvisi dan disetujui oleh dosen pembimbing
pada tanggal 15 Mei 2018

Mengetahui,
Ketua Jurusan

Dosen Pembimbing

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

Ir. Suwanto Marsudi, MS.
NIP. 19611203 198603 1 004

LEMBAR PENGESAHAN

**STUDI PERENCANAAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA
MINIHIDRO (PLTM) DI SUNGAI WARKAPI DISTRIK TANAH
RUBUH KABUPATEN MANOKWARI PROVINSI PAPUA BARAT**

SKRIPSI

**TEKNIK PENGAIRAN KONSENTRASI PEMANFAATAN DAN
PENDAYAGUNAAN SUMBER DAYA AIR**

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



DWI MAHENRA SUKMA
NIM. 145060401111045

Skripsi ini telah direvisi dan disetujui oleh dosen pembimbing
pada tanggal 15 Mei 2018

Mengetahui,
Ketua Jurusan

Dosen Pembimbing

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

Ir. Suwanto Marsudi, MS.
NIP. 19611203 198603 1 004

*Ucapan Terima Kasih
Serta diiringi doa yang tidak terhingga
teruntuk Ibu dan Alm. Bapak
dan Saudara-saudara saya.*

PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT karena atas rahmat dan karuniaNya, penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini. Serta sholawat dan salam penyusun tujukan kepada junjungan kita Nabi Muhammad SAW yang telah memberikan syafaatNya bagi kita dalam penyusunan laporan tugas akhir ini. Tujuan dari pembuatan laporan ini adalah untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana Teknik pada jurusan Teknik Pengairan. Judul yang penulis ajukan adalah **“Studi Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Minihidro (PLTM) di Sungai Warkapi Distrik Tanah Rubuh Kabupaten Manokwari Provinsi Papua Barat”**.

Dalam penyusunan dan penulisan tugas akhir ini tidak terlepas dari bantuan, bimbingan serta dukungan dari berbagai pihak. Dengan kesungguhan serta rasa rendah hati, penyusun mengucapkan terima kasih kepada:

1. Kedua Orang Tua yang selalu memberikan doa serta dukungan penuh.
2. Bapak Dr. Very Dermawan, ST., MT., selaku Ketua Prodi S1 Jurusan Teknik Pengairan yang telah memberikan masukan, nasehat serta waktu selama penulisan tugas akhir ini.
3. Bapak Ir. Suwanto Marsudi, MS., selaku dosen pembimbing yang telah memberikan masukan serta waktunya dalam penulisan tugas akhir ini.
4. Prof. Dr. Ir. Lily Montarcih L., M.Sc, selaku dosen penguji dalam tugas akhir atas masukan yang membangun untuk penyusunan tugas akhir ini.
5. Dr. Ir. Pitojo Tri Juwono, MT., selaku dosen penguji dalam tugas akhir atas masukan yang membangun untuk penyusunan tugas akhir ini.
6. Jadfah Sidqi F. ST., MT., selaku dosen penguji dalam tugas akhir atas masukan yang membangun untuk penyusunan tugas akhir ini.
7. Teman-teman angkatan 2014 yang telah membantu selama penyusunan tugas akhir ini.
8. Serta semua pihak yang telah membantu dalam penyelesaian tugas akhir ini.

Laporan yang penulis buat ini mungkin masih banyak kekurangan dan jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu penulis berharap kepada para pembaca untuk memberikan kritik dan saran yang bersifat membangun untuk dapat penulis jadikan evaluasi. Agar dapat memperbaiki kekurangan dan kesalahan dalam laporan ini di pembuatan laporan

selanjutnya. Penulis mengharapkan semoga tugas akhir ini dapat bermanfaat terutama bagi penulis maupun umumnya bagi kita semua

Malang, 15 Mei 2018

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR GAMBAR	xi
RINGKASAN	xv
BAB I PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Identifikasi Masalah	2
1.3. Batasan Masalah	2
1.4. Rumusan Masalah	3
1.5. Tujuan	3
1.6. Manfaat	3
BAB II GAMBARAN UMUM	
2.1. Pembangkit Listrik Tenaga Mini Hidro	5
2.1.1. Klasifikasi PLTM	5
2.1.2. Komponen PLTM	8
2.2. Analisa Hidrologi	9
2.2.1. Uji Homogenitas Data Hujan.....	9
2.2.2. Uji Abnormalitas Data (Uji <i>Inlier-Outlier</i>)	11
2.2.3. Curah Hujan Rancangan	12
2.2.4. Uji Kesesuaian Distribusi	17
2.2.4.1. Uji Smiirnov-Kolmogorof	17
2.2.4.2. Uji Chi-Square	19
2.3. Distribusi Curah Hujan	20
2.3.1. Distribusi Mononobe	20
2.3.2. Distribusi PSA 007	21
2.4. Koefisien Pengaliran	22
2.5. Aliran Dasar	23
2.6. Analisa Banjir Rancangan	24
2.7. Perhitungan Klimatologi	26
2.8. Debit Andalan	29
2.8.1. Simulasi Debit Andalan	30
2.8.2. <i>Flow Duration Curve (FDC)</i>	36
2.8.3. Pertimbangan Pemilihan Debit Andalan	40
2.9. Bangunan Bendung	41
2.9.1. Penentuan Tipe Bendung	43

