

## ABSTRAKSI

FIFI ANDRIYANI AGUSTIN, Jurusan Teknik pengairan, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Maret 2007, *Kajian Ketenagalistrikan Pada DAM Kalimaron Desa Seloliman Kabupaten Mojokerto*, Dosen Pembimbing : DR. Ir. Rispiningtati, M. Eng dan Ir.Endang Purwati, MP.

Lokasi Dam Kalimaron terletak di Desa Seloliman Kecamatan Trawas Kabupaten Mojokerto tepatnya di sebelah barat lereng Gunung Penanggungan. Proyek pembangunan PLTMH ini pada awalnya dibangun atas inisiatif PPLH Seloliman dan Yayasan Mandiri. Sumber Pendanaan utama diperoleh dari Pemerintah Jerman melalui GTZ. Kemudian yang pengelolaannya diserahkan kepada Paguyuban Kalimaron (PKM) Seloliman. PLTMH ini dibangun dengan memanfaatkan aliran sungai Kalimaron untuk digunakan sebagai pembangkit listrik guna menyediakan kebutuhan Listrik di PPLH (Pusat Pendidikan Lingkungan Hidup) dan dusun yang tidak dilalui jaringan listrik PLN.

Berkaitan dengan Optimalisasi PLTMH Kalimaron, Paguyuban PLTM Kalimaron dalam mengelola usaha cukup meyakinkan, mengingat secara teknis telah memiliki pengalaman mengelola PLTMH tersebut selama lebih kurang 13 tahun. Pengelolaan usaha komersial dapat diperkirakan tidak menghadapi kendala yang berarti, karena Paguyuban Kalimaron (PKM) Seloliman telah terbiasa melakukan kegiatan usaha sosial dan komersial.

Produktifitas PLTMH Kalimaron sangat dipengaruhi oleh keandalan sistem dan cuaca. Keandalan sistem dapat dikatakan tidak terdapat gangguan yang sangat berarti, disamping alat-alat yang teruji dengan baik, serta masa operasi selama 13 tahun selama ini tidak dijumpai permasalahan dalam peralatan tersebut.

Dalam memproduksi energi listrik bagi pembangkit tenaga air sangat dipengaruhi ketersediaan debit air yang akan menggerakkan turbin. Pada iklim dimana curah hujan tinggi maka akan dicapai produksi pada kapasitas maksimum. Sebaliknya pada iklim dimana curah hujan sangat rendah maka kapasitas akan menurun. Berdasarkan masukan yang dilaporkan masyarakat dan perhitungan data curah hujan maka dapat dikatakan ketersediaan air Kalimaron sangat stabil sepanjang tahun.

Proyek pembangunan PLTMH Kalimaron didasarkan atas beberapa tinjauan yang terpenting, yaitu meliputi tinjauan teknis dan ekonomis, sehingga pembangunan PLTMH Kalimaron bisa berkelanjutan dan dapat menjadi contoh bagi daerah lain/daerah-daerah terpencil yang tidak terjangkau jaringan listrik PLN.

Tinjauan secara teknis dan ekonomis meliputi sebagai berikut : analisis penentuan debit pembangkit optimum dan tampungan efektif yang optimal, analisis penentuan tinggi jatuh efektif, analisis struktur jaringan pembangkit PLTMH Kalimaron, analisis Ekonomi yang membandingkan fungsi benefit dan fungsi cost dengan suatu metode yang ada.

Dengan adanya tinggi jatuh air efektif ( $H_{\text{eff}}$ ) dan adanya debit yang cukup yang dimiliki oleh sungai Kalimaron sehingga sungai Kalimaron dapat digunakan sebagai debit pembangkit mikrohidro tanpa harus mengganggu pola dan kegunaan jaringan irigasi yang sudah ada sebelumnya.

Adapun metode analisis yang digunakan adalah Metode Storage Draft Curve atau Kurva Massa Reduksi untuk menentukan besarnya debit pembangkitan dan tampungan efektif yang optimal. Dalam kajian ini diambil satu titik yang optimal dengan ketentuan secara teknis tampungan yang ada masih terpenuhi. Kemudian dari

hasil perhitungan ini dan dengan perhitungan tinggi jatuh efektif serta struktur jaringan pembangkit PLTMH ini sehingga dapat digunakan untuk menghitung besarnya biaya tahunan dan keuntungan tahunan serta perbandingan antara keuntungan dan biaya per tahunnya (Benefit Cost Ratio).

Berdasarkan analisis yang telah dilakukan diketahui bahwa PLTMH Kalimantan ini menghasilkan jumlah daya yang melebihi kebutuhan listrik bagi PPLH dan dusun sempur maupun dusun Janjing. Sehingga berdasarkan KEPMEN ESDM No. 1122K/30/MEM/2002 tanggal 12 Juni 2002, adalah suatu ketentuan yang dikeluarkan oleh Menteri Energi dan Sumberdaya Mineral yang mewajibkan PLN membeli listrik yang dibangkitkan oleh Sumber energi terbarukan yang dimiliki oleh UKM atau Koperasi. Jadi berdasarkan ketentuan tersebut PLN harus membeli listrik yang diusahakan oleh Koperasi atau UKM seperti pada PLTMH Seloliman tersebut.

Berdasarkan ketentuan tersebut diatas, maka Pembangkit Skala kecil (PSK) tersebar harus menjual kelebihan listriknya kepada Pemerintah atau dalam hal ini adalah PLN. Pemanfaatan fasilitas PSK tersebar pada PLTMH Kalimantan akan menjadi acuan untuk beberapa hal sebagai berikut : Terciptanya pembangunan ekonomi di Desa Seloliman yang berbasis pelestarian lingkungan hidup serta peningkatan kesejahteraan masyarakat, meningkatkan pendapatan masyarakat setempat (tumbuhnya perekonomian di pedesaan), memberi peluang bagi Pemda dan masyarakat setempat untuk mengembangkan sumberdaya ekonomi disektor tenaga listrik yang bersumber dari kekayaan alam setempat, PLTMH Kalimantan dapat menjadi percontohan bagi daerah lain untuk membuat pembangkit listrik skala kecil sendiri, karena penguasaan teknologinya yang relatif mudah serta mudah dan murah pengoperasian dan perawatannya. Dari sisi sosio-ekonomi dapat dioperasikan oleh masyarakat desa atau lembaga lokal.

Kata Kunci : Desa terpencil, aliran air, beda tinggi, mikro-hidro, teknologi, turbin, generator.

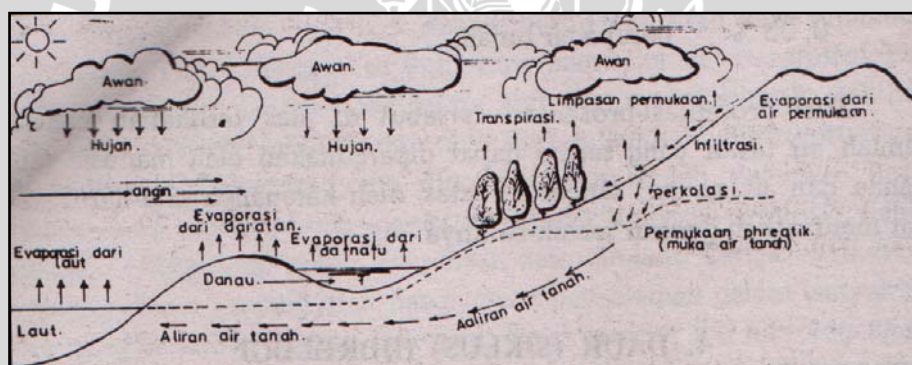


## BAB I PENDAHULUAN

### 1.1. Umum

Air merupakan salah satu kebutuhan utama makhluk hidup. Kebutuhan akan air diperkirakan akan terus meningkat seiring dengan naiknya tingkat kebutuhan yang disebabkan oleh peningkatan jumlah penduduk dari tahun ke tahun.

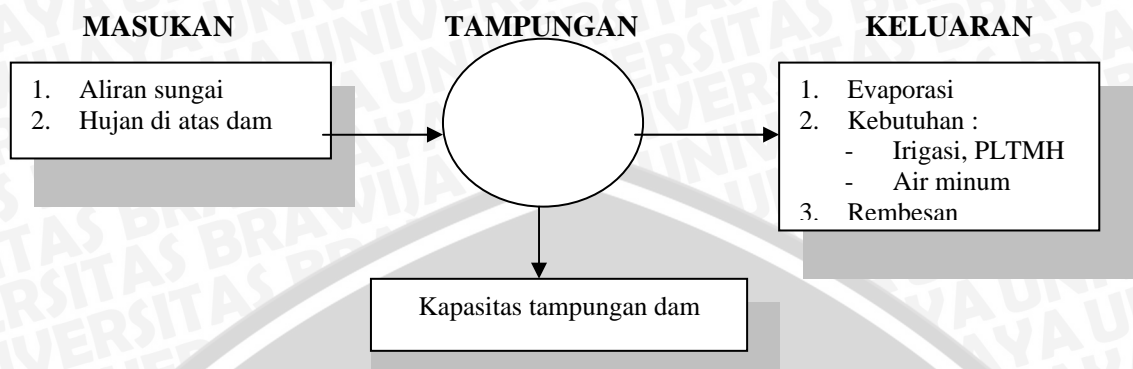
Dari daur ulang hidrologi, terlihat bahwa air yang terdapat di bumi ini jumlahnya tetap, sehingga apabila dimanfaatkan dengan baik, maka kebutuhan air dapat terpenuhi. Akan tetapi karena distribusi yang tidak merata sepanjang tahun, maka kebutuhan tersebut tidak dapat terpenuhi pada saat yang diperlukan, terutama pada musim kemarau. Sedangkan pada musim hujan, jumlah air yang tersedia dapat berlebih. Ketidakmerataan ini menimbulkan kesenjangan antara kelebihan air pada musim hujan dan kekurangan air pada musim kemarau.



Gambar 1.1.  
Proses Daur hidrologi

Dengan mengingat dan mempertimbangkan keterbatasan akan ketersediaan air seperti tersebut di atas, maka perlu dilakukan usaha-usaha dan pemanfaatan sumber daya air yang ada dengan seefektif dan seefisien mungkin. Dengan usaha-usaha ini, diharapkan agar air dapat dimanfaatkan secara berkesinambungan bagi hidup dan kehidupan manusia serta alam lingkungan termasuk segala aspek dan kegiatannya. Untuk dapat melaksanakan semua ini, diperlukan sarana yang salah satu diantaranya adalah pembangunan dam. Dengan adanya pembangunan dam, maka kelebihan air pada musim penghujan dapat ditampung, yang nantinya akan dimanfaatkan selama musim kemarau.

Secara garis besar proses pemanfaatan air pada dam dapat dilihat pada gambar 1.2 di bawah ini :



Gambar 1.2.  
Proses pemanfaatan air di dam

### 1.2. Latar Belakang Masalah

Kebijakan Pemerintah dalam pembangunan yang menitik beratkan pada sektor industri, maka mengakibatkan kebutuhan akan listrik meningkat. Dalam waktu jangka panjang proyek-proyek yang menggunakan tenaga alam misalnya tenaga panas bumi, tenaga air (PLTA) ataupun Pembangkit listrik tenaga air berskala kecil mikro hidro (PLTMH) masih perlu dibangun.

Pembangkit listrik tenaga air mikro hidro pada dasarnya dibangun dalam rangka program listrik masuk desa (LISDES) dengan pemanfaatan sumber tenaga air. Proyek pembangunan ini terutama diarahkan untuk daerah-daerah terpencil yang tidak terjangkau jaringan PLN (Mumpuni Sri : 2001)

Pusat listrik tenaga air mikro hidro (PLTMH) adalah seluruh bangunan dan instalasi yang dibangun untuk memanfaatkan energi potensial air menjadi energi listrik. Dimana cara kerja dari PLTMH secara sederhana adalah air dalam jumlah tertentu yang dijatuhkan dari ketinggian tertentu menggerakkan kincir yang ada pada mesin PLTMH, kemudian putaran turbin tersebut digunakan untuk menggerakkan generator (dynamo penghasil listrik) untuk menghasilkan listrik. Listrik yang dihasilkan dialirkan melalui kabel ke rumah-rumah (Bapangsamirana : 2001). Atau dengan kata lain PLTMH adalah pembangkit listrik berskala kecil dengan kapasitas kurang dari 100 kW. (O.F.Patty, 1995 : 35).

Agar suatu dam untuk PLTMH dapat dibangun, maka disamping harus layak secara teknis juga layak secara ekonomis.



Pusat listrik tenaga air mikro hidro (PLTMH) Kalimaron sebagai objek kajian ini dilakukan dengan memanfaatkan aliran air dari anak-anak sungai atau dari saluran irigasi sungai Kalimaron. Aliran sungai Kalimaron ini selain berfungsi sebagai PLTMH untuk sumber listrik bagi salah satu dusun di Desa Seloliman dan Pusat Pendidikan Lingkungan Hidup (PPLH) juga sekaligus berfungsi untuk irigasi.

### 1.3. Batasan Masalah

Adapun pembatasan masalah dalam kajian ini adalah sebagai berikut:

1. Penentuan debit pembangkit dan tampungan efektif didapat dengan metode kurva massa reduksi, dengan tanpa memperhitungkan keandalan dari dam.
2. Analisa diameter saluran tertanam bagian atas dan pipa pesat berdasarkan prinsip perhitungan diameter ekonomis.
3. Penentuan kenaikan muka air di dalam surge tank ditentukan dengan rumus pendekatan C.H. Jacger.
4. Besarnya energi tahunan yang diperhitungkan didasarkan besarnya energi yang dihasilkan oleh debit pembangkit maksimum.
5. Tidak membahas besarnya tampungan dam sebagai pengendali banjir serta analisis stabilitas.

### 1.4. Rumusan Masalah

Mempertimbangkan bahwa daerah tersebut sangat potensi dengan adanya sumber air dan topografi yang memungkinkan untuk tersedianya air, maka dapat dirumuskan bentuk permasalahan sebagai berikut :

1. Berapakah besarnya debit pembangkit?
2. Berapakah kapasitas tampungan Dam Kalimaron?
3. Berapakah daya/ energi yang dihasilkan Dam kalimaron yang digunakan sebagai pembangkitan listrik?
4. Berapakah besarnya analisa biaya dan ekonomi dari pembangunan PLTM?
5. Berapakah besarnya benefit cost ratio (BCR) dari DAM Kalimaron ?

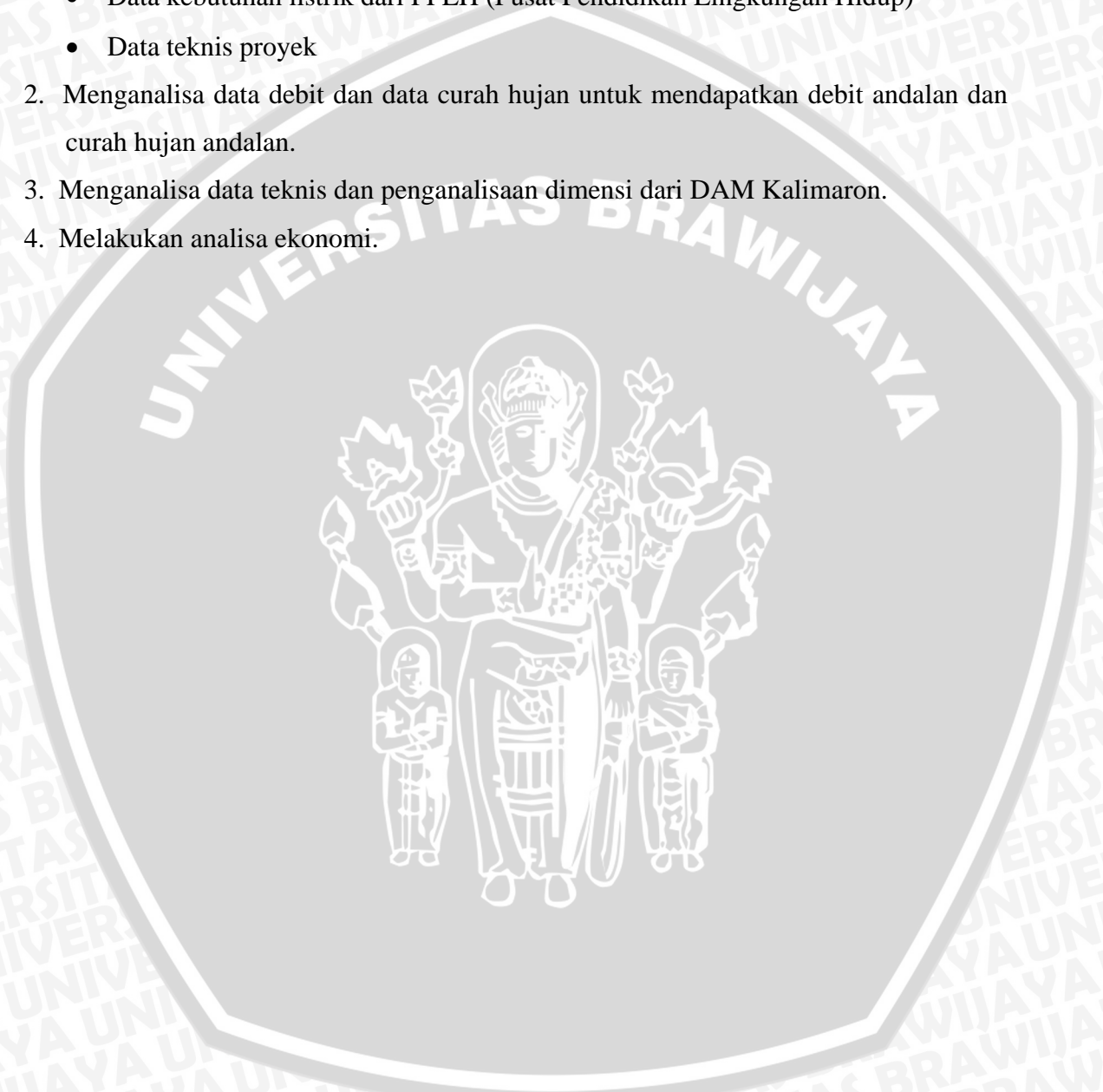
### 1.5. Maksud dan Tujuan Kajian

Secara garis besar maksud kajian ini untuk menganalisis besarnya energi yang dapat dihasilkan oleh PLTM serta melakukan analisis ekonomi, dengan tujuan untuk mengetahui tingkat pengembangan sumber daya air untuk PLTM.

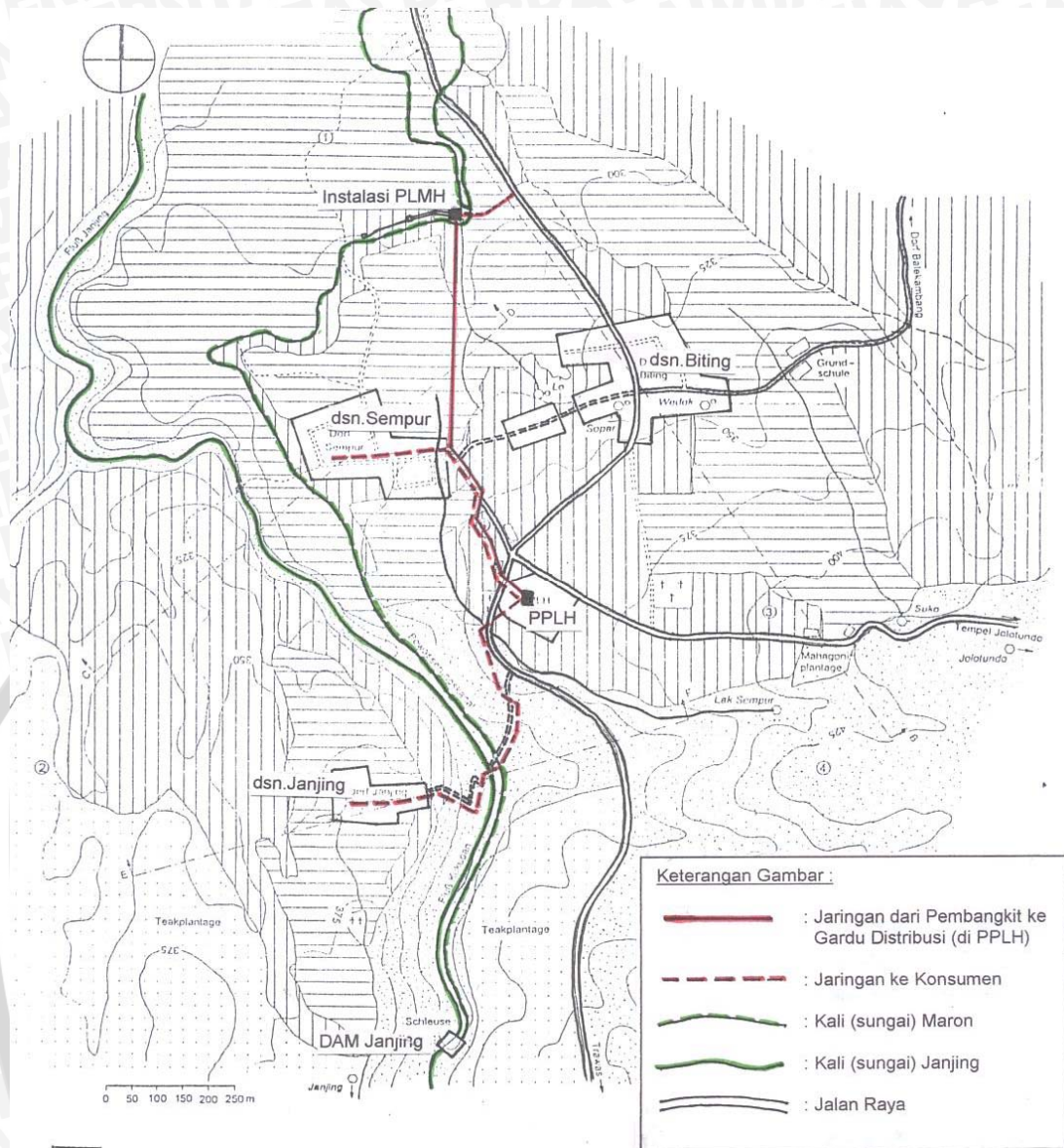
### 1.6. Metode Pembahasan

Dari data-data yang tersedia, maka metode pembahasan yang akan dilakukan dalam melakukan studi ini adalah sebagai berikut :

1. Mengumpulkan data-data yaitu :
  - Data hidrologi
  - Data kebutuhan listrik dari PPLH (Pusat Pendidikan Lingkungan Hidup)
  - Data teknis proyek
2. Menganalisa data debit dan data curah hujan untuk mendapatkan debit andalan dan curah hujan andalan.
3. Menganalisa data teknis dan penganalisaan dimensi dari DAM Kalimantan.
4. Melakukan analisa ekonomi.

