

**ANALISIS EKONOMIS PADA OPERASIONAL PEMBANGKIT  
LISTRIK TENAGA MIKRO HIDRO (PLTMH) ANDUNGBIRU UNIT  
1 DAN UNIT 2 DI KECAMATAN TIRIS KABUPATEN  
PROBOLINGGO**

**SKRIPSI**

**KONSENTRASI TEKNIK ENERGI ELEKTRIK**

**Ditujukan Untuk Memenuhi Persyaratan  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik**



**NURUMAR SETIYO AGUNG  
NIM. 115060307111044**

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA**

**FAKULTAS TEKNIK**

**MALANG**

**2016**

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



## LEMBAR PENGESAHAN

### ANALISIS EKONOMIS PADA OPERASIONAL PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKRO HIDRO (PLTMH) ANDUNGBIRU UNIT 1 DAN UNIT 2 DI KECAMATAN TIRIS KABUPATEN PROBOLINGGO

#### SKRIPSI

TEKNIK ELEKTRO KONSENTRASI TEKNIK ENERGI ELEKTRIK

Ditujukan Untuk Memenuhi Persyaratan  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik



**NURUMAR SETIYO AGUNG**  
**NIM. 115060307111044**

Skripsi ini telah direvisi dan disetujui oleh dosen pembimbing  
Pada tanggal 25 Januari 2016

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Ir. Teguh Utomo, MT.  
NIP. 19650913 199103 1 003

Ir. Hery Purnomo, MT.  
NIP. 19550708 198212 1 001

Mengetahui  
Ketua Jurusan

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



JUDUL SKRIPSI:

ANALISIS EKONOMIS PADA OPERASIONAL PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKRO HIDRO (PLTMH) ANDUNGBIRU UNIT 1 DAN UNIT 2 DI KECAMATAN TIRIS KABUPATEN PROBOLINGGO

Nama Mahasiswa : NURUMAR SETIYO AGUNG

NIM : 115060307111044

Program Studi : TEKNIK ELEKTRO

Konsentrasi : TEKNIK ENERGI ELEKTRIK

Komisi Pembimbing :

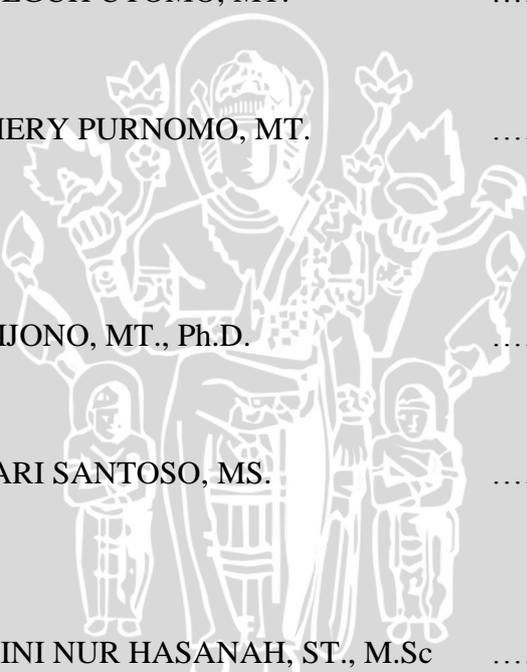
Ketua : Ir. TEGUH UTOMO, MT. ....

Anggota : Ir. HERY PURNOMO, MT. ....

TIM DOSEN PENGUJI :

Dosen Penguji 1 : Ir. WIJONO, MT., Ph.D. ....

Dosen Penguji 2 : Ir. HARI SANTOSO, MS. ....

Dosen Penguji 3 : Dr. RINI NUR HASANAH, ST., M.Sc .....  


Tanggal Ujian : 30 DESEMBER 2015

SK Penguji : No. 1162/UN10.6/SK/2015

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



## PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI

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

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

Malang, 1 Desember 2015

Mahasiswa,

Nurumar Setiyo Agung

NIM. 115060307111044





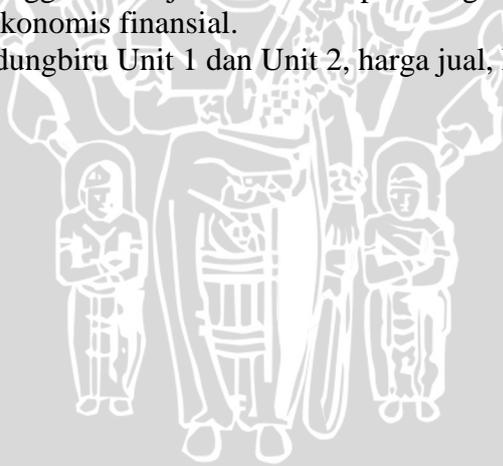
## RINGKASAN

**Nurumar Setiyo Agung**, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya. Desember 2015. *Analisis Ekonomis pada Operasional Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) Andungbiru Unit 1 dan Unit 2 di Kecamatan Tiris Kabupaten Probolinggo*, Dosen Pembimbing : Teguh Utomo dan Hery Purnomo.

Masyarakat yang bermukim di lereng Gunung Lemongan, tepatnya di Desa Andungbiru Kecamatan Tiris Kabupaten Probolinggo, memiliki kesulitan untuk mendapatkan penerangan pada malam hari. Saat ini masyarakat bisa menikmati terangnya listrik pada malam hari setelah adanya program kelistrikan desa. Berdasarkan survei di lapangan program ini berhasil mengembangkan potensi sumber daya air dari sungai Pekalen untuk membangkitkan tenaga listrik.

Harga jual energi listrik PLTMH Andungbiru Unit 1 dan Unit 2 adalah Rp 700,-/kWh. Payback Period (PP) pada Unit 1 dapat tercapai selama 7 tahun 5 bulan. *Net Present Value* (NPV) pada Unit 1 bernilai lebih dari 0 sehingga menunjukkan bahwa proyek tersebut layak dilaksanakan. *Return Of Investment* (ROI) menunjukkan bahwa lebih besar dari 0, sehingga menunjukkan bahwa pembangunan PLTMH unit 1 ini akan menguntungkan secara ekonomis finansial. Payback Period (PP) pada Unit 2 dapat tercapai selama 16 tahun 9 bulan. *Net Present Value* (NPV) pada Unit 2 bernilai lebih dari 0 sehingga menunjukkan bahwa proyek tersebut layak dilaksanakan. *Return Of Investment* (ROI) menunjukkan bahwa lebih besar dari 0, sehingga menunjukkan bahwa pembangunan PLTMH unit 2 ini akan menguntungkan secara ekonomis finansial.

Kata kunci : PLTMH Andungbiru Unit 1 dan Unit 2, harga jual, NPV, ROI, HPP





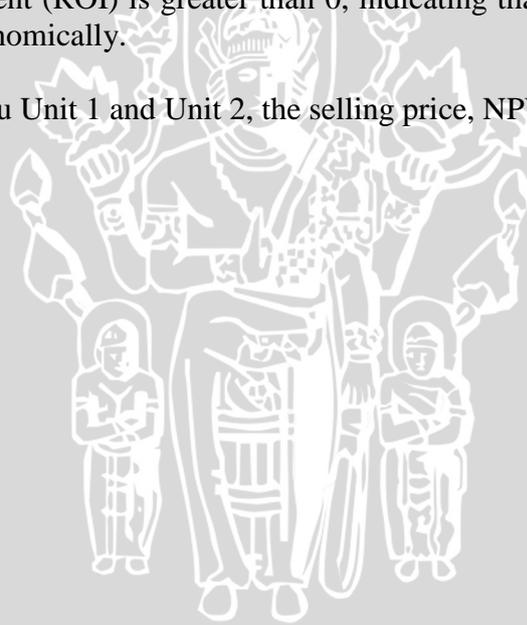
## SUMMARY

Nurumar Setiyo Agung, Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, University of Brawijaya, December 2015, Economic Analysis at the Operational Micro Hydro Power (MHP) Andungbiru Unit 1 and Unit 2 in District of Tiris Probolinggo, Academic Supervisor: Teguh Utomo and Hery Purnomo.

People who live on the slopes of Mount Lemongan, precisely in the Village Andungbiru, District of Tiris Probolinggo, had trouble getting the lighting at night. Nowadays people can enjoy the lighting at night after the village-electricity-program. Based on the surveys, this program managed to develop the potential of the water resources from Pekalen river to generate power.

The selling price of electric energy MHP Andungbiru Unit 1 and Unit 2 are Rp. 700,-/ kWh. Payback Period (PP) at Unit 1 can be achieved for 7 years and 5 months. Net Present Value (NPV) at Unit 1 is greater than 0, indicating that the project is feasible. Return Of Investment (ROI) is greater than 0, indicating that the development of MHP unit 1 will benefit economically. Payback Period (PP) at Unit 2 can be achieved for 16 years and 9 months. Net Present Value (NPV) at Unit 2 is greater than 0, indicating that the project is feasible. Return Of Investment (ROI) is greater than 0, indicating that the development of MHP unit 2 will benefit economically.

Keywords: MHP Andungbiru Unit 1 and Unit 2, the selling price, NPV, ROI, HPP





## PENGANTAR

Puji Syukur penulis panjatkan kehadirat Tuhan YME karena hanya dengan berkat rahmat, barokah dan hidayah-Nya penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan baik yang berjudul **“Analisis Ekonomis pada Operasional Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) Andungbiru Unit 1 dan Unit 2 di Kecamatan Tiris Kabupaten Probolinggo”**. Skripsi tersebut disusun dalam rangka untuk memenuhi persyaratan memperoleh gelar Sarjana Teknik, di Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.

