

OPTIMASI PEMANFAATAN SUMBER DAYA AIR (SDA) UNTUK MENJADI SUMBER ENERGI BARU DAN TERBARUKAN (EBT)

Studi Kasus : PLTMH Mangelum, Kabupaten Boven Digoel Provinsi Papua

Oleh:

Bambang Sunarwan dan Riyadi Juhana

Abstrak

Sumber daya air merupakan potensi untuk untuk dijadikan energi baru dan terbarukan (EBT), sebagai antisipasi kekurangan energy khususnya energy listrik. Begitupun yang dialami oleh distrik-distrik yang ada di wilayah Kabupaten Boven Digoel, Provinsi Papua, yang pada saat sekarang ini masih kekurangan pasokan listrik untuk disalurkan ke kampung-kampung yang ada di seluruh distrik di Kabupaten Boven Digoel, Provinsi Papua. Salah satunya adalah kampung Bayangop, Distrik Mangelum. Yang mempunyai potensi sumberdaya air yang dapat dijadikan sumber energy listrik terutama sumber energy listrik dari pembangkit listrik tenaga mikrohidro (PLTMH)

Kata Kunci : *PLTMH, Penstocks, Elevasi, KW, KVA.*

1. PENDAHULUAN

Energi merupakan pusat yang mempengaruhi kelanjutan kehidupan manusia yang mempengaruhi ekonomi dan pembangunan sosial. Energi tidak terbatas untuk dirinya akan tetapi lebih dimaksudkan untuk mencapai tujuan dari pembangunan manusia berkelanjutan. Energi terbarukan adalah salah satu jenis dari sumber energi dan energi tersebut bukan merupakan suatu hal yang ingin dicapai, tapi hanyalah sebuah sarana untuk mencapai tujuan dari pembangunan manusia berkelanjutan, dan harus dirancang sewajarnya dan dimanfaatkan secara efektif. Energi terbarukan harus menemukan tempat dalam kebijakan energi nasional yang merupakan salah satu cara yang sesuai dengan tujuan dari pengembangan manusia berkelanjutan.

Perhatian Pemerintah Republik Indonesia terhadap penyediaan energi yang dapat diperbaharui sudah dimulai sejak dekade yang lalu, terutama melalui kebijakan umum di sektor energi yang dinamakan Kebijakan Umum Bidang Energi, 1982, dan direvisi tahun 1989. Saat ini sudah ditinjau lagi dalam Kebijakan Energi Nasional, 2003 - 2020, yang difokuskan pada efisiensi energi,

konservasi energi, diversifikasi energi dan lingkungan.

Pemerintah juga telah mengeluarkan peraturan mengenai penyediaan sumber energi skala kecil di daerah perdesaan atau daerah terpencil, yang dinamakan “Keputusan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral No. 1122 K/30/MEM/2002, 12 Juli 2002 tentang Pembangkit Skala Kecil Tersebar“. Fokus dari peraturan ini adalah untuk memberdayakan komunitas lokal, dan mendorong memberdayakan sumber daya energi lokal (yaitu adalah energi terbarukan).

Dengan meningkatnya kebutuhan energi listrik di Distrik Mangelum Kabupaten Boven Digoel, Provinsi Papua yang umumnya menggunakan pembangkit diesel, maka perlu kiranya direncanakan alternatif pembangkit tenaga listrik yang dapat memenuhi kebutuhan energi listrik sekaligus memberikan faktor keandalan dan kontinuitas pasokan. Pemadaman energi listrik yang dilakukan secara berkala dapat menimbulkan gangguan terhadap kelancaran kegiatan pembangunan. Hal ini menunjukkan bahwa energi listrik yang ada belum dapat dinikmati oleh daerah secara maksimal.

Pembangunan pembangkit tenaga listrik yang baru merupakan salah satu alternatif dalam mengatasi masalah pemenuhan kebutuhan listrik. Pemilihan alternatif tersebut memerlukan suatu perencanaan pembangunan pembangkit tenaga listrik yang meliputi beberapa aspek penting. Hal ini mengarah pada pemilihan jenis pembangkit yang nanti akan direncanakan berikut lokasinya. Pemilihan jenis pembangkit tergantung oleh faktor teknis dan non teknis yang harus diteliti terlebih dahulu sehingga dalam perencanaan sebuah pembangkit tenaga listrik diperlukan studi kelayakan untuk memberikan hasil yang optimal (biaya minimal dan produksi maksimal).

PLTMH merupakan sebuah teknologi alternatif yang tepat guna dan akomodatif dari berbagai aspek yang berhubungan dengan penyediaan energi listrik yang didesain untuk mudah digunakan dari semua lapisan masyarakat. Selanjutnya PLTMH juga diharapkan sebagai sebuah proses pemberdayaan masyarakat dari segi sosial, teknologi dan ekonomi.

Keberhasilan sebuah PLTMH dapat dilihat dari keberhasilan pembangunan dan pengoperasian. Keberhasilan ini ditentukan oleh beberapa faktor baik faktor teknis dan non teknis suatu daerah yang berpotensi untuk dibangun PLTMH. Untuk itu diperlukan sebuah studi kelayakan potensi sebagai acuan spesifik terhadap Desain Detail Engineering PLTMH.

Dalam rangka pengoptimalan pemanfaatan energi terbarukan khususnya pembangkit listrik di Kabupaten Boven Digoel, Pemerintah daerah bekerjasama dengan konsultan mengadakan kegiatan Penyusunan *Feasibility Study* Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro di Distrik Manggelum, Kabupaten Boven Digoel.

2. MAKSUD DAN TUJUAN

Maksud dan tujuan dari studi ini adalah memberikan gambaran serta pandangan perihal:

- 1) Mengoptimalkan penggunaan sumber energi terbarukan secara tepat guna.
- 2) Membantu mengatasi kekurangan energi listrik di desa-desa yang belum terjangkau listrik di Propinsi Papua

umumnya dan Kabupaten Boven Digoel khususnya.

- 3) Sebagai bentuk proses pemberdayaan masyarakat dari segi sosial, teknis dan ekonomi

Adapun secara khusus tujuan pekerjaan ini adalah:

- 1) Mendapatkan data dan informasi sumber potensi yang berkaitan dengan pemanfaatan energi terbarukan dalam bentuk potensi PLTMH di kecamatan dan desa yang diduga mempunyai potensi.
- 2) Mengadakan survey potensi di desa/kecamatan yang diduga layak untuk di bangun sebuah pembangkit listrik dan mengadakan study kelayakan dan perencanaan teknis pembangunan PLTMH di lokasi yang mempunyai potensi tersebut.
- 3) Menentukan kelayakan terhadap rencana pembangunan di desa/kecamatan yang telah dilakukan survey dalam bentuk laporan hasil survey study kelayakan.
- 4) bahan bakar pembangkit listrik) atau Pupuk sejak proses penanganan sampai menjadi produk.
- 5) Memilih teknologi proses pembuatan bahan bakar nabati (BBN)/ biomass, bioetanol, biogas, biomassa , bahan bakar pembangkit listrik yang efisien dan efektif sesuai dengan kebutuhan.
- 6) Memperdayakan masyarakat Kabupaten Boven Digoel untuk berpartisipasi untuk membangun daerah sendiri lepas dari ketergantungan terhadap energi listrik serta energi bahan bakar minyak (BBM).
- 7) Meningkatkan indeks pembangunan manusia (IPM) Kabupaten Boven Digoel dengan pertumbuhan industri berbasis manufaktur dengan dukungan pasokan energi listrik yang berkesinambungan.

3. KARAKTERISTIK WILAYAH KABUPATEN BOVEN DIGOEL

Secara umum, wilayah Propinsi Papua berada pada di pulau Papua yang memiliki wilayah pegunungan, memanjang, membelah wilayah bagian utara dan selatan, yang sangat terpengaruh oleh karakteristik fisik dasarnya. Demikian pula dengan Distrik Manggelum - Kabupaten Boven Digoel sebagai bagian wilayahnya, dan secara kebetulan juga berada pada wilayah pegunungan tersebut.

Secara geografis Kabupaten Boven Digoel terletak pada ($139^{\circ}09'00''$ – $141^{\circ}00'00''$) Bujur Timur dan pada ($04^{\circ}08'00''$ - $07^{\circ}10'00''$) Lintang Selatan. Kabupaten Boven Digoel terletak di bagian selatan Pulau Papua dengan ibukota di Tanah Merah, dengan luas wilayah Kabupaten + sebesar 27.108 km².

Secara administratif Kabupaten Boven Digoel terdiri dari 15 distrik, dan 88 desa, keadaan topografi umumnya bervariasi dari datar sampai bergelombang di bagian tengah dan selatan, sedangkan semakin ke utara berbukit dan pegunungan.