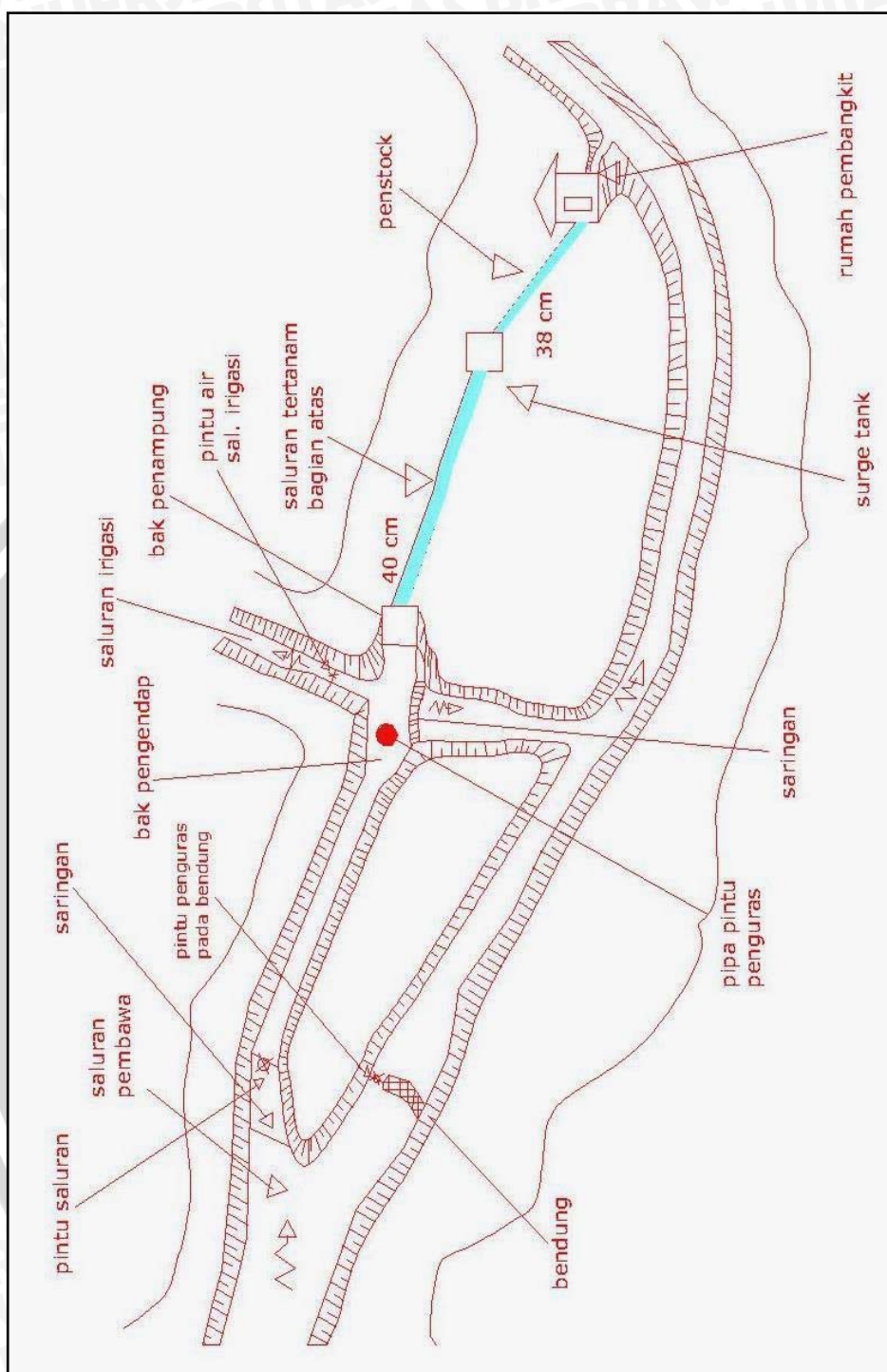






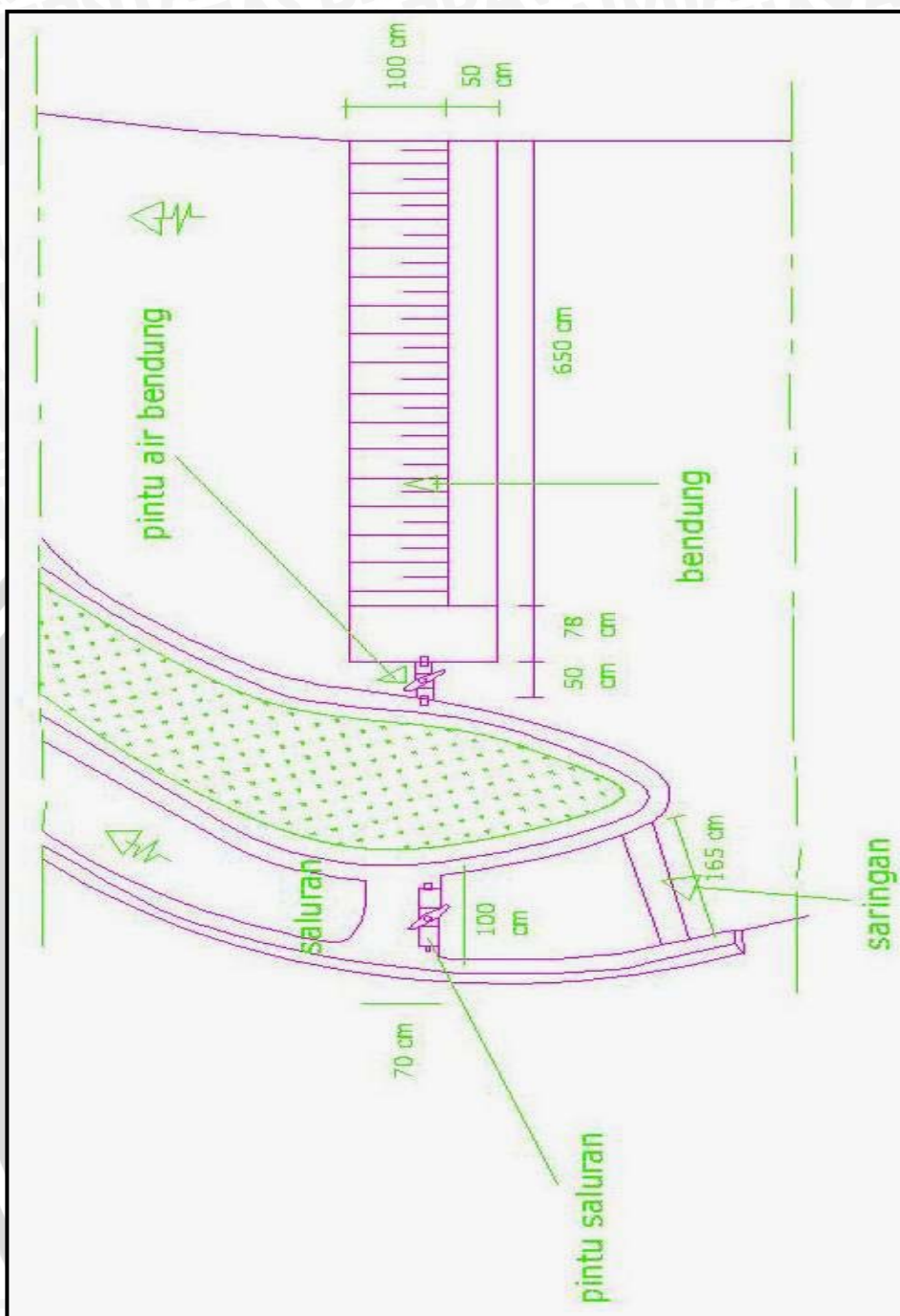
(sumber : PPLH Seloliman, Mojokerto)

Gambar 1.3  
Jaringan Pembangkit Mikro PLTMH



Gambar 1.4  
Lay Out PLTMH Kalimaron





Gambar 1.5  
Layout Intake PLTMH Kalimaron



(sumber : Pemerintah Kabupaten Mojokerto)

Gambar 1.6  
Gambar lokasi PPLH Seloliman Kabupaten Mojokerto



**BAB II**  
**KAJIAN PUSTAKA**

**2.1 Curah Hujan Rancangan**

Yang dimaksud dengan curah hujan rancangan adalah curah hujan terbesar yang mungkin terjadi dalam suatu daerah pada kala ulang tertentu, yang dipakai sebagai dasar untuk perhitungan ukuran suatu bangunan.

2.1.1. Perhitungan curah hujan rancangan dengan Log Pearson Type III

Parameter-parameter statistik yang diperlukan oleh distribusi Log Pearson Type III adalah (Soemarto CD, 1987 : 243) :

- Harga rata-rata
- Standard Deviasi (Sd)
- Koefisien kepengcengan (Skewness)

Tahapan untuk menghitung curah hujan rancangan metode Log Pearson Tipe III adalah sebagai berikut :

- a) Mengubah data curah hujan harian maksimum ke dalam bentuk logaritma.
- b) Menghitung harga logaritma rata- rata.

$$\overline{\log R} = \frac{\sum \log R_i}{n} \dots\dots\dots(2.1)$$

- c) Menghitung harga simpangan baku

$$S = \frac{\{ \sum (\log R_i - \overline{\log R})^2 \}^{1/2}}{\{ n - 1 \}} \dots\dots\dots(2.2)$$

- d) Menghitung harga koefisien kemiringan

$$Cs = \frac{n \sum (\log R_i - \overline{\log R})^3}{(n-1)(n-2) S^3} \dots\dots\dots(2.3)$$

- e) Menghitung curah hujan rancangan

$$\overline{\log R} = \log R + KS \dots\dots\dots(2.4)$$

- f) Menghitung antilog dari logaritma Rt untuk mendapatkan curah hujan rancangan.



dimana :

- Ri = curah hujan rancangan
- $\overline{\text{Log R}}$  = rata – rata logaritma dari hujan maksimum tahunan
- S = simpangan baku
- K = konstanta (dapat ditentukan dengan menggunakan tabel nilai koefisien skewness)
- CS = koefisien Skewness

## 2.2. Uji kesesuaian Distribusi Frekwensi

Pemeriksaan uji kesesuaian distribusi bertujuan untuk mengetahui kebenaran dari suatu hipotesis, sehingga diketahui (Soemarto, C.D, 1993:15):

- Kebenaran antara hasil pengamatan dengan model distribusi yang diharapkan atau yang didapatkan secara teoritis.
- Kebenaran hipotesis

Untuk mengadakan uji ini terlebih dahulu harus dilakukan plotting data pengamatan pada kertas probabilitas Log Pearson Tipe III dan garis durasi yang sesuai.

Plotting dilakukan dengan tahapan sebagai berikut:

- Data diurutkan dari kecil ke besar.
- Hitung peluang dengan persamaan weibull:  $P = \frac{m}{N+1} \times 100 \%$
- Plot hubungan data hujan dengan peluangnya.
- Plot persamaan  $\log R_t = \text{Log } X_1 = K S_1$  dengan memasukkan dua buah harga K, sehingga dapat ditarik garis durasi.

### A. Uji Chi Square.

Uji ini dimaksudkan untuk menentukan apakah persamaan distribusi peluang yang telah dipilih dapat mewakili dari distribusi statistik sampel data dapat mewakili dari distribusi statistic sampel data yang dianalisis. Uji ini dapat dihitung dengan rumus (Soewarno, 1995:194-195)

$$X_h^2 = \sum_{i=1}^G \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i} \dots\dots\dots(2.5)$$

dimana:

$X_h^2$  = parameter Chi square terhitung





$O_i$  = jumlah nilai pengamatan

$E_i$  = jumlah nilai teoritis

Adapun tahapan-tahapan untuk menghitung uji ini adalah:

1. Urutkan data pengamatan (dari kekebalan besar atau sebaliknya)
2. Kelompokkan data menjadi G sub-Group, tiap-tiap sub-group minimal 4 data pengamatan.
3. Jumlahkan data pengamatan sebesar  $O_i$ , tiap-tiap sub group.
4. Jumlahkan data dari persamaan distribusi yang digunakan sebesar  $E_i$
5. Tiap-tiap sub group hitung nilai:

$$\frac{(O_i - E_i)^2}{E_i} \text{ dan } \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i} \dots \dots \dots (2.6)$$

6. Jumlah seluruh G sub group nilai  $\frac{(O_i - E_i)^2}{E_i}$  untuk menentukan nilai

Chi square hitung.

7. Tentukan derajat kebebasan  $dk = G - R - 1$

Apabila peluang lebih dari 5% maka persamaan dapat diterima, apabila peluang lebih kecil dari 1% maka persamaan tidak dapat diterima, dan apabila peluang berada diantara 1-5% maka tidak mungkin mengambil keputusan dan perlu adanya penambahan data.

#### B. Uji Kecocokan Smirnov-Kolmogorov

Uji kecocokan Smirnov- Kolmogorov sering juga disebut Uji Kecocokan Non Parametrik (*Non Parametrik Test*), Karena pengujian tidak menggunakan fungsi distribusi tertentu.

Adapun tahapan dalam pengujian ini adalah (Soewarno, 1995: 198-199) :

1. Urutkan data dari (dari kecil kekebalan besar atau sebaliknya) dan tentukan besarnya peluang dari masing-masing data.
2. Tentukan nilai masing-masing peluang teoritis dari hasil penggambaran data (persamaan distribusinya):
3. Dari kedua nilai peluang tersebut tentukanlah selisih terbesarnya antara peluang pengamatan dengan peluang teoritisnya.

$$D = \text{maksimum} [ P(X_m) - P'(X_m) ]$$

4. Berdasarkan tabel nilai kritis (*Smirnov- Kolmogorov test*) apabila D lebih besar dari  $D_0$  maka distribusi yang digunakan untuk menentukan persamaan distribusi

dapat diterima, apabila D lebih kecil dari Do maka distribusi teoritis yang digunakan untuk menentukan persamaan distribusi tidak dapat diterima.

### 2.3. Analisis Debit Banjir Rancangan

Debit banjir rancangan adalah debit banjir terbesar tahunan yang mungkin terjadi di suatu daerah dengan kala ulang tertentu.

Sebelum menghitung debit banjir rancangan menggunakan cara hidrograf satuan (unit hidrograf), maka perlu diketahui dahulu distribusi jam-jaman dengan suatu interval tertentu. Asumsi yang diambil lama hujan harian pada daerah kajian terpusat selama 5 jam.

Untuk menghitung distribusi hujan jam-jaman dipakai rumus Dr. Mononobe, rumus yang digunakan sebagai berikut :

$$R_o = R_{24} / t \quad \dots\dots\dots(2.7)$$

$$R_t = R_o (t / T)^{2/3} \quad \dots\dots\dots(2.8)$$

$$RT = t \cdot R_t - (t - 1) \cdot R_{(t-1)} \quad \dots\dots\dots(2.9)$$

dengan :

$R_o$  = hujan rata-rata tiap jam (mm)

$R_{24}$  = curah hujan netto (efektif) dalam satu hari (mm)

$R_t$  = intensitas hujan rata dalam T jam (mm/ jam)

$t$  = waktu konsentrasi hujan (diambil  $\pm 5$  jam)

$RT$  = tinggi curah hujan pada jam ke T (mm)

$T$  = waktu mulai hujan (jam)

#### 2.3.1. Curah hujan efektif.

Hujan efektif adalah bagian hujan total yang menghasilkan limpasan langsung. Limpasan langsung ini terdiri dari limpasan permukaan dan interflow (air yang masuk ke dalam lapisan tipis di bawah permukaan dengan permeabilitas rendah, yang keluar lagi ditempat yang lebih rendah dan berubah menjadi limpasan permukaan).

Dengan menganggap bahwa proses berubahnya hujan menjadi limpasan langsung mengikuti linier dan tidak berubah oleh waktu, maka hujan efektif (netto) dapat dinyatakan sebagai berikut (Soemarto CD, 1987 : 136) :

$$R_n = C \cdot R \quad \dots\dots\dots(2.10)$$

dengan :

$R_n$  = hujan efektif

$C$  = koefisien pengaliran



R = curah hujan rancangan

Adapun besarnya harga koefisien pengaliran tergantung dari kondisi dan karakteristik dari daerah pengaliran dan karakteristik hujan yang jatuh di daerah tersebut. Besarnya harga koefisien pengaliran dapat dilihat pada tabel 2.3.

Tabel 2.3  
Harga Koefisien Pengaliran

<i>Kondisi Daerah Pengaliran</i>	<i>Harga C</i>
<b>Daerah pegunungan yang curam</b>	0,75 - 0,90
<b>Daerah pegunungan tersier</b>	0,70 - 0,80
<b>Tanah bergelombang dan hutan</b>	0,50 - 0,75
<b>Tanah dataran yang ditanami</b>	0,45 - 0,60
<b>Persawahan yang diairi</b>	0,70 - 0,80
<b>Sungai di daerah pegunungan</b>	0,75 - 0,85
<b>Sungai kecil di dataran</b>	0,45 - 1,75
<b>Sungai besar yang lebih dari setengah daerah pengalirannya terdiri dari dataran</b>	0,50 - 0,75

(sumber : Suyono, 1983 : 145)

### 2.3.2. Hidrograf Satuan Sintetis Snyder.

Untuk menentukan hubungan antara debit dan intensitas curah hujan pada daerah aliran sungai dalam kajian ini, dipergunakan metode hidrograf Snyder. Metode ini baik digunakan untuk lokasi-lokasi di sungai yang tidak mempunyai pengamatan data debit (Joesron, 1984 : V-9).

Cara perhitungan dapat digunakan rumus sebagai berikut :

Rumus :

$$tp = Ct \cdot (L \cdot Lc)^n \dots\dots\dots(2.11)$$

$$qp = 275 \cdot Cp / tp \dots\dots\dots(2.12)$$

$$te = tp / 5,5 \dots\dots\dots(2.13)$$

Jika  $te > tR$ , maka :  $tp' = tp + 0,25 (tR - te)$

$$Tp = tp' + 0,5 tR \dots\dots\dots(2.14)$$

Jika  $te < tR$

$$Tp = 0,5 \cdot te \dots\dots\dots(2.15)$$

$$Qp = qp \cdot \frac{1}{1000} \cdot A \dots\dots\dots(2.16)$$

dengan :

$Tp$  = waktu unit hidrograf mulai naik sampai dengan puncaknya (jam).

$Ct, n$  = koefisien – koefisien yang tergantung dari slope basinnya.

$L$  = panjang sungai (km).

$Lc$  = panjang sungai dari titik berat basin outlet (km).

$qp$  = debit maksimum unit hidrograf (  $1 \text{ m}^3 / \text{det} / \text{km}$  ).

$Cp$  = koefisien tergantung dari basin karakteristiknya.

$te$  = lamanya curah hujan efektif.

$tp$  = waktu naik ke puncak.

$tR$  = lamanya hujan efektif = 1 jam.

$Qp$  = debit maksimum total (  $\text{m}^3 / \text{det}$  ).

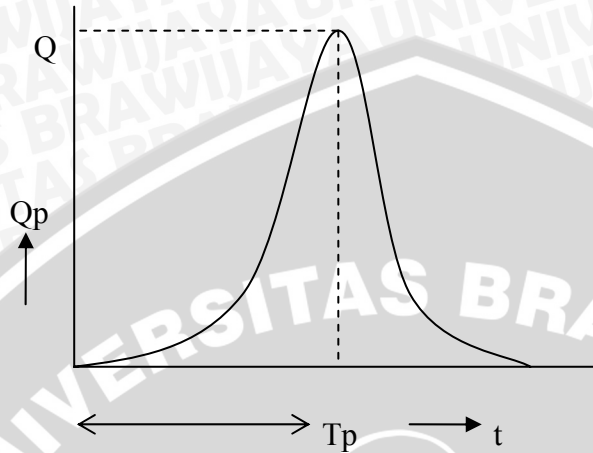
$A$  = luas daerah aliran (  $\text{km}^2$  ).

$H$  = tinggi satuan curah hujan yang digunakan (mm).



Bentuk dari hidrograf satuan ditentukan oleh persamaan “ALEXSEYEV”.

Gambar 2.1  
Bentuk Hidrograf Snyder



$$Q = f(t)$$

$$Y = \frac{Q}{Q_p} \dots\dots\dots(2.17)$$

$$X = \frac{t}{t_p} \dots\dots\dots(2.18)$$

$$y = 10 \text{ pangkat} - a \frac{(1-X)^2}{X} \dots\dots\dots(2.19)$$

$$\lambda = \frac{Q_p \cdot T_p}{W} \dots\dots\dots(2.20)$$

$$W = 1000 \cdot h \cdot A \dots\dots\dots(2.21)$$

$$a = 1,32 \cdot \lambda^2 + 0,15 \lambda + 0,045 \dots\dots\dots(2.22)$$



## 2.4. Penentuan Debit Pembangkit Optimal Dan Tampungan Efektif

Untuk menentukan debit pembangkit yang optimal dan tampungan efektif pada pembangkit listrik tenaga air mikro hidro dengan bentuk dam dalam kajian ini dipakai metode storage draft curve atau kurva massa reduksi.

### 2.4.1. Kurva massa reduksi

Untuk menentukan debit pembangkit yang optimum pada suatu proyek PLTMH dengan bentuk dam, dipakai Metode Kurva Massa Reduksi yang merupakan suatu model simulasi inflow-outflow dengan rumus Kontinuitas sebagai berikut :

$$\frac{ds}{dt} = I - O \quad \dots\dots\dots(2.23)$$

dengan :

S = tampungan dalam dam ( $m^3$ )

I = inflow kedalam dam ( $m^3 / dt$ )

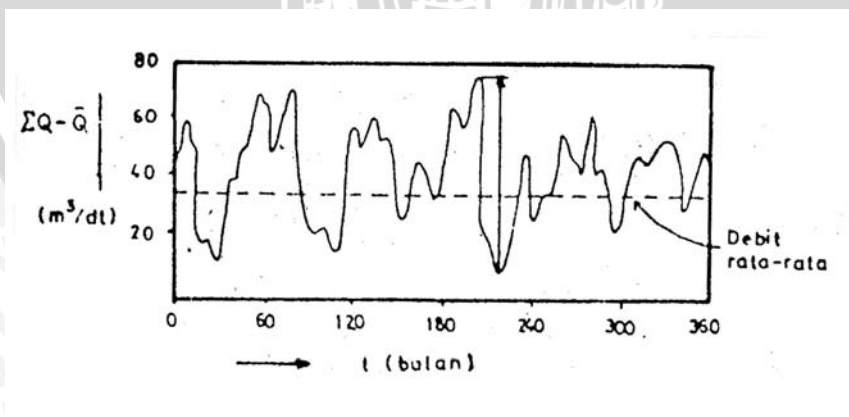
O = outflow dari dam ( $m^3 / dt$ )

Garis besar perhitungan kurva massa reduksi tersebut sebagai berikut :

1. Perhitungan debit rata-rata jangka panjang.
2. Perhitungan akumulasi selisih debit bulanan dengan debit rata-rata bulanan jangka panjang.

$$Y = \sum_{i=1}^n Q_i - \bar{Q} \quad \dots\dots\dots(2.24)$$

Dari hasil perhitungan di atas kemudian dibuat kurva massa reduksi sebagai ilustrasi, lihat gambar 2.2.



Gambar 2.2.

Inflow-Outflow Pada Kurva Massa Reduksi



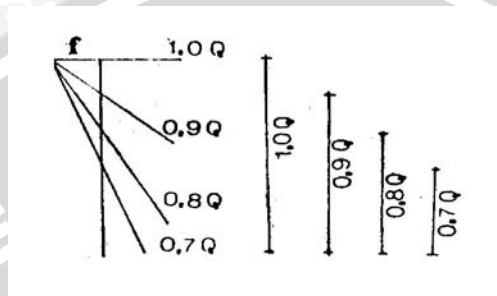
Dari gambar tersebut terdapat gap antara pada musim kering dan musim penghujan, diantara gap tersebut dipilih selisih yang terbesar sebagai awal perhitungan.

3. Mencoba-coba debit outflow.

Debit outflow diperoleh dengan mencoba-coba mengalikan factor draft yang besarnya antara 0,1 sampai 1,0 dengan debit rata-rata.