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

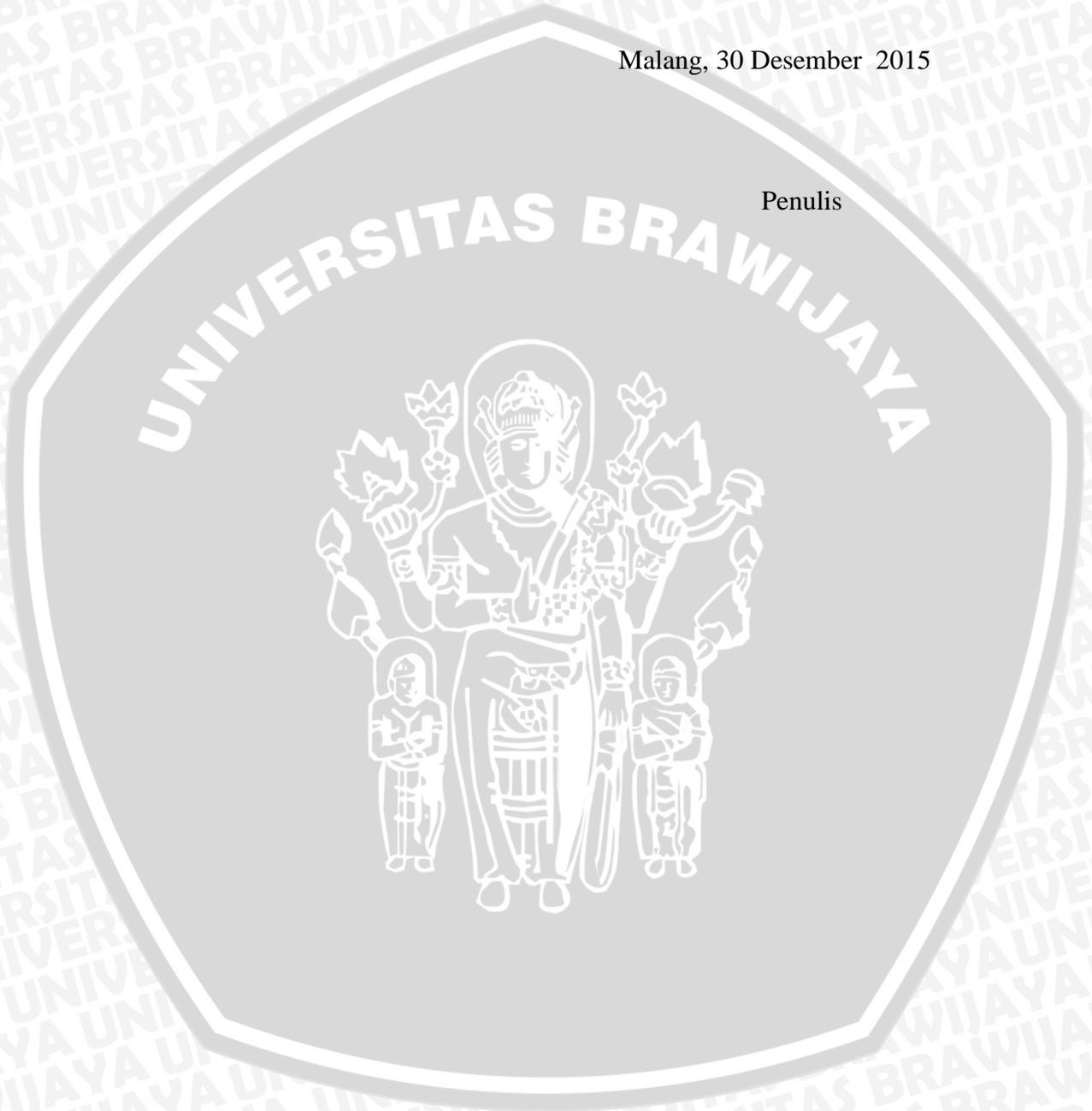
Selain itu, tak lupa penulis mengucapkan terima kasih kepada berbagai pihak yang telah membantu dan mendukung dalam penyelesaian skripsi ini. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak M. Aziz Muslim, S.T., M.T, Ph.D. selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro.
2. Bapak Hadi Suyono, S.T., M.T., Ph.D. selaku Sekretaris Jurusan Teknik Elektro.
3. Bapak Ali Mustofa, S.T., M.T. selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro.
4. Ibu Dr. Rini Nur Hasanah, ST., M.Sc. selaku KKDK Konsentrasi Teknik Energi Elektrik Teknik Elektro.
5. Bapak Ir. Teguh Utomo, M.T. dan Bapak Ir. Hery Purnomo, M.T. selaku dosen pembimbing skripsi yang selalu membimbing dengan penuh kesabaran dan memberi pengarahan penulis dalam penelitian ini.
6. Seluruh masyarakat Desa Andungbiru Kecamatan Tiris Kabupaten Probolinggo yang menjadi lokasi penelitian, terutama Bapak Rasyid selaku pengelola yang telah banyak membantu dan memberi ijin dalam pengambilan data dan survei lapangan di lokasi pembangkit.
7. Rekan-rekan mahasiswa Teknik Elektro angkatan Inverter 2011, khususnya rekan-rekan mahasiswa konsentrasi (A) Teknik Energi Elektrik.
8. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan semua sehingga penelitian ini dapat diselesaikan dengan baik.

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

Malang, 30 Desember 2015

Penulis



## DAFTAR ISI

PENGANTAR .....	i
DAFTAR ISI .....	iii
DAFTAR TABEL .....	v
DAFTAR GAMBAR.....	vii
<b>BAB I PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan.....	3
1.5 Sistematika Penulisan.....	3
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....</b>	<b>5</b>
2.1 Sumber Energi .....	5
2.2 Klasifikasi Pembangkit Listrik Tenaga Hidro.....	5
2.3 Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH).....	5
2.4 Metode Menentukan Tinggi Jatuh Air .....	8
2.5 Generator Sinkron .....	10
2.5.1 Klasifikasi Generator Sinkron .....	10
2.5.2 Konversi Energi Elektromekanik .....	11
2.6 Daya PLTMH.....	11
2.7 Produksi Energi per tahun .....	12
2.8 Rencana Anggaran Biaya (RAB) .....	13
2.9 Analisis Ekonomis.....	14
2.10 Harga Pokok Produksi.....	14
2.11 Perkiraan Biaya Investasi / <i>Cost Flow</i> (CF).....	14
2.12 Proyeksi Pendapatan / <i>Cash In Flow</i> (CIF).....	15
2.13 Aliran Kas Bersih / <i>Annual Cash In Flow</i> .....	15
2.14 <i>Payback Period</i> (PP) .....	15
2.15 <i>Net Present Value</i> (NPV) .....	15
2.16 <i>Return Of Investment</i> (ROI) .....	16
<b>BAB III METODE PENELITIAN .....</b>	<b>17</b>
3.1 Diagram Alir Penulisan .....	17
3.2 Studi literatur.....	18

3.3	Survei Lapangan .....	18
3.4	Pengumpulan Data .....	18
3.4.1	Data Primer .....	18
3.4.2	Data Sekunder .....	19
3.5	Analisis Data dan Pembahasan .....	19
3.6	Penarikan Kesimpulan dan Saran .....	21
<b>BAB IV PEMBAHASAN ANALISIS EKONOMIS PLTMH ANDUNGBIRU .....</b>		<b>23</b>
4.1	Potensi Energi Aliran Air PLTMH Andungbiru Unit 1 dan Unit 2.....	23
4.1.1	Luas Penampang Melintang Sungai (A) .....	23
4.1.2	Kecepatan Aliran Air (m/s).....	24
4.1.3	Debit Air (Q).....	25
4.1.4	Tinggi Jatuh Air (h).....	26
4.1.5	Daya Terbangkitkan ( <i>Pout</i> ).....	27
4.2	Data Generator .....	29
4.2.1	Pengukuran pada PLTMH Andungbiru Unit 1 dan Unit 2 di Lapangan .....	31
4.3	Data Beban .....	33
4.4	Biaya Operasional dan Pemeliharaan .....	33
4.4.1	Harga Penjualan Listrik kepada Warga .....	34
4.4.2	Swadaya Masyarakat Pembangunan PLTMH Andungbiru unit 1 .....	34
4.4.3	Bantuan dari (FT UB) bekerjasama dengan PT. PGN Pembangunan PLTMH Andungbiru Unit 2 .....	35
4.4.4	Biaya investasi / <i>Cost Flow</i> (CF) .....	36
4.4.5	Aliran kas bersih / <i>Annual Cash In Flow</i> ( <i>Annual CIF</i> ) .....	37
4.4.6	Periode pengembalian / <i>Payback period</i> (PP).....	38
4.4.7	Net Present Value (NPV).....	38
4.4.8	ROI.....	39
4.5	Pembahasan Ekonomis .....	39
<b>BAB V PENUTUP.....</b>		<b>41</b>
5.1	Kesimpulan .....	41
5.2	Saran.....	41
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>		
<b>LAMPIRAN</b>		

## DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Hasil Pengukuran Kedalaman Sungai .....	26
Tabel 4.2 Hasil Pengukuran Waktu Tempuh Dengan Metode Apungan .....	26
Tabel 4.3 Kecepatan Aliran Air Pada Setiap Titik .....	27
Tabel 4.4 Spesifikasi Generator Sinkron Unit 1 .....	31
Tabel 4.5 Spesifikasi Generator Sinkron Unit 2.....	32
Tabel 4.6 Data Pengukuran Pada Generator PLTMH Andungbiru Unit 1 Hari Pertama ..33	
Tabel 4.7 Data Pengukuran Pada Generator PLTMH Andungbiru Unit 1 Hari Kedua.....33	
Tabel 4.8 Data Pengukuran Pada Generator PLTMH Andungbiru Unit 2 Hari Pertama ...33	
Tabel 4.9 Data Pengukuran Pada Generator PLTMH Andungbiru Unit 2 Hari Kedua.....34	
Tabel 4.10 Hasil Perhitungan Daya Unit 1.....	34
Tabel 4.11 Hasil Perhitungan Daya Unit 2.....	35
Tabel 4.12 Biaya Pembangunan PLTMH Andungbiru Unit 1.....	36
Tabel 4.13 Biaya Pembangunan PLTMH Andungbiru Unit 2.....	37
Tabel 4.14 Proyeksi Pendapatan Unit 1 .....	39
Tabel 4.15 Proyeksi Pendapatan Unit 2 .....	39
Tabel 4.16 Aliran Kas Bersih Unit 1 .....	40
Tabel 4.17 Aliran Kas Bersih Unit 2 .....	40
Tabel 4.18 Periode Pengembalian Unit 1 .....	40
Tabel 4.19 Periode Pengembalian Unit 2.....	40
Tabel 4.20 ROI.....	41



(Halaman ini sengaja dikosongkan)



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Sistem Konversi Energi Air.....	6
Gambar 2.2 Pengukuran Luas Penampang Melintang Sungai .....	8
Gambar 2.3 Metode Pengukuran <i>Water-Filled Tube</i> -1 .....	10
Gambar 2.4 Metode Pengukuran <i>Water-Filled Tube</i> -2.....	10
Gambar 2.5 Metode Pengukuran <i>Water-Filled Tube</i> -3 .....	11
Gambar 2.6 Konstruksi Sederhana Generator Sinkron .....	11
Gambar 2.7 Bagan Proses Konversi Energi .....	12
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian.....	19
Gambar 4.1 Penampang Sungai .....	25
Gambar 4.2 Generator Sinkron 3 Fasa Pada PLTMH Andungbiru 1.....	31
Gambar 4.3 Generator Sinkron 3 Fasa Pada PLTMH Andungbiru 2.....	32



# UNIVERSITAS BRAWIJAYA

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



# BAB I PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang

Terdapat beberapa Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) yang dibangun di Indonesia, mulai dari kapasitas daya kecil sampai dengan kapasitas daya yang besar, dimana klasifikasi mikro hidro adalah 2 kW sampai dengan 200 kW. (Patty,1995). Masyarakat yang bermukim di lereng Gunung Lemongan, tepatnya di Desa Andungbiru Kecamatan Tiris Kabupaten Probolinggo, memiliki kesulitan untuk mendapatkan penerangan pada malam hari. Saat ini masyarakat bisa menikmati terangnya listrik pada malam hari setelah adanya program kelistrikan desa. Berdasarkan survei di lapangan program ini berhasil mengembangkan potensi sumber daya air dari sungai Pekalen untuk membangkitkan tenaga listrik.