2.9.2. Lebar Efektif Bendung	44
2.9.3. Tinggi Muka Air Di Atas Mercu Bendung	45
2.9.4. Peredam Energi	47
2.10. Bangunan Hantar	58
2.10.1. Bangunan Pengambilan (<i>Intake</i>)	59
2.10.2. Bak Pengendap	62
2.11. Saluran Pembawa (<i>Head Race</i>)	68
2.12. Bak Penenang (<i>Headpond</i>)	72
2.13. Pipa Pesat (<i>Penstock</i>)	74
2.14. Rumah Pembangkit (<i>Power House</i>)	77
2.15. Saluran Pembuangan Akhir (<i>Tail Race</i>)	80
2.16. Kehilangan Tinggi (<i>Headloss</i>)	80
2.17. Tinggi Jatuh Efektif	83
2.18. Turbin	84
2.18.1. Klasifikasi Jenis Turbin	84
2.18.1.1. Turbin Francis	87
2.18.1.2. Turbin Pelton	90
2.18.1.3. Turbin Crossflow	91
2.18.2. Karakteristik Turbin	91
2.19. Generator	93
2.20. Perhitungan Daya dan Energi	98
2.21. Faktor Kapasitas	98
2.22. Analisis Ekonomi	99
2.22.1. Biaya Proyek	99
2.22.2. Manfaat Proyek	99
2.22.3. <i>Benefit Cost Ratio</i> (BCR)	100
2.22.4. <i>Net Present Value</i> (NPV)	100
2.22.5. <i>Internal Rate of Return</i> (IRR)	101
2.22.6. <i>Payback Period</i>	102

BAB III METODE PENELITIAN

3.1. Deskripsi Daerah Studi	103
3.1.1. Kondisi Topografi	105
3.1.2. Kondisi Hidrologi	105
3.1.3. Kondisi Geologi	105
3.2. Kebutuhan Data	106
3.3. Langkah-Langkah Studi	107
3.3.1. Analisa Hidrologi	107
3.3.2. Analisa Klimatologi	107
3.3.3. Analisa Debit Andalan	107
3.3.4. Perencanaan PLTM	108
3.3.5. Analisa Ekonomi	108
3.4. Letak Komponen-Komponen PLTM	108
3.4.1. Lokasi Bendung dan Intake	109

3.4.2.	Lokasi Bak Pengendap	110
3.4.3.	Rute Pipa Pesat	110
3.4.4.	Lokasi <i>Power House</i>	110
3.5.	Diagram Alir Perencanaan	111

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1.	Analisa Hidrologi	113
4.1.1.	Uji Homogenitas Data	114
4.1.2.	Uji Abnormalitas Data	115
4.1.3.	Perhitungan Parameter Statistik.....	117
4.1.4.	Analisa Curah Hujan Rancangan	119
4.1.4.1.	Disribusi Gumbel I	119
4.1.4.2.	Distribusi Log Pearson III.....	120
4.1.5.	Uji Kesesuaian Distribusi	122
4.1.5.1.	Uji Smirnov Kolmogorof	122
4.1.5.2.	Uji Chi Square.....	124
4.2.	Perhitungan Koefisien Pengaliran	127
4.3.	Analisa Distribusi Curah Hujan.....	129
4.4.	Analisa Banjir Rancangan	131
4.5.	Perhitungan Klimatologi	143
4.6.	Analisa Debit Andalan	146
4.6.1.	Simulasi Debit Sungai	147
4.6.1.1.	Perhitungan Debit Metode F.J. Mock	147
4.6.1.2.	Perhitungan Debit Metode NRECA	170
4.6.2.	Data Pengukuran Debit Lapangan	194
4.6.3.	<i>Flow Duration Curve</i> (FDC)	196
4.7.	Debit Pembangkitan	198
4.7.1.	Penentuan Debit Pembangkitan PLTM	198
4.7.2.	Perkiraan Produksi Energi PLTM	210
4.8.	Perencanaan Bendung	216
4.8.1.	Perhitungan Debit dan Tinggi Muka Air Banjir	216
4.8.2.	Penentuan Tipe Bendung	220
4.8.3.	Perhitungan Lebar Efektif Bendung	221
4.8.4.	Perhitungan H_1 dan H_d	222
4.8.5.	Perhitungan Profil Muka Air	225
4.8.6.	Perencanaan Peredam Energi	227
4.8.6.1.	Peredam Energi Tipe USBR	227
4.8.6.2.	Peredam Energi Tipe MDO/MDS	229
4.8.6.3.	Peredam Energi Tipe Bak Tenggelam/ <i>Bucket</i>	233
4.8.6.4.	Peredam Energi Tipe Sabo	236
4.8.6.5.	Penentuan Tipe Peredam Energi	236
4.8.6.6.	Pengecekan Ketebalan Lantai Peredam Energi	237
4.9.	Bangunan Pengambilan	238
4.10.	Saluran Pengarah (<i>Feeder Canal</i>)	240