4. Membuat garis arah outflow

lihat gambar 2.3.



Gambar 2.3.

Garis Arah Outflow

Untuk menentukan harga  $f$  (jarak polar) digunakan rumus (Nemec, 1973 : 279) :

$$f = \frac{M_w}{M_t \cdot M_Q} \dots\dots\dots(2.25)$$

dengan :

$f$  = jarak dari kutub ke titik awal garis arah satuan.

$M_w$  = skala tampungan = (1 cm = 50 m<sup>3</sup>/dt / 1 bulan)

$M_t$  = skala waktu = (1 cm = 10 bulan)

$M_Q$  = skala debit = (1 cm = 50 m<sup>3</sup>/dt)

Kemudian garis arah outflow tersebut digambarkan pada kurva massa reduksi, selanjutnya tampungan setiap debit draft dapat diukur.

5. Perhitungan tampungan efektif dengan probabilitas.

Menurut Linsley (1985 : 174) dalam penentuan tampungan yang cukup diandalkan distribusi nilai extremal Gumbel merupakan distribusi yang tepat untuk tujuan ini.

Persamaan ditribusi tersebut sebagai berikut :

$$X = \mu + \sigma \cdot K \dots\dots\dots(2.26)$$

dengan :

$X$  = tampungan efektif dari debit draft (m<sup>3</sup>)

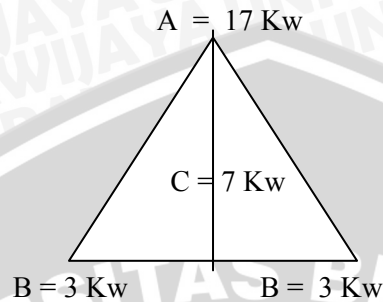
$\mu$  = harga rata-rata dari tampungan pada debit draft (m<sup>3</sup>)

$\sigma$  = standard deviasi dari tampungan pada debit draft (m<sup>3</sup>)

$$K = \text{factor frekwensi}$$

$$= - \frac{6^{1/2}}{\pi} (0,5772 + \ln ( \ln \cdot \frac{\text{Tr} (X)}{\text{Tr} (X) - 1} ) )$$

untuk umur dam 50 tahun,  $k = 2,5923$



Gambar 2.4

Segitiga Beban Harian Pemakaian Listrik Pada PLTMH Kalimaron

keterangan :

A = 17 KW, beban puncak harian yang terdapat pada jam 18.00

B = 3 KW, beban dasar harian yang terdapat pada jam 06.00

C = 7 KW, beban dasar rata-rata tiap harian.

Pada PLTMH Kalimaron ini debit yang digunakan sebagai pembangkitan listrik adalah 305 lt/ detik.

## 2.5. Menganalisa Dimensi Bangunan Pembangkit Listrik.

Dalam menganalisa dimensi dari bangunan pembangkit dari suatu PLTM pada pokoknya tergantung dari besarnya debit pembangkit maksimum dan tinggi jatuh efektif. Adapun bangunan pembangkit listrik yang akan dianalisa adalah pipa pesat/ saluran tertanam bagian atas, tinggi surge tank, pipa pesat.

2.5.1. Penganalisaan diameter pipa pesat/ saluran tertanam bagian atas dan pipa pesat bagian bawah.

Dalam menentukan besarnya diameter pipa pesat/ saluran tertanam bagian atas dan pipa pesat bagian bawah didasarkan pada segi ekonomis. Semakin besar diameter pipa/ saluran semakin besar pula biaya konstruksi, tetapi kehilangan energi semakin kecil. Sebaliknya, semakin kecil diameternya, biaya konstruksi semakin kecil tetapi kehilangan energi semakin besar. Untuk itu perlu diperoleh besarnya diameter yang



seekonomis mungkin, dimana biaya tahunannya minimum dan harga energi yang hilang akibat kehilangan tinggi juga kecil. Sehubungan dengan hal diatas maka yang perlu diperhatikan dalam penentuan diameter yang ekonomis adalah :

1. Biaya tahunan.

$$\text{- Biaya konstruksi tahunan} = \frac{Bk (i + 1)^n \cdot i}{(i + 1)^n - 1} \dots\dots\dots(2.27)$$

- Biaya operasi dan pemeliharaan (Cm)

- 10 % biaya konstruksi tahunan.

Biaya tahunan.

- Biaya konstruksi tahunan + biaya operasi dan pemeliharaan.

dengan :

i = tingkat bunga di bank

n = usia guna proyek

Cm = biaya operasi dan pemeliharaan per tahun

Bk = biaya konstruksi.

2. Biaya kehilangan energi

Faktor yang dipertimbangkan dalam perhitungan adalah :

- Kecepatan air didalam terowongan ( $V = m/ dt$ )

- Tinggi netto.

Besarnya tinggi netto tinggi dinyatakan sebagai fungsi dari tinggi kecepatan.

$$H_n = \frac{K \cdot V^2}{2g} \dots\dots\dots(2.28)$$

dengan :

$H_n = H_{\text{netto}}$  = perbedaan tinggi muka air dikurangi kehilangan tinggi disebabkan gesekan, tikungan dan sebagainya (m)

K = jumlah koefisien kehilangan tinggi

V = kecepatan aliran (m/ dt)

g = percepatan gravitasi (m/ dt<sup>2</sup>)

- Daya yang dihasilkan oleh turbin.

Besarnya daya yang dihasilkan dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$Pe = 9,8 \cdot \eta \cdot Qp \cdot H_n \dots\dots\dots(2.29)$$

dengan :

$P_e$  = daya yang dihasilkan (Kw)

$\eta$  = efisiensi turbin

$Q_p$  = debit pembangkit ( $m^3/ dt$ )

$H_n$  = perbedaan tinggi muka air dikurangi kehilangan tinggi disebabkan gesekan, tikungan dan sebagainya (m)

- Energi yang dihasilkan (E)

Besarnya energi yang dihasilkan/ dikeluarkan selama waktu operasi dihitung dengan persamaan :

$$E = P_e \cdot T \dots\dots\dots(2.30)$$

dengan :

E = energi yang dihasilkan (kWh)

$P_e$  = daya yang dihasilkan, tetapi debit yang digunakan adalah debit rata-rata (Kw)

$$P_e = 9,8 \cdot \eta \cdot Q_{rata-rata} \cdot H_n$$

T = waktu operasi (jam/ hours)

Maka besarnya biaya energi yang dihasilkan (E) didapat dengan mengalikan energi yang dihasilkan dengan harga satuan energi (kurs dollar \$).

### 2.5.2. Surge Tank

Surge Tank direncanakan untuk difungsikan, pertama untuk melindungi pipa pesat/ saluran tertanam bagian atas dari perubahan tekanan air yang berlebihan dengan mengurangi pengaruh pukulan air yang diteruskan ke pipa pesat. Kedua untuk menerima dan menambah air pada waktu perubahan kebutuhan tenaga. Surge tank ini terletak pada akhir pipa pesat/ saluran tertanam bagian atas. Untuk PLTM Kalimaron surge tank yang digunakan adalah surge tank yang berbentuk sederhana.

Dalam perhitungan tinggi kenaikan muka air maksimum yang terjadi di dalam surge tank pada saat penutupan katup. Dalam kajian ini penentuan tinggi kenaikan muka air maksimum di dalam surge tank digunakan persamaan C.h.Jacger. Adapun persamaannya sebagai berikut (Dandekar & Sharma, 1979 : 260) :

$$\frac{Z_{mak}}{Z} = (1 - 2/3 p_o + 1/9 p_o^2) \dots\dots\dots(2.31)$$

dengan :

$Z_{mak}$  = besarnya kenaikan muka air maksimum di dalam tangki

$$P_o = \frac{HL}{Z}$$





HL = besarnya kehilangan tinggi

Z = besarnya kenaikan muka air di tangki tanpa kehilangan tinggi

$$= V (L \cdot A_T / g \cdot A_S)^{1/2}$$

L = panjang saluran tertanam bagian atas

$A_T$  = luas penampang saluran tertanam bagian atas

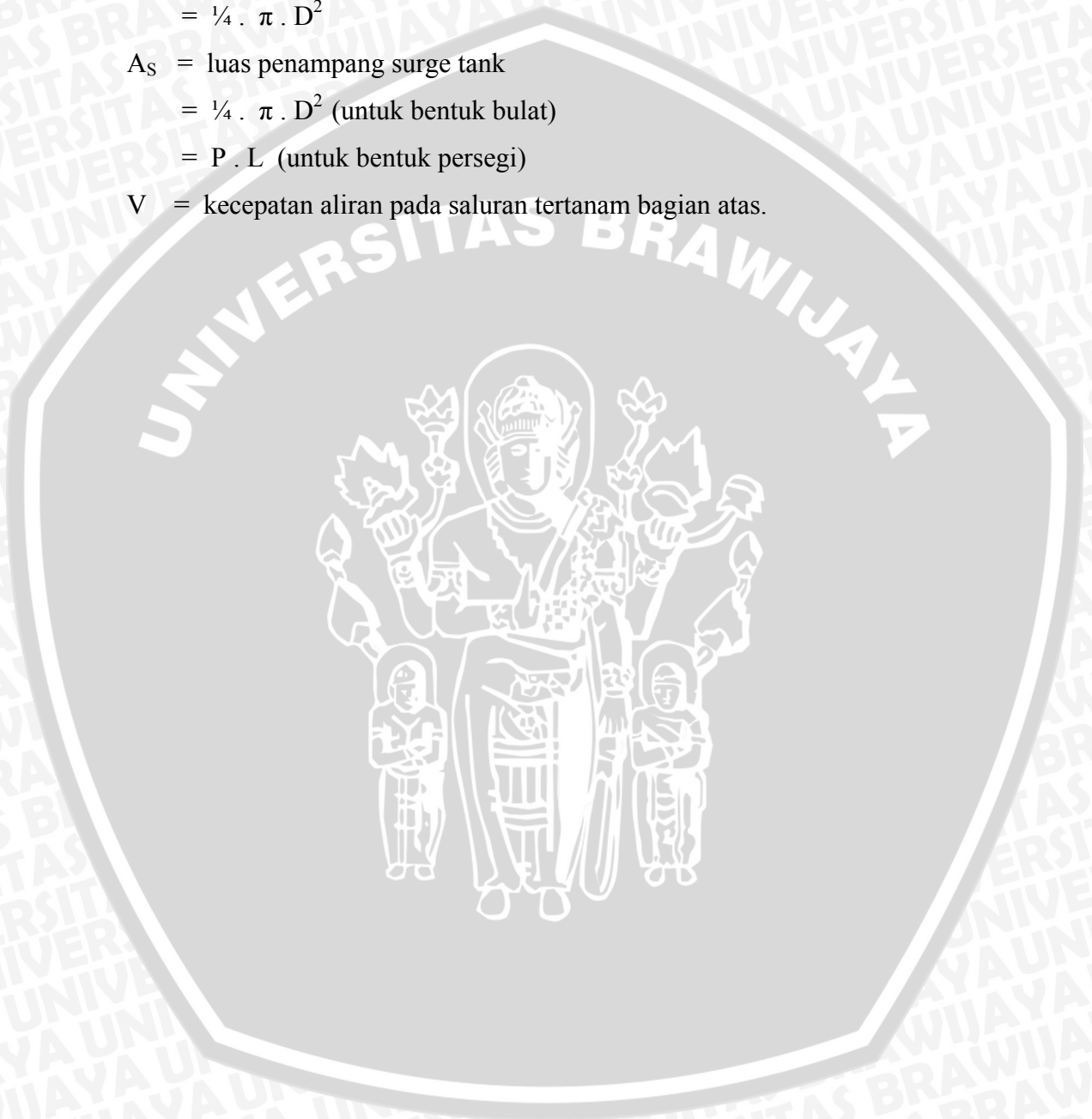
$$= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2$$

$A_S$  = luas penampang surge tank

$$= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \text{ (untuk bentuk bulat)}$$

$$= P \cdot L \text{ (untuk bentuk persegi)}$$

V = kecepatan aliran pada saluran tertanam bagian atas.



## BAB III METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1. Lokasi Daerah Studi

Daerah studi adalah dalam Kabupaten Mojokerto. Kabupaten Mojokerto secara administratif terletak di wilayah Propinsi Jawa Timur. Berada pada ketinggian 167 m dari permukaan air laut. Wilayah Kabupaten Mojokerto termasuk kategori daerah datar (dataran rendah). Lokasi Kabupaten Mojokerto berada di sebelah selatan Garis Khatulistiwa dan kisaran suhunya 24°C – 34°C (suhu rata-rata 29°C)

Desa Seloliman merupakan salah satu desa dari 13 desa yang terdapat di wilayah kecamatan Trawas Kabupaten Mojokerto Jawa Timur. Desa terletak di pinggir hutan lindung gunung penanggungan dan terdiri dari empat dusun yaitu Dusun Sempur, dusun Biting, dusun Balekambang dan dusun Janjing. Di lihat dari kondisi geografis desa yang terletak didaerah pengunungan ini memiliki potensi sumberdaya alam yang sangat besar dari wilayah desa adalah lahan kering ( lebih dari 200 hektar). Di sisi lain hutan lindung gunung penanggungan yang sekaligus membatasi wilayah desa merupakan kawasan hutan yang banyak menghasilkan mata air dalam jumlah relatif besar dan memiliki pemandangan alam banyak menghasilkan daerah petilasan ( wilayah arkeologi).

#### 3.1.1. Batas Administratif

Kecamatan Trawas merupakan salah satu kecamatan dari Kabupaten Mojokerto yang terletak di daerah tengah Propinsi Jawa Timur. Kecamatan Trawas terletak  $\pm 25$  km ke arah Selatan Kota Mojokerto, seperti disajikan pada gambar 1.4.

(Sumber : Pemerintah Kabupaten Mojokerto)

Batas Administratif dan batas geografis Kabupaten Mojokerto adalah :

- ✚ Sebelah Utara : Kabupaten Lamongan
- ✚ Sebelah Timur : Kabupaten Sidoarjo dan Kabupaten Pasuruan
- ✚ Sebelah Selatan : Kabupaten Malang
- ✚ Sebelah Barat : Kabupaten Jombang

Batas Administratif dan batas geografis Kecamatan Seloliman adalah :

- ✚ Sebelah Utara : Kecamatan Ngoro dan Kecamatan Pungging
- ✚ Sebelah Timur : Kabupaten Pasuruan
- ✚ Sebelah Selatan : Kecamatan Pacet dan Kabupaten Pasuruan
- ✚ Sebelah Barat : Kecamatan Pacet



### 3.1.2. Kondisi Topografi dan Morfologi

Kabupaten Mojokerto mempunyai luas wilayah 988,79 Ha yang telah terbagi menjadi 18 kecamatan yaitu Kecamatan DawarBlandong, Kecamatan Kemlagi, Kecamatan Jetis, Kecamatan Gedeg, Kecamatan Sooko, Kecamatan Mojoanyar, Kecamatan Bangsal, Kecamatan Bangsal, Kecamatan Mojosari, Kecamatan Puri, Kecamatan Trowulan, Kecamatan Dlanggu, Kecamatan Kutorejo, Kecamatan Pungging, Kecamatan Ngoro, Kecamatan Trawas, Kecamatan Pacet, Kecamatan Gondang, Kecamatan Jatorejo.

Desa Seloliman terletak dilembar gunung Penanggungan (1600 mdpl) dengan ketinggian daerah 350-400 mdpl mempunyai potensi alam yang tinggi. Sebagian besar lereng gunung ditutupi oleh hutan yang merupakan kawasan hutan lindung dengan keanekaragaman hayati tinggi baik flora maupun faunanya serta hutan produksi dengan kayu jati dan mahoninya. Adanya sungai Maron yang mengalir di sepanjang musim juga sangat membantu kehidupan masyarakat untuk kebutuhan bercocok tanam di lahannya maupun kebutuhan MCK dan minum sehari-hari. Dengan keberadaan sumber daya alam tersebut akan semakin meningkatkan kesejahteraan masyarakat desa Seloliman jika mereka mampu mempertahankan bahkan melestarikannya.

Luas lahan desa Seloliman sekitar 541,78 Ha, terdiri atas persawahan 83,41 Ha, pemukiman dan pekarangan 41,40 Ha, lahan kering 329 Ha, tanah wakaf 1,51 Ha, hutan produksi dan hutan lindung. Keberadaan Pusat Pendidikan Lingkungan Hidup Seloliman dengan luas 3,7 Ha merupakan aset desa untuk memperoleh informasi dalam mempertahankan dan melestarikan potensi sumber daya alam yang ada di desa Seloliman.

### 3.2. Kondisi Teknis Dam Kalimaron.

Spesifikasi Bangunan Sipil PLTMH Kalimaron

- Tinggi kotor = 15 m
- Design Flow = 305 l/dt
- Daya Listrik yang dihasilkan = 25 kW
- Tipe Intake = off-take dari saluran irigasi Sungai Kalimaron
- Bak Pengendapan = Satu bak pengendap lebar 3 m, panjang 20 m dilengkapi dengan dinding pelimpah
- Headrace = saluran terbuka dari pasangan batu sepanjang 150 m dan saluran tertanam (pipa paralon) sepanjang 70 m.

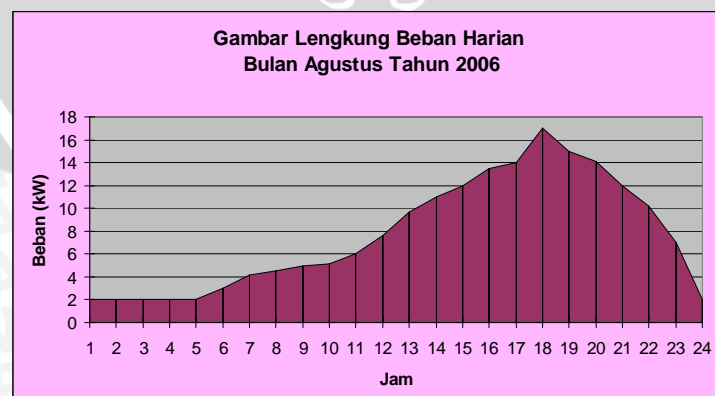
- Pipa pesat = pipa dari pelat diameter : 380 mm, panjang 45 m
- Power house = Bangunan tembok dengan pondasi beton atap asbes  
Ukuran lantai : 4.00 x 3.00 m<sup>2</sup>
- Access road = 100 m dari jalan raya Kalimaron

Dari keseluruhan debit yang mengalir di Sungai Kalimaron 95% digunakan untuk pembangkit PLTMH Kalimaron dan sisanya 5% dipakai untuk irigasi dan Spillway pada Headrace. Debit utama yang dipakai untuk irigasi adalah sisa debit yang keluar dari rumah pembangkit yang setelah dipakai untuk memutar turbin PLTMH Kalimaron.

Tabel 3.1.  
Elektro Mekanikal PLTMH Kalimaron

Komponen	Spesifikasi
Jumlah pembangkit	1
Tipe turbin	Cross-flow, T14
Diameter Runner	300 mm
Kecepatan putar turbin	573/ 750 rpm
Efisiensi Max dari turbin	80 %
Tipe generator	Synchronous
Drive	Belt datar
Kapasitas generator	40 kVA
Kecepatan putar generator	1500 rpm
Efisiensi Max generator	90 %

(sumber : PPLH seloliman, Mojokerto)



Gambar 3.1.  
Lengkung Beban Harian



Tabel 3.2  
Lengkung Beban Harian

Tabel lengkung beban harian	
Jam	Beban (kW)
0	2
1	2
2	2
3	2
4	2
5	2
6	3
7	4.2
8	4.5
9	5
10	5.1
11	6
12	7.6
13	9.7
14	11
15	12
16	13.5
17	14
18	17
19	15
20	14.1
21	12
22	10.2
23	7
24	2

### 3.3. Data-data Studi

Data- data yang dipergunakan dalam studi ini adalah :

1). Data curah hujan

Data curah hujan yang dipergunakan adalah data curah hujan bulanan selama 6 tahun mulai dari tahun 2000 - 2005. Data diambil dari Badan Pengelola PPLH Desa Seloliman Trawas Kabupaten Mojokerto.

2). Data dari PPLH (Pusat Pendidikan Lingkungan Hidup)

Data dari PPLH ini diperoleh data berupa kebutuhan listrik tiap bulan dan data berupa daya listrik yang dihasilkan dari PLTMH Kalimaron. Dari data tersebut akan terlihat

kecukupan jumlah daya listrik yang dihasilkan dengan kebutuhan. Data kebutuhan listrik PPLH yang digunakan diambil dari Badan Pengelola PPLH Desa Seloliman-Trawas Kabupaten Mojokerto.

Data Kebutuhan Listrik dari PPLH dan masyarakat sekitar :

- 10 KK di Dusun Janjing dengan daya 450 VA
- 29 KK di Dusun Sempur dengan daya 200 VA
- Mesin pengolahan kapuk randu, 3000 VA
- Pengolahan kertas bekas, 900 VA
- Kantor PPLH, 2000 VA
- Gedung Serbaguna, 1300 VA
- Guest-House, 900 VA
- Ruang Seminar, 900 VA
- Restoran, 900 VA
- Bungalow, 900 VA

### 3). Data Debit

Data debit yang dipakai berupa data debit bulanan dan data debit pembangkit yang diambil dari data debit andalan atau debit maksimum dari tiap bulan. Data debit ini berfungsi untuk mendapatkan jumlah energi yang dihasilkan dari PLTM Dam Kalimaron. Data debit yang digunakan diambil dari Badan Pengelola PPLH Desa Seloliman-Trawas Kabupaten Mojokerto.

### 4). Data teknis karakteristik DAM

Data teknis karakteristik DAM dapat berupa : data dimensi bangunan dam.

Data teknis yang digunakan diambil dari Proyek DAM Kalimaron.

## 3.4. **Sistematika Penyusunan Skripsi**

Sistematika penyusunan skripsi dilakukan agar langkah-langkah studi yang diambil tidak terjadi pengulangan, dan tahapan-tahapan analisa dilaksanakan dengan tepat dan benar. Adapaun langkah-langkah dalam pengerjaan studi ini adalah :

### 1). **Pengumpulan data**

Pengumpulan data, yaitu data sekunder. Data-data yang dibutuhkan adalah sebagai berikut:

- Data curah hujan
- Data kebutuhan listrik dari PPLH (Pusat Pendidikan Lingkungan Hidup)
- Data debit



- Data teknis karakteristik DAM

## 2). Pengolahan data

Pada tahap ini dari data-data yang didapat dilakukan pengolahan data dengan langkah-langkah pengerjaan sebagai berikut:

### 1. Analisis Hidrologi

- Menghitung curah hujan rancangan dengan metode Log Pearson Type III.
- Melakukan uji kesesuaian distribusi frekwensi yaitu dengan uji Chi-Square atau uji Smirnov-Kolmogorof.
- Menghitung debit banjir rancangan dengan cara hidrograf satuan (unit hidrograf).
- Menghitung curah hujan efektif.

### 2. Analisis kebutuhan listrik PPLH (Pusat Pendidikan Lingkungan Hidup) di Kecamatan Seloliman Kabupaten Mojokerto.

### 3. Analisa debit yang dihasilkan dari PLTM (Pembangkit Listrik Tenaga Mini Hidro)

- Menghitung debit pembangkit yang optimal (maksimum) dan tampungan efektif dengan menggunakan Metode kurva massa reduksi.