Potensi sumber daya air ini telah dimanfaatkan sebagai sumber energi listrik. Dengan pengelolaan yang konvensional, sumber listrik tersebut dapat menerangi rumah warga di 4 dusun atau sekitar 475 kepala keluarga. Pembangunan pembangkit listrik tenaga mikro hidro (PLTMH) unit 1 merupakan pengembangan kelistrikan swadaya masyarakat yang saat ini bisa menerangi jalan-jalan dan rumah warga di desa Andungbiru. Dengan pembangunan PLTMH ini, tarif beban listrik jauh lebih murah dibanding tarif listrik PLN yakni Rp 700,-/kWh.

Untuk PLTMH unit 2, merupakan hasil rekayasa Badan Penelitian dan Pengabdian Masyarakat (BPPM) Fakultas Teknik Universitas Brawijaya (FT UB) bekerjasama dengan PT. Perusahaan Gas Negara (PGN). Untuk pengelolaan PLTMH disana masih sangat konvensional, bapak Rasyid sebagai ketua pengelola dibantu dengan warga membuat cara untuk mengelola PLTMH tersebut agar dapat menyalurkan listrik ke desa dengan dana yang terbatas. Untuk siang hari, besarnya daya listrik yang tidak terpakai untuk penerangan, biasanya digunakan untuk menyalakan *soundsystem* bila ada kegiatan warga, selain itu juga digunakan untuk kegiatan bengkel pengelasan, dan untuk mesin pengupas singkong yang dapat menambah penghasilan warga disana yang mayoritas warganya bekerja sebagai petani dan berkebun. Malam hari energi listrik ini baru digunakan untuk penerangan rumah dan jalan.

Analisis ekonomis ini dilakukan dengan maksud untuk mengevaluasi kelayakan investasi pada PLTMH Andungbiru dan untuk mengetahui besarnya keuntungan secara finansial yang diberikan. Dalam penelitian ini sebelum melakukan analisis ekonomi,

terlebih dahulu dilakukan analisis Harga Pokok Produksi (HPP) per kWh sehingga nantinya dapat diketahui pendapatan per tahun.

Sunariyah (2003:4), Investasi adalah penanaman modal untuk satu atau lebih aset yang dimiliki dan biasanya berjangka waktu lama dengan harapan mendapatkan keuntungan di masa-masa yang akan datang. Keuntungan secara finansial dapat diketahui dengan ROI (*Return of Investment*). ROI berfokus pada keuntungan dengan mengukur laba atas investasi. Dengan menghitung ROI, akan dapat diketahui jumlah uang yang dihasilkan. Selain menganalisa nilai ROI, sebelumnya diperlukan juga perhitungan terhadap Harga Pokok Produksi (HPP). Dari HPP inilah nantinya akan ditentukan harga penjualan listrik per kWh. Hasil perhitungan ini nantinya dapat menjadi pertimbangan jika ada investor yang ingin melakukan investasi dalam pengembangan PLTMH di desa Andungbiru atau di tempat lain.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Adapun rumusan masalah yang akan dibahas dalam skripsi ini adalah :

1. Berapa potensi sumber daya air yang dapat dibangkitkan pada PLTMH Andungbiru unit 1 dan unit 2.
2. Bagaimana perbandingan Harga Pokok Produksi (HPP) secara teori dengan harga yang dijual kepada konsumen pada PLTMH unit 1 dan unit 2 Andungbiru.
3. Bagaimana kelayakan secara ekonomis Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) di Desa Andungbiru, Kecamatan Tiris, Kabupaten Probolinggo.

## **1.3 Batasan Masalah**

Penyusunan penelitian ini menggunakan batasan masalah sebagai berikut:

1. Pembahasan daya secara teoritis dan daya sebenarnya saat beban puncak pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro Andungbiru unit 1 dan unit 2.
2. Biaya investasi meliputi : biaya pekerjaan sipil, pekerjaan mekanikal dan elektrikal, biaya pengadaan bahan atau barang pekerjaan sipil, peralatan elektrikal mekanikal serta biaya penunjang.
3. Tidak membahas masalah aspek sosial.

#### 1.4 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui kelayakan secara ekonomis dan mengetahui Harga Pokok Produksi (HPP) pada operasional pembangkit listrik tenaga mikro hidro Andungbiru unit 1 dan unit 2.

#### 1.5 Sistematika Penulisan

Sistematika pembahasan penelitian tersusun dengan urutan sebagai berikut:

##### **BAB I PENDAHULUAN**

Berisi judul, latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan, dan sistematika penulisan.

##### **BAB II TINJAUAN PUSTAKA**

Berisi tinjauan pustaka atau dasar teori yang digunakan untuk dasar penelitian yang dilakukan dan untuk mendukung dalam pemecahan masalah dan akan digunakan untuk analisis.

##### **BAB III METODOLOGI PENELITIAN**

Pada metode penelitian dijelaskan tentang metode yang digunakan dalam skripsi ini. Metode tersebut meliputi metode pengambilan data, pengolahan data, dan analisis data.

##### **BAB IV PEMBAHASAN**

Berisi pembahasan dan analisis yang diajukan dalam penelitian dengan memperhatikan hasil perhitungan yang telah diselesaikan sehingga mampu untuk disimpulkan.

##### **BAB V PENUTUP**

Berisi kesimpulan dari penelitian yang akan dilaksanakan beserta saran dari penulis.

# UNIVERSITAS BRAWIJAYA

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Sumber Energi

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

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

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

### 2.2 Klasifikasi Pembangkit Listrik Tenaga Hidro.

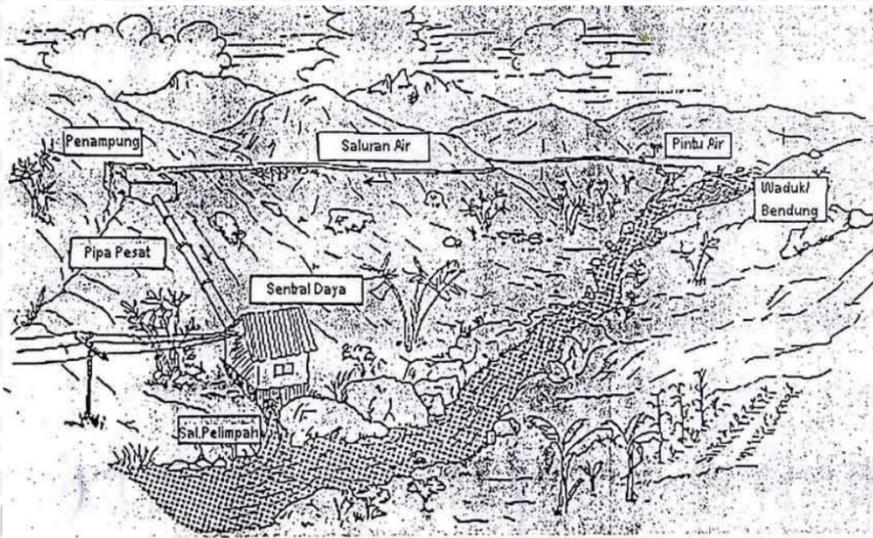
Kurniawan (2009:6) mengatakan bahwa berdasarkan daya yang dihasilkan, Pembangkit Listrik Tenaga Air dibedakan menjadi:

- a. *Largehydro* : lebih dari 100 MW
- b. *Medium hydro* : antara 15 – 100 MW
- c. *Small hydro* : antara 1 – 15 MW
- d. *Minihydro* : antara 100 kW – 1 MW
- e. *Microhydro* : antara 5 kW – 100 kW
- f. *Picohydro* : dibawah 5 kW

### 2.3 Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH)

Wibawa (2001:6-13) PLTMH pada prinsipnya memanfaatkan beda ketinggian dan jumlah debit per detik yang ada pada aliran air saluran irigasi, sungai, atau air terjun.

Aliran ini akan memutar poros turbin sehingga menghasilkan energi mekanik. Energi ini selanjutnya menggerakkan generator dan generator menghasilkan listrik.



Gambar 2.1 Sistem Konversi Energi Air  
Sumber: Wibawa,2001

Gambar 2.1 di atas menunjukkan bagian-bagian terpenting pada proses konversi energi air menjadi energi elektrik, antara lain adalah:

1. Waduk/bendung, berfungsi untuk menyimpan air yang akan dialihkan ke turbin air, sekaligus dapat digunakan untuk meningkatkan kapasitas penyimpanan air, khususnya di musim kemarau, serta menentukan ketinggian jatuh air apabila dari waduk/bendung tersebut air langsung dialirkan menuju turbin.
2. Pintu air, berfungsi menentukan jumlah atau debit air yang akan dialirkan melalui saluran, sekaligus sebagai penghalang sampah/kotoran yang akan ikut masuk ke dalam saluran.
3. Saluran air, berfungsi untuk menyalurkan air yang akan melalui pipa pesat, terutama apabila air dari pintu air tidak langsung masuk ke pipa pesat dengan alasan geografis, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar.
4. Bak penampung, berfungsi untuk mengendalikan volume dan debit air yang akan dialirkan ke turbin melalui pipa pesat, sekaligus sebagai penentu ketinggian jatuh air.
5. Pipa pesat, berfungsi sebagai media penyalur air dari bak penampung ke turbin. Ada dua jenis pipa pesat yaitu: (a) tekanan tinggi, terbuat dari bahan logam/baja dan (b) tekanan rendah, terbuat dari kanal beton/pipa non baja. Efisiensi pipa pesat dipengaruhi oleh permukaan penampang aliran serta jumlah belokan.
6. Sentral daya, merupakan bangunan tempat kedudukan seluruh perangkat konversi energi, mulai dari turbin air lengkap dengan *governornya* sebagai pengatur tekanan

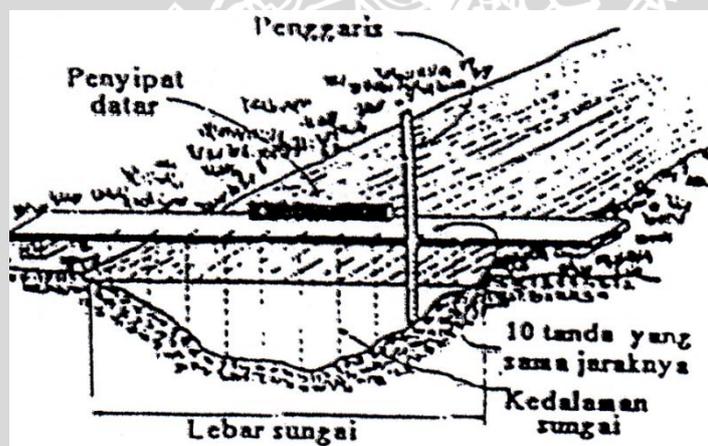
air, sistem transmisi mekanik, generator, perangkat pendukung lain, seperti: panel kontrol, panel distribusi daya, beban komplemen, dan sebagainya.