4.11. Bak Pengendap	241
4.12. Pintu Penguras	248
4.13. Dimensi Pradesain Bangunan Bendung	249
4.14. Pipa Pesat (<i>Penstock</i>)	250
4.14.1. Diameter Pipa Pesat	250
4.14.2. Ketebalan Pipa Pesat	251
4.14.3. Tumpuan Pipa Pesat	252
4.14.4. Vortisitas Pipa Pesat	253
4.15. Kehilangan Tinggi	254
4.15.1. Kehilangan Tinggi Sebelum Pipa Pesat	254
4.15.2. Kehilangan Tinggi Pada Pipa Pesat	256
4.16. Saluran Pembuang	258
4.17. Turbin	259
4.18. Generator	264
4.19. Rumah Pembangkit	265
4.20. Daya dan Energi	267
4.21. Analisa Ekonomi	276
4.21.1. Komponen Biaya	276
4.21.2. Nilai Sekarang (<i>Present Value</i>)	279
4.21.3. <i>Benefit Cost Ratio</i>	283
4.21.4. <i>Net Present Value</i>	283
4.21.5. <i>Internal Rate of Return</i>	283
4.21.6. <i>Payback Period</i>	286
4.22. Pembahasan Perencanaan	286
4.22.1. Pembahasan Analisa Hidrologi	286
4.22.2. Pembahasan Dimensi Bangunan Sipil	287
4.22.3. Pembahasan Komponen Elektromekanikal	287
4.22.4. Daya dan Energi yang dihasilkan	287
4.22.5. Pembahasan Analisa Ekonomi	288
BAB V PENUTUP	
5.1. Kesimpulan	289
5.2. Saran	292
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	

DAFTAR TABEL

No.	Judul	Halaman
Tabel 2.1	Nilai $Q/(n^{0.5})$ dan $R/(n^{0.5})$	11
Tabel 2.2	Nilai K_n untuk Uji <i>Inlier-Outlier</i>	12
Tabel 2.3	Parameter Prakiraan Distribusi	12
Tabel 2.4	Hubungan <i>Reduced Variate Mean</i> (Y_n) dengan besarnya sampel (n)	14
Tabel 2.5	<i>Reduced Variate Standard Deviation</i> (S_n)	15
Tabel 2.6	<i>Reduced variate</i> (Y_t)	15
Tabel 2.7	Nilai K Distribusi Log Pearson III	17
Tabel 2.8	Nilai D kritis untuk Uji Smirnov-Kolmogorof.....	18
Tabel 2.9	Nilai Kritis Chi-Square (X^2_{cr}).....	19
Tabel 2.10	Intensitas Hujan Dalam % Yang Disarankan PSA 007.....	21
Tabel 2.11	Distribusi Hujan Netto Jam-jaman Metode PSA 007	21
Tabel 2.12	Koefisien Pengaliran Berdasarkan Jenis Daerah.....	22
Tabel 2.13	Rumus Koefisien Pengaliran Berdasarkan Curah Hujan	22
Tabel 2.14	Klasifikasi Luasan DAS	23
Tabel 2.15	Hubungan t dengan $\varepsilon\gamma$, w , $f(t)$	27
Tabel 2.16	Harga $R\gamma$ untuk Indonesia	28
Tabel 2.17	Lama Penyinaran Matahari Maksimum Rata-Rata Per Hari.....	29
Tabel 2.18	Angka koreksi (c) menurut rumus Penman.....	29
Tabel 2.19	Koefisien Reduksi	34
Tabel 2.20	Penentuan tebal mercu bendung tipe sabo	44
Tabel 2.21	Harga-Harga Koefisien Kontraksi.....	45
Tabel 2.22	Penentuan tebal endsill.....	58
Tabel 2.23	Jenis Saluran Pembawa untuk PLTM	69
Tabel 2.24	Struktur dasar untuk saluran pembawa PLTM.....	70
Tabel 2.25	Dimensi optimum saluran terbuka	72
Tabel 2.26	Material Pipa pesat	76
Tabel 2.27	Koefisien Tinggi Tekan pada Penyempitan Pipa	81
Tabel 2.28	Koefisien Tinggi Tekan pada Katup Pipa	81
Tabel 2.29	Nilai K_b pada Belokan Pipa.....	83
Tabel 2.30	Pengelompokan Turbin	84
Tabel 2.31	Jenis Turbin Berdasarkan Tinggi Tekan	84
Tabel 2.32	Jenis Turbin Berdasarkan Kecepatan	85
Tabel 2.33	Jenis Turbin Berdasarkan Arah Aliran.....	85
Tabel 2.34	Pengaplikasian Turbin Standar.....	87
Tabel 2.35	Kecepatan standar generator sinkron	94
Tabel 2.36	Jenis dan Karakteristik tiap tipe Turbin reaksi.....	95
Tabel 2.37	Jenis dan Karakteristik tiap tipe Turbin Impuls	97
Tabel 2.38	Harga rata-rata tertimbang pembelian tenaga listrik	100
Tabel 4.1	Data Curah Hujan Harian Maksimum Tahunan	113