### 4. Analisis karakteristik DAM.

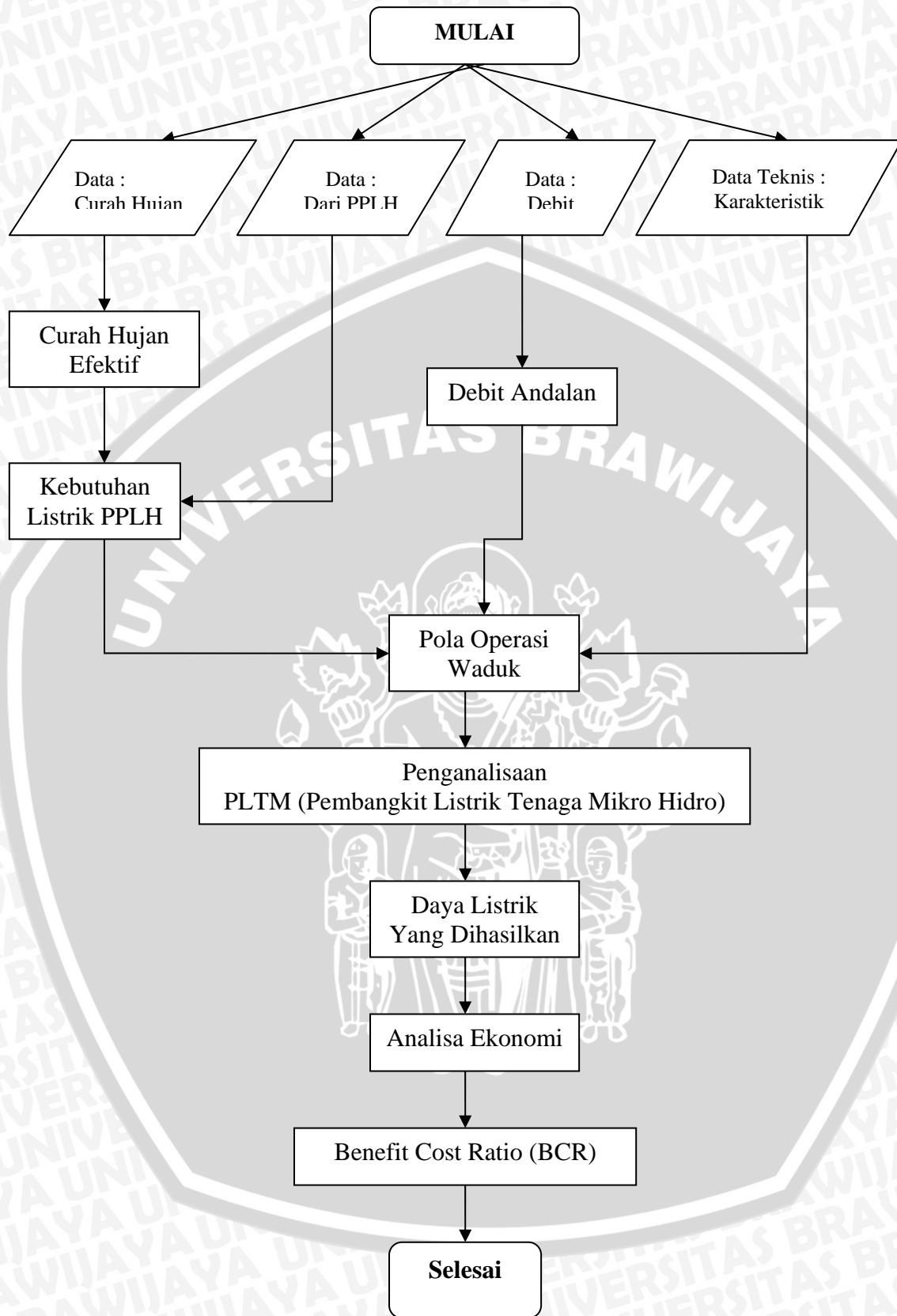
- Menganalisa dimensi bangunan pembangkit dari suatu PLTM
  1. Dimensi pipa pesat/ saluran tertanam bagian atas
  2. Tinggi surge tank
  3. Pipa pesat bagian bawah

## 3.5. Rancangan Hasil Studi.

Dari studi yang dilakukan dengan melalui pembahasan seperti yang telah dijelaskan diatas didapatkan rancangan hasil studi sebagai berikut:

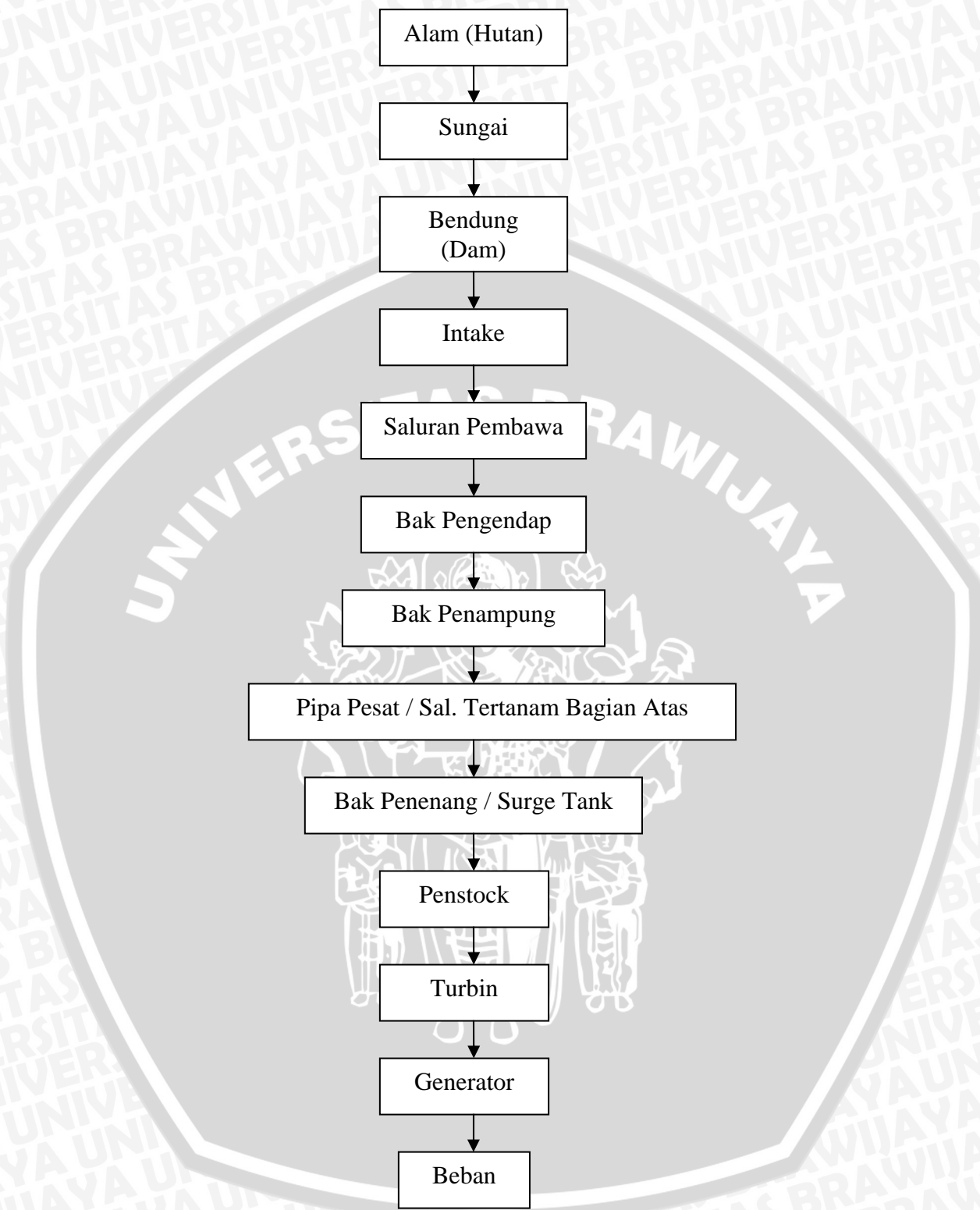
1. Mengetahui daya listrik maximum yang dihasilkan oleh PLTMH Dam kalimaron.
2. Mengetahui analisa biaya dan ekonomi dari pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) di kecamatan Trawas Kabupaten Mojokerto.
3. Menganalisa perbandingan biaya tahunan dan keuntungan tahunan yang diperoleh dari Proyek pengembangan DAM Kalimaron.

Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Diagram alir.

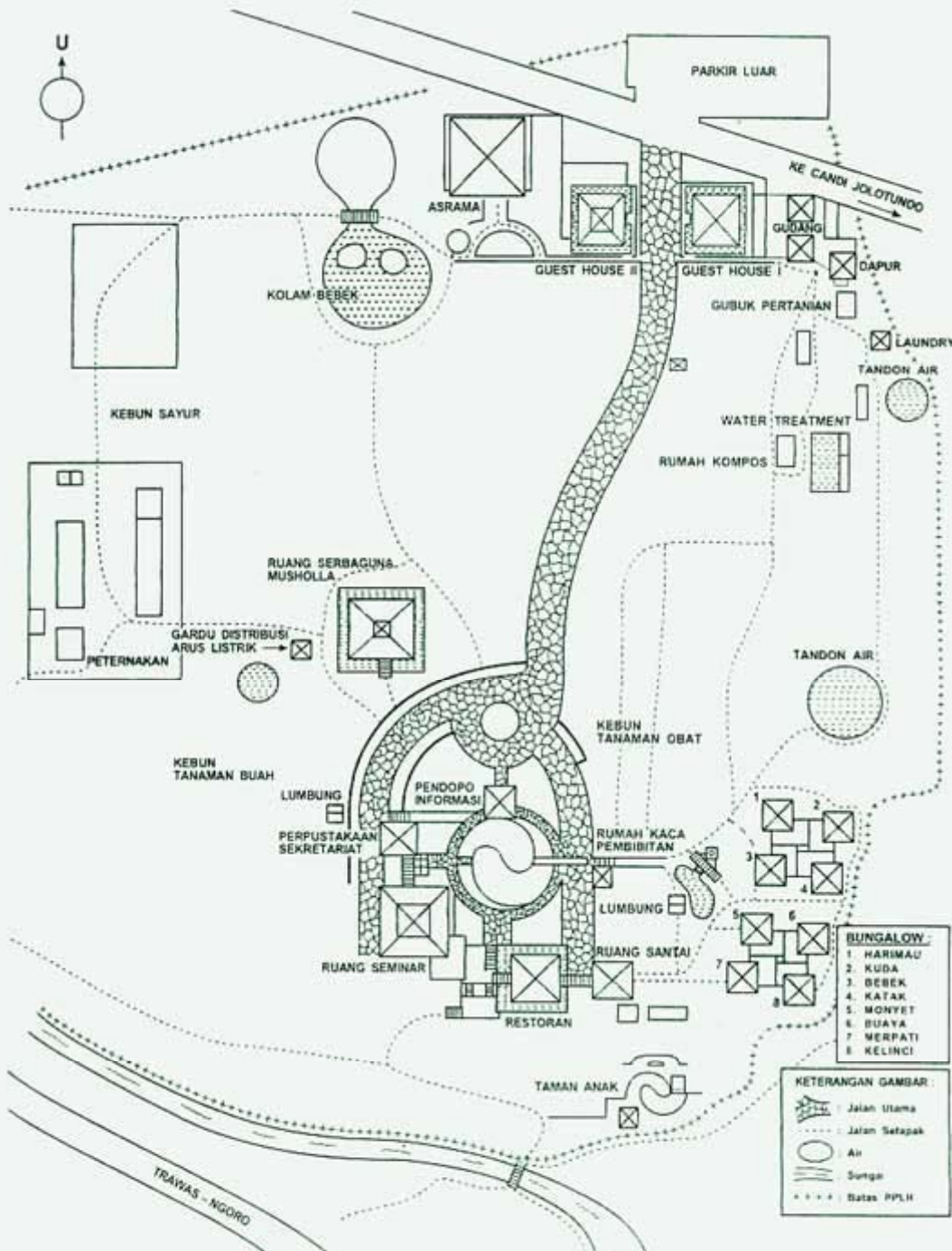


Gambar 3.2  
Diagram alir penyelesaian skripsi





Gambar 3.3  
 Diagram Aliran Pembangkit Mikro Hidro Kalimaron



(sumber : PPLH seloliman, Mojokerto)

Gambar 3.4.  
Peta Area PPLH (Pusat Pendidikan Lingkungan Hidup)



## BAB IV DATA DAN PENGOLAHAN DATA

### 4.1. Data Curah Hujan Daerah Harian Maksimum.

Data curah hujan daerah harian maksimum di DAS Kalimaron adalah sebagai berikut :

Tabel 4.1  
Curah Hujan Daerah Harian  
Maksimum Tahunan di DAS Kalimaron

<i>No</i>	<i>Kejadian</i>	<i>Hujan Daerah Harian Max. (mm)</i>
1.	4 - Januari - 2000	30.2778
2.	26 - Maret - 2001	34.2380
3.	19 - Januari - 2002	35.6087
4.	1 - Februari - 2003	28
5.	6 - Maret - 2004	39.81818
6.	5 - Maret - 2005	31.66667

(Sumber : Dinas Pengairan Kabupaten Mojokerto)

### 4.2. Data Curah Hujan Tahunan

Data curah hujan yang tercatat pada daerah pengaliran Kalimaron berasal dari 1 stasiun hujan yaitu stasiun hujan Trawas.

Tabel 4.2  
Data Curah Hujan Tahunan

<i>No</i>	<i>Tahun</i>	<i>Stasiun hujan Trawas (mm)</i>
1.	2000	2409
2.	2001	3825
3.	2002	3040
4.	2003	2554
5.	2004	3112
6.	2005	2729
<b>Rata-rata</b>		2944,8333

(sumber : Dinas Pengairan Kabupaten Mojokerto)

#### 4.3. Data Debit Rata-Rata Bulanan

Data debit sungai secara langsung pengukuran yang kontinyu sepanjang tahun tidak dilakukan, hanya pernah dilakukan pengukuran di stasiun pengukur debit Trawas pada tahun 2001 sampai 2005.

**Tabel 4.3**  
**Data Debit Rata-rata Bulanan**  
**Di Stasiun Debit Trawas**

Tahun	Jan. (m <sup>3</sup> / detik)	Feb. (m <sup>3</sup> / detik)	Mar. (m <sup>3</sup> / detik)	Apr. (m <sup>3</sup> / detik)	Mei (m <sup>3</sup> / detik)	Juni (m <sup>3</sup> / detik)	Juli (m <sup>3</sup> / detik)	Agust. (m <sup>3</sup> / detik)	Sept. (m <sup>3</sup> / detik)	Okt. (m <sup>3</sup> / detik)	Nop. (m <sup>3</sup> / detik)	Des. (m <sup>3</sup> / detik)
2001	0.977	0.362	1.032	0.582	0.582	0.302	0.146	0.404	0.396	0.449	0.783	0.901
2002	1.158	0.955	1.226	1.044	0.741	0.100	0.038	0.608	0.566	0.756	0.954	1.158
2003	0.602	0.721	0.429	0.772	0.329	0.069	0.051	0.408	0.534	0.669	0.419	0.525
2004	0.675	0.791	0.890	0.298	0.383	0.429	0.150	0.509	0.524	0.609	0.671	1.108
2005	1.011	0.794	0.849	0.741	1.234	1.176	0.709	0.536	0.675	0.893	1.043	1.212

(Sumber : Badan Pengelola PPLH)





#### 4.4. Perhitungan Curah Hujan Rancangan Dengan Metode Log Pearson Type III

Tabel 4.4  
Perhitungan Curah Hujan Rancangan

No	Ri	Log Ri	(Log Ri - Log R)	(Log Ri - Log R)^3
1	28.0000	1.4472	-0.0720	-0.000373462
2	30.2778	1.4811	-0.0380	-5.50779E-05
3	31.6667	1.5006	-0.0186	-6.40313E-06
4	34.2380	1.5345	0.0153	3.60735E-06
5	35.6087	1.5516	0.0324	3.39629E-05
6	39.8182	1.6001	0.0809	0.000529664
		9.1150		1.32292E-04

(Sumber : Hasil Perhitungan)

$$\text{Log R} = \text{Log Ri}/n = 9.1150/6 = 1.5192$$

$$S_n = ((\text{Log Ri} - \text{Log R})^2)^{0.5}/(n-1) = 0.0544$$

$$C_s = (\text{Log Ri} - \text{Log R})^3 / (n-1)(n-2) S_n^3 = 0.2462$$

$$\text{Log R}_T = \text{Log R} + K_T \cdot S_n \dots\dots\dots(4.1)$$

Hujan rancangan periode ulang 5 tahun =  $C_s = 0.2462$  dari tabel 2.1 didapat :

$K_T = 0.827$  ; sehingga :

$$\begin{aligned} \text{Log R}_5 &= \text{Log R} + K_T \cdot S_n \\ &= 1.5192 + (0.827 \cdot 0.0544) \\ &= 1.5656 \end{aligned}$$

$$R_{5\text{th}} = 36.77847 \text{ mm}$$

Hujan rancangan periode ulang 10 tahun =  $C_s = 0.2462$  dari tabel 2.1 didapat :

$K_T = 1.305$  ; sehingga :

$$\begin{aligned} \text{Log R}_{10} &= \text{Log R} + K_T \cdot S_n \\ &= 1.5192 + (1.305 \cdot 0.0544) \\ &= 1.5869 \end{aligned}$$

$$R_{10\text{th}} = 38.6302116 \text{ mm}$$

Tabel 4.5  
Curah Hujan Rancangan

No	Periode Ulang	R (mm)
1	5	36.77847
2	10	38.63021
3	25	40.60570
4	50	41.88218
5	100	43.02051
6	200	44.05708

(Sumber : Hasil Perhitungan)

4.4.1. Uji Kesesuaian Distribusi Log Pearson Type III

Tahapan dari uji kesesuaian distribusi adalah sebagai berikut :

1. Data curah hujan daerah maksimum harian rata-rata tiap tahun disusun dari kecil ke besar.
2. Probabilitas dihitung dengan persamaan Weinbull (Subarkah, 1990 : 28).

$$P = \frac{m}{n + 1} \cdot 100\% \dots\dots\dots(4.2)$$

dengan :

P = probabilitas (%)

m = nomor urut data dari seri yang telah disusun dari kecil ke besar

n = banyaknya data.

3. Plot data curah hujan (R<sub>i</sub>) vs probabilitas (p)
4. Plot persamaan (4.1) dengan cara mensubtitusikan 2 buah harga K<sub>T</sub>, maka dapat ditarik garis durasi linier sebagai distribusi teoritis.





Tabel 4.6  
Tahapan Plotting Data Pada Kertas Probabilitas

No	Data (R <sub>i</sub> ) (mm)	$P = \frac{m}{n} \cdot 100\%$
1	28.0000	14.2857
2	30.2778	28.5714
3	31.6667	42.8571
4	34.2380	57.1429
5	35.6087	71.4286
6	39.8182	85.7143

(Sumber : Hasil Perhitungan)

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



**Tabel 4.7**  
Perbedaan Probabilitas Distribusi Empiris dan  
Teoritis Log Pearson Type III

No	P Teoritis Pt (%)	P Empiris Pe (%)	Pe - Pt (%)
1	19.250	14.2857	4.9643
2	28.571	28.5714	0.0000
3	35.000	42.8571	7.8571
4	57.143	57.1429	0.0000
5	70.000	71.4286	1.4286
6	100.000	85.7143	14.2857

(Sumber : Hasil Perhitungan)

**Tabel 4.8**  
Perbedaan Probabilitas Distribusi  
Empiris dan Teoritis Log Pearson Type III  
(Untuk Uji Chi-Square)

No.	X. Teoritis	X. Empiris	$n$
			$\sum_{i=1}^n = \frac{(XE - XT)^2}{XE}$
1	16.000	28.000	5.14286
2	30.000	30.278	0.00255
3	32.375	31.667	0.01584
4	33.985	34.238	0.00187
5	35.000	35.609	0.01041
6	36.432	39.818	0.28796
			5.46149

(sumber : Hasil Perhitungan)

1. Test Uji dengan Smirnov-Kolmogorof.

Banyaknya data  $n = 6$

Taraf signifikansi  $\alpha = 5\%$

Dengan  $n = 6$  dan  $\alpha = 5\%$ , dari Tabel 4.9 diperoleh  $\Delta Cr = 0.41$ .

Dari tabel 4.7 perbedaan probabilitas distribusi empiris dan teoritis maksimum ( $\Delta_{\max}$ ) = 0.142857

$$\Delta_{\max} = 0.142857 < \Delta Cr = 0.41$$

Dapat ditarik kesimpulan bahwa distribusi log pearson type III dapat diterima.



2. Test Uji dengan Chi-Square.

Banyaknya data  $n = 6$

Taraf signifikansi  $\alpha = 5\%$

Dengan  $n = 6$  dan  $\alpha = 5\%$ , dari Tabel 4.10 diperoleh  $\pi^2 = 12.592$ .

Dari tabel 4.8 jumlah perbedaan probabilitas distribusi empiris dan teoritis  $\pi^2$  hitung = 5.46149

$$\pi^2 \text{ hitung} = 5.46149 < \pi^2 \text{ tabel} = 12.592$$

Dapat ditarik kesimpulan bahwa distribusi Log Pearson Type III dapat diterima.