Batas geografis Kabupaten Boven Digoel adalah sebagai berikut:

- 1) Sebelah Utara berbatasan dengan Kabupaten Pegunungan Bintang
- 2) Sebelah timur berbatasan dengan Papua New Guinea
- 3) Sebelah selatan berbatasan dengan Kabupaten Merauke dan
- 4) Sebelah barat berbatasan dengan Kabupaten Mappi dan Kabupaten Asmat

4. POTENSI PLTMH DISTRIK MANGELUM KABUPATEN BOVEN DIGOEL

Kampung Bayanggop merupakan sebuah Kampung dengan tipologi Kampung pinggir hutan, dengan ketinggian +126 m.dpl serta memiliki betuk bentang alam datar dan perberbukitan, secara singkat kondisi lokasi Kampung Bayanggop diuraikan sebagai berikut :

- Sungai : Sungai Angop dengan hulunya Sungai Awirit
- Air terjun : \pm 14 m
- Distrik : Manggelum
- Kabupaten : Boven Digoel
- Propinsi : Papua

Berdasar peta topografi tersedia, skala 1 : 1000 dari Bakosurtanal maka daerah rencana Power House untuk PLTMH Manggelum secara geografi berada pada koordinat: ($140^{\circ}31'14,7''$ - $140^{\circ}32'11,5''$) BT dan ($5^{\circ}20'02,2''$ - $5^{\circ}20'41,4''$ LS

4.1. Survey Kelistrikan

Hasil survey lapangan menunjukkan jaringan listrik PLN masih belum tersedia. Karena

terlalu jauh dari jaringan PLN terdekat yang ada oleh karenanya masyarakat Kampung Bayanggop menggunakan sistem kelistrikan swadaya yaitu berupa pembangkit *portable* berupa genset.

4.2. Data Teknis

• Topografi

Areal yang akan dipetakan yaitu pada genangan bendung, track penstock, rencana saluran ppembawa, bak penenang, power house dan tail race dengan cakupan pekerjaan, meliputi Pengukuran polygon utama dan Pengukuran situasi detail.

Persyaratan teknis pengukuran ini mengacu pada persyaratan Teknis **PT-02** yang diterbitkan oleh Direktorat Jenderal Pengairan, seperti dijelaskan dibawah ini.

a. Pengukuran Poligon

- Polygon meliputi daerah yang akan dipetakan dan merupakan polygon terbuka terikat satu titik.
- Polygon dibagi atas seksi-seksi dengan panjang maksimum 100m
- Pengukuran polygon akan diikatkan ke titik BM1 yang mempunyai data koordinat. Dalam hal ini penentuan koordinat titik awal akan dilakukan dengan peralatan GPS (Global Positioning System).
- Pengukuran sudut polygon akan dilakukan dengan 2 (dua) seri dengan ketelitian sudut 5'' (lima detik). Kesalahan penutup sudut maksimum 10'' N, dimana N adalah jumlah titik polygon.
- Semua bench mark yang dipasang maupun yang telah ada harus dilalui polygon
- Alat ukur sudut yang digunakan adalah teodolit T2 Wild atau yang sejenis.
- Pengukuran jarak dilakukan dengan metode Tachimetri $D = (BA-BB) \times 100 \times \sin^2 Z$
- Sudut vertical dibaca dalam satu seri dengan ketelitian sudut 10''
- Ketelitian linier polygon 1 : 10.000

b. Pengukuran elevasi

- Alat yang digunakan adalah Theodolit T2 wild dengan hitungan beda tinggi memakai metode Tachimetri, $H = ($

BA-BB) X 50 X SIN 2 Z) – (tg. Alat – BT)

- Jarak bidikan rambu maksimum 50 m. Akan diusahakan jarak rambu muka sama dengan jarak rambu belakang, dan genap.
- Data yang dicatat adalah pembacaan ketiga benang silang, yaitu benang atas, benang bawah dan benang tengah .
- Semua bench mark yang ada maupun yang akan dipasang akan melalui jalur ukur.
- Batas toleransi untuk kesalahan penutup maksimum 10 VD, dimana D= jumlah jarak(km)

c. Pengukuran Situasi Detail

- Alat yang akan digunakan adalah Theodolit T0 atau yang sejenisnya yang sederajat ketelitiannya
- Metode yang digunakan adalah radial
- Semua tempat yang ada, baik alamiah maupun buatan manusia diambil sebagai titik detail, misalnya : lembah, bukit, alur, sadel dan sebagainya
- Kerapatan titik detail (± 25 m) harus dibuat sedemikian rupa sehingga bentuk topografi dan bentuk buatan manusia dapat digambarkan sesuai dengan keadaan di lapangan
- Pengukuran sungai di sekitar lokasi rencana bendung diambil detail selengkap mungkin, termasuk elevasi as, tepi dan lebar sungai, bukit di sekitar bendung tersebut

d. Prosesing data dan penggambaran

Tahapan pengolahan data adalah:

- Download data hasil pengukuran dengan menggunakan program excel, di import pada program Softdesk serta Land Development.
- Adjustmen data setelah di ubah formatnya kemudian diproses dengan mempergunakan hitungan baik jarak maupun beda tinggi elevasi.
- Metode peralatan dengan memakai cara theodolit dengan salah satu penutup sudut 10 Vn dan ketelitian linier jarak 1/6000.

Tabel 1. Rencana Site Bendung & Trace Saluran Pembawa

RESUME PATOK UKURAN			
NOMOR PATOK	+ELEVASI	JARAK M	JARAK LANGSUNG
P.0	258.000	21.000	21.000
P.1	258.738	45.992	45.992
P.2	258.769	49.494	49.494

Tabel 2. Rencana Jaringan Transmisi

RESUME PATOK UKURAN			
NOMOR PATOK	+ELEVASI	JARAK M	JARAK LANGSUNG
T.13	160.390	55.267	55.267
T.14	153.867	70.383	70.383
T.15	154.737	21.986	21.986
T.16	148.706	52.551	52.551
T.17	138.612	47.902	47.902
T.18	144.986	50.284	50.284
T.19	143.858	45.965	45.965
T.20	140.878	61.858	61.858
T.21	133.174	83.275	83.275
T.22	124.022	48.260	48.260
T.23	121.005	31.672	31.672
T.24	112.501	65.919	65.919
T.25	110.869	74.958	74.958
T.26	110.576	66.697	66.697
T.27	110.795	28.997	28.997
T.28	109.345	41.347	41.347

e) Kendala dan alternatif pemecahan masalah

Kendala yang di hadapi kegiatan survey topografi adalah :

- 1) Menentukan titik referensi karena lokasi berada jauh dari pemukiman (hutan).
- 2) Lokasi survey cukup sulit karena berada pada lokasi yang terjal dengan kondisi batuan licin.
- 3) Tinggi elevasi yang dijadikan referensi ditentukan secara lokal.

• Survey Hidrologi

1) Keadaan Sungai

Untuk skema PLTMH pemanfaatan air yang digunakan adalah dengan model Run off River (ROR), Dimana air sungai yang di perlukan hanya di belokan arahnya dan bendung tidak di fungsikan sebagai waduk (reservoir) tetapi di fungsikan sebagai peninggi level air, air diarahkan pada intake dan selanjutnya dialirkan menuju bak penenang (Forebay tank) melalui saluran pembawa, bangunan intake dan bak penenang terintegrasi dalam satu lokasi.

Di tinjau dari kondisi topografi daerah Aliran sungai (DAS) Selagan memiliki topografi yang sangat beragam, mulai dari daerah berbukit dan begunung sampai kedataran di arah menuju Sungai Digoel. Secara geografis lokasi pembangunan PLTMH di sungai Kampung Bayanggop terletak pada

koordinat 05°20'01" LS – 140°31'21,2" BT.

Hasil dari pengamatan/pengukuran diperoleh data-data karakteristik sungai adalah : gradient rata-rata 15 %, lebar maksimum 10 m, diapit oleh perbukitan dengan topografi terjal. Sungai ini bersifat permanen, dibagian hulunya masih merupakan hutan yang sangat lebat, sehingga debit air pada waktu musim kemarau masih bisa diandalkan untuk PLTMH.

2) Debit Rencana

Debit rencana adalah debit air yang akan di perlukan pembangkit secara kontinyu, debit rencana di hitung dari beberapa parameter yaitu :

Luas catchmen area, curah hujan, debit terukur, dan informasi lain sebagai bahan pertimbangan.

Tabel 3. Jumlah Curah Hujan Bulanan Sta. Meteorologi Mopah (2000-2009)

BULAN	TAHUN									
	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Januari	312	325.4	205.2	167.1	300.6	497.8	563.4	379.2	171.9	275.4
Februari	106	163.4	323.9	466.5	245.9	215.1	439.3	379.2	170.7	544.8
Meret	144	364.6	241.5	439.7	304	503.6	447.5	416.4	403.8	631.5
April	321	342.8	246.6	76.6	113.2	263.8	662.7	139.3	246.7	81.5
Mei	246	85.5	19.9	67.5	271.9	37.8	222.3	64.6	63.5	196.3
Juni	42.1	14.6	48.8	16.7	13.1	39.3	199.6	162.2	55.5	49.4
Juli	10.2	1	10.2	42.4	22.8	82.4	126.9	14	18.2	12.9
Agustus	3	4.9	5.1	11.5	0	13.2	1.9	45.6	36.8	80.5
September	2.4	14.9	77.1	9.7	0	3.4	13.6	9.2	32.1	51.6
Oktober	165.9	41.4	1.8	47.2	90	15.9	1.6	69.5	120.8	81.7
November	98.3	387.5	41.1	33.3	2.7	48.7	30.2	159.9	202.9	99.9
Desember	244	192.9	117.9	209.7	165.7	244.2	23	116.8	191.7	324.7

Luas catchmen area, curah hujan, debit terukur, dan informasi lain sebagai bahan pertimbangan.