Tabel 4.2	Perhitungan Uji RAPS (<i>Rescaled Adjusted Partial Sums</i>)	115
Tabel 4.3	Data Hujan Terurut	116
Tabel 4.4	Perhitungan Uji <i>Inlier-Outlier</i>	117
Tabel 4.5	Perhitungan Parameter Statistik	118
Tabel 4.6	Syarat Pemilihan Distribusi	119
Tabel 4.7	Parameter Distribusi Gumbel I	119
Tabel 4.8	Hujan Rancangan Distribusi Gumbel I	120
Tabel 4.9	Parameter Statistik Log Pearson III	121
Tabel 4.10	Hujan Rancangan Distribusi Log Pearson III	121
Tabel 4.11	Rekapitulasi Perhitungan Curah Hujan Rancangan	122
Tabel 4.12	Uji Smirnov Kolmogorof Distribusi Gumbel I	123
Tabel 4.13	Nilai Koefisien Log Pearson III	123
Tabel 4.14	Uji Smirnov Kolmogorof Distribusi Log Pearson III	124
Tabel 4.15	Hasil Perhitungan Kelas Gumbel I	126
Tabel 4.16	Hasil Uji Chi kuadrat distribusi Gumbel I	126
Tabel 4.17	Hasil Perhitungan Kelas Log Pearson III	126
Tabel 4.18	Hasil Uji Chi kuadrat distribusi Log Pearson III	126
Tabel 4.19	Rekapitulasi Uji Distribusi	127
Tabel 4.20	Rumus Koefisien Pengaliran Berdasarkan Curah Hujan	127
Tabel 4.21	Koefisien Pengaliran dipengaruhi oleh curah hujan	128
Tabel 4.22	Nilai Koefisien Pengaliran Berdasarkan Jenis Daerah	129
Tabel 4.23	Koefisien Pengaliran	129
Tabel 4.24	Distribusi Hujan Netto Jam-jaman Metode PSA 007	130
Tabel 4.25	Distribusi Curah Hujan	131
Tabel 4.26	Ordinat Hidrograf Satuan Sintetis Nakayasu	133
Tabel 4.27	Debit Banjir Nakayasu Kala Ulang 2 Tahun	135
Tabel 4.28	Debit Banjir Nakayasu Kala Ulang 5 Tahun	136
Tabel 4.29	Debit Banjir Nakayasu Kala Ulang 10 Tahun	137
Tabel 4.30	Debit Banjir Nakayasu Kala Ulang 20 Tahun	138
Tabel 4.31	Debit Banjir Nakayasu Kala Ulang 25 Tahun	139
Tabel 4.32	Debit Banjir Nakayasu Kala Ulang 50 Tahun	140
Tabel 4.33	Debit Banjir Nakayasu Kala Ulang 100 Tahun	141
Tabel 4.34	Rekapitulasi Debit Banjir Nakayasu	142
Tabel 4.35	Data Klimatologi Rerata 2007-2016	143
Tabel 4.36	Perhitungan Evapotranspirasi Metode Penman	145
Tabel 4.37	Rekapitulasi Perhitungan Evapotranspirasi	146
Tabel 4.38	Curah Hujan Bulanan	146
Tabel 4.39	Jumlah Hari Hujan	147
Tabel 4.40	Perhitungan debit metode F.J. Mock tahun 2007	149
Tabel 4.41	Perhitungan debit metode F.J. Mock tahun 2008	151
Tabel 4.42	Perhitungan debit metode F.J. Mock tahun 2009	153
Tabel 4.43	Perhitungan debit metode F.J. Mock tahun 2010	155
Tabel 4.44	Perhitungan debit metode F.J. Mock tahun 2011	157
Tabel 4.45	Perhitungan debit metode F.J. Mock tahun 2012	159