**Tabel 4.9**  
**Harga Kritis ( $\Delta Cr$ ) Untuk Smirnov - Kolmogorof Test**

$n \backslash \alpha$	0.20	0.10	0.05	0.01
5	0.45	0.51	0.56	0.67
10	0.32	0.37	0.41	0.49
15	0.27	0.3	0.34	0.4
20	0.23	0.26	0.29	0.36
25	0.21	0.24	0.27	0.32
30	0.19	0.22	0.24	0.29
35	0.18	0.2	0.23	0.27
40	0.17	0.19	0.21	0.25
45	0.16	0.18	0.2	0.24
50	0.15	0.17	0.19	0.23
$n > 50$	1,07 (n) <sup>2</sup>	1,22 (n) <sup>2</sup>	1,36 (n) <sup>2</sup>	1,63 (n) <sup>2</sup>

(Sumber : M.M.A. Shahin, 1976 :188)

#### 4.5. Analisis Debit Banjir Rancangan

##### 4.5.1. Curah Hujan Efektif.

Dengan pertimbangan kondisi daerah/ topografi dan tanah sepanjang sungai, sebagian besar daerah pengaliran merupakan daerah pegunungan dengan lereng yang cukup landai atau letak sungai berada di pegunungan. Dari tabel 2.3 maka besarnya koefisien pengaliran diasumsikan = 0.8. berdasarkan rumus 2.10 maka besarnya curah hujan efektif dapat dihitung, seperti disajikan pada Tabel 4.11

**Tabel 4.11**  
**Curah Hujan Efektif**

No	Kala Ulang	R (mm)	Rn (mm)
1	5	36.7785	29.4228
2	10	38.6302	30.9042
3	25	40.6057	32.4846
4	50	41.8822	33.5057
5	100	43.0205	34.4164
6	200	44.0571	35.2457

(Sumber : Hasil Perhitungan)

##### 4.5.2. Distribusi hujan jam-jaman.

Pembagian curah hujan untuk tiap jam, sebagai pendekatan dihitung dengan menggunakan metode rasional. Dari persamaan (2.7), (2.8) dan (2.9), maka didapat distribusi hujan jam-jaman adalah :

Contoh perhitungan :

Untuk T = 1 jam, maka :

$$- R_t = R_{24} / 5 \cdot (5/1)^{2/3} = 0.585 R_{24}$$

$$- R_T = 1 \cdot 0.585 R_{24} - (1-1) \cdot 0.585 R_{24} \\ = 0.585 R_{24}$$

Untuk perhitungan T jam yang lain disajikan pada Tabel 4.13

**Tabel 4.12**  
**Distribusi Hujan Jam-jaman**

Waktu hujan (Jam ke)	Ratio (%)
1	58.5117
2	36.8516
3	28.1192
4	23.2097
5	20.0000

(Sumber : Hasil Perhitungan)



**Tabel 4.13**  
**Distribusi Curah Hujan Efejtif Jam-Jaman (mm)**

Waktu hujan (Jam ke)	Ratio (%)	Hujan Jam-jaman (mm)		
		50 th	100 th	200 th
1	58.5117	19.6048	20.1376	20.6228
2	36.8516	12.3474	12.6830	12.9886
3	28.1192	9.4215	9.6776	9.9108
4	23.2097	7.7766	7.9879	8.1804
5	20.0000	6.7011	6.8833	7.0491
Hujan Efektif		55.8515	57.3695	58.7518
Koef. Pengaliran		0.80	0.80	0.80
Hujan Rencana		41.88218	43.02051	44.05708

(Sumber : Hasil Perhitungan)

#### 4.5.3. Hidrograf satuan sintetic Snyder

Data fisik :

- $A = 166 \text{ km}^2$
- $L = 19 \text{ km}$
- $L_c = 9 \text{ km}$

Data non Fisik :

- $C_T = 1,25$
- $C_P = 0,63$
- $n = 0,30$

Besarnya harga  $C_T$  dan  $C_P$  didapat dari tabel berikut (Anonimous, 1996 : 34) :

**Tabel 4.14**  
**Harga  $C_T$  dan  $C_P$  Berdasarkan Luas Daerah Pengaliran**

$A$ ( $\text{Km}^2$ )	$C_T$	$C_P$
0 – 50	1,1	0,69
51 – 300	1,25	0,63
> 300	1,4	0,56

(Sumber : Anonimous, 1996)

Perhitungan :

$$\begin{aligned}
 t_p &= 1,25 (19 \cdot 9)^{0,3} \\
 &= 5,8453 \text{ jam}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} t_e &= 5,8453 / 5,5 \\ &= 1,0628 \text{ jam} > 1 \text{ jam} \end{aligned}$$

$t_e > t_R$ ,  $t_R = 1 \text{ jam}$ , maka harus dikoreksi

$$\begin{aligned} t_p' &= t_p + 0,25 (t_R - t_e) \\ &= 5,8453 + 0,25 (1 - 1,0628) \\ &= 5,8296 \text{ jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T_p &= t_p' + 0,5 t_R \\ T_p &= 5,8296 + 0,5 \cdot 1 \\ &= 6,3296 \text{ jam} \end{aligned}$$

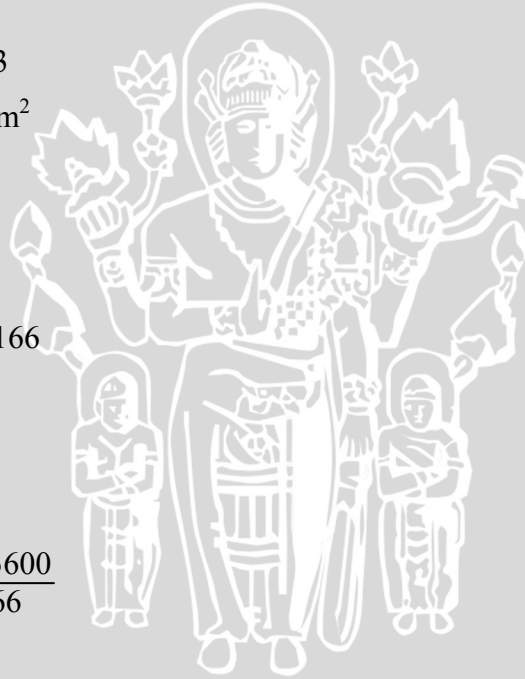
$$\begin{aligned} q_p &= 275 \cdot C_p / t_p \\ &= 275 \cdot 0,63 / 5,8453 \\ &= 29,6392 \text{ lt/det/km}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_p &= q_p \cdot \frac{1}{1000} \cdot A \\ &= 29,6392 \cdot \frac{1}{1000} \cdot 166 \\ &= 4,920 \text{ m}^3 / \text{dt} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \lambda &= \frac{4,920 \cdot 6,3296 \cdot 3600}{1000 \cdot 1 \cdot 166} \\ &= 0,6754 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} a &= 1,32 \cdot \lambda^2 + 0,15 \lambda + 0,045 \\ &= 1,32 \cdot 0,6754^2 + 0,15 \cdot 0,6754 + 0,045 \\ &= 0,6021 + 0,1013 + 0,045 \\ &= 0,7484 \end{aligned}$$

$$Q = 6,8467 \cdot 10 \text{ pangkat} - 0,7484 \frac{(1 - X)^2}{X}$$



Contoh Perhitungan :

$$\begin{aligned} \text{Untuk } t = 2 \text{ jam, } X &= \frac{2}{6,3286} \\ &= 0.3160 \end{aligned}$$

maka :

$$\begin{aligned} Q &= 6.8467 \cdot 10 \text{ pangkat } - 0.7484 \frac{(1 - 0.3160)^2}{0.3160} \\ &= 6,8467 \cdot 10 \text{ pangkat } - 1,1080 \\ &= 0.5394 \text{ m}^3 / \text{ dt/ mm.} \end{aligned}$$

Untuk Q pada t jam yang lain disajikan pada Tabel 4.15.

**Tabel 4.15**  
**Hidrograf Satuan Sintetic Snyder**

t (jam)	Q m <sup>3</sup> / dt/ mm	t (jam)	Q m <sup>3</sup> / dt/ mm
1	0.0031	13	2.6389
2	0.5394	14	2.1298
3	2.5140	15	1.7053
4	4.7323	16	1.3565
5	6.1983	17	1.0734
6	6.7721	18	0.8456
7	6.6708	19	0.6636
8	6.1589	20	0.5192
9	5.4460	21	0.4051
10	4.6723	22	0.3153
11	3.9214	23	0.2449
12	3.2373	24	0.1899

(sumber : Hasil Perhitungan)



#### 4.6. Penentuan Debit Pembangkit Dan Tampungan Efektif

##### 4.6.1. Perpanjangan data debit.

Dengan perhitungan komputer didapat data perpanjangan debit dari tahun 2006 sampai 2020 lihat Tabel 3.17.

Contoh perhitungan.

Misalnya yang diekstrapolasi data historic untuk bulan j (januari) 2006.

##### 1. a. Mencari harga $\bar{X}_j$

$\bar{X}_j$  = harga rata-rata data historic untuk bulan j (januari) yang ditinjau.

$$\bar{X}_j = \frac{\sum_{i=1}^n X_{i,j}}{N} = \frac{4,4224}{5} = 0.8845 \text{ m}^3/\text{detik}$$

##### b. Mencari harga $\bar{X}_{j-1}$

$\bar{X}_{j-1}$  = harga rata-rata data historic untuk bulan j-1 (Desember).

$$\bar{X}_{j-1} = \frac{\sum_{i=1}^n X_{i,j}}{N} = \frac{4,9050}{5} = 0.9810 \text{ m}^3/\text{detik}$$

##### 2. a. Mencari harga $\sigma_j$ (untuk data bulan januari).

$$\sigma_j = \left( \frac{\sum_{i=1}^n X_{i,j}^2 - \bar{X}_j \sum_{i=1}^n X_{i,j}}{N - 1} \right)^{0.5}$$

$$= 0,2365 \text{ m}^3/\text{detik}$$

##### b. Mencari harga $\sigma_{j-1}$ (untuk data bulan Desember)

$$\sigma_j = \left( \frac{\sum_{i=1}^n X_{i,j-1}^2 - \bar{X}_{j-1} \sum_{i=1}^n X_{i,j-1}}{N - 1} \right)^{0.5}$$

$$= 0,2809 \text{ m}^3/\text{detik}$$

3. Mencari harga  $Y_{j,j-1}$  (antara data bulan Januari dan bulan Desember).

$$Y_{j,j-1} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n (X_{j,j-1} - \bar{X}_{j-1}) (X_{ij} - \bar{X}_j)$$

$$\sigma_j \cdot \sigma_{j-1}$$

$$= 0,5475 \text{ m}^3/\text{detik}$$

4. Dari komputer, didapat harga  $t_{ij} = -1,6682$ .
5. Mencari harga debit bulan Januari, pada tahun ke  $N+1$  (6). Dari persamaan (2.22) didapat data debit bulan Januari 2006.

$$X_{i+1,j} = 0,8845 + 0,5475 \cdot \frac{0,2365}{0,2809} \cdot (1,212 - 0,9810) + (-1,6682) \cdot 0,2365$$

$$(1 + 0,5475^2)^{0,5}$$

$$= 0,7114 \text{ m}^3/\text{detik}$$



#### 4.6.2. Perhitungan debit bulanan di lokasi proyek.

Data debit rata-rata bulanan yang diambil berasal dari pengukuran secara langsung data debit sungai induk kalimaron. Pengukuran ini sudah berlangsung selama 5 tahun yaitu mulai tahun 2001 sampai 2005. Dari hasil pengukuran ini didapat data debit bulanan di lokasi proyek yang kemudian dari perhitungan didapatkan hubungan bahwa data debit dilokasi proyek juga dapat dihitung dengan menggunakan data debit bulanan dari stasiun hujan trawas dikalikan dengan 0,78.

$$Q_s = X_{ij} \cdot 0,78 \dots\dots\dots(4.3)$$

dengan :

$$Q_s = \text{debit dilokasi proyek (liter/ detik)}$$

$$X_{ij} = \text{debit di stasiun pengukur debit Trawas (m}^3\text{/ detik)}$$

**Tabel 4.18**  
**Rata- rata debit bulanan di Lokasi Proyek**  
**(DAM Kalimaron)**  
**(m<sup>3</sup>/ detik)**

Tahun	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	Mei	Juni	Juli	Agust.	Sept.	Okt.	Nop.	Des.	Rerata Tahunan
2001	0.762	0.283	0.805	0.454	0.454	0.236	0.114	0.315	0.309	0.350	0.611	0.703	0.450
2002	0.904	0.745	0.956	0.815	0.578	0.078	0.030	0.474	0.441	0.590	0.744	0.904	0.605
2003	0.469	0.562	0.334	0.602	0.257	0.054	0.040	0.318	0.416	0.522	0.326	0.409	0.359
2004	0.526	0.617	0.694	0.233	0.299	0.334	0.117	0.397	0.408	0.475	0.523	0.865	0.457
2005	0.789	0.619	0.662	0.578	0.962	0.918	0.553	0.418	0.526	0.697	0.814	0.945	0.707
2006	0.555	0.613	0.735	0.310	0.497	0.482	0.483	0.392	0.527	0.669	0.829	1.149	0.603
2007	0.896	0.590	0.756	0.630	0.451	0.064	0.208	0.359	0.384	0.754	0.702	0.972	0.564
2008	0.490	0.564	0.971	0.338	0.606	0.082	0.022	0.332	0.384	0.486	0.849	0.755	0.490
2009	0.662	0.726	0.490	0.630	0.184	0.575	0.133	0.321	0.302	0.500	0.514	1.013	0.504
2010	0.819	0.557	0.806	0.284	0.498	0.064	0.368	0.322	0.328	0.331	0.255	0.670	0.442
2011	0.555	0.475	0.078	0.571	0.600	0.754	0.000	0.259	0.311	0.379	0.394	0.370	0.396
2012	0.506	0.593	0.629	0.374	0.692	0.439	0.380	0.247	0.375	0.353	0.829	0.435	0.488
2013	0.626	0.460	0.295	0.315	0.129	0.480	0.263	0.346	0.234	0.423	0.299	1.059	0.411
2014	0.608	0.300	0.373	0.506	0.288	0.271	0.294	0.343	0.414	0.206	0.423	0.611	0.386
2015	0.619	0.475	0.605	0.454	1.168	0.390	0.126	0.364	0.331	0.577	0.287	0.452	0.487
2016	0.526	0.494	0.787	0.499	0.546	1.304	0.197	0.317	0.396	0.375	0.435	0.400	0.523
2017	0.594	0.580	1.196	0.322	0.424	0.451	0.781	0.440	0.398	0.427	0.418	0.501	0.544
2018	0.435	0.582	1.091	0.680	0.275	0.267	0.234	0.466	0.498	0.486	0.467	0.415	0.491
2019	0.524	0.269	0.517	0.482	0.824	0.167	0.132	0.373	0.441	0.663	0.697	0.642	0.478
2020	0.612	0.519	0.565	0.609	0.359	0.517	0.017	0.429	0.306	0.596	0.788	0.827	0.512
Jumlah	12.477	10.622	13.347	9.685	10.091	7.925	4.493	7.234	7.731	9.861	11.205	14.099	9.898
Rerata Bulanan	0.624	0.531	0.667	0.484	0.505	0.396	0.225	0.362	0.387	0.493	0.560	0.705	0.495

(Sumber : Hasil Perhitungan)



## 4.6.3. Kurva Massa Reduksi.

- 1). Perhitungan debit rata-rata jangka panjang.

**Tabel 4.19**  
**Harga Debit Rata-Rata Jangka Panjang**

Tahun	Rata-Rata Debit (m <sup>3</sup> / detik)
2001	0.450
2002	0.605
2003	0.359
2004	0.457
2005	0.707
2006	0.603
2007	0.564
2008	0.490
2009	0.504
2010	0.442
2011	0.396
2012	0.488
2013	0.411
2014	0.386
2015	0.487
2016	0.523
2017	0.544
2018	0.491
2019	0.478
2020	0.512

(Sumber : Hasil Perhitungan)

$$\bar{X} = 0,495 \text{ m}^3/\text{detik}$$

$$Sd = 0,083 \text{ m}^3/\text{detik}$$

Untuk, n = 20 tahun :

$$X = \bar{X} + Sd \cdot K$$

$$K = - \frac{((6)^{0,5} (0,5772 + \ln(\ln \cdot (\text{Tr}(X) \cdot \cdot)))}{\Pi (\text{Tr}(X) - 1)}$$

$$= 1,867$$

$$X = 0,495 + 0,083 \cdot 1,867$$

$$= 0,649961 \text{ m}^3/\text{detik}$$

Besarnya Tampangn :

$$S = 1,685 \cdot 10^6 \text{ m}^3$$

2). Hasil perhitungan storage draft waduk untuk masing-masing debit draft dapat dilihat pada Tabel 4.41.

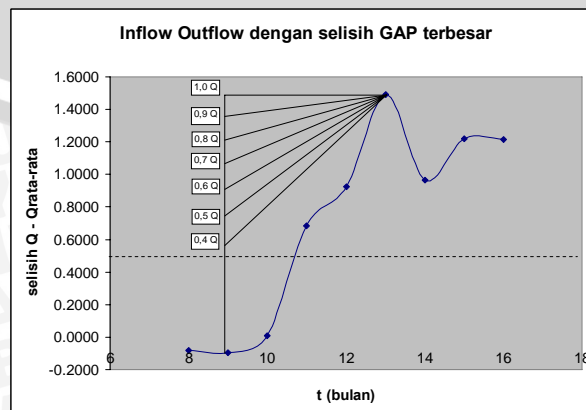
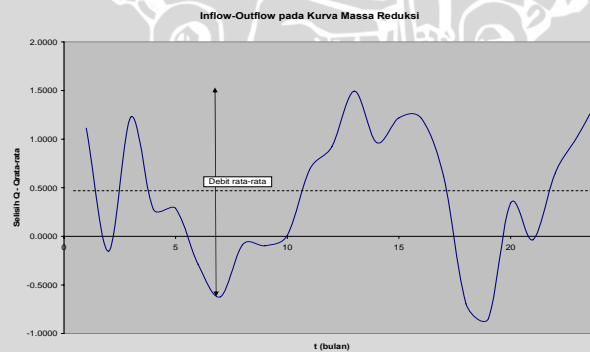
Contoh perhitungan storage draft dam.

Dalam kajian ini misalnya diambil tahun 2001 dan tahun 2002.

- Data tabel kurva massa reduksi sebagai berikut :

Tahun	Bulan ke	Akumulatif (m <sup>3</sup> / dt)	Tahun	Bulan ke	Akumulatif (m <sup>3</sup> / dt)
2001	1	0.8223	2002	1	1.2027
	2	-0.4160		2	0.7016
	3	0.9375		3	1.2186
	4	-0.0025		4	0.9332
	5	-0.0026		5	0.3295
	6	-0.5676		6	-0.9771
	7	-0.9133		7	-1.1382
	8	-0.3749		8	0.0510
	9	-0.3784		9	-0.0362
	10	-0.2812		10	0.3617
	11	0.4044		11	0.7492
	12	0.6429		12	1.1639

- Dari tabel di atas di buat kurva massa reduksi untuk menentukan storage draft waduk



- Dari gambar di atas storage draft waduk setiap debit draft sebagai berikut :

$$1,0 \bar{Q} = (1,4932 - 0,495) * 30,41 * 24 * 3600 = 2,6226 \cdot 10^6 \text{ m}^3$$

$$0,9 \bar{Q} = (1,3761 - 0,495) * 30,41 * 24 * 3600 = 2,315 \cdot 10^6 \text{ m}^3$$

$$0,8 \bar{Q} = (1,2154 - 0,495) * 30,41 * 24 * 3600 = 1,8927 \cdot 10^6 \text{ m}^3$$

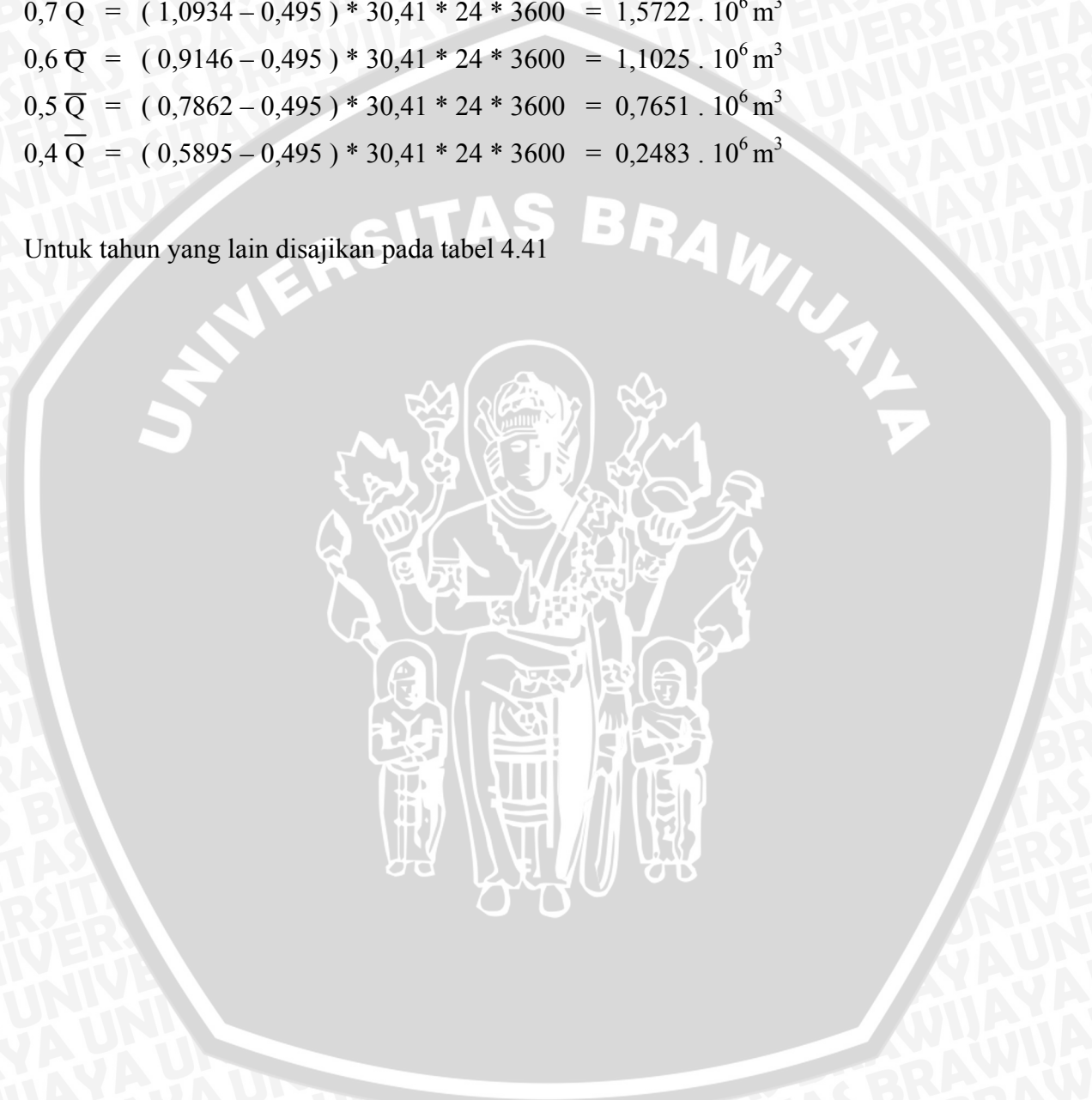
$$0,7 \bar{Q} = (1,0934 - 0,495) * 30,41 * 24 * 3600 = 1,5722 \cdot 10^6 \text{ m}^3$$

$$0,6 \bar{Q} = (0,9146 - 0,495) * 30,41 * 24 * 3600 = 1,1025 \cdot 10^6 \text{ m}^3$$

$$0,5 \bar{Q} = (0,7862 - 0,495) * 30,41 * 24 * 3600 = 0,7651 \cdot 10^6 \text{ m}^3$$

$$0,4 \bar{Q} = (0,5895 - 0,495) * 30,41 * 24 * 3600 = 0,2483 \cdot 10^6 \text{ m}^3$$

Untuk tahun yang lain disajikan pada tabel 4.41





## 3). Perhitungan Efektif Storage.

**Tabel 4.42**  
Efektif Storage pada setiap Draft  
(  $10^6 \text{ m}^3$  )

Debit draft	X	Sd	Efektif Storage
1.0 Q	2.4442	1.1384	4.5697
0.9 Q	1.9912	1.0833	4.0138
0.8 Q	1.4805	1.0940	3.5230
0.7 Q	1.1183	0.9818	2.9514
0.6 Q	1.1449	0.6502	2.3589
0.5 Q	0.5102	0.2876	1.0472
0.4 Q	1.6358		1.6358

(Sumber : Hasil Perhitungan)

## 4). Perhitungan rasio pengembangan efektif storage pada setiap debit draft.

**Tabel 4.43**  
Rasio Pengembangan Pada Kurva Massa Reduksi

Debit draft	Efektif Storage	Inflow Tahunan	Rasio Pengembangan
	( $10^6 \text{ m}^3$ )		
1.0 Q	4.5697	1.685	2.712
0.9 Q	4.0138	1.685	2.382
0.8 Q	3.5230	1.685	2.091
0.7 Q	2.9514	1.685	1.752
0.6 Q	2.3589	1.685	1.400
0.5 Q	1.0472	1.685	0.621
0.4 Q	1.6358	1.685	0.971

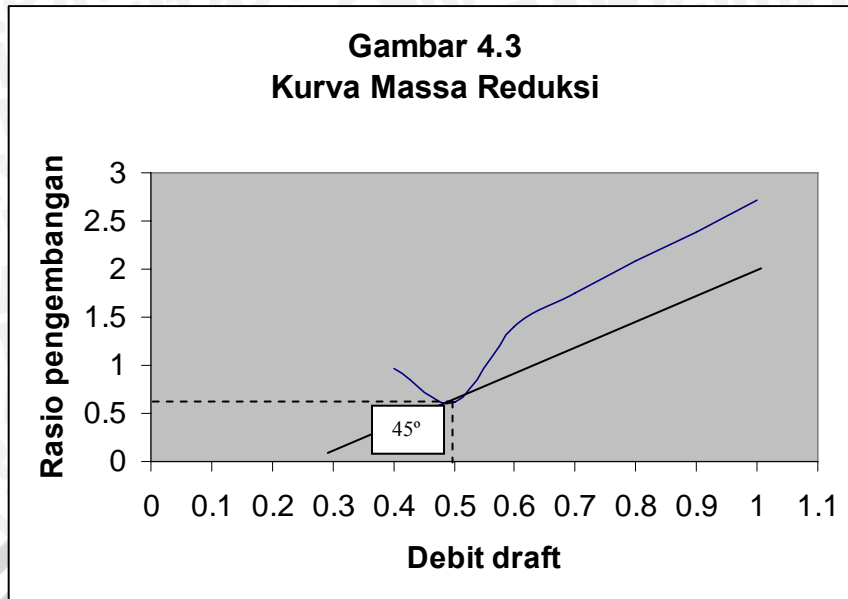
(Sumber : Hasil Perhitungan)

Dari gambar 4.3 dengan membuat garis  $45^\circ$  terhadap sumbu x didapatkan debit pengembangan PLTMH dam Kalimaron dan tumpukan efektif sebesar :

$$\begin{aligned} Q &= 0,5 \cdot Q \\ &= 0,5 \cdot 0,495 \\ &= 0,2475 \text{ m}^3/\text{dt} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S &= 0,66 \cdot 1,685 \cdot 10^6 \\ &= 1,1121 \cdot 10^6 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

**Gambar 4.3**  
**Kurva Massa Reduksi**



Keterangan :

Dalam kajian ini penentuan debit dan tampungan efektif (efektif storage) yang ditinjau pada satu titik optimal, yaitu 45°.