PENGUKURAN DEBIT AIR LANGSUNG, diperoleh $Q_r = 40 \text{ lt/dt} = 0,04 \text{ m}^3/\text{s}$

3) Debit Andalan

Debit andalan adalah debit minimum sungai yang kemungkinan tersedia panjang tahun dengan probabilitas 80% terpenuhi, debit andalan dapat ditentukan dengan data debit harian sungai atau dengan metoda Neraca air (Water Balance) yang di kembangkan oleh Dr. Fj Mock. Perhitungan dengan metoda ini memerlukan parameter baik parameter yang terukur maupun parameter yang di estimasi. Prameter meliputi :

- Data curah hujan bulanan rata rata (mm)
- Data hari hujan bulanan rata rata (mm)
- Data Klimatologi
- Luas Catchment Area

Sedangkan parameter yang di estimasi meliputi :

- Kecepatan Infiltrasi
- Kapasitas kelembaban Udara
- Persentase lahan yang tak tertutup vegetasi
- Kandungan air tanah awal

Debit andalan neraca air di rumuskan sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 Q &= (Dro = Bf) & Ws &= R - Ep \\
 Dro &= Ws - I = 0,6 \cdot Ws & EL &= Et - E \\
 Bf &= I - Vn \\
 Q &= \text{Debit Banjir} & Vn &= \text{Storage Volume} \\
 Dro &= \text{Debit Runn Off} & R &= \text{Curah Hujan} \\
 Bf &= \text{Base flow} & Ep &= \text{Limit Evapotranspirasi} \\
 F &= \text{Catchmen Area} & Ef &= \text{Evapotranspirasi Potensial} \\
 Ws &= \text{Water Surplus} & K &= \text{Koefisien Infiltrasi} \\
 I &= \text{Infiltrasi} & \text{Runn Off} &= Dro + Bf
 \end{aligned}$$

• Survey Geologi – Mekanika Tanah

Pekerjaan survey Geologi – Mekanika Tanah meliputi pekerjaan lapangan dan laboratorium, dilakukan untuk memperoleh informasi mengenai keteknikan tanah dan batuan di sekitar areal perencanaan PLTMH Manggelum. Pekerjaan lapangan sendiri mencakup :

- 1) Pemetaan Geologi Permukaan
- 2) Pemboran Tangan
- 3) Paritan Uji/Test Pit

1) Pemetaan Geologi Permukaan

Dilakukan pada areal rencana tanggul untuk masing-masing rencana cek dam atau kurang lebih seluas (5 x 1.6) Ha, sepanjang tanggul aliran sungai, saluran dan tercakup lokasi yang memiliki potensi rawan erosi tinggi ataupun kelongsoran .

Hasil pemetaan geologi berupa hasil pengamatan dan pengukuran sebaran/kemiringan singkapan batuan dan gejala geologi lain, selanjutnya digambarkan dalam bentuk peta geologi teknik menggunakan peta dasar skala 1 : 1000.

Selain peta geologi teknik juga dibuat irisan/penampang geologi untuk memperjelas kondisi beberapa bagian rencana bangunan.

2) Pemboran Tangan

Pekerjaan pemboran tangan dilakukan sebanyak 14 (dua belas) titik di poros rencana lokasi benung, lokasi tanggul dan atau rencana bangunan lain dan masing-masing dilakukan mencapai kedalaman maksimum 10 meter.

Contoh tanah hasil pemboran dilakukan pemerian dan hasilnya digambarkan dalam Log Pemboran tangan (Log bor tangan terlampir). Untuk contoh tanah tidak terganggu dilakukan pengujian di laboratorium yang mencakup sifat fisik dan keteknikan tanah/batuan.

No	Lokasi	NomorHand Bor/Test Pitt	Kedalaman (m)	Ked..Contoh US (M)		Keterangan
1	Sandaran kiri - Renc. Dam	HB.1	0.00 - 1.60	S.1	1.40 - 1.60	Soil Clasc. = CH
2	Sandaran kanan - Renc. Dam	HB.2	0.00 - 1.80	S.2	1.40 - 1.80	Soil Clasc. = CH
3	Tengah sungai Awirt	HB.3	0.00 - 2.00	S.3	1.60 - 2.00	Soil Clasc. = CH
4	Sepanjang Renc. Pipa Pesat	HB.4	0.00 - 2.20	S.4	1.80 - 2.20	Soil Clasc. = CH
5	Sepanjang Renc. Pipa Pesat	HB.5	0.00 - 1.90	S.5	1.50 - 1.90	Soil Clasc. = CH
6	Sepanjang Renc. Pipa Pesat	HB.6	0.00 - 2.50	S.6	2.10 - 2.50	Soil Clasc. = CH
7	Sepanjang Renc. Pipa Pesat	HB.7	0.00 - 2.00	S.7	1.60 - 2.00	Soil Clasc. = CH
8	Sepanjang Renc. Pipa Pesat	HB.8	0.00 - 2.50	S.8	2.10 - 2.50	Soil Clasc. = CH
9	Sepanjang Renc. Pipa Pesat	HB.9	0.00 - 1.80	S.9	1.40 - 1.80	Soil Clasc. = CH
10	Sepanjang Renc. Pipa Pesat	HB.10	0.00 - 2.40	S.10	2.00 - 2.40	Soil Clasc. = CH
11	Jalur Jalan Inspeksi	HB.11	0.00 - 2.10	S.11	1.70 - 2.10	Soil Clasc. = CH
12	Jalur Jalan Inspeksi	HB.12	0.00 - 2.00	S.12	1.60 - 2.00	Soil Clasc. = CH
14	Renc. Power House	HB.13	0.00 - 2.00	S.13	1.60 - 2.00	Soil Clasc. = CH
15	Renc. Power House	HB.14	0.00 - 2.00	S.12	1.60 - 2.00	Soil Clasc. = CH

3) Test Pits/Sumuran uji

Pekerjaan test pit/sumuran uji dilakukan sebanyak 4 (tiga) buah untuk masing-masing rencana bendung atau, dibuat dengan peralatan cangkul, linggis dan skop untuk membentuk galian dengan ukuran panjang = 125 cm, lebar 125 cm dan kedalaman mencapai batuan dasar atau lapisan batuan yang keras dan maksimum 2.5 meter kedalaman.

Hasil pekerjaan sumuran uji adalah berupa pengamatan dan pemerian lapisan yang dijumpai dari permukaan sampai batuan dasar dan hasilnya digambarkan dalam bentuk log tes pit (lampiran Log tes pit).

Dari hasil penggalian dilakukan pengambilan contoh (tanpa menyertakan bagian atasnya/penutupnya) sebagian contoh terganggu dimasukkan ke dalam karung seberat kurang lebih 50 kg untuk dilakukan uji laboratorium.

Tabel 5. Daerah Lokasi Penyelidikan Geologi – Mekanika Tanah kawasan PLTMH Mangelum

No	Lokasi	NomorHand Bor/Test Pitt	Kedalaman (m)	Ked..Contoh Disturb (M)	Keterangan
1	Borrow Area /Pengambilan Tanah Urug	TP.1	0.00 - 1.50	1.10 - 1.50	Test Pit
2	Borrow Area /Pengambilan Tanah Urug	TP.2	0.00 - 1.60	1.20 - 1.60	Test Pit
3	Borrow Area /Pengambilan Tanah Urug	TP.3	0.00 - 1.40	1.00 - 1.40	Test Pit
4	Borrow Area /Pengambilan Tanah Urug	TP.4	0.00 - 1.80	1.40 - 1.80	Test Pit

• Uji Laboratorium

Uji laboratorium dilakukan terhadap 12 (dua belas) contoh tidak terganggu/ tabung dari pemboran tangan, meliputi pengujian sifat fisik dan sifat keteknikan tanah, yang terdiri atas :

- Density
- Water content
- Atterberg limit
- Unconfined test
- Triaxial UU
- Analisa Hidrometer
- Konsolidasi

Sedang untuk 4 (empat) karung contoh terganggu dari sumuran uji dilakukan pengujian proctor yang terdiri atas :

- Compaction
- OMC

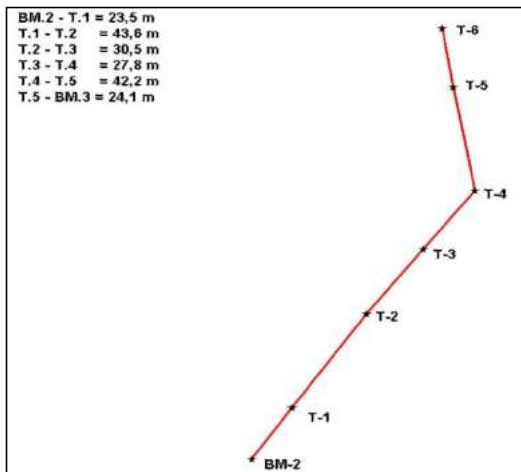
4.3. Perhitungan Teknis Rancangan PLTMH Mangelum

4.3.1. Data Untuk Perhitungan Desain PLTMH

• Data Pengukuran Numerik

Tabel 6. Data Pengukuran Numerik

BM2 - T1	23.5	m
T1 - T2	43.6	m
T2 - T3	30.5	m
T3 - T4	27.8	m
T4 - T5	42.2	m
T5 - BM3	24.1	m
Panjang Pipa Pesat (T1 - BM3)	182.3	m



Gambar 1 Posisi dan jarak Pipa Pesat

BM : Posisi Setting Basin (Saluran pembuangan dari danau air terjun
 T6/BM3 : Posisi Rencana pembuatan power house

• **Posisi Ketinggian dari permukaan laut (m.dpl)**

Tabel 7. Data Pengukuran		
BM2	262	m - dpl
T1	260	m - dpl
T2	244	m - dpl
T3	238	m - dpl
T4	232	m - dpl
T5	214	m - dpl
T6 (BM3)	207	m - dpl

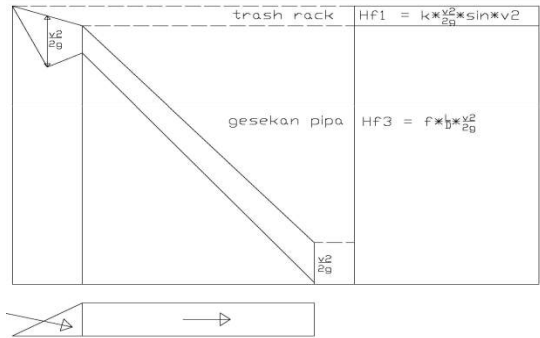
- **Koefisien pada saluran Inlet**, $f_e = 0,5$
- $f_v = 0.1$, direncanakan menggunakan katup kupu-kupu
- **Effisiensi**, $n = 50\%$
- **Head Gross** : $H_g = BM2 - BM3 = 55$ meter

4.3.2 Desain Penstock

Penstock atau pipa pesat adalah pipa yang berfungsi untuk mengalirkan air dari bak penenang menuju ke Rumah Pembangkit. Perencanaan pipa pesat mencakup pemilihan material, diameter dan ketebalan. Desain posisi saringan pada awalan pipa pesat dapat dilihat pada gambar.