7. Saluran pelimpah, berfungsi sebagai penyalur air yang sudah digunakan, untuk dikembalikan ke sungai misalnya.

### 2.3.1 Metode Apungan

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

Luas penampang melintang sungai harus ditentukan pada suatu tempat yang mudah dan di tengah aliran sungai yang lurus untuk melakukan pengukuran. Untuk dapat menghitung luas penampang melintang sungai maka yang harus dilakukan pengukuran adalah menghitung lebar sungai dan kedalaman sungai tersebut, seperti ditunjukkan Gambar 2. 2.



Gambar 2.2 Pengukuran Luas Penampang Melintang Sungai

Sumber: Mismail, Budiono 1991/1992:109

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

$$A = w \cdot d \dots\dots\dots(2-1)$$

Keterangan:

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

$w$  : Lebar sungai ( $m$ )

$d$  : Kedalaman rata – rata sungai ( $m$ )

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

$$v = \frac{l}{t} \dots\dots\dots (2-2)$$

Keterangan:

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

$l$  : Jarak antara titik awal dengan titik akhir ( $m$ )

$t$  : Waktu tempuh ( $detik$ )

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

$$Q = v \cdot A \dots\dots\dots (2-3)$$

Keterangan :

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

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

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

Tetapi kecepatan pelampung itu tidak mewakili kecepatan air di semua titik di sungai. Ditepian dan dasar sungai, air mengalir lebih lambat dibandingkan dengan aliran di tengah atau di dekat permukaan air karena gesekan dengan dasar dan tepian sungai. Oleh karena itu, perlu dikalikan dengan sebuah faktor koreksi ( $f_k$ ) yang tergantung kepada kekasaran atau kehalusan dasar dan tepian sungai. Faktor koreksi tersebut berkisar antara 0.6 untuk sungai pegunungan yang berbatu-batu sampai 0.86 untuk sungai dengan tepian dan dasar yang licin (Mismail, 1991/1992:112).

## 2.4 Metode Menentukan Tinggi Jatuh Air

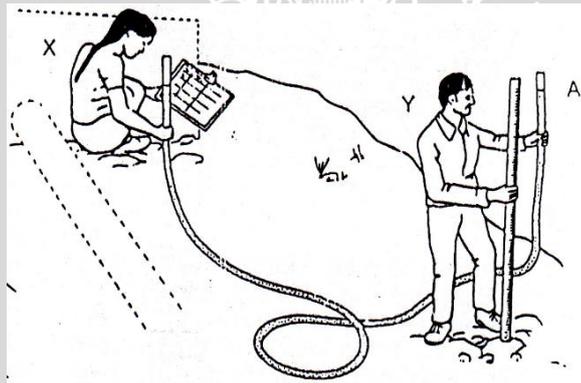
Mismail (1991/1992) mengatakan bahwa tinggi jatuh tergantung kepada geografi lokasi. Pada dasarnya pembangkit mikrohidro digolongkan dalam dua kategori yang menentukan jenis turbin yang akan dipakai yaitu tinggi jatuh rendah (sampai 20 meter) dan tinggi (lebih dari 20 meter). Jika tinggi jatuh besar maka putaran turbin akan tinggi dan generator dapat dihubungkan turbin dan jika tinggi jatuh rendah generator dihubungkan melalui pemercepat yang dapat berupa susunan roda gigi atau susunan *belt* dan *pulley*.

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

- **Metode Water-Filled Tube**

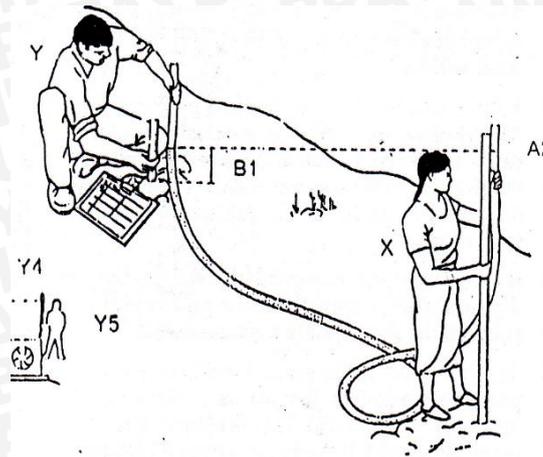
Metode ini digunakan untuk tempat dengan ketinggian yang rendah. Peralatan yang dibutuhkan adalah selang, air, meteran, batang kayu sebagai penanda, dan alat tulis. Cara melakukan pengukuran beda ketinggian dengan menggunakan metode ini adalah sebagai berikut:

1. Pengamat Y, mengukur ketinggian  $A_1$  pada tempat yang sudah ditentukan yang ditunjukkan pada Gambar 2.3 dibawah.



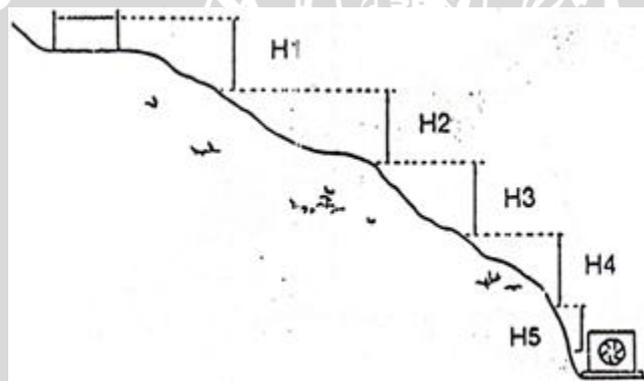
Gambar 2.3 Metode Pengukuran *Water-Filled Tube-1*  
Sumber: Harvey,1993

2. Pengamat Y tetap pada tempat yang sebelumnya dan mengukur ketinggian  $B_1$ . Sedangkan pengamat X turun pada tempat yang sudah ditentukan kedua dan mengukur ketinggian  $A_2$ , seperti yang terlihat pada Gambar 2.4 dibawah.



Gambar 2.4 Metode Pengukuran *Water-Filled Tube-2*  
Sumber: Harvey,1993

3. Ulangi langkah-langkah diatas sampai menuju titik pembuangan air.
4. Jumlahkan tinggi yang sudah diukur mulai dari titik atas yang sudah ditentukan hingga titik bawah pembuangan air.
5.  $Head = H1 + H2 + H3 + H4 + H5$ , terlihat pada Gambar 2.5 dibawah.



Gambar 2.5 Metode Pengukuran *Water-Filled Tube-3*  
Sumber: Harvey,1993

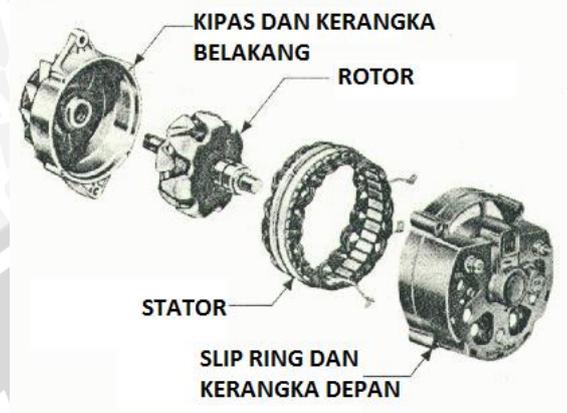
## 2.5 Generator Sinkron

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

### 2.5.1 Klasifikasi Generator Sinkron

Secara garis besar generator diklasifikasikan menjadi dua yaitu generator arus searah (DC) dan generator arus bolak-balik (AC). Generator arus bolak-balik (AC) sering

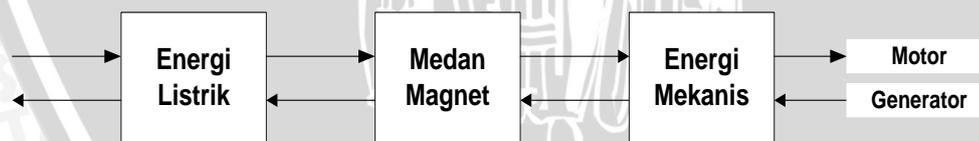
digunakan untuk PLTMH khususnya generator sinkron. Generator sinkron merupakan suatu mesin pembangkit tenaga listrik, dengan besar frekuensi tegangan yang dihasilkan berbanding langsung dengan kecepatan putaran rotornya. Pada Gambar 2.6 memperlihatkan konstruksi sederhana dari generator sinkron.



Gambar 2.6 Konstruksi Sederhana Generator Sinkron  
 Sumber : [www.energyquest.info](http://www.energyquest.info)

**2.5.2 Konversi Energi Elektromekanik**

Menurut Zuhail (1991:56) bahwa konversi energi baik dari energi listrik menjadi energi mekanik (motor) maupun sebaliknya dari energi mekanik menjadi energi listrik (generator) berlangsung melalui medium medan magnet. Energi yang akan diubah dari satu ke lain sistem, sementara akan tersimpan pada medium medan magnet untuk kemudian dilepaskan menjadi energi sistem lainnya. Dengan demikian medan magnet disini selain berfungsi sebagai tempat penyimpanan energi juga sekaligus sebagai medium untuk mengkopel proses perubahan energi. Gambar 2.7 menunjukkan proses konversi energi.



Gambar 2.7 Bagan Proses Konversi Energi  
 Sumber : Zuhail,1991

**2.6 Daya PLTMH**

Besarnya daya hidrolis ( $P_h$ ) yang merupakan potensi sumber daya energi air pada suatu wilayah, ditentukan melalui persamaan (Patty, 1995:97):

$$P_h = Q \cdot \rho \cdot g \cdot h \text{ (Watt)} \dots\dots\dots(2-4)$$

$$P_h = 9,8 \cdot Q \cdot h \text{ (kW)} \dots\dots\dots(2-5)$$

dimana:

$P_h$  : daya hidrolis (kW)



- Q : debit air (m<sup>3</sup>/s)
- ρ : massa jenis air (= 1000 kg/m<sup>3</sup>)
- g : gravitasi bumi (= 9,8 m/s<sup>2</sup>)
- h : tinggi jatuh air (m)

Ada beberapa hal yang sangat mempengaruhi daya keluaran dari sistem PLTMH, Selain besarnya debit air dan tinggi jatuh air, daya keluaran tergantung dari efisiensi peralatan yang dipakai, diantaranya pipa pesat, turbin, transmisi mekanik, dan generator yang dipakai. Jika efisiensi pipa pesat ( $\eta_{pp}$ ) dan efisiensi turbin ( $\eta_{tb}$ ) diketahui, maka besarnya daya mekanik turbin dapat ditentukan dari persamaan (Wibawa, 2001):

$$P_{tb} = \eta_{tb} \cdot \eta_{pp} P_h \dots\dots\dots(2-6)$$

Apabila antara turbin dengan generator terdapat perangkat sistem transmisi mekanik ( $\eta_{tm}$ ), dan efisiensi generator ( $\eta_g$ ) diketahui, dapatlah ditentukan besarnya daya keluaran elektrik dari generator, melalui persamaan (Wibawa, 2001):

$$P_{out} = \eta_{tm} \cdot \eta_g \cdot P_{tb} \text{ (kW)} \dots\dots\dots(2-7)$$

atau

$$P_{out} = \eta_{total} \cdot P_h \text{ (kW)} \dots\dots\dots(2-8)$$

sehingga

$$P_{out} = \eta_{total} \cdot Q \cdot g \cdot h \text{ (kW)} \dots\dots\dots(2-9)$$

Dalam hal ini,  $\eta_{total}$  adalah efisiensi total sistem mulai dari turbin sampai dengan generator ( $\eta_{total} = \eta_{pp} \cdot \eta_{tb} \cdot \eta_{tm} \cdot \eta_g$ ). Sedangkan  $\eta_{pp} \cdot \eta_{tb}$  dikenal pula dengan istilah efisiensi mekanik ( $\eta_{mek}$ ).