#### 4.7. Penentuan Debit Pembangkit Maksimum

Besarnya debit pembangkit maksimum yang dibutuhkan untuk pengoperasian PLTMH tergantung dari lama pengoperasian PLTMH tersebut dalam 1 hari. Pengoperasian PLTMH Kalimantan telah dilakukan dengan lama pengoperasian 18 jam.

Dengan lama pengoperasian 18 jam maka bisa dihitung besarnya debit pembangkitan maksimum dengan terlebih dahulu mencari factor pusat listrik (plant-factor). Plant factor adalah perbandingan antara daya rata-rata dalam jangka waktu tertentu dengan jumlah kapasitas terpasang pada suatu pusat listrik (Arismunandar, 1979 : 8).

$$\begin{aligned}\text{Plant Faktor} &= \frac{\text{lama pengoperasian}}{24 \text{ jam}} \\ &= \frac{18 \text{ jam}}{24 \text{ jam}} \\ &= 0,75\end{aligned}$$

Debit Pembangkitan maksimum  $Q_p$ ,

$$\begin{aligned}Q_p &= \text{debit pembangkit} / \text{pf} \\ &= \frac{305 \text{ liter/ detik}}{0,75} \\ &= 406,667 \text{ liter/ detik} \\ &= 0,407 \text{ m}^3/ \text{dt}\end{aligned}$$

#### 4.8. Dimensi Bendung

##### 4.8.1. Tinggi Bendung.

Dalam penentuan tinggi bendung dalam kajian ini adalah dibuat dengan cara menghitung tinggi air pada permukaan sungai ditambah dengan jagaan. Sehingga diperoleh tinggi bendung sebesar 2 m.

##### 4.8.2. Volume Bendung.

Dalam kajian ini digunakan bendung yang terbuat dari pasangan batu kali.

Volume tubuh bendung adalah : 29,12 m<sup>3</sup>

#### 4.9. Penganalisaan Dimensi Bangunan Pembangkit Listrik.

##### 4.9.1. Penganalisaan saluran tertanam bagian atas.

Data-data :

- bentuk : bulat
- bahan : pipa paralon
- koefisien kekasaran : 0,0010



- debit pembangkit : 0,407 m<sup>3</sup>/ dt
- panjang saluran : 70 m

Biaya konstruksi saluran tertanam bagian atas dihitung berdasarkan persamaan (Anonimous, 1996 : 28) :

$$CH_t = 35 \cdot DH_t^{1,5} \cdot LH_t \cdot N \dots\dots\dots(4.4)$$

dengan :

- CH<sub>t</sub> = biaya saluran tertanam bagian atas (US \$).
- DH<sub>t</sub> = diameter saluran tertanam bagian atas = 0,4 m
- LH<sub>t</sub> = panjang saluran tertanam bagian atas = 70 m
- N = jumlah saluran = 1

Contoh : DH<sub>t</sub> = 0,4

$$\begin{aligned} CH_t &= 35 \cdot 0,4^{1,5} \cdot 70 \cdot 1 \\ &= 619,8 \text{ US \$} \end{aligned}$$

Harga tersebut di atas adalah harga pada tahun 1994, harga nyata pada tahun 2007 adalah dengan membandingkan harga satuan dollar tahun 1994 dengan 2007. Sehingga harga pada tahun 2007 adalah :

$$\begin{aligned} CH_t' &= 619,8 \text{ US \$} \cdot 3,89 \\ &= 2411,04 \text{ US \$} \end{aligned}$$

Dari persamaan (2.27) maka biaya konstruksi tahunan didapat :

- umur ekonomis PLTMH = 20 tahun
- Tingkat bunga (i) = 12 %

Jalannya perhitungan dapat dilihat pada halaman berikutnya.

Keterangan :

- Umur ekonomis Dam disesuaikan dengan umur proyek yang telah ditentukan.
- Tingkat bunga diambil 12 %, disesuaikan dengan tingkat bunga untuk proyek pembangunan PLTMH di Indonesia.

$$\begin{aligned} &\diamond \text{ Biaya Konstruksi tahunan.} \\ &= \frac{(1 + 0,12)^{20} \cdot 0,12}{(1 + 0,12)^{20} - 1} \cdot 2411,04 \text{ US \$} \\ &= 322,787 \text{ US \$} \end{aligned}$$

- ❖ Biaya operasi dan pemeliharaan (O dan M per tahun)
  - = 10% . 2411,04 US \$
  - = 241,104 US \$
- ❖ Biaya tahunan (BT)
  - = 322,787 US \$ + 241,104 US \$
  - = 886,678 US \$

## 2). Biaya Kehilangan Energi (BE)

### A). Kecepatan air didalam saluran tertanam bagian atas

$$V = \frac{0,407}{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 0,4^2}$$

$$= 3,24 \text{ m/ dt}$$

### B). Kehilangan tinggi

Besarnya kehilangan tinggi dari intake sampai tangki pendatar (surge tank)

#### - Pemasukan

Koefisien kehilangan tinggi tekan  $K_1 = 0,04$

(Linsley dan Franzini, 1985 : 311)

#### - Pintu Pengatur

Koefisien kehilangan tinggi tekan  $K_2 = 0,2$

(Linsley dan Franzini, 1985 : 311)

#### - Gesekan

Koefisien kehilangan tinggi tekan  $K_3 = \frac{124,5 \cdot n^2 \cdot L}{D^{4/3}}$

(Anonimous, 1989 : VII – 32)

dengan :

$n$  = angka kekasaran Manning untuk paralon = 0,0010

$L$  = panjang saluran tertanam bagian atas

$D$  = diameter

$$K_3 = \frac{124,5 \cdot 0,0010^2 \cdot 70}{0,4^{4/3}}$$

$$= 0,008$$

#### - Surge Tank

Koefisien kehilangan tinggi tekan ( Anonimous, 1996: 33)

$K_4 = 1,0$

Maka koefisien kehilangan tinggi tekan dari intake sampai surge tank adalah =

$$K_I = 0,04 + 0,2 + 0,008 + 1,0$$

$$= 1,248$$

$$H_L = 1,248 \cdot \frac{3,24^2}{2 \cdot 9,8} = 0,668$$

C). Daya yang dihasilkan (dikeluarkan) / (PE)

Dari perhitungan di atas di dapat  $H_L = 0,668$

$$\begin{aligned} PE &= 9,8 \cdot 0,855 \cdot 0,407 \cdot 0,668 \\ &= 2,278 \text{ kW} \end{aligned}$$

D). Energi yang dikeluarkan (EL)

$$\begin{aligned} EL &= PE \cdot T \\ &= 2,278 \cdot 6570 \\ &= 14966,782 \text{ US \$} \end{aligned}$$

E). Biaya kehilangan tinggi (KE)

Harga energi untuk beban puncak = 0,058 US \$/kwh pada tahun 2007 (Proyek2\mhpp-gtz\seloliman\_psktkalimaron,2003 :10) adalah :

$$\begin{aligned} KE &= 14966,782 \text{ US \$} \cdot 0,058 \text{ US \$} \\ &= 860,084 \text{ US \$} \end{aligned}$$

#### 4.9.2. Penganalisaan diameter pipa pesat.

Data-data :

- bentuk : bulat
- bahan : pipa dari pelat
- koefisien kekasaran : 0,0012
- debit pembangkit :  $0,407 \text{ m}^3/\text{dt}$
- panjang saluran : 45 m

Biaya konstruksi pipa pesat dapat dihitung berdasarkan persamaan (Anonimous, 1996 : 28) :

$$CPS = 35 \cdot D_p^{1,66} \cdot LPT \dots\dots\dots(4.5)$$

dengan :

CPS = biaya pipa pesat (US \$).

$D_p$  = diameter saluran tertanam bagian atas = 0,38 m

LPT = panjang pipa pesat = 45 m

Contoh :  $D_p = 0,38 \text{ m}$

$$CPS = 35 \cdot 0,38^{1,66} \cdot 45$$



$$= 316,025 \text{ US \$}$$

Harga tersebut di atas adalah harga pada tahun 1994, harga nyata pada tahun 2007 adalah dengan membandingkan harga satuan dollar tahun 1994 dengan 2007. Sehingga harga pada tahun 2007 adalah :

$$\begin{aligned} \text{CPS}' &= 316,025 \text{ US \$} \cdot 3,89 \\ &= 1229,337 \text{ US \$} \end{aligned}$$

Dari persamaan (2.27) maka biaya konstruksi tahunan didapat :

- umur ekonomis PLTMH = 20 tahun
- Tingkat bunga (i) = 12 %

Keterangan :

- Umur ekonomis Dam disesuaikan dengan umur proyek yang telah ditentukan.
- Tingkat bunga diambil 12 %, disesuaikan dengan tingkat bunga untuk proyek pembangunan PLTMH di Indonesia.

❖ Biaya Konstruksi tahunan.

$$\begin{aligned} &= \frac{(1 + 0,12)^{20} \cdot 0,12}{(1 + 0,12)^{20} - 1} \cdot 1229,337 \text{ US \$} \\ &= 164,582 \text{ US \$} \end{aligned}$$

❖ Biaya operasi dan pemeliharaan (O dan M per tahun)

$$\begin{aligned} &= 10\% \cdot 1229,337 \text{ US \$} \\ &= 122,9337 \text{ US \$} \end{aligned}$$

❖ Biaya tahunan (BT)

$$\begin{aligned} &= 164,582 \text{ US \$} + 122,9337 \text{ US \$} \\ &= 287,516 \text{ US \$} \end{aligned}$$

2). Biaya Kehilangan Energi (BE)

A). kecepatan air di dalam pipa

$$\begin{aligned} V &= \frac{0,407}{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 0,38^2} \\ &= 3,602 \text{ m/ dt} \end{aligned}$$

B). kehilangan tinggi

Besarnya kehilangan tinggi dari intake-turbin.

- Katup

koefisien kehilangan tinggi tekan yang terjadi pada katup (Dake,1985:77).

$$K_5 = 0,19$$

- Belokan

Koefisien kehilangan tinggi tekan (Anonimous,1974:472)

$$K_6 = fb_1 \cdot fb_2$$

Dengan :

$fb_1$  = koefisien kehilangan tinggi tekan dengan sudut belokan  $90^\circ$  ditentukan berdasarkan perbandingan jari-jari belokan dan diameter pipa (R/D)

$fb_2$  = faktor koreksi bila sudut belokan tidak sama dengan  $90^\circ$ .

Tabel 4.44  
Koefisien Kehilangan Tinggi Tekan Karena Belokan

No	R	D	R/D	$\Theta$	$fb_1$	$fb_2$	K
1	30	0,48	62,5	16°32'24''	0,090	0,35	0,0315
2	27,5	0,48	57,29	24°30'0''	0,090	0,44	0,0396
3	34,4	0,48	71,67	15°27'36''	0,0811	0,35	0,0284
4	32,6	0,48	67,92	16°22'12''	0,090	0,35	0,0315
						$K_6 =$	0,131

(Sumber : PPLH Mojokerto)

- Penyempitan

Koefisien kehilangan tinggi tekan pada penyempitan tergantung pada perbandingan antara pipa yang satu dengan yang lain (Linsley dan Franzini, 1985 : 311)

Tabel 4.45  
Koefisien kehilangan tinggi tekan karena Penyempitan

$D_1/D_2$	Kg	$D_1/D_2$	Kg
0,0	0,5	0,8	0,1
0,45	0,4	1,0	0,00
0,6	0,3		

$$\frac{D_1}{D_2} = \frac{0,38}{0,4} = 0,95$$

Dari tabel 4.45 didapat  $K_7 = 0,054$

- Gesekan

$$K_8 = \frac{124,5 \cdot 0,0012^2}{0,38^{4/3}} \cdot 45$$

$$= 0,029$$

Maka koefisien kehilangan tinggi tekan dari surge tank-turbin adalah :

$$K_{II} = 0,19 + 0,131 + 0,054 + 0,029$$

$$= 0,404$$

$$H_L = 0,404 \cdot \frac{3,602^2}{2 \cdot 9,8} = 0,267$$

C). Daya yang dihasilkan (PE)

Dari perhitungan di atas di dapat  $H_L = 0,267$

$$PE = 9,8 \cdot 0,855 \cdot 0,407 \cdot 0,267$$

$$= 0,912 \text{ kW}$$

D). Energi yang dihasilkan (EL)

$$EL = PE \cdot T$$

$$= 0,912 \cdot 6570$$

$$= 5991,84 \text{ US \$}$$

E). Biaya kehilangan tinggi (KE)

Harga energi untuk beban puncak = 0,058 US \$/kwh pada tahun 2007 (Proyek2\mhpp-gtz\seloliman\_psktkalimaron,2003 :10) adalah :

$$KE = 5991,84 \text{ US \$} \cdot 0,058$$

$$= 347,526 \text{ US \$}$$

4.9.3. Penentuan tinggi kenaikan muka air di dalam surge tank.

Dengan menggunakan persamaan (2.31) maka :

$$\frac{Z_{\text{mak}}}{Z} = (1 - 2/3 p_o + 1/9 p_o^2)$$

$$Z = V (L \cdot A_T / g \cdot A_s)^{1/2} \longrightarrow A_s = 1.1 = 1 \text{ m}^2$$

$$= 3,24 (70 \cdot 0,1256 / 9,8 \cdot 1)^{1/2}$$

$$= 3,069 \text{ m}$$

$$p_o = \frac{H_L}{Z}$$

$$= \frac{0,668}{3,069}$$

$$= 0,218$$

$$\text{Maka } Z_{\text{max}} = 3,069 (1 - 2/3 \cdot 0,218 + 1/9 \cdot 0,218^2)$$

$$= 2,607 \text{ m}$$

Tinggi tangki pendatar = Beda tinggi antara elevasi sungai dengan sumbu saluran tertanam bagian atas +  $Z_{\text{max}}$



$$= 0,3 + 2,607$$

$$= 2.907 \text{ m}$$

#### 4.9.4. Penentuan Tinggi Jatuh Efektif

Tinggi jatuh efektif adalah tinggi jatuh yang dipergunakan dalam perhitungan untuk menghasilkan daya. Tinggi jatuh efektif dapat diperoleh dengan mengurangi tinggi jatuh total (dari permukaan air pada pengambilan sampai permukaan air saluran bawah dengan kehilangan tinggi pada saluran air (Artono Arismunandar, DR, 2004:17)) :

$$H_{\text{eff}} = 15 - 0,935$$

$$= 14,065 \text{ m}$$

#### 4.9.5. Pemilihan jenis Turbin

Pemilihan jenis turbin untuk suatu kondisi head (H) dan kapasitas air (Q) yang tertentu, didasarkan atas perhitungan kapasitas/ daya yang dihasilkan.

Perhitungan :

$$P = 9,8 \cdot \eta \cdot Q \cdot H_{\text{eff}}$$

$$= 9,8 \cdot 0,855 \cdot 0,407 \cdot 14,065$$

$$= 47,965 \text{ kW}$$

dengan :

- P = daya turbin yang dihasilkan (kW)
- H = tinggi jatuh efektif (m)
- Q = debit pembangkit ( $\text{m}^3/\text{detik}$ )
- $\eta$  = efisiensi turbin

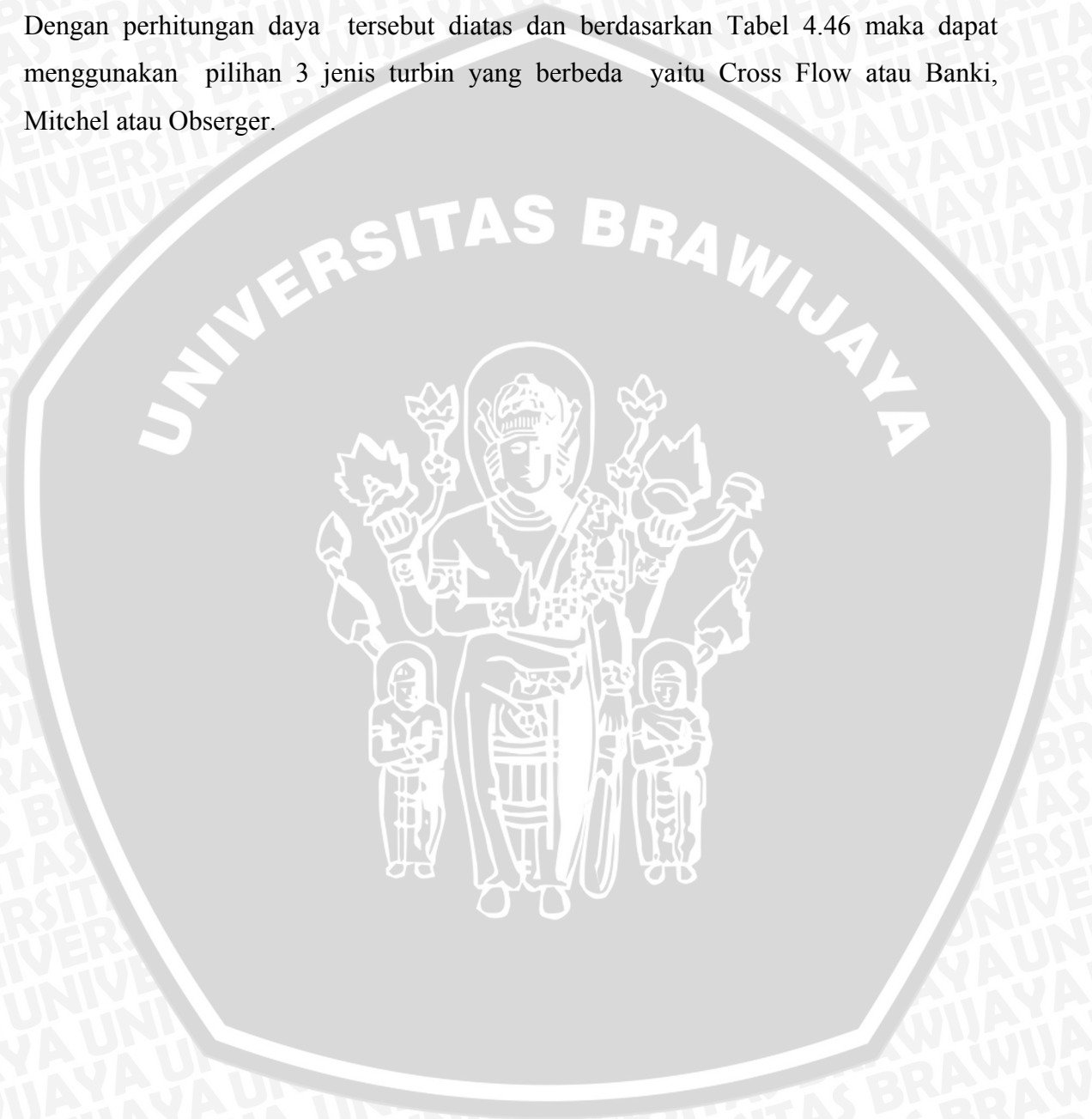
Tabel 4.46  
Pemilihan Jenis Turbin untuk PLTMH

Ketinggian air (M)	Debit ( $\text{M}^3/\text{detik}$ )	Kapasitas (kW)	Jenis turbin
0,5 – 10	-	-	Simple wood and metal wheel
0,5 – 12	0,05 - 8	-	Scheider Hydro Engine
2 – 50	3 – 20	-	Axial flow
2 – 15	1,5 – 40	50 – 5000	a. Straflo
1,25 – 25	3 – 25	150 – 3500	b. Turbular
1 – 70	3 – 40	-	c. Bulb
8 – 300	0,3 – 20	500 – 5000	Kaplan
			Francis

45 – 300	1 – 8	-	Turgo
1 – 200	0,03 – 9	50 – 1000	Cross Flow atau Banki, Mitchel atau Obserger
45 – 1000	0,06 – 3	100 – 5000	Pelton

(Sumber : Kuldip, 2002)

Dengan perhitungan daya tersebut diatas dan berdasarkan Tabel 4.46 maka dapat menggunakan pilihan 3 jenis turbin yang berbeda yaitu Cross Flow atau Banki, Mitchel atau Obserger.



## BAB V

### ANALISA EKONOMI

#### 5.1. Umum

Salah satu dasar pertimbangan dilaksanakannya suatu proyek adalah pertimbangan ekonomi. Dalam kajian ini dilakukan analisa ekonomi dengan perhitungan Benefit Cost Ratio. Untuk keperluan analisa ekonomi ini yang diperhitungkan adalah besarnya daya terpasang dan energi listrik sebagai fungsi benefit dan biaya konstruksi sebagai fungsi cost.