4.3.3 Pemilihan material pipa pesat

Pipa pesat bisa menggunakan berbagai macam jenis material biasanya menggunakan logam maupun non-logam (PVC), material pipa pesat yang biasa digunakan pada sistem mikrohidro disajikan dalam tabel 8.



Gambar 3. Garis Energi (EGL) dan Garis Tekanan (HGL)

Tabel 8. Material Pipa Pesat

Material	Young's modulus of elasticity E (N/m ²)E9	linear expansion a (m/m QC)E6	tensile strengthUltimate (N/m ²)E6	n
Welded steel	206	12	400	0.012
Polyethylene	0.55	140	5	0.009
Polyvinyl chloride (PVC)	2.75	54	13	0.009
Asbestos cement	NA	8.1	NA	0.011
Cast iron	78,5	10	140	0.014
Ductile iron	16,7	11	340	0.15

4.3.4 Perancangan Pipa Pesat (penstock)

1) Diameter pipa pesat

Untuk menghitung diameter minimum pipa pesat dapat dihitung dengan persamaan

$$D = \left(\frac{10.3 \times n^2 \times Q^2 \times L}{H} \right)^{0.1875}$$

Dimana:

- Q = debit air (m³/detik)
- n = kekasaran
- L = panjang penstock (m)
- H = head (m)

Dengan data yang telah dikumpulkan yaitu:

- Q = 0.04 m³/detik
- n = 0.012
- L = 182.3 m
- H = 55 m

Dengan menggunakan rumus diatas maka diperoleh diameter pipa pesatnya

$$D = 0,16 \text{ m atau } 16 \text{ cm} = 160 \text{ mm} = 6,4 \text{ in}$$

Kecepatan aliran (V)

$$v = \frac{4Q}{\pi \times D} = 0.318 \text{ m}^2/\text{detik}$$

Dimana :

V = kecepatan air dalam pipa (m/dt)

Q = debit = 0.04 m³/dt

D = diameter pipa = 0.16 m

Gaya tekan air (Po)

$$P_o = \gamma \times H_{\text{eff}} = 1000 \times 55 = 55000 \text{ kg/m}^2$$

Dimana:

$$\gamma = 1000 \text{ kg/m}^3$$

$$H_{\text{eff}} = 55 \text{ m}$$

2) Tebal Dinding Pipa Pesat (tb)

Perhitungan tebal dinding pipa menggunakan persamaan

$$tb = \left(\frac{P_o \times D}{2 \times \varphi \times \sigma} \right) + ts = 0.0021 \text{ m} = 2.10 \text{ mm}$$

Dimana:

P_o = gaya tekan air = 55000 kg/m²

D = diameter pipa = 0.16 m

φ = koefisien sambungan las = 0.8

σ = tegangan ijin pipa baja = 5,000,000 kg/m²

ts = penambahan ketebalan pipa terhadap korosi = 0.001 m

Berdasarkan menurut ASME penentuan tebal pipa dapat dihitung dengan dua cara:

$$t_{\text{min}} = 2.5D + 1.2 \text{ mm} = 2.5 \times 0.16 + 1.2 = 1.6 \text{ mm}$$

$$t_{\text{min}} = (D + 508) / 1400 = (160 + 508) / 1400 = 0.477 \text{ mm}$$

Diambil tebal pipa pesat sebesar 2 mm.

ts = penambahan ketebalan pipa terhadap korosi = 0,001 Dimana ts adalah penambahan ketebalan pipa untuk faktor korosi, K_f adalah faktor pengelasan sebesar 0,9 untuk pengelasan dengan inspeksi x-ray dan 0,8 untuk proses pengelasan biasa tanpa inspeksi. Pendekatan paling sederhana menggunakan rekomendasi ASME untuk tebal pipa pesat minimum dalam satuan milimeter adalah 2,5 kali diameter pipa (m) di tambah 1,2 mm. Jadi tebal minimum pipa pesat (*penstock*) adalah $t_{\text{min}} = 2,5D + 1.2 \text{ mm}$.

Rekomendasi lain adalah $t_{\text{min}} = (D+508)/1400$

3) Head Loss Pada Pipa Pesat

- **Mayor Losses (kehilangan energi primer)**

Kehilangan energi primer adalah kehilangan energi yang disebabkan gesekan didalam pipa.

Di mana:

$$h_f = f \frac{L}{d} \frac{V^2}{2g}$$

dimana:

h_f = kerugian head karena gesekan (m)

f = Koefisien gesekan *Darcy-Weisback*

L = Panjang pipa (m)

d = Diameter pipa (m)

V = Kecepatan Aliran (m²/s)

g = Percepatan gravitasi (m/s²)

$$h_f = f \frac{L}{d} \frac{V^2}{2g} = 0,704 \text{ m}$$

dimana :

$$f = 0.012$$

$$L = 182,3 \text{ m}$$

$$d = 0.016 \text{ m}$$

$$V = 0.318 \text{ m}^2/\text{s}$$

$$g = 9,8 \text{ m/s}^2$$

- **Minor Losses (kehilangan energi primer)**

Selain Kerugian yang disebabkan oleh gesekan, pada suatu jalur pipa juga terjadi kerugian karena kelengkapan pipa seperti belokan, siku, sambungan, katup dan sebagainya yang disebut dengan kerugian kecil (*minor losses*).

Untuk pipa yang panjang ($L/d > 1000$) minor losses dapat diabaikan tanpa kesalahan yang cukup berarti tetapi menjadi penting pada pipa yang pendek

Untuk perancangan ini $L/d = 182,3/0,16 = 1139$

- **Tinggi Netto Turbin**

$$H_{\text{netto}} = H_{\text{statis}} - h_{f \text{ total}}$$

$$H_{\text{netto}} = 55 - 0,704 = 54.295 \text{ m}$$

4.3.4 Tumpuan pipa pesat (saddles support)

Berat pipa per meter (Wp)

$$Wp = \pi \times (Dp + e) \times e \times \rho_{\text{steel}} = 8,000 \text{ kg/m}$$

Dimana:

Dp = diameter pipa = 0.16 m

e = ketebalan pipa = 0.002 m

ρ = berat jenis Plastik = 7860 kg/m³

Berat air per meter pipa (W_w)

$$W_w = \left(\frac{\pi \times D_p^2}{4} \right) \times \rho_{air} = 20,106 \text{ kg/m}$$

Dimana:

- D_p = diameter pipa = 0.16 m
- ρ = berat jenis air = 1000 kg/m³

Jarak maksimum antar Support

$$L = 182.61 \times \left(\frac{(D_p + 0.0147)^2 - D_p^2}{W_p + W_w} \right)^{1/3} = 10,215 \text{ m}$$

Jarak tumpuan tersebut merupakan jarak tumpuan maksimum yang diperhitungkan berdasarkan lendutan yang masih diijinkan. Untuk pelaksanaan di lapangan dapat diambil panjang antar tumpuan 10,215 m.

4.3.6 Perancangan Turbin

Untuk menentukan dimensi dan ukuran turbin yang akan ditempatkan di *power house* kita terlebih dahulu harus menentukan jenis dari turbin tersebut. Parameter penentuan turbin meliputi penentuan H_{netto} , daya terbangkit, penentuan jenis turbin.