## 2.7 Produksi Energi per tahun

Produksi energi pertahun yang dihasilkan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro dapat dihitung dengan daya yang dibangkitkan (kW), dengan waktu yang diperlukan (t) selama satu tahun (8760 jam) dengan faktor daya. Secara teori dapat dipergunakan persamaan 2.20 dibawah (Harvey, 2000) :

$$E = P_{net} \times 8760 \times PF \text{ (kWh)} \dots\dots\dots(2-10)$$

dengan :

$$P_{net} = \text{daya terbangkitkan (kW)}$$

$$PF = \text{faktor daya}$$



## 2.8 Rencana Anggaran Biaya (RAB)

Perhitungan analisis harga satuan merupakan tahapan paling terdepan dari estimasi biaya pembangunan PLTMH. Parameter perhitungan dan analisis harga satuan pekerjaan pada perencanaan PLTMH diantaranya yaitu perhitungan lokasi sumber material pada jarak terdekat dengan lokasi pekerjaan konstruksi.

Secara umum komponen harga satuan yang diperhitungkan meliputi komponen tenaga, komponen bahan dan material yang akan digunakan mengacu pada analisis satuan pekerjaan yang berlaku, dan komponen peralatan sebagaimana yang berlaku secara umum dalam pekerjaan sipil. Komponen pembangunan PLTMH yaitu :

- a. Pekerjaan sipil pada pembangunan PLTMH meliputi bangunan penyalur, saluran pembawa, bak pengendap, bak penenang, pipa pesat, bangunan pelimpas, rumah pembangkit, pondasi turbin (*under ground*), saluran pembuang dan biaya lain-lain yaitu sekitar 5%.
- b. *Engineering*  
Komponen engineering meliputi kegiatan detail desain, supervisi pembangunan dan penyiapan dokumen teknis akhir pembangunan PLTMH.
- c. Peralatan mekanikal-elektrikal  
Peralatan mekanikal-elektrikal meliputi pengadaan sarana dan peralatan seperti :
  - Turbin dan perlengkapannya yang terdiri dari unit turbin, sistem transmisi mekanik, *base frame*, biaya instalasi dan *trial run*
  - Generator dan *base frame*
  - Panel kontrol (*switch gear*) dan kontrol beban / *ballast load*
  - Instalasi peralatan elektrik, sistem pengkabelan dan biaya lain-lain
- d. Jaringan tegangan rendah dan instalasi rumah  
Terdiri dari tiang listrik, pengadaan kabel, instalasi rumah dan biaya lain-lain yang juga sekitar 5%.
- e. Komponen lain-lain (operasional dan pemeliharaan)  
Meliputi alokasi untuk penggunaan alat bantu khusus apabila harus diperlukan seperti alat berat, alat angkut khusus, training operator dan pengelola.
- f. Pajak  
Komponen pajak dihitung terhadap total pekerjaan meliputi pekerjaan-pekerjaan seperti yang diuraikan di atas.

## 2.9 Analisis Ekonomis

Pada pembangunan PLTMH dilakukan perhitungan kelayakan secara ekonomis.

Aspek penilaian kelayakan dilakukan dengan kriteria :

1. Perkiraan biaya investasi
2. Perhitungan Harga Pokok Produksi (HPP)
3. Proyeksi pendapatan / *Cash In Flow* (CIF)
4. Aliran kas bersih / *Annual Cash In Flow* (*Annual CIF*)
5. Periode pengembalian / *Payback Period* (PP)
6. *Net Present Value* (NPV)
7. *Return Of Investment* (ROI)

## 2.10 Harga Pokok Produksi

Harga pokok produksi adalah besarnya biaya yang dikeluarkan untuk memproduksi energi dari pengoperasian suatu sistem pembangkit, hal ini diperlukan untuk mengetahui apakah produksi listriknya lebih murah atau lebih mahal. Harga pokok per kWh dapat dihasilkan dengan menghitung semua biaya modal (*c annual*) per tahun, biaya operasi dan pemeliharaan (O+M) per tahun suatu pembangkit dibagi dengan produksi energi per tahun (8760 jam) kWh. Secara teori dapat dihitung dengan persamaan di bawah (Harvey, 2000):

$$HPP \text{ per tahun} = \frac{\text{Annual per tahun} + (O+M) \text{ per tahun}}{\text{Energi per tahun}} \dots\dots\dots(2-11)$$

## 2.11 Perkiraan Biaya Investasi / *Cost Flow* (CF)

Dalam pembangunan sebuah PLTMH ada empat pekerjaan utama yang harus dilakukan yaitu pekerjaan sipil, pekerjaan mekanik, pekerjaan elektrik, dan pekerjaan jaringan untuk akses interkoneksi. Keempat pekerjaan tersebut menentukan besarnya biaya investasi atau *Cost Flow* (CF) yang terdiri dari empat komponen biaya yaitu :

- a) Biaya pengadaan barang (B1)
- b) Biaya bangunan sipil (B2)
- c) Biaya operasional (B3)
- d) Biaya transportasi (B4)

Secara matematis perkiraan *Cost Flow* (CF) dapat dinyatakan sebagai,

$$CF_0 = B1 + B2 + B3 + B4 \dots\dots\dots(2-12)$$

$$CF = CF_0 + PPn \ 10\% \dots\dots\dots(2-13)$$

### 2.12 Proyeksi Pendapatan / *Cash In Flow* (CIF)

*Cash In Flow* (CIF) merupakan hasil penjualan energi listrik selama PLTMH beroperasi. Apabila dalam satu tahun (8760 jam) PLTMH beroperasi terus menerus, maka pendapatan dari hasil penjualan energi yang di produksi selama satu tahun yaitu :

$$\text{CIF} = \text{Energi per tahun} \times \text{Harga jual per kWh} \dots \dots \dots (2-14)$$

### 2.13 Aliran Kas Bersih / *Annual Cash In Flow*

Aliran kas bersih merupakan selisih antara pendapatan dan pengeluaran. Pengeluaran terdiri dari biaya tetap (biaya operasional, biaya pemeliharaan, gaji pegawai dan lain-lain). Untuk pendekatan penentuan aliran kas bersih, pengeluaran di asumsikan sebesar 5% sampai dengan 15% dari total pendapatan setahun.

$$\text{Annual CIF} = \text{CIF} - (\text{I\%} \times \text{CIF}) \text{ (Rp)} \dots \dots \dots (2-15)$$

dengan :

CIF = *Cash In Flow*

I = asumsi persentase pengeluaran

### 2.14 *Payback Period* (PP)

Sucipto (2011:176-177), Metode *Payback Period* merupakan teknik penilaian terhadap jangka waktu pengembalian investasi suatu usaha dengan cara mengukur seberapa cepat suatu investasi kembali. Dirumuskan dalam persamaan :

$$\text{PP} = \frac{\text{Total Investment Cost}}{\text{Annual CIF/tahun}} \times 1 \text{ tahun} \dots \dots \dots (2-16)$$

dengan :

*Total Investment Cost* = biaya investasi

*Annual CIF / tahun* = pemasukan bersih per tahun

Investasi yang ideal adalah investasi dengan *Payback Period* terpendek.

### 2.15 *Net Present Value* (NPV)

Sucipto (2011:177-178), metode *Net Present Value* adalah metode yang menghitung selisih antara nilai sekarang investasi dengan nilai sekarang penerimaan-penerimaan kas bersih. Keputusan tentang apakah suatu usulan proyek investasi diterima atau ditolak ditentukan oleh nilai NPV nya. Jika nilai sekarang penerimaan kas bersih lebih besar daripada nilai sekarang investasi, atau biasa disebut nilai NPV positif, maka usulan proyek investasi tersebut dinyatakan layak. Sebaliknya jika nilai sekarang penerimaan-penerimaan

kas bersih lebih kecil daripada nilai sekarang investasi (pengeluaran) atau NPV negatif, maka dinyatakan tidak layak. Dengan demikian suatu usulan proyek investasi diterima jika NPV nya lebih besar dari nol. Kriteria kelayakan apabila nilai NPV > 0. NPV dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$NPV = \sum_{t=0}^n \frac{CIF_t}{(1+k)^t} - Investment\ Cost \dots\dots\dots(2-17)$$

dengan :

- k = *discount rate* yang digunakan adalah sekitar 6-7%
- Investment Cost* = biaya investasi
- CIF<sub>t</sub> = *Cash In Flow* pada periode t
- n = periode terakhir *Cash In Flow* diharapkan

**2.16 Return Of Investment (ROI)**

Soeharto (1997:425), pengembalian atas investasi atau asset (ROI) adalah perbandingan dari pemasukan (*income*) per tahun terhadap dana investasi, dengan demikian memberikan indikasi profitabilitas suatu investasi. Rumusnya adalah:

$$ROI = \frac{pemasukan}{investasi} \times 100\% \dots\dots\dots(2-18)$$

Karena investasi dapat dinyatakan dalam berbagai bentuk seperti biaya pertama, investasi rata-rata dan lain-lain, demikian pula perhitungan pemasukan dapat dimasukkan faktor-faktor depresiasi, pajak, bunga dan lain-lain, maka akan dihasilkan beberapa variasi ROI, salah satunya adalah:

$$ROI = \frac{Pemasukan\ neto\ setelah\ pajak}{Rata-rata\ investasi} \times 100\% \dots\dots\dots(2-19)$$