#### 5.2. Fungsi Benefit

##### 5.2.1. Daya Listrik

Daya listrik yang dihasilkan PLTMH Kalimaron adalah fungsi debit dan tinggi jatuh efektif dengan memperhatikan efisiensi turbin dan generator. Besarnya daya listrik adalah :

$$P = 9,8 \cdot \eta \cdot Q \cdot H_{\text{eff}}$$

dengan :

$\eta$  = efisiensi turbin dan generator (0,855)  
jenis turbin adalah Cross flow

$Q$  = debit pembangkit =  $0,407 \text{ m}^3 / \text{dt}$

$H_{\text{eff}}$  = tinggi jatuh efektif =  $14,065 \text{ m}$

$$\begin{aligned} P &= 9,8 \cdot 0,855 \cdot 0,407 \cdot 14,065 \\ &= 47,965 \text{ kW} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Efisiensi (\%)} &= \frac{\text{daya yang keluar}}{\text{daya yang dihasilkan}} \times 100\% \\ &= \frac{25}{47,965} \times 100\% \\ &= 0,521\% \end{aligned}$$

##### 5.2.2. Energi Listrik

PLTMH pada Dam Kalimaron digunakan untuk beroperasi sebagai beban puncak selama 18 jam dalam 1 hari dengan debit yang konstan. Besarnya energi untuk listrik tahunan dihitung dengan rumus :

$$E = P \cdot T$$



dengan :

$$P = \text{daya listrik (kW)}$$

$$T = \text{lama operasi selama 1 tahun}$$

$$= 365 \cdot 18$$

$$= 6570 \text{ jam}$$

$$E = 47,965 \text{ kW} \cdot 6570$$

$$= 315130,05 \text{ kWh}$$

### 5.3. Fungsi Cost

Fungsi cost dinyatakan dengan biaya produksi yang besarnya biaya konstruksi dihitung dengan membandingkan harga satuan dari proyek-proyek PLTMH di Indonesia baik yang sudah beroperasi dalam tahap konstruksi maupun yang masih dalam tahap desain. Biaya konstruksi dinyatakan dalam rumus sbb (Anonymous, 1996: 28) :

#### 1. Bendung.

$$CDM = 30 \cdot VD^{0,9}$$

dengan :

$$CDM = \text{biaya konstruksi bendung}$$

$$VD = \text{volume bendung (pasangan batu kali)} = 29,12 \text{ m}^3$$

#### 2. Intake

$$CIP = 456 \cdot A^{1,11}$$

$$A = [(Ha + L) \cdot Qp]^{0,5} \cdot N^{1/3}$$

dengan :

$$CIP = \text{biaya konstruksi intake}$$

$$L = \text{lebar intake}$$

$$Ha = \text{tinggi tekan kecepatan} = V^2 / 2g$$

$$= 3,24 / (2 \cdot 9,81) = 0,165 \text{ m}$$

$$N = \text{jumlah intake}$$

#### 3. Saluran Pembawa

$$CSP = 30 \cdot LD \cdot Lhr \cdot 2$$

dengan :

$$CSP = \text{biaya konstruksi saluran pembawa}$$

$$LD = \text{luas daerah perkuatan (pasangan batu kali)} = 0,3 \text{ m}^2$$

$$Lhr = \text{panjang saluran pembawa} = 150 \text{ m}$$

## 4. Saluran tertanam bagian atas

$$CH_t = 35 \cdot DH_t^{1,5} \cdot LH_t \cdot N$$

dengan :

$CH_t$  = biaya saluran tertanam bagian atas.

$DH_t$  = diameter saluran tertanam bagian atas = 0,4 m

$LH_t$  = panjang diameter saluran tertanam bagian atas = 70 m

$N$  = jumlah saluran = 1

## 5. Surge Tank (Tangki Pendatar).

$$CST = 84 \cdot [Q_p (H_a + L_t)^{1,4}]^{0,96}$$

dengan :

$CST$  = biaya surge tank

$L_t$  = tinggi surge tank = 2,907 m

$Q_p$  = debit pembangkit = 0,407 m<sup>3</sup>/dt

$H_a$  = tinggi tekan kecepatan =  $V^2/2g$   
 $= 3,24 / (2 \cdot 9,81) = 0,165$  m

## 6. Pipa Pesat (Penstock).

$$CPS = 35 \cdot D_p^{1,66} \cdot LPT \cdot N$$

dengan :

$CPS$  = biaya pipa pesat

$D_p$  = diameter pipa pesat = 0,38 m

$LPT$  = panjang pipa pesat = 45 m

## 7. Power house.

$$CHP = CHP_1 + CHP_2$$

$$CHP_1 = 3,9 \cdot 200 \cdot \left( \frac{P}{H_{eff}^{0,5}} \right)^{0,71}$$

$$CHP_2 = 6,0 \cdot 200 \cdot (Q_p \cdot H_{eff}^{2/3} \cdot N^{0,5})^{0,85}$$

dengan :

$CHP$  = biaya total power house

$CHP_1$  = biaya untuk gedung power house

$CHP_2$  = biaya untuk pondasi power house

## 8. Power Equipment.

$$CPE = 5,9 \cdot 200 \cdot \left( \frac{P}{H_{eff}^{0,5}} \right)^{0,9}$$

dengan :

CPE = biaya power equipment.

Besarnya harga konstruksi tersebut disajikan pada Tabel 5.1.

#### 5.4. Keuntungan Tahunan (Annual Benefit)

Besarnya keuntungan tahunan yang diperhitungkan dalam hal ini adalah (Anonymous, 1989 : VIII – 5) :

1. Keuntungan daya terpasang (kW)
2. Keuntungan energi listrik (Kwh)

Besarnya keuntungan tahunan ini disajikan pada Tabel 5.1.

#### 5.5. Benefit Cost Ratio (BCR)

Benefit cost ratio (BCR) adalah perbandingan antara besarnya keuntungan tahunan dengan biaya tahunan. Besarnya BCR ini dapat dilihat pada Tabel 5.1.

#### 5.6. Internal Rate Of Return (IRR)

Metode ini digunakan untuk mencari suku bunga proyek yang mempunyai pengeluaran sama dengan penerimaan atau nilai sekarang seluruh penerimaan (benefit) sama dengan nilai sekarang seluruh pengeluaran (cost) dari proyek. Perhitungan nilai sekarang digunakan rumus sebagai berikut :

$$P = A \cdot \frac{(1 + \text{IRR})^n - 1}{\text{IRR} (1 + \text{IRR})^n}$$

dengan :

- P = nilai uang sekarang  
 A = keuntungan (benefit) tahunan  
 IRR = tingkat bunga  
 n = usia guna PLTMH = 20 tahun

Perhitungan nilai IRR berdasarkan perhitungan nilai sekarang adalah :

$$\begin{aligned} P &= A \cdot \frac{(1 + \text{IRR})^n - 1}{\text{IRR} (1 + \text{IRR})^n} \\ 39081.623 &= 18280.32487 \text{ US \$} \cdot \frac{(1 + 0,45)^{20} - 1}{0,45 (1 + 0,45)^{20}} \\ 39081.623 &= 40598.87774 \end{aligned}$$

Perbandingan nilai A dan P = 1.038822716 → 1

Sehingga didapatkan nilai IRR = 45 %



### Internal Rate Of Return (IRR)

Udah dibagi daya yang dijual ke konsumen dan PLN

Dijual ke konsumen = **12.10 kW**

Dijual ke PLN = 47.965 – 12.10 kW

= **35.865 kW**

Metode ini digunakan untuk mencari suku bunga proyek yang mempunyai pengeluaran sama dengan penerimaan atau nilai sekarang seluruh penerimaan (benefit) sama dengan nilai sekarang seluruh pengeluaran (cost) dari proyek. Perhitungan nilai sekarang digunakan rumus sebagai berikut :

$$P = A \cdot \frac{(1 + \text{IRR})^n - 1}{\text{IRR} (1 + \text{IRR})^n}$$

dengan :

P = nilai uang sekarang

A = keuntungan (benefit) tahunan

IRR = tingkat bunga

n = usia guna PLTMH = 20 tahun

Perhitungan nilai IRR berdasarkan perhitungan nilai sekarang adalah :

$$P = A \cdot \frac{(1 + \text{IRR})^n - 1}{\text{IRR} (1 + \text{IRR})^n}$$

$$39081.623 = 14487.7408 \text{ US \$} \cdot \frac{(1 + 0,37)^{20} - 1}{0,37 (1 + 0,37)^{20}}$$

$$39081.623 = 39083.88108$$

Perbandingan nilai A dan P = 1.000057779 → 1

Sehingga didapatkan nilai IRR = 37 %

## BAB VI PENUTUP

### 6.1. Kesimpulan

Dari hasil perhitungan yang telah dilakukan pada kajian ini dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Dari analisa perhitungan debit pembangkit yang didasarkan pada penentuan plant faktor maka didapatkan debit pembangkit maksimum sebesar  $0,407 \text{ m}^3/\text{detik}$
2. Dari perhitungan Efectif Storage Draft waduk didapatkan besarnya tampungan efektif  $S = 1,1121 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ .
3. Dari perhitungan kelistrikan didapat :
  - Besarnya daya listrik = 47,965 kW
  - Besarnya energi listrik tahunan = 315130,05 kWh
4. Dari analisa ekonomi didapat
  - Keuntungan tahunan = 18280,32487 US \$
  - Biaya tahunan = 9140,362 US \$
5. Dan besarnya Benefit Cost Ratio (BCR) = 1,999

Dengan adanya kenaikan daya menjadi 47,965 kW maka jumlah listrik/ daya yang berlebih dapat dijual ke PLN menjadi lebih besar, sehingga menghasilkan keuntungan yang lebih besar pula. Dari keuntungan tersebut maka dapat dipakai untuk meningkatkan perekonomian masyarakat sekitar PLTMH dan menjadikan PLTMH menjadi percontohan bagi daerah lainnya. Proyek pembangunan PLTMH Kalimaron dapat disimpulkan bahwa secara finansial mampu menghasilkan laba, sehingga layak untuk dilaksanakan.

### 6.2. Saran.

1. Dalam perencanaan pembangkit mikrohidro juga harus dipertimbangkan masalah penyaluran irigasi, artinya dengan keberadaan pembangkit tersebut aliran irigasi tidak terganggu.
2. Dalam perencanaan yang menyangkut pemilihan teknologi harus didukung oleh data yang kongkrit, cukup dan dapat diandalkan. Karena semakin kongkrit dan valid data maka jaringan pembangkit PLTMH dalam menghasilkan daya dapat di optimalkan. Dan efisiensinya menjadi lebih besar.

3. Dari analisa efisiensi pembangkit mikrohidro di Sungai Kalimaron kecil, yaitu 52,1 %. Sehingga ini berarti bahwa pembangkit yang selama ini digunakan oleh PLTMH Kalimaron kurang maksimal dalam menghasilkan daya. Kemungkinan ini disebabkan karena kapasitas dari generator terlalu besar, dan tidak seimbang dengan besarnya daya yang dihasilkan oleh potensi air. Hal ini dapat diatasi dengan menambah besarnya penstock sehingga daya yang dihasilkan oleh turbin menjadi lebih besar dan generator dapat bekerja dalam keadaan nominal.
4. Faktor lingkungan sekitar sangat mempengaruhi kelangsungan pembangkit mikrohidro, oleh karena itu harus dijaga kelestarian lingkungannya dalam hal ini kelestarian hutan.
5. Dengan adanya pemberdayaan masyarakat setempat beserta aparat terkait sejak awal pembangunan dalam bentuk transfer teknologi dan pelatihan dari institusi terkait akan mampu menjadikan proyek PLTMH lebih ekonomis dan dapat berkelanjutan lebih lama.
6. Keunggulan lain dari PLTMH adalah :
  1. Potensi energi air yang melimpah,
  2. Teknologi PLTMH merupakan teknologi ramah lingkungan dan terbarukan
  3. Biaya operasi rendah
  4. Tahan lama (Long life)
  5. Sesuai untuk daerah terpencil yang belum dilalui oleh jaringan listrik PLN (sesuai untuk negara berkembang)
  6. Menggunakan energi mikro sama artinya dengan menjaga kelestarian alam karena kapasitas listrik dari PLTMH ditentukan oleh keberadaan air. Makin besar debit dan beda tinggi air yang diterjunkan, makin besar tenaga listrik yang dihasilkan.





repository.ub.ac.id

**KAJIAN KETENAGALISTRIKAN PADA DAM KALIMARON  
DESA SELOLIMAN KABUPATEN MOJOKERTO**

**SKRIPSI**

Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan  
memperoleh gelar Sarjana Teknik

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA**



Disusun oleh :

**FIFI ANDRIYANI AGUSTIN**  
**NIM. 0210640028 - 64**

**DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL  
UNIVERSITAS BRAWIJAYA  
FAKULTAS TEKNIK  
MALANG  
2007**



**KAJIAN KETENAGA LISTRIKAN PADA DAM KALIMARON  
DESA SELOLIMAN KABUPATEN MOJOKERTO**

**SKRIPSI**

Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan  
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun oleh :

**FIFI ANDRIYANI AGUSTIN**  
NIM. 0210640028 - 64

**DOSEN PEMBIMBING**

Dr. Ir. Rispiningtati, M. Eng.  
NIP. 130 531 842

Ir. Endang Purwati, MP.  
NIP. 130 936 215

repository.ub.ac.id

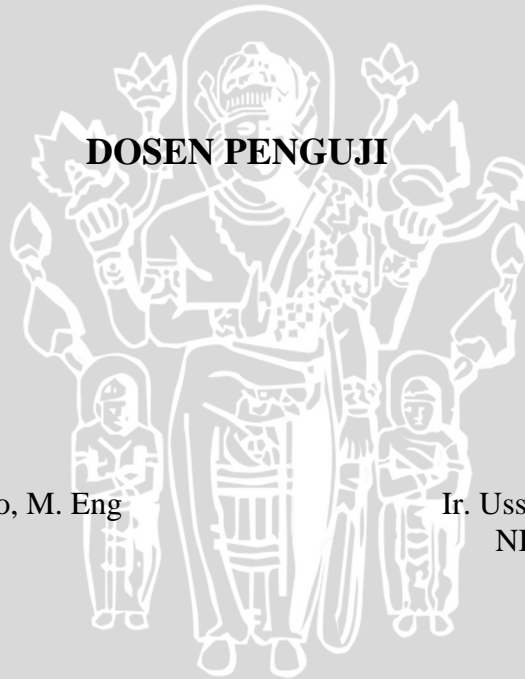
# **KAJIAN KETENAGALISTRIKAN PADA DAM KALIMARON DESA SELOLIMAN KABUPATEN MOJOKERTO**

Disusun oleh :  
**FIFI ANDRIYANI AGUSTIN**  
NIM. 0210640028 - 64

Skripsi ini telah diuji dan dinyatakan lulus pada  
tanggal 18 April 2007

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA**

## **DOSEN PENGUJI**



DR. Ir. Widandi Soetopo, M. Eng  
NIP. 131 475 835

Ir. Ussy Andawayanti, MS  
NIP. 131 645 151

Mengetahui,  
Ketua Jurusan Teknik Pengairan

Ir. Suwanto Marsudi,  
NIP. 131 629 863



## DAFTAR GAMBAR

No.	Judul	Halaman
Gambar 1.1.	Proses Daur Hidrologi .....	1
Gambar 1.2.	Proses pemanfaatan air dam .....	2
Gambar 1.3.	Jaringan Pembangkit Mikro PLTMH .....	5
Gambar 1.4.	Lay out PLTMH Kalimantan .....	6
Gambar 1.5.	Lay out Intake PLTMH Kalimantan .....	7
Gambar 1.6.	Gambar lokasi PPLH Seloliman Mojokerto .....	8
Gambar 2.1.	Bentuk Hidrograf Snyder .....	17
Gambar 2.2.	Inflow-Outflow pada Kurva Massa Reduksi .....	18
Gambar 2.3.	Garis Arah Outflow .....	19
Gambar 2.4.	Segitiga beban harian pemakaian listrik pada PLTMH Kalimantan ...	20
Gambar 3.1.	Lengkung beban harian .....	26
Gambar 3.2.	Diagram alir penyelesaian skripsi .....	30
Gambar 3.3.	Diagram aliran Pembangkit Mikro Hidro Kalimantan .....	31
Gambar 3.4.	Peta Area PPLH (Pusat Pendidikan Lingkungan Hidup) .....	32
Gambar 4.1.	Uji kesesuaian Distribusi Log Pearson Type III .....	38
Gambar 4.2.	Hidrograf Banjir (Q200 tahun) .....	47
Gambar 4.3.	Kurva Massa Reduksi .....	66



## DAFTAR ISI

	Halaman
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	<b>i</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>ii</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>iv</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>vi</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	<b>vii</b>
<b>BAB I : PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
1.1. Umum .....	1
1.2. Latar Belakang Masalah .....	2
1.3. Batasan Masalah .....	3
1.4. Rumusan Masalah .....	3
1.5. Maksud dan Tujuan Kajian .....	3
1.6. Metode Pembahasan .....	4
<b>BAB II : KAJIAN PUSTAKA</b> .....	<b>9</b>
2.1. Curah Hujan Rancangan .....	9
2.1.1. Perhitungan curah hujan rancangan dengan Log Pearson Type III.....	9
2.2. Uji Kesesuaian Distribusi Frekuensi.....	10
2.3. Analisis Debit Banjir Rancangan .....	14
2.3.1. Curah hujan efektif .....	14
2.3.2. Hidrograf satuan sintetis Snyder .....	16
2.4. Penentuan Debit Pembangkit Optimal Dan Tampungan Efektif... ..	18
2.4.1. Kurva massa reduksi.....	18
2.5. Menganalisa Dimensi Bangunan Pembangkit Listrik.....	20
2.5.1. Penganalisaan diameter pipa pesat/ saluran tertanam bagian atas dan pipa pesat bagian bawah .....	20
2.5.2. Surge tank .....	22
<b>BAB III : METODOLOGI PENELITIAN</b> .....	<b>24</b>
3.1. Lokasi Daerah Studi .....	24
3.1.1. Batas administratif .....	24
3.1.2. Kondisi topografi dan morfologi .....	25
3.2. Kondisi Teknis Dam Kalimaron .....	25
3.3. Data-data Studi .....	27
3.4. Sistematika Penyusunan Skripsi .....	28
3.5. Rancangan Hasil Studi .....	29
<b>BAB IV : DATA DAN PENGOLAHAN DATA</b> .....	<b>33</b>
4.1. Data Curah Hujan Daerah Harian Maksimum .....	33
4.2. Data Curah Hujan Tahunan .....	33
4.3. Data Debit Rata-rata Bulanan .....	34
4.4. Perhitungan Curah Hujan Rancangan dengan Metode Log Pearson Type III .....	35
4.4.1. Uji kesesuaian distribusi Log pearson Type III .....	36



4.5.	Analisis Debit Banjir Rancangan .....	42
4.5.1.	Curah hujan efektif .....	42
4.5.2.	Distribusi hujan jam-jaman .....	42
4.5.3.	Hidrograf satuan sintetis Snyder .....	43
4.6.	Penentuan Debit Pembangkit dan Tampungan Efektif .....	48
4.6.1.	Perpanjangan data debit .....	48
4.6.2.	Perhitungan debit bulanan di lokasi proyek .....	51
4.6.3.	Kurva Massa Reduksi .....	52
4.7.	Penentuan Debit Pembangkit Maksimum .....	67
4.8.	Dimensi Bendung .....	67
4.8.1.	Tinggi bendung .....	67
4.8.2.	Volume bendung .....	67
4.9.	Pengalisan Dimensi Bangunan Pembangkit Listrik .....	67
4.9.1.	Panganalisan saluran tertanam bagian atas .....	67
4.9.2.	Penganalisan diameter pipa pesat .....	70
4.9.3.	Penentuan tinggi muka air di dalam Surge Tank .....	73
4.9.4.	Penentuan tinggi jatuh efektif.....	74
4.9.5.	Pemilihan jenis turbin .....	74
<b>BAB V</b>	<b>: ANALISA EKONOMI .....</b>	<b>76</b>
5.1.	Umum .....	76
5.2.	Fungsi Benefit .....	76
5.2.1.	Daya Listrik .....	76
5.2.2.	Energi Listrik .....	76
5.3.	Fungsi Cost .....	77
5.4.	Keuntungan Tahunan (Annual Benefit) .....	79
5.5.	Benefit Cost Ratio (BCR) .....	79
5.6.	Internal Rate of Return (IRR) .....	79
<b>BAB VI</b>	<b>: PENUTUP .....</b>	<b>81</b>
6.1.	Kesimpulan .....	81
6.2.	Saran .....	81
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	<b>.....</b>	<b>ix</b>
<b>LAMPIRAN</b>	<b>.....</b>	<b>xi</b>



## DAFTAR LAMPIRAN

<b>Judul</b>	<b>Halaman</b>
Pemohon .....	83
Umum .....	83
Status Hukum dan Usaha PLTMH Kalimantan .....	83
Deskripsi Teknis PLTMH Kalimantan .....	84
Umum ... ..	84
Lokasi PLTMH Kalimantan .....	85
Kondisi Teknis .....	85
Interkoneksi ke Jaringan PLN.....	86
Operasional dan Pemeliharaan .....	86
Kelayakan Usaha PLTMH Kalimantan .....	87
Pemasaran .....	87
Teknis Operasional .....	87
Produksi .....	88
Penjualan Listrik ... ..	88
Aspek Finansial .....	91
Pengembangan PLTMH Kalimantan .....	93
Analisa Sumber Daya Alam dan Sosial .....	93
Profil desa Seloliman .....	93
Sejarah Desa .....	93
Topografi .....	94
Ketersediaan air di Sungai Kalimantan .....	94
Sosial budaya masyarakat .....	96
Peta Potensi SDA dan SDM .....	99
Analisa Hasil Yang diharapkan .....	101
Rencana Strategis.....	101
Analisa Resiko Selama Proyek .....	102
Analisa Tokoh Kunci (Sosio-Politik) .....	103
Data Geografi dan Demografi desa Seloliman .....	106
Luas lahan produksi tanaman utama .....	106
Perbandingan pendapatan dilahan pertanian/ lahan bekas hutan .....	106
Tata Guna lahan .....	107
Jumlah Penduduk menurut mata pencaharian .....	108
Jenis Ternak yang dikembangkan .....	108
Jumlah anggota kelompok kegiatan Tani Hutan Desa Seloliman .....	108
Jumlah Kelompok Kegiatan Usaha .....	108
Jumlah kelompok Kegiatan Keagamaan .....	109
Jumlah Penduduk di tingkat Pendidikan .....	109
Jarak tempuh antara desa dengan Pusat Pertumbuhan yang mempengaruhi .....	109
Kegiatan adat jawa yang masih dilakukan .....	110
Makalah PPLH Seloliman dalam Lokakarya : Teknologi Energi Terbarukan.....	111
Latar Belakang Gagasan PLTMH .....	111
Proses Pengelolaan PLTMH .....	112
Tindak Lanjut Pengembangan PLTMH .....	112
Gambar Lay Out Jaringan PLTMH Kalimantan .....	114
Gambar Jaringan PLTMH Kalimantan mulai dari Intake sampai Power House dan potongan memanjng Penstock .....	115

Gambar Pembangkit PLTMH Kalimaron .....	116
Gambar Saluran Pelimpah (Spillway) .....	116
Gambar Bangunan PLTMH Kalimaron .....	117
Gambar Saluran Pembawa PLTMH Kalimaron .....	117
Gambar Generator PLTMH Kalimaron .....	118
Gambar Turbin PLTMH Kaliamron .....	118
Gambar Power House (Rumah Pembangkit) Tampak Atas .....	119
Gambar Potongan A-A dan B-B pada Power House .....	120
Gambar Potongan C-C pada Power House .....	121
Gambar Spesifikasi Turbin Cross Flow PLTMH Kalimaron Tampak Depan .....	122
Gambar Spesifikasi Turbin Cross Flow PLTMH Kalimaron Tampak Samping .....	123
Gambar Spesifikasi Generator PLTMH Kalimaron .....	124
Gambar Load Controller Bagian Depan .....	125
Gambar Load Controller Bagian Dalam .....	125
Pusat Pendidikan Lingkungan Hidup (PPLH) .....	126
Visi, Misi dan Aktifitas .....	126
Apa Yang Dibicarakan .....	127
Kelompok Sasaran .....	127
Media dan Fasilitas Program PPLH Seloliman .....	128
Lahan PPLH .....	128
Bangunan Fisik .....	129
Fasilitas (ruang) Pertemuan .....	129
Ruang Seminar .....	129
Ruang Progran dan perpustakaan .....	129
Ruang Serbaguna .....	129
Menuju PPLH Seloliman .....	130
Komponen Dasar dalam Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro ....	132
Pendahuluan .....	132
Potensi .....	132
Keuntungan Mini-Mikro Hidro Power .....	132
Faktor Beban .....	132
Jenis Instalasi PLTMH .....	133
Instalasi Daerah Pegunungan .....	133
Instalasi Daerah .....	134
Pemilihan Teknologi .....	134
Turbin .....	134
Jenis Generator .....	134
Generator Sinkron .....	134
Generator .....	135
Kesimpulan .....	135