• Efisiensi Sistem

Tabel 4.11 Nilai Efisiensi dari Sistem

Efisiensi	Nilai efisiensi	Nilai yang diambil
$E_{\text{turbin pelton}}$	0,70 ~ 0,95	0.90
$E_{\text{generator}}$	0,80 ~ 0,95	0.84
$E_{\text{transmisi mekanik}}$	V belt = 0,95-0,97, Flat Belt = 0,98, Transmisi Langsung = 1	1
Total Efisiensi, η		0.756

1) Daya Terbangkitkan

$$P_t = H_n \cdot Q \cdot g \cdot \eta = 54,295 \times 0,040 \times 9,8 \times 0,756 = 15 \text{ KW}$$

Dimana:

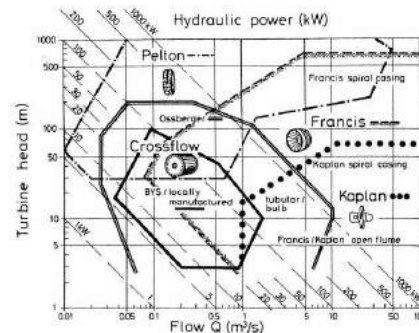
- P_t = Daya terbangkit (KW)
- Q = Debit Air = 0,040 m³/s
- H_n = Tinggi terjun bersih (m) = 54,295 m
- η = Efisiensi = 0,756
- g = Gaya gravitasi bumi (m/s²) = 9.8 m/s²

2) Pemilihan Turbin

Parameternya meliputi penentuan tipe turbin, mencari spesifikasi turbin, menentukan jenis turbin.

a) Tipe Turbin

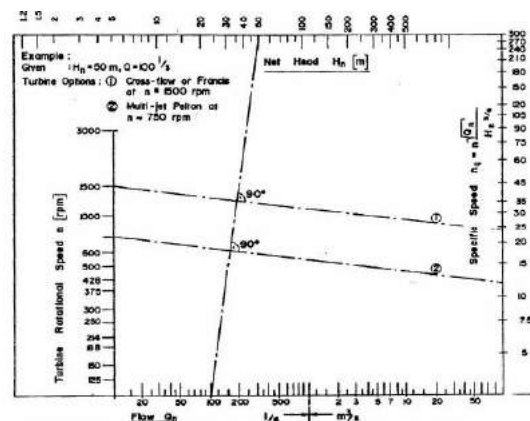
Dengan data yang telah diukur dan yang telah dihitung yaitu debit air $Q = \text{Debit Air} = 0,040 \text{ m}^3/\text{s}$ dan $H_{net} = 54.295 \text{ m}$, maka dengan menggunakan penentuan jenis turbin dari entec maka turbin yang dipilih adalah Turbin Pelton



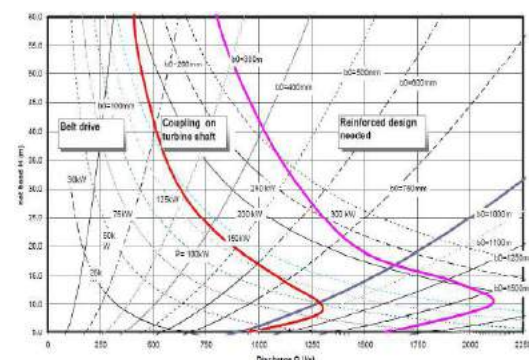
pt Consulting and Engineering

Gambar 4.4 Grafik Penentuan Jenis Turbin (Flow dan H_{netto})

Untuk penentuan jenis turbin (Gambar 4.4), putaran turbin (Gambar 4.5) dan juga sambungan turbin dengan generator (Gambar 4.6) menggunakan grafik keluaran PT. Entec Indonesia (*Consulting and Engineering*)



Gambar 4.5 Grafik Penentuan Putaran Turbin



Gambar 4.6 Grafik Penentuan Sambungan Generator dan Turbin

b) Mencari Spesifikasi Turbin

Spesifikasi yang dipilih berdasarkan daya yang dibangkitkan yaitu: 15,09 KW.

Type of Turbine : Pelton Turbine
 Daya Terbangkit : 15 KW
 Mechanical Transmission : Direct Coupling
 Generator : 22 kVA
 (Synchronous Generator) 50Hz,
 400/230 V and 1500 RPM

4.3.7 Pemilihan Generator

Nilai putaran turbin berhubungan dengan putaran sesuai spesifikasi generator yang diinginkan. Parameter yang ditinjau dalam menentukan jenis generator meliputi *gear ratio* dan jumlah kutub magnetik generator.

Tabel 4.12 Tabel Generator

No	Description	Synchronous	Symbol	Value	Unit
5.1	Type :	Brushless, Self Excited with AVR fitted			
5.2	Enclosure :				
5.3	Insulation :	Class H			
5.4	Rating power			22	kVA
5.5	Power factor		Pt	0.8	
5.6	Voltage star connection/delta		V	380/220	V
5.7	Frequence		f	50	Hz
5.8	Speed		n	1500	rpm
5.9	Phase			3	

4.3.8 Control System

Tabel 4.13 Control System

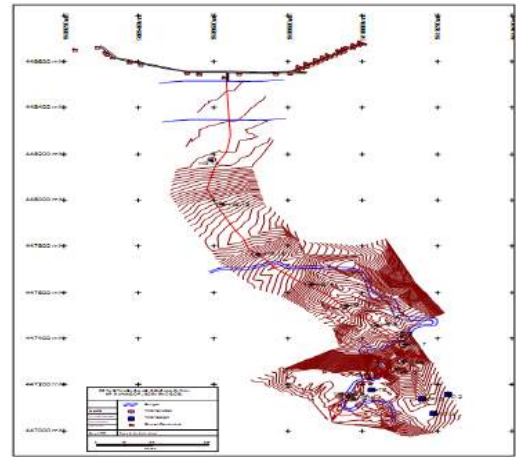
No	Description	Symbol	Coeff	Value
6.1	Controller : Digital load controller locally made			
6.2	Rating power		18	KW
6.3	Safety : emergency			
6.4	Ballast Load		22	KW

4.3.9 Penghitungan Produksi Listrik.

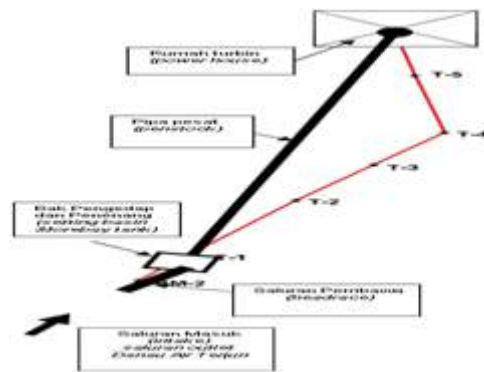
Daya Listrik Yang Dihasilkan, $P_{net} = g \times H_{gross} \times Q \times \eta = 15,09 \text{ KW}$

Panjang jaringan : 1.8 km sistem tegangan Rendah 220 V

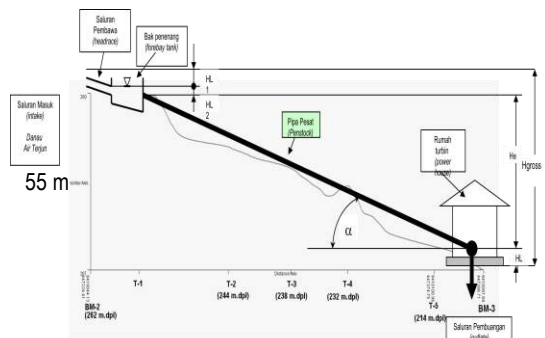
Jumlah konsumen: 70 rumah dan 4 sarana umum dan ibadah.



Gambar 4.7 Peta Situasi PLTMH Mangelum



Gambar 4.8 Rencana Instalasi PLTMH Mangelum



Gambar 4.9 Rencana Instalasi dari Forebay (T1) ke Power House (BM3)

4.3.10 Teknik Bangunan Sipil

Fasilitas utama bangunan sipil PLTMH MANGELUM terdiri dari bendungan / Dam dilengkapi segala aksesorisnya, bangunan penyadap (Intake), saluran pembawa dan kantong penenang (forebay). Pipa start tube ataupun penstock, rumah pembangkit (power house).

BM2	262	m - dpl
T1	260	m - dpl
T2	244	m - dpl
T3	238	m - dpl
T4	232	m - dpl
T5	214	m - dpl
T6 (BM3)	207	m - dpl

a. Bendung / Dam

Fungsi utama dari bendung / dam pada pekerjaan ini adalah untuk meninggikan Muka Air serta mengarahkan aliran air sungai pada bangunan Turbin, agar supaya :

1. Debit minimum dapat disadap seluruhnya
2. Elevasi muka air di tinggikan untuk mendapatkan tambahan tinggi energi / tinggi jatuh pada bangunan turbin .

Type bendung di pilih diantara 2 jenis yaitu :

- Bendung dengan penyadap pada mercu (Tyrolliam)
- Bendung biasa dengan penyadap terpisah

Dalam pemilihan bendung ini yang paling sesuai di tentukan oleh factor hidrolika geologi dan teknik pelaksanaan serta faktor ekonomi.

Pertimbangan dalam rencana

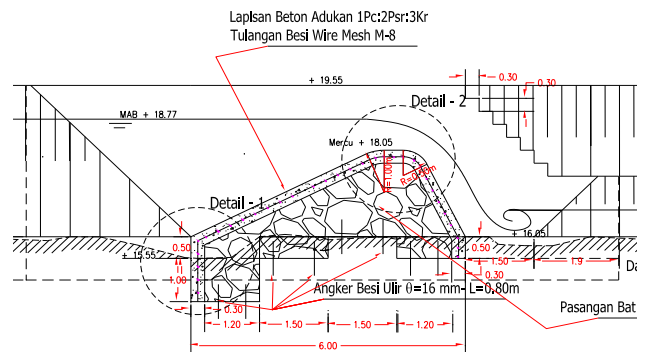
- 1) Elevasi bendung harus ditentukan sama tinggi daerah ambang atas lobang penyadapan teoritis, tinggi bendung dari dasar sungai ditetapkan dengan memperhatikan letak lantai bangunan Turbin, hingga diperoleh tinggi jatuh yang maksimal.

Untuk perlindungan terhadap pengikisan dasar sungai (dasar sungai bukan bantuan) maka dibelakang dan muka bendung perlu dibuat lantai/ koporan yang memenuhi syarat-syarat sbb :

- Tebal lantai : Minimum 30 cm
- Lebar lantai : 2 m untuk tinggi bendung max 1 m
- Tinggi mercu 2-3 m bagian 1 dan 1-2 m bagian 2

- 2) Untuk mencegah bahaya piping dari pondasi, maka bagian muka bendung harus ditutup dengan lantai pasangan batu kali dengan adukan 1:2, panjang lantai harus diperhitungkan sesuai dengan jenis pondasi.