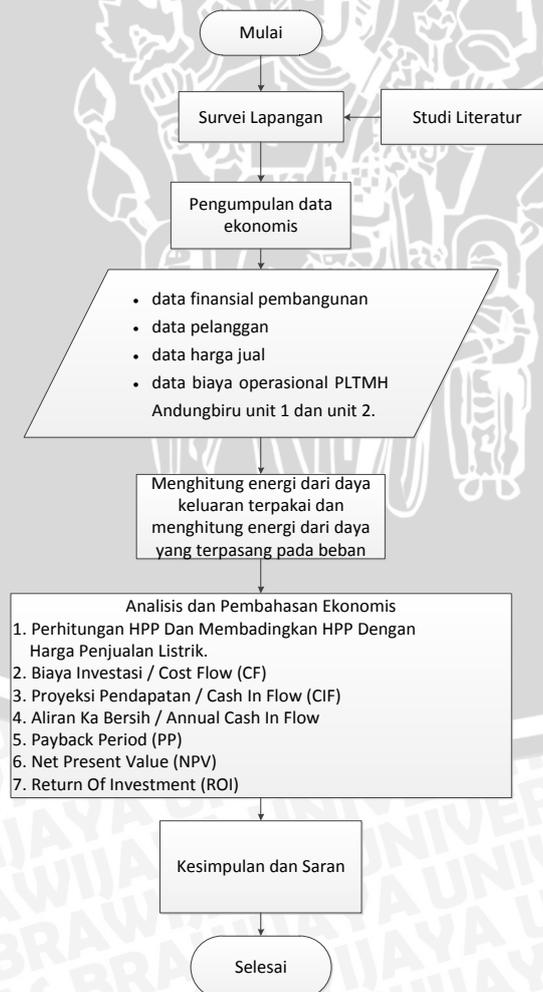
## BAB III METODE PENELITIAN

Pada bab ini akan diuraikan metode penelitian yang akan dilakukan dalam proses perhitungan kelayakan ekonomis pada PLTMH unit 1 dan unit 2 di desa Andungbiru kabupaten Probolinggo. Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini secara umum tersusun sebagai berikut:

1. Studi literatur
2. Survei lapangan
3. Pengumpulan data
4. Analisis data dan pembahasan
5. Pengambilan kesimpulan dan saran

### 3.1 Diagram Alir Penulisan

Diagram alir metode penelitian adalah sebagai berikut



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

### 3.2 Studi literatur

Untuk mendukung penulisan penelitian ini agar didapatkan hasil yang maksimal diperlukan literatur sebagai acuan penulisan. Studi literatur ini digunakan untuk mempelajari daya terbangkitkan pada PLTMH, mempelajari konversi energi pada PLTMH, mempelajari dasar perhitungan finansial.

### 3.3 Survei Lapangan

Kegiatan survei lapangan ini yaitu terjun langsung untuk mengamati dan mengetahui kondisi riil lapangan serta untuk mendapatkan informasi-informasi penting lain yang terkait guna melengkapi data-data. Kegiatan yang dilakukan pada saat survei lapangan antara lain :

1. Melakukan pengukuran terhadap kedalaman sungai dan kecepatan aliran sungai pada PLTMH Andungbiru unit 1 dan unit 2.
2. Melakukan pengukuran terhadap tegangan, arus, dan  $\cos \phi$  yang keluar langsung dari generator pada waktu-waktu tertentu yang telah ditetapkan.
3. Mengumpulkan data biaya pembangunan, data biaya operasional, data harga jual, dan data pelanggan pada PLTMH Andungbiru unit 1 dan unit 2.

### 3.4 Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan untuk memudahkan proses pengerjaan penelitian. Data-data yang digunakan dalam evaluasi ini terdiri dari data primer dan data sekunder.

#### 3.4.1 Data Primer

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

1. Debit air

Pada pengukuran debit air ini menggunakan metode apungan. Pengukuran debit air dilakukan pada saluran cabang yaitu saluran Andungbiru 1 dan 2. Untuk mengukur kecepatan aliran air menggunakan *current meter* sehingga debit air dapat diketahui dengan mengalikan kecepatan aliran air dengan luas penampang pada saluran.

## 2. Ketinggian jatuh air (head)

Pada mengukur tinggi jatuh air digunakan metode *water filled tube*. Pengukuran tinggi jatuh air ini dilakukan dilakukan pada PLTMH Andungbiru 1 dan 2. Dalam pengukuran tinggi jatuh air ini digunakan selang, air, batang kayu, dan alat tulis.

## 3. Tegangan dan arus generator sinkron

Pada pengukuran tegangan dan arus generator sinkron PLTMH Andungbiru unit 1 dan unit 2 dilakukan saat beban puncak dengan menggunakan clamp meter digital diperkirakan beban puncak yaitu pukul 16.00 sampai 21.00.

## 4. Tegangan dan arus pada beban

Pengukuran tegangan dan arus dilakukan saat beban puncak dengan menggunakan clamp meter digital disetiap APP.

### 3.4.2 Data Sekunder

Data sekunder adalah data yang diperoleh dari berbagai sumber yang sudah ada seperti dari buku referensi, jurnal, atau data yang digunakan dalam skripsi ini adalah data finansial pembangunan, data pelanggan atau APP, data harga jual, serta data biaya operasional PLTMH Andungbiru unit 1 dan unit 2.

### 3.5 Analisis Data dan Pembahasan

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

- Pada awalnya kita menghitung debit air ( $Q$ ) untuk mendapatkan debit air terlebih dahulu menentukan besarnya luas penampang melintang sungai ( $A$ ) dan kecepatan air ( $v$ ) dengan persamaan sebagai berikut:

$$A = w \cdot d \text{ (m}^2\text{)}$$

$$v = \frac{l}{t} \text{ (m/s)}$$

Setelah mendapatkan luas penampang ( $A$ ) dan kecepatan aliran air ( $v$ ) maka debit air ( $Q$ ) dapat ditentukan dengan mengalikan antara luas penampang melintang sungai ( $A$ ) dengan kecepatan aliran air ( $v$ ), sesuai dengan persamaan:

$$Q = v \cdot A \text{ (m}^3\text{/s)}$$

- Setelah mendapatkan debit air ( $Q$ ) selanjutnya menghitung daya keluaran secara teoritis ( $P_{out}$ ) yang dapat dibangkitkan oleh Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro Andungbiru unit 1 dan unit 2. Untuk mendapatkan daya keluaran secara teoritis terlebih dahulu menghitung besarnya daya hidrolis ( $P_h$ ) dengan menggunakan persamaan:

$$P_h = Q \cdot \rho \cdot g \cdot h \text{ (W)}$$

$$P_h = 9.8 \cdot Q \cdot h \text{ (kW)}$$

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

$$P_{tb} = \eta_{tb} \cdot \eta_{pp} \cdot P_h \text{ (kW)}$$

Setelah mendapatkan daya mekanik turbin ( $P_{tb}$ ) maka daya keluaran teoritis ( $P_{out}$ ) dapat ditentukan dengan mengalikan antara efisiensi transmisi mekanik ( $\eta_{tm}$ ) dan efisiensi generator ( $\eta_g$ ) dengan daya mekanik turbin ( $P_{tb}$ ). Berikut persamaan untuk menentukan daya keluaran teoritis ( $P_{out}$ ):

$$P_{out} = \eta_{tm} \cdot \eta_g \cdot P_{tb} \text{ (kW)}$$

- Analisis berikutnya adalah menghitung daya generator yang terpakai berdasarkan hasil pengukuran pembangkit. Pengukuran daya generator yang terpakai diukur saat beban puncak yaitu dari pukul 16.00 sampai pukul 21.00. Data yang diperlukan antara lain tegangan fasa, arus fasa pada generator, serta faktor daya beban ( $\cos\phi$ ). Setelah tegangan fasa dan arus fasa didapatkan, maka untuk mengukur daya generator yang terpakai dengan menggunakan persamaan

$$S = 3 \cdot V_f \cdot I_f \text{ (VA)}$$

$$P = 3 \cdot V_f \cdot I_f \cdot \cos\phi \text{ (Watt)}$$

- Analisis selanjutnya yaitu menghitung keluaran daya yang terpasang pada beban. Analisis ekonomis PLTMH Andungbiru unit 1 dan unit 2 dilakukan dengan biaya dan manfaat pertama menghitung produksi energi per tahun yang dihasilkan oleh PLTMH dengan menggunakan persamaan :

$$E = P_{net} \times (8760 - T) \times PF \text{ (kWh)}$$

dengan :

$P_{net}$  : daya terbangkitkan (kW)

PF : faktor daya (70%)

- Selanjutnya adalah menentukan Harga Pokok Produksi dan membandingkan harga jual yang di lapangan. Untuk menghitung harga pokok per kWh dapat dihasilkan dengan menghitung semua biaya modal (*c annual*) per tahun, biaya operasi dan biaya pemeliharaan (*O + M*) per tahun suatu pembangkit dibagi dengan produksi energi pertahun (8760 jam) kWh. Secara teori dapat dihitung dengan persamaan :

$$HPP \text{ per tahun} = \frac{C_{\text{annual per tahun}} + (O + M)_{\text{per tahun}}}{\text{Energi per tahun}}$$

Setelah dilakukan perhitungan HPP maka dibuat estimasi aliran kas dengan mempertimbangkan besarnya penentuan modal kerja. Pengeluaran ini meliputi biaya untuk pekerjaan sipil, pekerjaan dan pengadaan peralatan mekanikal dan elektrikal, serta biaya lainnya. Perhitungan selanjutnya adalah mencari proyeksi pendapatan (CIF) selama satu tahun. CIF ini nantinya akan digunakan dalam perhitungan annual *Cash In Flow (annual CIF)* yang terdiri dari pengeluaran biaya-biaya tetap misalnya biaya operasional, pemeliharaan, gaji pegawai dan biaya-biaya lainnya. Aliran kas bersih atau *annual CIF* ini merupakan hasil dari pendapatan per tahun dengan pengeluaran selama per tahun, sehingga diperoleh aliran kas bersihnya.

Setelah semua data keuangan disusun dalam bentuk aliran kas usaha, selanjutnya akan dilakukan analisis untuk menilai kelayakan investasi dari aspek keuangan, apakah dinyatakan layak atau tidak, sehingga perlu dilakukan pengukuran dengan beberapa kriteria. Adapun kriteria yang digunakan untuk menentukan suatu kelayakan investasi antara lain Payback Period (PP), Net Present Value (NPV), dan Return Of Investment (ROI). Perhitungan PP dilakukan dengan perbandingan total investasi dan annual CIF. Metode NPV merupakan metode yang menghitung selisih antara nilai investasi saat ini dengan nilai penerimaan bersih saat ini. Metode ROI merupakan metode yang menghitung persentase kelayakan investasi dengan mempertimbangkan laba yang diterima.

### 3.6 Penarikan Kesimpulan dan Saran

Dari hasil analisis dan pembahasan dapat ditarik suatu kesimpulan sebagai hasil evaluasi.

# UNIVERSITAS BRAWIJAYA

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



## BAB IV

### PEMBAHASAN ANALISIS EKONOMIS PLTMH ANDUNGBIRU

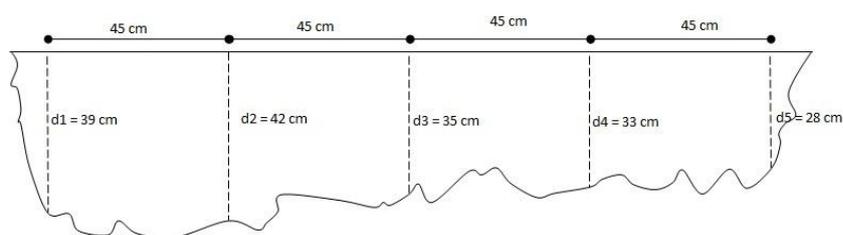
Berdasarkan survei lapangan yang telah dilakukan, di desa Andungbiru terdapat 2 PLTMH yang terletak bersebelahan yaitu PLTMH Andungbiru 1 yang merupakan hasil swadaya masyarakat, dan PLTMH Andungbiru 2 kerjasama PT PGN (Perusahaan Gas Negara) dan BPP Fakultas Teknik Universitas Brawijaya. Saat ini PLTMH Andungbiru telah menyuplai daya listrik 475 rumah. Rinciannya sebanyak 350 rumah disuplai oleh PLTMH Andungbiru 1, sedangkan 125 rumah lainnya disuplai oleh PLTMH Andungbiru 2 dengan 178 APP (Alat Pembatas dan Pengukur). Umumnya 1 APP digunakan untuk 2-3 rumah, tergantung dari banyaknya daya listrik yang digunakan.