Tabel 4.46	Perhitungan debit metode F.J. Mock tahun 2013	161
Tabel 4.47	Perhitungan debit metode F.J. Mock tahun 2014	163
Tabel 4.48	Perhitungan debit metode F.J. Mock tahun 2015	165
Tabel 4.49	Perhitungan debit metode F.J. Mock tahun 2016	167
Tabel 4.50	Rekapitulasi Debit Metode F.J. Mock Sungai Warkapi	169
Tabel 4.51	Perhitungan debit metode NRECA tahun 2007	173
Tabel 4.52	Perhitungan debit metode NRECA tahun 2008	175
Tabel 4.53	Perhitungan debit metode NRECA tahun 2009	177
Tabel 4.54	Perhitungan debit metode NRECA tahun 2010	179
Tabel 4.55	Perhitungan debit metode NRECA tahun 2011	181
Tabel 4.56	Perhitungan debit metode NRECA tahun 2012	183
Tabel 4.57	Perhitungan debit metode NRECA tahun 2013	185
Tabel 4.58	Perhitungan debit metode NRECA tahun 2014	187
Tabel 4.59	Perhitungan debit metode NRECA tahun 2015	189
Tabel 4.60	Perhitungan debit metode NRECA tahun 2016	191
Tabel 4.61	Rekapitulasi Debit Metode NRECA Sungai Warkapi	193
Tabel 4.62	Data Pengukuran Debit di Lapangan	194
Tabel 4.63	Debit Sungai Warkapi dengan Metode F.J. Mock	196
Tabel 4.64	Debit Sungai Warkapi dengan Metode NRECA	197
Tabel 4.65	Debit Andalan Probabilitas Tertentu	199
Tabel 4.66	Perhitungan Energi Produksi Tahunan Probabilitas 45%	201
Tabel 4.67	Perhitungan Energi Produksi Tahunan Probabilitas 50%	202
Tabel 4.68	Perhitungan Energi Produksi Tahunan Probabilitas 55%	203
Tabel 4.69	Perhitungan Energi Produksi Tahunan Probabilitas 60%	204
Tabel 4.70	Perhitungan Energi Produksi Tahunan Probabilitas 65%	205
Tabel 4.71	Perhitungan Daya, Energi, dan Faktor Kapasitas	209
Tabel 4.72	Simulasi Perhitungan Produksi Energi Tahunan Sungai Warkapi 2007 - 2016.....	211
Tabel 4.73	Perkiraan Daya, Energi, dan Faktor Kapasitas Tahunan PLTM Warkapi .	215
Tabel 4.74	Perhitungan debit sungai hulu bendung	217
Tabel 4.75	Perhitungan debit sungai hilir bendung	218
Tabel 4.76	Perhitungan debit sungai <i>Site Power House</i>	219
Tabel 4.77	Penentuan tebal mercu bendung	220
Tabel 4.78	Coba-coba perhitungan H1	224
Tabel 4.79	Tinggi muka air diatas pelimpah	225
Tabel 4.80	Profil muka air pada bendung	226
Tabel 4.81	Matriks Pemilihan Peredam Energi	237
Tabel 4.82	Penilaian Peredam Energi	237
Tabel 4.82	Operasi Pintu Pengambilan	239
Tabel 4.83	Penentuan tinggi jagaan saluran	240
Tabel 4.84	Kehilangan tinggi pada PLTM Warkapi	258
Tabel 4.85	Pemilihan generator	265
Tabel 4.86	Perhitungan daya dan energi total	268
Tabel 4.87	Simulasi Perhitungan Produksi Energi Tahunan dan Daya Menggunakan	

	Debit Series Bulanan	271
Tabel 4.88	Perkiraan Daya, Energi, dan Faktor Kapasitas Tahunan PLTM Warkapi ...	275
Tabel 4.89	Biaya PLTM Warkapi	279
Tabel 4.90	PV biaya Keseluruhan PLTM Warkapi	281
Tabel 4.91	PV manfaat PLTM Warkapi	282
Tabel 4.92	Nilai Manfaat untuk beberapa suku bunga	284
Tabel 4.93	Nilai Biaya untuk beberapa suku bunga	285