Semua type bendung harus dilengkapi system pengurusan endapan. Untuk Bendung PLTMH Mangelum dirancang menggunakan bendung permanen dari pasang batu kali adukan 1 Pc : 3Psr, mercu dilapisi beton bertulang adukan 1 Pc : 2 Psr : 3 Kr tebal 20 cm dengan tulangan dari besi Wirmesh M-8.



Gambar 4.10 Desain Bendung/Dam

b. Pintu Intake Bendung.

Fungsi sadp merupakan jalan masuk air yang berasal dari sungai agar masuk kesaluran pembawa atau bak penenang. Pintu Intake harus direncanakan agar supaya debit minimum dapat disadap seluruhnya disamping itu harus dapat dicegah masuknya bahan bahan padat kedalam saluran. Untuk PLTMH Mangelum dipilih pintu sadap dari Type Pintu Ulir Stang Tunggal, dengan lebar pintu 1,00 meter. Rumus yang digunakan untuk menentukan beberapa besar debit air yang melalui pintu adalah :

$$Q = u.b.a.m. (2gz)^{0.5}$$

Q = debit air masuk (m³/s)
 b = lebar pintu intake (m)
 a = tinggi bukaan (m)
 m = koefisien debit (= 0.8, pengambilan tenggelam)
 g = gaya grafitasi (9.81)
 z = Kehilangan tinggi energi pada bukaan (m)

Pertimbangan dalam perencanaan

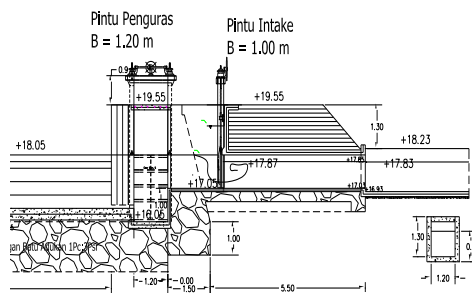
- 1) Untuk mencegah kenaikan muka air yang tinggi didalam saluran pembawa pada waktu sungai banjir, maka Pintu Intake harus dilengkapi dengan skat dari beton bertulang sebagai pembatas masuknya air intake
- 2) Elevasi ambang atas lobang sadap harus terletak maksimum 5 cm diatas elevasi muka air pada debit minimum (MAR – muka air rendah)

- 3) Elevasi lantai dasar Pintu Intake harus ditentukan minimum 0.5 m diatas lantai dasar bendung
- 4) Penguras untuk menghindarkannya masuknya bahan padat/ endapan
- 5) Perbandingan tinggi dan lebar lobang sadap sedapat mungkin memenuhi syarat
- 6) Kecepatan air masuk dilobang sadap tidak boleh diambil kurang dari 1.5 m/det

Untuk menutup bagian Pintu Intake dalam keadaan darurat dan waktu diadakan perbaikan-perbaikan pada pintu, harus dilengkapi dengan skat / spanning. Penempatan skat balok harus mempertimbangkan ruang kerja antara kedudukan balok sekat dengan daun pintu.

Konstruksi Intake PLTMH MANGELUM

Rencana debit air	= 0.040 m ³ /dt
Type intake	= Pintu Ulir Stang Tunggal
Lebar Pintu	= 1 meter
Dimensi lubang Intake	= 0,8 m x 0.50 m
Nilai z	= 0.20 m
Diperoleh tinggi bukaan	a = 0,78 m



Gambar 4.11 Desain Intake PLTMH Mangelum

c. Saluran Pembawa (Head Race)

Fungsi dan type Saluran Pembawa :

Saluran pembawa adalah jalan air dari Intake Bendung sehingga air dapat mengalir pada bak pengendap. Saluran harus merupakan saluran dengan aliran bebas. Apabila melalui medan dimana bahaya longsor akan menimbulkan kerugian yang besar maka saluran dapat dibuat tertutup sedangkan apabila tidak ada bahaya maka saluran dapat dibiarkan terbuka.

Pertimbangan dalam Perencanaan

- 1) Bentuk penampang saluran pembawa dipilih antara trapezium dan empat

persegi panjang atau lingkaran (siphon) sesuai dengan keadaan geologi dan topografi setempat. Pada jenis tanah yang cukup sulit di gali dengan tenaga manusia. Maupun ada medanyang terjal bentuk penampang ditentukan empat persegi panjang. Pada jenis tanah yang cukup mudah digali dengantenaga manusia maupun medan yang landai penampang ditentukan trapezium.

- 2) Lereng-lereng yang terjal dikiri-kanan saluran akibat penggali atau penimbun harus dibuat sesuai dengan kondisi tanah tersebut. Lapisan penutup di perlukan pada saluran yang melalui tanah lempung dan pasir untuk mencegah rembesan dinding saluran erosi. Untuk memudahkan control dan pemeliharaan, disepanjang saluran perlu dibuat berm dengan lebar minimum 1.0m
- 3) Pada saluran yang memakai lapisan penutup. Maka dibawah saluran harus panjang saluran pembuang air. Untuk mencegah air melimpah melewati dinding saluran, maka saluran harus dilengkapi dengan bangunan pelimpah. Letak bangunan pelimpah dapat dipilih pada sepanjang jalur saluran
- 4) Panjang bangunan pelimpah harus ditentukan, sedemikian sehingga kenaikan air dalam saluran tidak lebih dari setengah tinggi jagaan(freeboard)

Rumus-rumus yang dipakai untuk menentukan dimensi saluran :

$$Q \text{ (m}^3\text{/s)} = F.V$$

F = luas penampang basah saluran

V = kecepatan aliran air

Menentukan kecepatan aliran adalah :

V = kecepatan aliran air (m/s)

R = Jari jari hidrolis

I = kemiringan saluran (m/m)

Menentukan jari jari hidrolis (R) adalah :

R = F/O

F = luas penampang basahsaluran

O = keliling basah saluran

Pada saluran terbuka diatas tinggi basah saluran harus ada freeboard sekitar 30% dari tinggi dinding

Konstruksi saluran pembawa PLTMH MANGELUM

Panjang saluran = 200 m

Kapasitas penampung = 0.040 m³/s

Jenis saluran	= Saluran pemasangan beton
Type saluran	= persegi, lebar 0.5 meter, tinggi 0,8 meter.
Bahan	= Beton 1:2:3 tebal 15 cm, tulangan Besi Wiremesh M-6
Angka kekasaran stikler	= 60

Perhitungan teknis :

Lebar saluran b	= 0.50 m, tinggi air h = 0.79 m
F (luas penampang basah)	= 0.395 m ²
O (keliling penampang basah)	= 2,08 m
R (jari jari hidrolis)	= 0.26 m

d. Bak penenang (forebay)

Fungsi bak penenang adalah untuk :

- Meredam energi aliran dari saluran pembawa hingga tenang.
- Menampung sedimen yang terbawa dan membuang kelebihan air.
- Pemasok air kedalam turbin
- Meredam water hammer

Pertimbangan dalam perencanaan : Bak penenang sekurang kurangnya dilengkapi dengan bagian-bagian kontruksi sebaga berikut :

- Bangunan pelimpah
- Kantung endapan.
- Pintu penguras
- Pintu pengatur
- Saringan sampah (*Trashrack*)
- Tinggi tenggelam penstock

Apabila tidak di fungsikan sebagai kolam pengendap (*Sand Trap*), maka ukuran bak penenang diperhitungkan dengan mempertimbangkan tinggai tenggelam penstock saja.

Tinggi tenggelam pipa di hitung dengan rumus :

Apabila sumbu pipa sejajar arah aliran
 $S = 0.54 \cdot V \cdot D^{0.5}$ (m)

Apabila sumbu pipa tegak lurus arah aliran
 $S = 0.72 \cdot V \cdot D^{0.5}$ (m)

Untuk PLTMH Mangelum, direncanakan kolam penenang/kantong sedimen berukuran sebagai berikut :

Panjang	= 6 m
Lebar	= 2 m
Tinggi	= 1 m

e. Penstock

Fungsi penstock adalah mengalirkan air dari bak penenang untuk mensupply kebutuhan turbin dan penstock ini berfungsi sebagai pipa tekanan dimana daya tekan (*pressure head*) inilah yang dijadikan acuan untuk daya pembangkit.

Meskipun beberapa tipe jenis penstocktelah banyak dekenal dan dpergunakan tetapi yang lebih sesuai pada PLTMH adalah jenis plat baja roll(welded roller steel) dan cocok untuk semua diameter dan tinggi jatuh.