#### 4.1 Potensi Energi Aliran Air PLTMH Andungbiru Unit 1 dan Unit 2

Dalam menghitung potensi energi aliran air pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) Andungbiru perlu dilakukan perhitungan beberapa parameter. Untuk mengukur debit air ( $Q$ ) dilakukan pada aliran sungai Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH). Pengukuran dilakukan untuk mengetahui potensi yang dibangkitkan dari aliran sungai Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH). Metode yang digunakan untuk mengetahui debit air menggunakan metode apungan. Jika menggunakan metode apungan, terlebih dahulu harus diketahui luas penampang melintang sungai dan kecepatan aliran sungai.

##### 4.1.1 Luas Penampang Melintang Sungai ( $A$ )

Dalam mengukur luas penampang melintang sungai dengan membagi lebar sungai menjadi 4 *segment* dengan lebar sungai 1,8 meter maka tiap *segment* adalah 45 cm yang ditunjukkan pada gambar 4.1. Gambar tersebut menunjukkan penampang melintang sungai yang digunakan pada PLTMH Andungbiru, di sungai tersebut mengalir air yang digunakan oleh PLTMH Andungbiru 1 maupun Andungbiru 2.



Gambar 4.1 Penampang sungai

Kedalaman air sungai berbeda-beda pada ke-5 titik yang membagi setiap segment, sehingga akan dicari kedalaman rata-ratanya terlebih dahulu pada ke-5 titik yang telah diukur.

Tabel 4.1 Hasil Pengukuran Kedalaman Sungai

Titik pengukuran	Kedalaman sungai (m)
1	0,39
2	0,42
3	0,35
4	0,33
5	0,28

Berdasarkan pengukuran diatas, didapatkan kedalaman rata-rata sungai adalah 0,354 meter.

Berdasarkan Persamaan 2-1 didapatkan luas penampang melintang sungai sebesar:

$$A = w \cdot d$$

$$A = 1,8 \cdot 0,354$$

$$A = 0,6372 \text{ m}^2$$

#### 4.1.2 Kecepatan Aliran Air (m/s)

Dalam mencari kecepatan aliran air sungai, terlebih dahulu memilih bagian sungai yang lurus, kemudian mengukur panjang lintasan apungan yang akan diukur waktunya. Panjang lintasan apungan ditetapkan 4 meter dan luas penampang sudah diketahui dari perhitungan diatas. Tabel 4.2 memperlihatkan waktu hasil pengukuran dengan menggunakan metode apungan. Kecepatan pelampung masih belum menunjukkan kecepatan air di semua titik sungai. Pada bagian dasar dan tepian sungai, aliran air sungai mengalir lebih lambat dibandingkan bagian tengah sungai. Itu dikarenakan, bagian dasar dan tepian sungai mengalami gesekan. Oleh sebab itu, kecepatan aliran sungai yang didapat dengan metode apungan dikalikan dengan faktor koreksi ( $f_k$ ) 0,70 untuk sungai pegunungan yang berbatu - batu.

Tabel 4.2 Hasil Pengukuran Waktu Tempuh Dengan Metode Apungan

Titik Pengukuran	Waktu tempuh (detik)	Titik Pengukuran	Waktu tempuh (detik)
1	3,86	6	4,1
2	4,03	7	3,86
3	3,65	8	3,53
4	3,82	9	3,88
5	4,26	10	3,65

Dari hasil pengukuran diatas maka berdasarkan persamaan 2-2 kecepatan aliran air dapat dihitung yaitu :

$$v_1 = \frac{l_1}{t_1} \cdot f_k$$

$$v_1 = \frac{4}{3,86} \cdot 0,70$$

$$v_1 = 0,7254 \text{ m/s}$$

Dengan cara yang sama, diperoleh besarnya kecepatan aliran air setiap titik seperti tersusun dalam Tabel 4.3 dibawah ini.

Tabel 4.3 Kecepatan Aliran Air Pada Setiap Titik

Titik Pengukuran	Kecepatan aliran air (m/s)	Titik Pengukuran	Kecepatan aliran air (m/s)
1	0,7253	6	0,6829
2	0,6947	7	0,7253
3	0,7671	8	0,7932
4	0,7329	9	0,7216
5	0,6572	10	0,7671

Dari tabel diatas dilakukan perhitungan dan didapatkan kecepatan rata-rata aliran sungai sebesar 0,7268 m/s.

#### 4.1.3 Debit Air (Q)

Untuk mencari debit air, bisa dicari dengan Persamaan 2-3 dengan mengalikan kecepatan aliran air sungai ( $v$ ) dengan luas penampang melintang sungai ( $A$ ). Didapatkan hasil debit air sebesar :

$$Q = v \cdot A$$

$$Q = 0,7268 \cdot 0,6372$$

$$Q = 0,4631 \text{ m}^3/\text{s}$$

Nilai debit diatas adalah besar debit air yang digunakan oleh PLTMH Andungbiru unit 1 maupun unit 2. Untuk mengetahui besar debit air yang digunakan pada masing-masing unit, terlebih dahulu mencari luas penampang pipa pada masing-masing unit. Pada unit 1 diameter luar  $D_l \text{ unit } 1 = 20 \text{ inci} = 50,8 \text{ cm} = 0,508 \text{ m}$ . Dengan ketebalan pipa sebesar 5 cm, maka diameter dalam pipa unit  $D_d \text{ unit } 1 = 50,8 - (2 \times 5) = 40,8 \text{ cm} = 0,408 \text{ m}$ . Setelah diketahui besar diameter dalam, maka didapat  $R_d = 0,204 \text{ m}$ . Pipa pada unit 1 penampangnya berbentuk lingkaran, dengan menggunakan rumus luas lingkaran dapat dicari luas penampang pipa. Luas penampang pipa unit 1 didapat sebesar :

$$A = \pi \cdot R^2$$

$$\begin{aligned} A_{unit\ 1} &= \pi \cdot R_d^2 \\ &= 3,14 \cdot 0,204^2 \\ &= 0,13067\ m^2 \end{aligned}$$

Untuk pipa unit 2 memiliki diameter luar  $D_{l\ unit\ 2} = 12\ inci = 30,48\ cm = 0,3048\ m$ . Pada pipa unit 2 memiliki ketebalan sebesar 1,21 cm, sehingga diameter dalam pipa unit 2  $D_{d\ unit\ 2} = 30,48 - (2 \times 1,21) = 28,06\ cm = 0,2806\ m$ , maka jari-jari dalam pipa unit 2 sebesar  $R_{d\ unit\ 2} = 0,1403\ m$ . Pada pipa unit 2 penampangnya berbentuk lingkaran. Dengan menggunakan rumus luas lingkaran, didapatkan luas penampang pipa unit

$$A = \pi \cdot R^2$$

$$\begin{aligned} A_{unit\ 2} &= \pi \cdot R_{d\ unit\ 2}^2 \\ &= 3,14 \cdot 0,1403^2 \\ &= 0,06180\ m^2 \end{aligned}$$

Untuk mendapatkan besar debit air yang digunakan pada masing-masing unit dapat digunakan perbandingan luas penampang pipa. Besarnya debit air pada unit 1 sebesar :

$$\begin{aligned} Q_{unit\ 1} &= \frac{A_{unit\ 1}}{A_{unit\ 1} + A_{unit\ 2}} Q \\ Q_{unit\ 1} &= \frac{0,13067}{0,13067 + 0,06180} \cdot 0,4631 \\ Q_{unit\ 1} &= 0,3143\ m^3/s \end{aligned}$$

Sedangkan pada unit debit air yang digunakan sebesar :

$$\begin{aligned} Q_{unit\ 2} &= \frac{A_{unit\ 2}}{A_{unit\ 1} + A_{unit\ 2}} Q \\ Q_{unit\ 2} &= \frac{0,06180}{0,13067 + 0,06180} \cdot 0,4631 \\ Q_{unit\ 2} &= 0,1487\ m^3/s \end{aligned}$$

#### 4.1.4 Tinggi Jatuh Air ( $h$ )

Untuk mencari tinggi jatuh air ( $h$ ) dilakukan pengukuran dengan metode *water filled tube*. Pengukuran dimulai dari permukaan air bagian atas yaitu pada bak penenang sampai sudu pada runner turbin. Setelah dilakukan pengukuran, didapatkan tinggi jatuh air ( $h$ ) pada PLTMH unit 1 dan unit 2 sebesar 13,87 meter.

#### 4.1.5 Daya Terbangkitkan (*P<sub>out</sub>*)

Berdasarkan parameter-parameter yang sudah didapatkan, maka besarnya daya hidrolik ( $P_h$ ) yang merupakan potensi sumber daya air pada sungai yang telah dibangun Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro Andungbiru unit 1 dan unit 2 dapat ditentukan melalui persamaan 2-4 berikut :

$$P_h = Q \cdot \rho \cdot g \cdot h \quad (W)$$

Pada unit 1

$$P_h = 9,8 \cdot Q \cdot h \quad (kW)$$

$$P_h = 9,8 \cdot 0,3143 \cdot 13,87$$

$$P_h = 42,7785 \text{ kW}$$

Pada unit 2

$$P_h = 9,8 \cdot Q \cdot h \quad (kW)$$

$$P_h = 9,8 \cdot 0,1487 \cdot 13,87$$

$$P_h = 20,2339 \text{ kW}$$

Turbin yang digunakan pada PLTMH Andungbiru 1 maupun 2 menggunakan turbin jenis *crossflow*. Turbin *crossflow* mempunyai efisiensi 60 % - 80 % (Mismail, 1991/1992:160). Namun pada perhitungan, efisiensi turbin yang dipakai adalah 71 % untuk unit 1, 78% untuk unit 2. Pipa yang digunakan pada PLTMH Andungbiru 1 berbahan beton, sedangkan pada PLTMH Andungbiru 2 digunakan pipa PVC. Pada perhitungan ini, efisiensi pipa pesat berkisar 95 % (Linsley, 1995). Setelah diketahui nilai efisiensi pipa pesat ( $\eta_{pp}$ ) dan efisiensi turbin ( $\eta_{tb}$ ), maka besarnya daya mekanik dapat dicari dengan Persamaan 2-6.