DAFTAR GAMBAR

No.	Judul	Halaman
Gambar 2.1	Skema pembangkit listrik tenaga mini hidro pada bendungan	6
Gambar 2.2	Skema <i>Run of River</i>	7
Gambar 2.3	Pembangkit tenaga mini hidro pada saluran air	7
Gambar 2.4	Skema Pembangkit Listrik Tenaga Mini Hidro	8
Gambar 2.5	Diagram Alir Pemilihan Metode Analisis Debit Banjir Rancangan	24
Gambar 2.6	Hydrograf Satuan Metode Nakayasu	26
Gambar 2.7	Diagram Alir Perhitungan F.J Mock.....	33
Gambar 2.8	Simulasi Debit NRECA	33
Gambar 2.9	Rasio Et/ETo	36
Gambar 2.10	Rasio Tampungan Kelengasan Tanah.....	36
Gambar 2.11	Contoh <i>Flow Duration Curve</i>	37
Gambar 2.12	Grafik <i>Flow Duration Curve</i> (FDC) dengan skala log	37
Gambar 2.13	FDC dan Debit Andalan.....	39
Gambar 2.14	Debit tersedia pada FDC.....	39
Gambar 2.15	Bangunan Pengambilan	42
Gambar 2.16	Bendung dengan Mercu Bulat	45
Gambar 2.17	Tekanan pada Mercu Bendung Bulat sebagai Fungsi perbandingan H_1/r	46
Gambar 2.18	Nilai Koefisien C_0 untuk Bendung Ambang Bulat sebagai Fungsi H_1/r ..	46
Gambar 2.19	Nilai Koefisien C_1 untuk Bendung Ambang Bulat sebagai Fungsi P/H_1 ..	47
Gambar 2.20	Nilai Koefisien C_2 untuk Bendung Mercu Tipe Ogee sebagai Fungsi P/H_1	47
Gambar 2.21	Diagram untuk memperkirakan tipe peredam energi.....	49
Gambar 2.22	Dimensi kolam olak USBR tipe IV	50
Gambar 2.23	Dimensi kolam olak USBR tipe III.....	50
Gambar 2.24	Grafik MDO-1	52
Gambar 2.25	Grafik MDO-1b	52
Gambar 2.26	Grafik MDO-2	53
Gambar 2.27	Grafik MDO-3	54
Gambar 2.28	Peredam Energi Tipe Bak Tenggelam	56
Gambar 2.29	Jari-jari minimum bak.....	57
Gambar 2.30	Batas minimum tinggi air hilir.....	57
Gambar 2.31	Sketsa peredam energi tipe sabo	58
Gambar 2.32	Aliran Melalui Pintu Sorong.....	60
Gambar 2.33	Koefisien K untuk Debit Tenggelam	61
Gambar 2.34	Koefisien Debit μ untuk Permukaan Pintu Datar atau Lengkung	61
Gambar 2.35	Skema Bak Pengendap.....	62
Gambar 2.36	hubungan antara diameter sedimen dan kecepatan endap	64
Gambar 2.37	Potongan memanjang dan melintang kantong lumpur.....	65

Gambar 2.38	Grafik Shield.....	66
Gambar 2.39	Grafik pembuangan sedimen <i>Camp</i> untuk aliran Turbulensi.....	67
Gambar 2.40	Penampang Melintang Saluran Pembawa	71
Gambar 2.41	Bak Penenang	72
Gambar 2.42	Dimensi bak penenang.....	73
Gambar 2.43	Pipa Pesat (<i>Penstock</i>).....	75
Gambar 2.44	Tingkat minimum vortisitas.....	77
Gambar 2.45	Rumah Pembangkit (<i>Power House</i>)	78
Gambar 2.46	Rumah pembangkit untuk turbin impuls	78
Gambar 2.47	Rumah pembangkit untuk turbin reaksi (pondasi atas)	79
Gambar 2.48	Rumah pembangkit untuk turbin impuls (pondasi bawah).....	79
Gambar 2.49	Koefisien kehilangan tinggi untuk bermacam-macam masukan pipa	82
Gambar 2.50	Grafik Hubungan <i>Head</i> dan <i>Discharge</i>	86
Gambar 2.51	Turbin Francis.....	87
Gambar 2.52	<i>Runner</i> turbin Francis	88
Gambar 2.53	<i>Spiral Case</i>	89
Gambar 2.54	Penampang nosel dan <i>Runner</i> Pelton	90
Gambar 2.55	Turbin Pelton	90
Gambar 2.56	Turbin Crossflow	91
Gambar 2.57	Kisaran dari kecepatan spesifik dengan tipe turbin	92
Gambar 2.58	Efisiensi turbin.....	93
Gambar 2.59	Grafik nilai IRR	101
Gambar 3.1	Peta Kabupaten Manokwari.....	103
Gambar 3.2	Foto Lokasi Sungai Warkapi	104
Gambar 3.3	Letak Komponen PLTM Warkapi	109
Gambar 4.1	Tampak atas lokasi PLTM Warkapi	128
Gambar 4.2	Distribusi Curah Hujan	131
Gambar 4.3	Unit HSS Nakayasu	134
Gambar 4.4	Hidrograf Satuan Sintetis Nakayasu	143
Gambar 4.5	Debit dan Curah Hujan Bulanan Tahun 2007 Metode F.J. Mock	150
Gambar 4.6	Debit dan Curah Hujan Bulanan Tahun 2008 Metode F.J. Mock	152
Gambar 4.7	Debit dan Curah Hujan Bulanan Tahun 2009 Metode F.J. Mock	154
Gambar 4.8	Debit dan Curah Hujan Bulanan Tahun 2010 Metode F.J. Mock	156
Gambar 4.9	Debit dan Curah Hujan Bulanan Tahun 2011 Metode F.J. Mock	158
Gambar 4.10	Debit dan Curah Hujan Bulanan Tahun 2012 Metode F.J. Mock	160
Gambar 4.11	Debit dan Curah Hujan Bulanan Tahun 2013 Metode F.J. Mock	162
Gambar 4.12	Debit dan Curah Hujan Bulanan Tahun 2014 Metode F.J. Mock	164
Gambar 4.13	Debit dan Curah Hujan Bulanan Tahun 2015 Metode F.J. Mock	166
Gambar 4.14	Debit dan Curah Hujan Bulanan Tahun 2016 Metode F.J. Mock	168
Gambar 4.15	Grafik Debit Bulanan tahun 2007 – 2016 PLTM Warkapi Metode F.J. Mock	169
Gambar 4.16	Fluktuasi Debit Sungai Warkapi	170
Gambar 4.17	Debit dan Curah Hujan Bulanan Tahun 2007 Metode NRECA	174
Gambar 4.18	Debit dan Curah Hujan Bulanan Tahun 2008 Metode NRECA	176