Namun pemakaian material lain seperti PVC, asbes dan beton dapat dipertimbangkan pada kondisi-kondisi tertentu. Pertimbangan dalam Perencanaan

1. Apabila diperhitungkan penampang diameter penstock yang ternyata tidak terdapat didalam pasaran bebas, maka diameter yang dipilih hendaknya mendekati ukuran pipa yang dapat di beli dipasaran bebas. Hal ini berlaku pula untuk ketebalan pipa
2. Penstock harus di perhitungkan kuat memikul tekanan sebesar 1.5 kali tekanan total yang mungkin terjadi didalam pipa (termasuk surge)
3. Pada semua belokan arah vertical dan belokan arah horizontal di pasang angker block untuk mengatasi gaya yang timbul akibat tekanan aliran

Beban yang bekerja pada penstock adalah :

- Beban vertical
- Berat sendiri pipa
- Berat air didalam pipa
- Gempa beban horizontal

Beban yang bekerja sejajar sumbu memanjang pipa

- Gaya akibat gesekan antara air dengan pipa (friction force)
- Gaya-gaya pada belokan
- Gaya akibat perubahan temperature sambungan muai (expansion joint) diperlukan untuk meluruskan gerakan terutama pemuaian dan pengerutan pipa akibat perubahab temperature

Diameter penampang basah pipa draftube cukup menggunakan diameter ekonomis

(De). Untuk menghitung De, maka kecepatan air didalam pipa harus diambil :

$$v = \frac{4Q}{\pi \times D} = 0.318 \text{ m}^2/\text{detik}$$

Dimana: V = kecepatan air dalam pipa (m/dt)
 Q = debit = 0.04 m³/dt
 D = diameter pipa = 0.16 m

Diperoleh dengan mencari biaya ekonomis dengan pertimbangan sebagai berikut :

- Diameter bertambah, menyebabkan biaya bertambah tetapi sebaliknya akan memperbaiki kehilangan tinggi jatuh (head losses)
- Memperkecil diameter, menyebabkan biaya berkurang, tetapi menambah head losses perlu diingat bahwa reduksi head losses akan menimbulkan biaya tambahan

PLTMH Mangelum akan mempergunakan penstock dari jenis Roller Welded steel dengan spesifikasi :

Untuk menyesuaikan dengan ukuran pipa yang ada di pasaran, maka di rencanakan penstock dengan ukuran **diameter 0.16 m**, untuk sistem joint dengan memakai flange dan baut sehingga kecepatan air menjadi 1.95 m/s dan itu akan mengurangi losses karena gesekan dinding

f. Rumah Pembangkit & Saluran Pembuang

Komponen bangunan ini terdiri bagian-bagian utama:

- Pondasi peralatan elektro-mekanik
- Saluran pembuang
- Rumah pembangkit

Perencanaan bagian ini harus di kordinasikan sepenuhnya dengan tata letak peralatan elektro-mekanik yang akan dipasang. Fungsi rumah pembangkit adalah : untuk melindungi peralatan elektro-mekanik untuk menyediakan ruang guna pelaksanaan pemasangan dan pemeliharaan, serta ruang bagi alat-alat kontrol.

Pertimbangan dalam perencanaan

- Pondasi rumah pembangkit harus kuat memikul semua beban mati dan beban hidup termasuk gempa yang mungkin terjadi

- Semua peralatan yang saling berhubungan secara konstruktis misalnya turbin, generator harus diletakan diatas satu pondasi untuk menghindari perbedaan penurunan (Differential settlement)
- Pondasi mesin berupa blok dibuat dari blok beton bertulang atau pemasangan batu kali
- Blok harus dapat meredam getaran
- Struktur harus awet terhadap cuaca
- Saluran pembuang harus mampu mengalirkan semua debit yang keluar dari turbin

Permukaan air disalurkan pembuang pada saat turbin tidak beroperasi harus terletak paling sedikit 10 cm diatas mulut draft tube. Untuk tujuan ini ujung saluran pembuang harus dilengkapi dengan konstruksi peninggi air, berupa mercu.

4.3.11 Fasilitas Mekanikal dan Elektrikal

Perangkat elektro-mekanik system PLTMH merupakan produk rekayasa dalam negeri. Komponen utama perlengkapan ini terdiri dari :

- Turbin
- System transmisi mekanik
- Generator
- System control beban ELC/DLC
- Ballast load

a) Pemilihan Jenis Turbin

Pemilihan jenis turbin didasarkan pada debit rencana, tinggi hidrolis netto dan jumlah unit yang dipasang. Dengan referensi data dari lokasi rencana, maka dapat dipilih jenis turbin yang sesuai terutama untuk turbin-turbin mikro yaitu jenis turbin implus (Pelton Crossflow, turgo) dan turbin reaksi (Propeler, prancis, PAT) untuk tinggi hidrolis > 50 m sering di gunakan turbin type pelton, untuk tinggi hidrolis rendah (antara 4 m sampai 6 m) disarankan memakai jenis propeller, sedangkan untuk tinggi hidrolis menengah(antara 6 m sampai dengan 50 m) crossflow, tinggi (30 m – 100 m) dapat dipakai jenis **pelton**.

1) Types

Faktor-faktor yang menetapkan kelayakan pemakaian jenis turbin tersebut antara lain :

- Biaya investasi keseluruhan untuk peralatan turbin, transmisi kecepatan, jenis pengaturan daya dan biaya pekerja sipil
- Efisiensi yang dapat dicapai baik pada beban sebagian dan beban penuh
- Ketersediaan turbin standar yang ada
- Operasi dan pemeliharaan

Untuk PLTMH Mangelum, turbin yang sesuai di terapkan adalah turbin yang bekerja pada head 55 m digunakan turbin jenis **Pelton** .

2) Perletakan turbin

Turbin-turbin aksi (Cross flow, Pelton) turbin diletakan secara positif (diatas sluran pembuang) untuk menghindari gesekan dengan air sehingga pada turbin air ini akan ada kerugian head sebesar letak poros turbin, terhadap saluran pembuang.

Untuk turbin reaksi (propeller) tidak terjadi kerugian head seperti pada turbin aksi, karena adanya draft tube yang merupakan satu kesatuan (bagian) dari turbin tersebut. Masalah lain dihadapi dari perletakan turbin reaksi adalah kavitasi.

Dari segi pembuatan, untuk memudahkan dan menekan biaya pembuatannya disarankan untuk :

- Sedapat mungkin tidak memakai proses cor
- Diusahakan memakai plat-plat yang bisa dilas
- Sedehankan bentuk-bentuk konstruksi, namun harus diingat pengaruh terhadap penurunan efisiensi
- Usahakan pemakaian bahan-bahan peralatan tersedia di pasaran, antara lain : pipa penstock, bearing, coupling, dll

Untuk mengatasi kesulitan pada permasalahan dapat dipakai turbin-turbin standar. Tiap turbin mempunyai rentang pemakaian (H, Q, P) namun diingat bahwa pemakaian turbin standar yang selalu jauh dari data Kampungannya akan memberikan pengorbanan efisiensi.

b) Pemilihan Generator

Dianjurkan untuk memakai generator yang ada di pasaran, misalnya 1000 rpm atau 1500 rpm. Putaran yang lebih rendah akan

meringankan pemilihan transmisi kecepatan yang diperlukan. Kapasitas generator sama atau lebih besar dari pada kapasitas yang bias dibangkitkan turbin. Untuk kapasitas kecil dapat dipakai generator AC. Untuk generator AC pada dasarnya ada 2 (dua) jenis yang dapat dipakai untuk pembangkit tenaga listrik yaitu generator tak serempak (induksi) dengan konstruksi sangkar (Cage rotor) dan generator derempak (sinkron)

Pemilihan jenis generator yang akan digunakan juga didasarkan pada karakteristik sebagai berikut :

- Tegangan kerja generator
- Kapasitas pembangkit
- Kemungkinan unit kerja paralel
- Kesederhanaan konstruksi
- Generator dengan standar produksi

A. Generator Asinkron/Induksi

Untuk menjadikan mesin asinkron/induksi bekerja sebagai generator pembangkit listrik haruslah dipenuhi beberapa persyaratan sebagai berikut :

- mesin harus diputar kira-kira 1.03 xNs
- mesin harus mendapat pasok arus induktif untuk membangkitkan tegangan eksitasi
- arus tersebut dapat di pasok oleh suatu kapasitor atau dapat juga di paralel dengan jaringan

Dari persyaratan tersebut diatas dapat disimpulkan bahwa pemakaian generator induksi pada PLTMH. Untuk kapasitas diatas kVA tidak ideal, selain tidak ekonomis juga system pengaturannya sulit rumit. Tetapi untuk pembangkit lebih kecil dari 20 kVA dengan beban hanya penerangan saja ($\cos \phi = 1$) maka penggunaan generator induksi ini cukup menguntungkan, tidak menggunakan governor dan AVR

B. Generator Sinkron

Jenis generator ini adalah yang lazim digunakan pada saat ini untuk membangkitkan tenaga listrik AC untuk skala besar maupun kecil dengan pola operasinya dapat terpisah atau paralel dengan jaringan distribusi.

Pemilihan generator ini harus didasarkan pada konstruksi dan system yang sederhana,

dimana pengaturan tegangan eksitasinya dapat dikontrol dan diatur oleh suatu AVR (Automatic Voltage regulator) secara konstan.

Keuntungan lain dari pemilihan jenis generator dinkron berkutub dalam dengan penguat sendiri (self exciter) adalah

- Sumber eksitasinya menggunakan generator arus bolak-balik yang dihubungkan satu poros dengan generator utama
- Arus bola-balik yang ditimbulkan oleh generator penguat diubah menjadi arus searah melalui rotating rectifier
- Tidak menggunakan slipring atau sikat
- Respon penguat lebih cepat
- Dapat diandalkan

Untuk PLTMH Mangelum bisa memakai generator jenis synchronous rating power 22 kVA per unit, phase 50 Hz dengan class insulation H RPM 1.500, enclousur IP22 NEMA pada ambient temperature 125° C.