## DAFTAR PUSTAKA

- Anonimous. 1974. *Design Of Small Dams*, Oxford And IBH Publishing Co : New Delhi.
- Anonimous. 1985. *Kriteria Perencanaan Proyek PLTA Tahap Prefeasibility Study*, PT. Indra Karya : Jakarta.
- Anonimous. 1989. *Pekerjaan Studi Kelayakan PLTM Parigi Dan Kolondom*, PT. Indra Karya : Jakarta.
- Anonimous. 1996. *Proyek-proyek Seloliman\_pskt Kalimantan*, PPLH : Mojokerto.
- Arismunandar, S. Kuwahara. 1979. *Teknik Tenaga Listrik*, PT. Pradnya Paramita: Jakarta.
- Arismunandar, S. Kuwahara. 2004. *Teknik Tenaga Listrik*, PT. Pradnya Paramita: Jakarta.
- Bapangsamirana, Y.B. 2001. *Aspek Administratif Proyek PLTMH*, Workshop Pengelolaan dan Perencanaan Teknis Pembangunan PLTMH : UDIKLAT PLN Saguling.
- Dake JMK. 1983. *Hidrolika Teknik*, Erlangga : Jakarta.
- Dandekar, M.M dan Sharma, K.N. 1979. *Water Power Engineering*, Vikas Publishing House PVT LTD : New Delhi.
- Joesron Lubis, Ir. 1984. *Water Resources Engineering*, Departemen Pekerjaan Umum Badan Penerbit Pekerjaan Umum : Jakarta.
- Kuldip, S.S.,2002, *Selection of Hydraulic Turbines for Small Hydro Power*, Lecture Notes on Overview of SHP Development : MACT-Bhopal, India
- Linsley, K. Ray dan Joeseph B. Franzini. 1985. *Teknik Sumber Daya Air II*, Erlangga: Jakarta.
- Linsley, K Ray dan Joeseph B. Franzini. 1986. *Teknik Sumber Daya Air II*, Erlangga: Jakarta.
- Mumpuni, Sri. 2001. *Pengembangan Mini-Mikro Hidro di Indonesia*, Diskusi Ilmiah METI : Jakarta.
- Nemec. 1973. *Engineering Hydrology*, Tata MC Graw-Hill Publishing Company Ltd : New Delhi.
- Seloliman, PPLH. 2003. *Proyek-Proyek Mhpp-gtz Seloliman\_pskt Kalimantan*, PPLH : Mojokerto.
- Patty, O.F, Ir. 1995. *Tenaga Air*, Erlangga : Surabaya.
- Shahin, M. 1976. *Statistical Analysis In Hidrology Volume II*, Delft : Netherlands.
- Soemarto CD. 1987. *Hidrologi Teknik*, Usaha Nasional : Surabaya.



Soemarto CD. 1995. *Hidrologi Teknik*, Eralangga : Jakarta.

Soewarno. 1995. *Hidrologi*, Nova : Surabaya.

Sosrodarsono, Suyono Dan Takeda, Kensako. 1983. *Bendungan Type Urugan*, Pradnya Paramita : Jakarta.



## DAFTAR TABEL

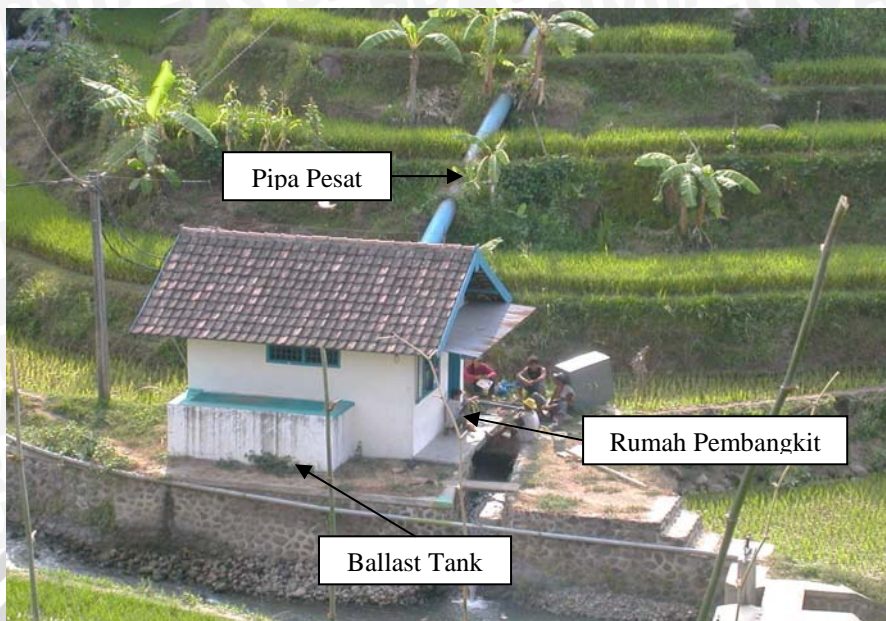
No.	Judul	Halaman
Tabel 2.1.	Harga Koefisien Skewness Positif .....	11
Tabel 2.2.	Harga Koefisien Skewness Negatif .....	12
Tabel 2.3.	Harga Koefisien Pengaliran .....	15
Tabel 3.1.	Elektro Mekanikal PLTMH Kalimantan .....	26
Tabel 4.1.	Curah Hujan Daerah Harian Maksimum Tahunan di DAS Kalimantan... ..	33
Tabel 4.2.	Data Curah Hujan Tahunan .....	33
Tabel 4.3.	Data debit Rata-rata Bulanan di stasiun Debit Trawas .....	34
Tabel 4.4.	Perhitungan Curah Hujan Rancangan .....	35
Tabel 4.5.	Curah Hujan Rancangan .....	36
Tabel 4.6.	Tahapan Plotting pada Kertas Probabilitas .....	37
Tabel 4.7.	Perbedaan Probabilitas Distribusi Empiris dan Teoritis Log Pearson Type III .....	39
Tabel 4.8.	Perbedaan Probabilitas Distribusi Empiris dan Teoritis Log Pearson Type III (Untuk Uji Chi Square) .....	39
Tabel 4.9.	Harga Kritis Untuk Smirnov Kolmogorof Test .....	40
Tabel 4.10.	Harga Chi Square untuk Chi Square Test .....	41
Tabel 4.11.	Curah Hujan Efektif .....	42
Tabel 4.12.	Distribusi Hujan Jam-jaman .....	42
Tabel 4.13.	Distribusi curah Hujan Efektif Jam-jaman .....	43
Tabel 4.14.	Harga $C_T$ dan $C_P$ Berdasarkan Luas Daerah pengaliran .....	43
Tabel 4.15.	Hidrograf Satuan sintetik Snyder .....	45
Tabel 4.16.	Perhitungan Hidrograf Banjir .....	46
Tabel 4.17.	Data Debit pengamatan dan Data Debit hasil Perpanjangan .....	50
Tabel 4.18.	Rata-rata Debit Bulanan di Lokasi Dam Kalimantan .....	51
Tabel 4.19.	Harga Debit Rata-rata Jangka Panjang .....	52
Tabel 4.20.	Perhitungan Kapasitas Tampungan Waduk dengan Metode Kurva Massa Reduksi tahun 2001 .....	53
Tabel 4.21.	Perhitungan Kapasitas Tampungan Waduk dengan Metode Kurva Massa Reduksi tahun 2002 .....	53
Tabel 4.22.	Perhitungan Kapasitas Tampungan Waduk dengan Metode Kurva Massa Reduksi tahun 2003 .....	53
Tabel 4.23.	Perhitungan Kapasitas Tampungan Waduk dengan Metode Kurva Massa Reduksi tahun 2004 .....	54
Tabel 4.24.	Perhitungan Kapasitas Tampungan Waduk dengan Metode Kurva Massa Reduksi tahun 2005 .....	54
Tabel 4.25.	Perhitungan Kapasitas Tampungan Waduk dengan Metode Kurva Massa Reduksi tahun 2006 .....	54
Tabel 4.26.	Perhitungan Kapasitas Tampungan Waduk dengan Metode Kurva Massa Reduksi tahun 2007 .....	55
Tabel 4.27.	Perhitungan Kapasitas Tampungan Waduk dengan Metode Kurva Massa Reduksi tahun 2008 .....	55
Tabel 4.28.	Perhitungan Kapasitas Tampungan Waduk dengan Metode Kurva Massa Reduksi tahun 2009 .....	55
Tabel 4.29.	Perhitungan Kapasitas Tampungan Waduk dengan Metode Kurva Massa Reduksi tahun 2010 .....	56



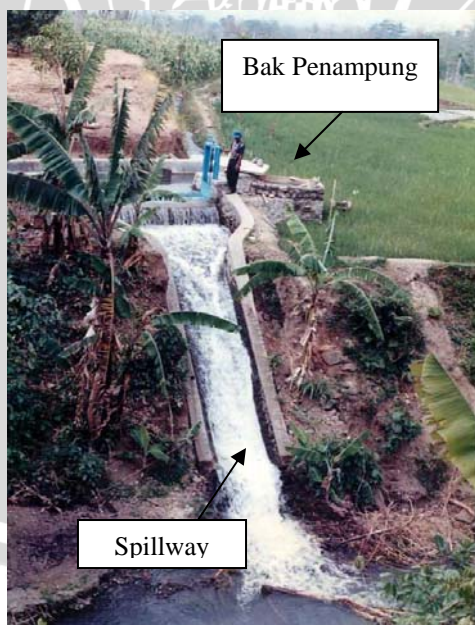
Tabel 4.30. Perhitungan Kapasitas Tampungan Waduk dengan Metode Kurva Massa Reduksi tahun 2011 .....	56
Tabel 4.31. Perhitungan Kapasitas Tampungan Waduk dengan Metode Kurva Massa Reduksi tahun 2012 .....	56
Tabel 4.32. Perhitungan Kapasitas Tampungan Waduk dengan Metode Kurva Massa Reduksi tahun 2013 .....	57
Tabel 4.33. Perhitungan Kapasitas Tampungan Waduk dengan Metode Kurva Massa Reduksi tahun 2014 .....	57
Tabel 4.34. Perhitungan Kapasitas Tampungan Waduk dengan Metode Kurva Massa Reduksi tahun 2015 .....	57
Tabel 4.35. Perhitungan Kapasitas Tampungan Waduk dengan Metode Kurva Massa Reduksi tahun 2016 .....	58
Tabel 4.36. Perhitungan Kapasitas Tampungan Waduk dengan Metode Kurva Massa Reduksi tahun 2017 .....	58
Tabel 4.37. Perhitungan Kapasitas Tampungan Waduk dengan Metode Kurva Massa Reduksi tahun 2018 .....	58
Tabel 4.38. Perhitungan Kapasitas Tampungan Waduk dengan Metode Kurva Massa Reduksi tahun 2019 .....	59
Tabel 4.39. Perhitungan Kapasitas Tampungan Waduk dengan Metode Kurva Massa Reduksi tahun 2020 .....	59
Tabel 4.40. Perhitungan Kapasitas Tampungan Waduk Metode Simulasi mulai tahun 2001 sampai tahun 2020 .....	60
Tabel 4.41. Storage Draft Waduk .....	64
Tabel 4.42. Efektif Storage pada setiap debit Draft .....	65
Tabel 4.43. Rasio Pengembangan Pada kurva Massa Reduksi .....	65
Tabel 4.44. Koefisien Kehilangan Tinggi Tekan Karena Belokan .....	72
Tabel 4.45. Koefisien kehilangan Tinggi karena penyempitan .....	72
Tabel 4.46. Pemilihan Jenis Turbin untuk PLTMH .....	74
Tabel 5.1. Besar Biaya Tahunan, Keuntungan Tahunan dan Benefit Cost Ratio ...	80





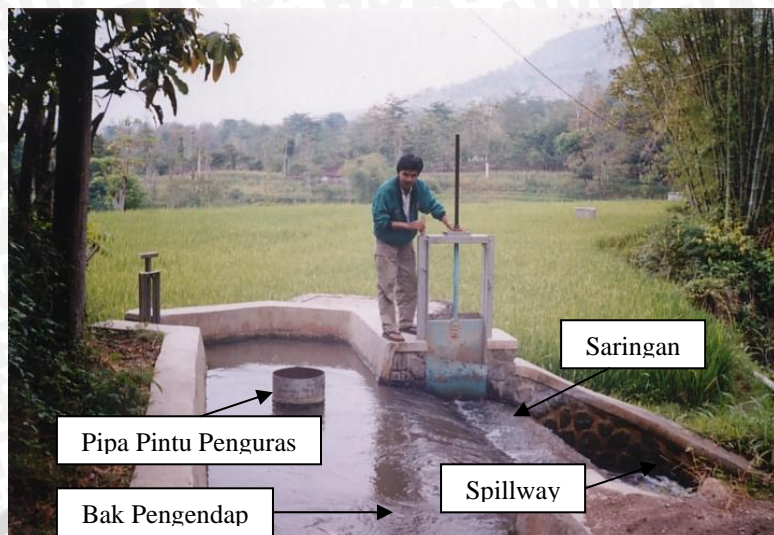


Gambar Pembangkit PLTMH Kalimaron Desa Seloliman Mojokerto



Gambar Saluran Pelimpah (SpillWay)





Gambar Bangunan PLTMH Kalimaron



Gambar Saluran Pembawa Pembangkit PLTMH



Gambar Generator 40 Kva PLTMH Kalimaron

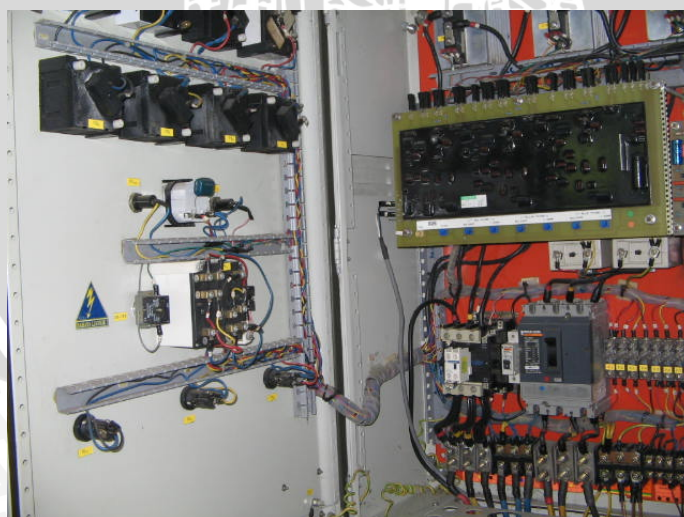


Gambar Turbin Cross-Flow tipe terbaru T-14 D300





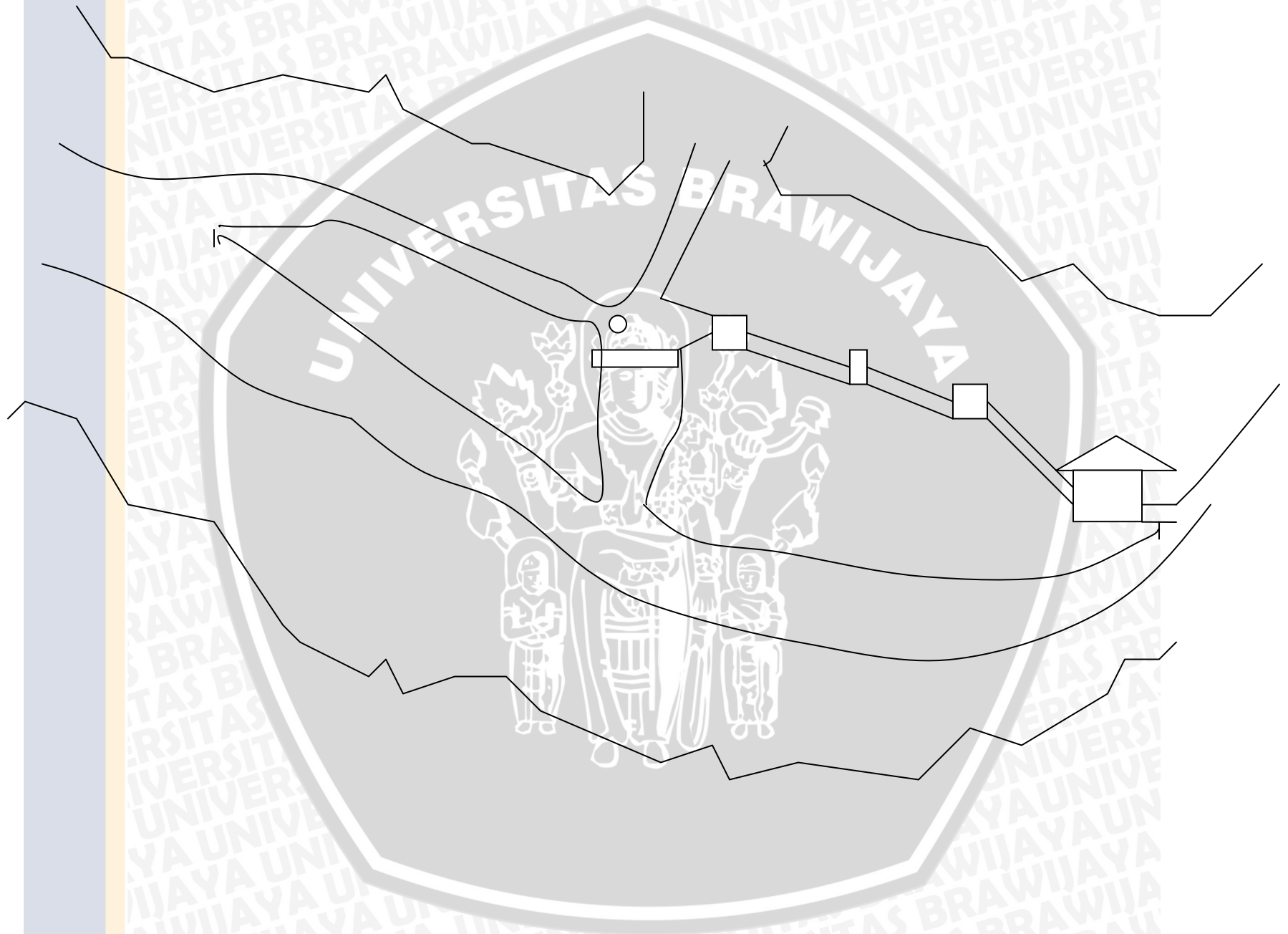
Gambar Load Contoller ELC GP Electronics  
STARCCTI bagian depan.



Gambar Load Contoller ELC GP Electronics  
STARCCTI bagian dalam









## KATA PENGANTAR

Puji syukur penyusun panjatkan ke hadirat ALLAH SWT atas segala nikmat dan karunianya sehingga penyusun dapat menyelesaikan tugas akhir ini.

Tugas akhir ini berjudul “KAJIAN KETENAGALISTRIKAN PADA DAM KALIMARON DESA SELOLIMAN KABUPATEN MOJOKERTO”. Tugas akhir ini disusun untuk memenuhi kurikulum Fakultas Teknik Jurusan Pengairan Universitas Brawijaya, sebagai syarat guna mencapai gelar Sarjana Teknik.

Dalam kesempatan ini penyusun ingin menyampaikan ucapan terima kasih serta penghargaan yang setinggi-tingginya kepada :

1. Para dosen pembimbing
  - Ibu DR. Ir. Rispiningtati, M.Eng.
  - Ibu Ir. Endang Purwati, MP
2. Bapak Ir. Suwanto Marsudi, selaku ketua jurusan Pengairan Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
3. Mas Sisyantoko, selaku pembimbing di lapangan (PPLH) yang telah banyak membantu dan memberikan data-data teknis tentang PLTMH Kalimaron.
4. Bapak dan Ibu serta saudara-saudaraku yang telah memberikan doa restu dorongan lahir batin, sehingga tugas akhir ini dapat penyusun selesaikan.
5. Saudara-saudaraku Mahasiswa Jurusan Pengairan Fakultas Teknik Universitas Brawijaya yang seiman dan seperjuangan yang telah banyak membantu dalam penyusunan tugas akhir ini.

Penyusun menyadari, bahwa dengan terbatasnya waktu, pustaka, pengetahuan maupun pengalaman yang ada pada penyusun, sudah barang tentu tugas akhir ini jauh dari sempurna. Oleh karena itu penyusun mengharapkan saran-saran serta koreksi demi kesempurnaan tugas akhir ini.

Akhir kata, penyusun berharap semoga tugas akhir ini dapat bermanfaat dan menambah wawasan bagi yang membacanya khususnya bagi penyusun yang akan merupakan bekal yang sangat berguna kelak dikemudian hari.

Malang, April 2007

Penyusun



Tabel 5.2  
Perhitungan besarnya IRR  
(Internal Rate of Return)

Uraian	Biaya konstruksi	Biaya konstruksi	Biaya Operasi dan	Keuntungan tahunan	Biaya tahunan
	US \$	tahunan US \$	Pemeliharaan (OM) US \$	US \$	US \$
[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]
<b>Fungsi Benefit</b>					
1. Daya listrik =					
	47.965			2.78197	
2. Energi Listrik =					
	315130.05			18277.5429	
<b>Fungsi Cost</b>					
1. Bendung	623.582	280.778	62.358		343.136
2. Intake	301.370	108.725	30.137		138.862
3. Saluran Pembawa	2700.000	974.079	270.000		1244.079
4. Saluran tertanam bagian atas	619.806	223.608	61.981		285.588
5. Surge tank	160.171	57.785	16.017		73.802
6. Pipa pesat	316.025	114.012	31.602		145.615
7. Power house	17136.289	6182.258	1713.629		7895.887
8. Power equipment	17224.379	6214.038	1722.438		7936.476
<b>Total</b>	<b>39081.623</b>	<b>14155.283</b>	<b>3908.162</b>	<b>18280.32487</b>	<b>18063.445</b>

Keterangan :

[2] = berdasarkan rumus yang diuraikan sebelumnya

$$[3] = [2] \cdot \frac{i}{[i + 1]^{20} \cdot i} \longrightarrow i = 36\%$$

$$[4] = [2] \cdot 10\%$$

$$[5] = [1] \cdot 0.058 \text{ US \$ / kW}$$

$$[5] = [1] \cdot 0.058 \text{ US \$ / kWh}$$

$$[6] = [3] + [4]$$

$$\text{BCR} = \frac{[5]}{[6]}$$

$$= \frac{18280.32487}{18063.445}$$

$$= 1.012006542 \longrightarrow$$

1

Berdasarkan perhitungan tersebut di atas maka didapatkan nilai IRR atau suku bunga proyek yang mempunyai pengeluaran sama dengan penerimaan

(BCR = 1) adalah sebesar 36 %