Gambar 4.19	Debit dan Curah Hujan Bulanan Tahun 2009 Metode NRECA	178
Gambar 4.20	Debit dan Curah Hujan Bulanan Tahun 2010 Metode NRECA	180
Gambar 4.21	Debit dan Curah Hujan Bulanan Tahun 2011 Metode NRECA	182
Gambar 4.22	Debit dan Curah Hujan Bulanan Tahun 2012 Metode NRECA	184
Gambar 4.23	Debit dan Curah Hujan Bulanan Tahun 2013 Metode NRECA	186
Gambar 4.24	Debit dan Curah Hujan Bulanan Tahun 2014 Metode NRECA	188
Gambar 4.25	Debit dan Curah Hujan Bulanan Tahun 2015 Metode NRECA	190
Gambar 4.26	Debit dan Curah Hujan Bulanan Tahun 2016 Metode NRECA	192
Gambar 4.27	Grafik Debit Bulanan t ahun 2007 – 2016 PLTM Warkapi Metode F.J. Mock	193
Gambar 4.28	Fluktuasi Debit Sungai Warkapi	194
Gambar 4.29	Grafik FDC Tahun 2007 - 2016 PLTM Warkapi	198
Gambar 4.30	Energi Produksi Tahunan $Q_{45\%}$	206
Gambar 4.31	Energi Produksi Tahunan $Q_{50\%}$	206
Gambar 4.32	Energi Produksi Tahunan $Q_{55\%}$	207
Gambar 4.33	Energi Produksi Tahunan $Q_{60\%}$	207
Gambar 4.34	Energi Produksi Tahunan $Q_{65\%}$	208
Gambar 4.35	Energi Produksi Tahunan $Q_{45\%}$, $Q_{50\%}$, $Q_{55\%}$, $Q_{60\%}$, $Q_{65\%}$	208
Gambar 4.36	Hubungan Probabilitas Debit Pembangkit dengan Produksi Energi Tahunan.....	209
Gambar 4.37	Produksi Energi Tahunan PLTM Warkapi 2007 – 2016	214
Gambar 4.38	Produksi Energi Tahunan	215
Gambar 4.39	Penampang Sungai Hulu Bendung	216
Gambar 4.40	Hubungan debit dan tinggi muka air hulu bendung	217
Gambar 4.41	Penampang Sungai Hilir Bendung	218
Gambar 4.42	Hubungan debit dan tinggi muka air hilir bendung	218
Gambar 4.43	Penampang Sungai Site Power House	219
Gambar 4.44	Hubungan debit dan tinggi muka air hilir bendung	219
Gambar 4.45	Penentuan Nilai Koefisien C_0	223
Gambar 4.46	Penentuan Nilai Koefisien C_1	224
Gambar 4.47	Lekung Debit diatas Pelimpah PLTM Warkapi	225
Gambar 4.48	Penentuan tinggi muka air di atas pelimpah	229
Gambar 4.49	Pengecekan terhadap bahaya kavitasi hilir bendung	230
Gambar 4.50	Penentuan $D1/D2$	231
Gambar 4.51	Penentuan Ls/Ds	232
Gambar 4.52	Penentuan perbandingan R_{min}/h_c	234
Gambar 4.53	Menentukan nilai perbandingan T_{min}/h_c	235
Gambar 4.54	Tebal lantai kolam olak	238
Gambar 4.55	Rating curve bukaan pintu pengambilan	239
Gambar 4.56	Skema PLTM Tipe Run Of River	241
Gambar 4.57	Penentuan kecepatan endap sedimen	243
Gambar 4.58	Pengecekan efisiensi bak pengendap	247
Gambar 4.59	Pengecekan gerak sedimen rencana	247
Gambar 4.60	Dimensi dinding penahan	249