Tabel 4.14 Standar rated speeds and number of poles for synchronous

No. of poles	50 hz	60 Hz
4	1500	1800
6	1000	1200
8	750	900
10	600	720
12	500	600
14	429	514
16	375	450
18	333	400
20	300	360
24	250	300

4. Pemilihan Sistem pengatur

Sisitem pengaturan berfungsi untuk mengatur agar putaran turbin(rpm) relative tetap konstan untuk berbagai pembukaan beban. Pada dasarnya ada 2 (dua) sisitem pengaturan yang dapat dipakai untuk PLTMH yaitu :

- Sistem pengaturan beban (load controller)
- Sistem pengaturan air (governor)

Untuk kapasitas kecil < 22 KVA dapat dipakai :

- Generator induksi dengan system pengaturan beban (load controller)
- Pengaturan air manual
- Pengaturan air otomatis sederhana

Untuk kapasitas > 22 KVA dapat di pakai:

- Menggunakan generator sinkron dengan pengaturan system elektronik *regulator governon, energy absorber* dari *brake* atau *resistance*
- Menggunakan generator sinkron dengan pengaturan system hidrolis penuh
- Menggunakan generator sinkron dengan pengaturan sisitem electric hirolis

Untuk turbin crossflow, melihat karakteristiknya dianjurkan memakai system pengaturan load controller agar efesiensi turbin tetap maksimum dan operasi turbin dapat stabil. Untuk PLMTH Mangelum bisa memakai kontrol jenis Digita Load Control (DLCI)/Electronic Load Control (ELC) rating power 18 KW, 3 phase 220 V/50Hz dan dilengkapi dengan shutdown sisitem, Emergency warning set, ove and under protection dan standars lightning protection dan Balast Load 22 KW.

Untuk mengetahui besaran yang timbulkan oleh generator, dilengkapi dengan instrument ukur menunjukan besaran ukuran yang di perlukan yaitu :

- Pengaturan arus beban (A)
- Pengukuran tegangan (V)
- Pengaturan perputaran/frekuensi (Hz)
- Pengaturan daya yang dikeluarkan (kW)
- Pengaturan daya yang dikeluarkan / per jam (kWH)
- Pengukuran jumlah jam kerja unit mesin

ELC ini di lengkapi juga dengan system pengaman, sistem pengaman tersebut adalah :

- Pengaman arus lebih
- Pengaman tegangan lebih
- Pengaman frekuensi rendah
- Pengaman hubungan tanah
- Pengaman daya balik bila kerja paralel

5. Transmisi kecepatan

Untuk turbin-turbin mikro, putaran turbin biasanya lebih rendah dari putaran generator yang ada dipasaran, sehingga di perlukan kecepatan untuk menyerepakan putaran turbin dengan putaran generator. Macam-macam transmisi yang dapat dipakai antara lain :

- Roda gigi
- V belt / flat belt
- Rantai dan sebagainya
- Transmisi Langsung (*Direct Coupling*)

Pertimbangan-pertimbangan pemilihan macam transmisi tersebut antara lain :

1. Harga 1 (ratio kecepatan) yang dapat dicapai
2. Lay out generator terhadap turbin
3. Kecepatan maksimum

PLTMH Mangelum akan mempergunakan sistem transmisi dengan *Direct Coupling* yang diteruskan ke poros generator.

6. Penyusutan Tata Letak Peralatan Elektro Mekanik

Beberapa hal yang perlu dalam penetapan tata letak peralatan elektro-mekanik adalah sebagai berikut :

1. Dimensi-dimensi dari bagian-bagian peralatan utama Elektro mekanik seperti turbin, tranmisi kecepatan, generator, trnsfomator, panel, governor dan sebagainya
2. Syarat-syarat dari bagian-bagian utama peralatan tersebut misalnya :
 - a. Letak turbin terhadap saluran pembuang, peralatan listrik seperti generator, dan lain-lain yang tidak kedap air atau keamanan kemungkinan banjir.
 - b. Letak antara peralatan kendali (governor) dan pengaman, dan panel untuk memudahkan operasi
3. Tata letak untuk menghemat ruangan dan jumlah ralatan

4.3.12 Fasilitas Jaringan Distribusi

Bedasarkan survey prioritas penggunaan energy listrik, kebutuhan energy listrik yang harus di siapkan adalah untuk 70 rumah dan 4 sarana umum dan ibadah, sedangkan kebutuhan listrik per rumah secara ideal sekitar 110 watt dengan pembagian 60 watt untuk penerangan dan 50 watt untuk keperluan lainnya.

Tabel 4.15 Parameter kebutuhan listrik per rumah tangga di Kampung Banyangop

Tegangan system	: 220 volt
Pembatas arus	: 0,5 Amp
Kapasitas listrik tersambung	: 220 V x 0,5 Amp = 110 watt
Pengguna	: 3 x 20 watt = 60 watt
Penerangan 4 titik	lainnya = 50 watt
lampu @ 20 watt	Jumlah = 110 watt
Peralatan elektronik	

1. Beban Maksimum konsumen

Beban maksimum atau beban puncak adalah beban maksimum yang sebenarnya mungkin akan tercapai selama pengusahaan instalasi tersebut. Bedasarkan beban maksimum inilah ditentukan dimensi komponen instalasi tersebut seperti :

- Besarnya kawat hantaran
- Besarnya daya transformator yang hendak di pasang
- Besarnya unit pembangkit yang hendak di pasang
- Besarnya dimensi komponen jaringan
- Penyetelan alat pengaman

Besarnya beban maksimum dapat di prediksi dengan rumus :

$$P_{\max} = PA.a.g$$

Dimana:

- P_{\max} = Beban tertinggi/puncak yang mungkin tercapai
- PA = nilai daya terpasang
- A = a.g = factor daya guna
- g = factor kebersamaan (coincidence factor)
- a = derajat daya guna (demand factor)

Nilai a dapat berkisar antara 0,6 s/d 0.8

Nilai a dabat berkisar antara 0,8 s/d 1

Menurut parameter kebutuhan listrik per rumah tangga dan estimasi kebutuhan energy listrik Kampung Mangelum maksimumnya adalah 8,14 KW (table 4.15 dan 4.16) dengan nilai a.g =0,8 maka beban puncaknya yang akan terjadi adalah 6,512 KW pada rentang waktu operasi harian.

2. Pemilihan jalur distribusi

Lokasi pendukung harus di pilih pada tempat tempat dimana :

- Mudah untuk akses perawatan
- Kondisi tanah kuat dan stabil
- Tidak ada masalah dalam penggunaan lahan
- Tidak ada masalah pada jarak dengan rumah/ pohonyang di lalu
- Jalur distribusi harus paling pendek
- Hindari memasang tiang pada dasar jurang
- Untuk tegangan rendah ketinggian konduktor dari muka tanah harus lebih dari 4m
- Untuk tegangan menengah (20 KV) ketinggian konduktor dari muka tanah harus lebih dari 6.5 m.

3. Fasilitas Distribusi

Struktur pendukung distribusi listrik adalah:

- a. Tiang
- b. Konduktor
- c. Aksesori tiang : isolator tumpu, stooping buckle, tap connector, stainless steel, fuse cut off, dll
- d. Sambungan rumah : MCB, consumer MCB box, twistic cable, tap connector.

4. Tinggi tiang

Tinggi tiang harus ditentukan dengan memperhitungkan faktor - faktor :

- a. Ketinggian yang diperlukan untuk konduktor feeder (penyulang) di atas tanah dapat diamankan di bawah lendutan terbesar.
 - b. Jarak bebas yang diperlukan antara konduktor feeder dan bangunan, kawat listrik lain atau pepohonan dapat diamankan (jarak bebas di bawah lendutan maksimum harus di uji)
 - c. Rekomendasi kedalaman minimum pemasangan tiang adalah satu per enam dari panjang tiang
- Untuk tiang tinggi 7 m, maka harus ditanam $7 \times \frac{1}{6} = 1 \text{ m}$

6. KESIMPULAN

Hasil yang didapatkan dari studi kelayakan PLTMH Mangelum di kampung Bayangop Distrik Mangelum Kabupaten Boven Digoel adalah sebagai berikut:

- Dari hasil simulasi beberapa kapasitas turbin, didapatkan hasil terbaik kapasitas terpasang sebesar **15 KW** dengan konfigurasi turbin 1 x 15 KW dan keyakinan **terpasang 50.6 %**.
- Dengan asumsi kebutuhan listrik untuk satu rumah mencapai 450 watt maka dengan nilai kapasitas tersebut, PLTMH Tetap dapat melayani sekitar 70 rumah, 4 sarana umum.
- Penstock menggunakan material steel pipe dengan diameter 0,16 m.
- Jenis turbin yang digunakan adalah Pelton.

7. PUSTAKA

- [1] **Febijanto, Irham**, *Journal, Kajian Teknis dan Keekonomian Pembangkit Tenaga Mikrohidro*, Jakarta 2011.
- [2] **Multi Kreasi, Cipta**, *Studi Potensi Listrik Alternatif di Pedesaan Sebagai Upaya Dalam Menanggulangi Percepatan Diversifikasi Energi di Provinsi NAD*, Jakarta 2011.
- [3] **PNPM Mandiri**, *Buku Panduan Energi Terbarukan*, Jakarta 2011.
- [4] **PNPM Mandiri**, *Manual Pelatihan Teknologi Energi Terbarukan*, Jakarta 2012.

PENULIS

- 1) **Ir. Bambang Sunarwan, MT**. Staf Dosen Program Studi Teknik Geologi, Fakultas Teknik – Universitas Pakuan Bogor.
- 2) **Ir. Riyadi Juhana**, Staf Dosen Fakultas Teknik, Universitas Suryakencana Cianjur, rjoehana@gmail.com