Gambar 4.61	Pemilihan turbin berdasarkan grafik	259
Gambar 4.62	Pemilihan turbin berdasarkan kecepatan spesifik	260
Gambar 4.63	Sketsa Runner turbin Francis	261
Gambar 4.64	Sketsa Spiral Case	263
Gambar 4.65	Efisiensi turbin	267
Gambar 4.66	Energi Produksi Tahunan PLTM Warkapi	269
Gambar 4.67	Kurva durasi debit dan daya PLTM Warkapi	269
Gambar 4.68	Simulasi Perhitungan Produksi Energi Tahunan Menggunakan Debit Series Bulanan	274
Gambar 4.69	Produksi Energi Tahunan PLTM Warkapi	275

RINGKASAN

Dwi Mahendra Sukma, Jurusan Teknik Pengairan, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, April 2018, *Studi Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Minihidro (PLTM) di Sungai Warkapi Distrik Tanah Rubuh Kabupaten Manokwari Provinsi Papua Barat*, Dosen Pembimbing : Suwanto Marsudi.

Papua Barat merupakan salah satu provinsi yang ada di Indonesia yang masih kekurangan pasokan listrik, sehingga kebutuhan listrik di provinsi ini haruslah terpenuhi. Untuk mengatasi masalah tersebut, di distrik Tanah Rubuh terdapat sungai yaitu sungai Warkapi yang memiliki potensi untuk menghasilkan energi listrik dengan dibangunnya Pembangkit Listrik Tenaga Minihidro (PLTM).

Berdasarkan hasil kajian dalam studi ini, debit banjir rancangan yang digunakan dengan kala ulang 100 tahun sebesar $502.66 \text{ m}^3/\text{detik}$, sedangkan debit andalan yang digunakan adalah debit andalan 45% sebesar $7.232 \text{ m}^3/\text{detik}$ digunakan sebagai debit pembangkitan. Pada PLTM Warkapi ini menggunakan bendung tipe sabo dikarenakan material dominan pada sungai warkapi yaitu kerikil dan batu-batu kecil yang apabila menggunakan tipe ogee atau tipe bulat maka tidak akan bertahan lama dan akan hancur di tabrak dengan batu-batu tersebut. Tebal mercu sebesar 2 meter, tinggi bendung 1.5 meter, lebar efektif bendung 30.693 meter. Adapun komponen-komponen sipil lain pada PLTM ini antara lain bangunan pengambilan, saluran pengarah, bak pengendap disatukan dengan bak penenang, pintu penguras, pipa pesat dan saluran pembuang.

Pada PLTM Warkapi ini menggunakan turbin Francis horizontal sebanyak 2 unit turbin, dengan daya yang dihasilkan sebesar 4915.540 kW atau 4.92 MW dan produksi energi tahunan sebesar 27867417.89 kWh atau 27.87 GWh. Hasil analisis ekonomi dari PLTM ini menunjukkan bahwa layak untuk dibangun, hal ini didukung dengan nilai *Benefit Cost Ratio* adalah 1.112, nilai *Net Present Value* adalah Rp. 50,596,548,800.53 , nilai *Internal Rate of Return* adalah 5.14% dan Waktu *payback period* adalah 18 tahun.

Kata kunci: listrik, debit, PLTM, pipa pesat, analisis ekonomi.

Halaman ini sengaja di kosongkan

SUMMARY

Dwi Mahendra Sukma, Department of Water Resources Engineering, Faculty of Engineering, University of Brawijaya, April 2018, Study of Small Hydropower Plant Planning in Warkapi River Distrik Tanah Rubuh Kabupaten Manokwari Provinsi Papua Barat, Academic Supervisor: Suwanto Marsudi.

West Papua is one of the provinces in Indonesia that still lack of electricity supply, electricity energy production is needed to be increased. To resolve this problem, in the Tanah Rubuh District there is a river that is Warkapi river that has the potential can be energy source with the construction of Small Hydropower Plant.

From the observation, the selected design flood discharge 100 year period to be 502.66 m³/dt. While the selected mainstay discharge 45% to be 7.232 m³/dt used as the plant discharge. In this hydropower using sabo weir because the dominant material in the river Warkapi is gravel and small stones, which when using ogee type or round type then it will not last long can be destroyed by a rock. The thickness of weir is 2 meters and the height 1.5 meters, the effective width of river is 30.693 meters. The other civil components in this hydropower such as intake, feeder canal, settling basin merged with forebay, drain door, penstock, and tailrace.

In this warkapi hydropower uses turbin are 2 unit of horizontal Francis type, with 4915.540 kW or 4.92 MW power produced and 27867417.89 kWh or 27.87 GWh energy produced in a year. The result of economic analysis from this hydropower is feasible to built, it is supported by Benefit Cost Ratio is 1.112, Net Present Value is Rp. 50,596,548,800,53, Internal Rate of Return is 5.14% and payback period is 18 years.

Keyword: electric, discharge, hydropower, penstock, economic analysis

Halaman ini sengaja di kosongkan