PLTMH Andungbiru 1 :

$$P_{mekanik} = \eta_{pp} \cdot \eta_{tb} \cdot P_h$$

$$P_{mekanik} = 0,95 \cdot 0,71 \cdot 42,7785$$

$$P_{mekanik} = 28,8541 \text{ kW}$$

PLTMH Andungbiru 2 :

$$P_{mekanik} = \eta_{pp} \cdot \eta_{tb} \cdot P_h$$

$$P_{mekanik} = 0,95 \cdot 0,78 \cdot 20,2339$$

$$P_{mekanik} = 14,9933 \text{ kW}$$

Sedangkan nilai efisiensi generator berkisar 85 % - 90 % (Mismail, 1991/1992:177). Efisiensi generator yang dipakai sebesar 88 % untuk unit 1 dan 89 % untuk unit 2 dengan daya yang tertera pada papan nama sebesar 40 kVA untuk generator unit 1 dan 16 kVA untuk generator unit 2. Sistem tranmisi mekanik yang digunakan pada PLTMH

Angungbiru baik unit 1 maupun unit 2, menggunakan sistem transmisi mekanik sabuk-V (*V-belt*) yang dikopel langsung dengan poros generator. Efisiensi transmisi mekanik sabuk-V berkisar antara 92 % - 94 % (Niemann, 1986:7). Pada perhitungan ini efisiensi sistem transmisi mekanik sebesar 93 % untuk unit 1 dan 94 % untuk unit 2. Setelah efisiensi sistem transmisi mekanik ( $\eta_{tm}$ ) dan efisiensi generator ( $\eta_g$ ) diketahui, maka dapat dihitung besarnya daya elektrik keluaran generator dengan Persamaan 2-7. Untuk unit 1 :

$$P_{elektrik\ unit\ 1} = \eta_{tm} \cdot \eta_g \cdot P_{mekanik\ unit\ 1}$$

$$P_{elektrik\ unit\ 1} = 0,93 \cdot 0,88 \cdot 28,8541$$

$$P_{elektrik\ unit\ 1} = 23,6142\ kW$$

Sedangkan pada unit 2 :

$$P_{elektrik\ unit\ 2} = \eta_{tm} \cdot \eta_g \cdot P_{mekanik\ unit\ 2}$$

$$P_{elektrik\ unit\ 2} = 0,94 \cdot 0,89 \cdot 14,9933$$

$$P_{elektrik\ unit\ 2} = 12,5434\ kW$$



## 4.2 Data Generator

Berikut ini merupakan data generator pada unit 1 dan unit 2.

Generator 1 :



Gambar 4.2 Generator Sinkron 3 Fasa Pada PLTMH Andungbiru 1  
Sumber : PT Haneda Sukses Mandiri

Tabel 4.4 Spesifikasi Generator Sinkron Unit 1

Jenis	Generator Sinkron 3 fasa
Type	ADI184J26
Sistem eksitasi	AVR SX460
Hubungan	Y
Daya	40 kVA
Tegangan nominal	380 volt
Arus nominal	61 ampere
Pf	0,8
Putaran	1500 rpm
Tegangan eksitasi	55 volt
Arus eksitasi	2,5 ampere
Frekuensi	50 Hz
Fasa	3
Insulation class	H
Index protection	23

## Generator 2 :



Gambar 4.3 Generator Sinkron 3 Fasa Pada PLTMH Andungbiru 2

Sumber : PT Haneda Sukses Mandiri

Tabel 4.5 Spesifikasi Generator Sinkron Unit 2

Jenis	Generator Sinkron 3 fasa
Type	AD1164D26
Sistem eksitasi	AVR SX460
Hubungan	Y
Daya	16 kVA
Tegangan nominal	380 volt
Arus nominal	24,3 ampere
Pf	0,8
Putaran	1500 rpm
Tegangan eksitasi	55 volt
Arus eksitasi	2,5 ampere
Frekuensi	50 Hz
Fasa	3
Insulation class	H
Index protection	23

#### 4.2.1 Pengukuran pada PLTMH Andungbiru Unit 1 dan Unit 2 di Lapangan

Pengukuran pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro Andungbiru 1 dan 2 dilakukan pada tanggal 09 - 10 Agustus 2015. Tujuannya untuk mengetahui besarnya daya keluaran terpakai generator. Pengukuran yang dilakukan pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro Andungbiru meliputi : tegangan, dan arus pada fasa R, S, dan T. Selain itu juga dilakukan pengukuran faktor daya ( $\cos \phi$ ) pada fasa R, S, dan T. Pengukuran dilakukan pada rata-rata beban puncak yaitu pukul 16.00-21.00 WIB. Hasil pengukuran pada PLTMH Andungbiru ditunjukkan pada tabel berikut.

Tabel 4.6 Data Pengukuran pada Generator PLTMH Andungbiru Unit 1 Hari Pertama

Pukul	Tegangan (V)			Arus (A)			cos phi		
	Fasa R	Fasa S	Fasa T	Fasa R	Fasa S	Fasa T	Fasa R	Fasa S	Fasa T
16.00	228	228	225	16,85	13,11	17,64	0,956	0,947	1
17.00	227	227	223	23,333	18,53	22,98	0,961	0,939	0,986
18.00	165,3	164,3	160,2	38,4	42,7	37,4	0,989	0,991	0,986
19.00	156,2	158,7	166,1	41,4	44,3	34,1	0,985	0,974	0,991
20.00	163,9	158,9	171,1	38,3	43,6	33,65	0,99	0,975	0,995
21.00	189	193	188	34,33	31,65	33,78	0,969	0,969	0,993

Sumber : Hasil Pengukuran; 2015

Tabel 4.7 Data Pengukuran pada Generator PLTMH Andungbiru Unit 1 Hari Kedua

Pukul	Tegangan (V)			Arus (A)			cos phi		
	Fasa R	Fasa S	Fasa T	Fasa R	Fasa S	Fasa T	Fasa R	Fasa S	Fasa T
16.00	226	227	224	22,81	17,44	20,24	0,96	0,957	0,986
17.00	225	224	221	25,75	22,26	24,13	0,968	0,964	0,983
18.00	164,1	150,9	155,3	39,5	44,6	42,1	0,976	0,999	1
19.00	139,8	152,8	158,6	41,1	44,4	40,7	1	0,993	0,992
20.00	165,4	153,1	163	37,3	38,4	40	0,976	0,982	1
21.00	180	182	168,8	34,25	31,66	38,9	0,956	0,994	0,992

Sumber : Hasil Pengukuran; 2015

Tabel 4.8 Data Pengukuran pada Generator PLTMH Andungbiru Unit 2 Hari Pertama

Pukul	Tegangan (V)			Arus (A)			cos phi		
	Fasa R	Fasa S	Fasa T	Fasa R	Fasa S	Fasa T	Fasa R	Fasa S	Fasa T
16.00	188	197	196	9,18	5,69	5,53	0,946	0,907	0,935
17.00	196	203	195	11,31	8,19	8,77	0,95	0,91	0,949
18.00	136,4	152,1	159,1	19,64	17,01	14,75	0,972	0,985	0,939
19.00	150,3	166,3	156,6	17,88	14,34	14,68	0,952	0,961	0,946
20.00	155,5	169,8	181	16,48	14,89	12,73	0,946	0,957	0,925
21.00	199	193	200	11,76	15,01	10,13	0,933	0,977	0,927

Sumber : Hasil Pengukuran; 2015

Tabel 4.9 Data Pengukuran pada Generator PLTMH Andungbiru Unit 2 Hari Kedua

Pukul	Tegangan (V)			Arus (A)			cos phi		
	Fasa R	Fasa S	Fasa T	Fasa R	Fasa S	Fasa T	Fasa R	Fasa S	Fasa T
16.00	187	195	199	7,58	8,73	8,9	0,932	0,937	0,936
17.00	193	190	194	10,1	10,83	10,25	0,958	0,956	0,97
18.00	135,3	137,2	139,6	19,56	16,48	16,04	0,968	0,98	0,959
19.00	154,4	149	153,2	17,58	16,53	15,41	0,955	0,977	0,94
20.00	169,8	157,9	162,4	14,26	16,43	14,95	0,94	0,973	0,925
21.00	194	194	197	12,86	12,73	12,06	0,965	0,966	0,94

Sumber : Hasil Pengukuran; 2015

Berdasarkan data didapat pada tabel diatas, maka dapat dilakukan perhitungan daya nyata dan daya semu dengan menggunakan persamaan sebagai berikut yaitu:

$$P = 3 \cdot V_f \cdot I_f \cdot \cos\varphi$$

$$P = [(V_R \cdot I_R \cdot \cos \varphi_R) + (V_S \cdot I_S \cdot \cos \varphi_S) + (V_T \cdot I_T \cdot \cos \varphi_T)]$$

$$S = 3 \cdot V_f \cdot I_f$$

$$S = [(V_R \cdot I_R) + (V_S \cdot I_S) + (V_T \cdot I_T)]$$

Hasil perhitungan yang diperoleh dapat dilihat pada tabel 4.8 di bawah ini :

Tabel 4.10 Hasil Perhitungan Daya Unit 1

Waktu uji		16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00
Hari 1	Daya (kW)	10,4724	14,0926	19,1378	18,8303	18,6982	18,5125
	Daya (kVA)	10,7988	14,6274	19,3546	19,1611	18,9629	18,9475
Hari 2	Daya (kW)	13,2078	15,6572	19,5879	18,8860	18,3146	18,1351
	Daya (kVA)	13,6478	16,1127	19,7502	18,9851	18,5685	18,4934

Tabel 4.11 Hasil Perhitungan Daya Unit 2

Waktu uji		16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00
Hari 1	Daya (kW)	3,6628	5,2418	7,3559	7,0249	6,9752	6,8918
	Daya (kVA)	3,9307	5,5895	7,6128	7,3710	7,3951	7,2632
Hari 2	Daya (kW)	4,5739	5,7634	6,9249	7,2177	7,0461	7,0264
	Daya (kVA)	4,8910	5,9955	7,1467	7,5381	7,4436	7,3041

Total rata – rata daya nyata hari pertama dan hari kedua untuk unit 1 adalah :

$$\text{Prata – rata} = 16,9610 \text{ kW}$$

Total rata – rata daya nyata hari pertama dan hari kedua untuk unit 2 adalah :

$$\text{Prata – rata} = 6,3087 \text{ kW}$$

Dari perhitungan diatas diperoleh daya nyata yang dihasilkan pada PLTMH unit 1 dan unit 2 adalah 16,9610 kW untuk unit 1 dan 6,3087 kW setelah itu menghitung energi pertahun dengan Persamaan 2-11 :

Energi yang dihasilkan pada PLTMH unit 1:

$$E = P_{net} \times (8760 - T) \times 70\%$$

$$E = 16,9610 \text{ kW} \times (8760 - 144) \times 70\%$$

$$E = 102295,1832 \text{ kWh}$$

Energi yang dihasilkan pada PLTMH unit 2:

$$E = P_{net} \times (8760 - T) \times 70\%$$

$$E = 6,3087 \text{ kW} \times (8760 - 144) \times 70\%$$

$$E = 38049,0314 \text{ kWh}$$

### 4.3 Data Beban

Daya nyata (P), tegangan fasa (V), dan arus beban (I) didapat dari hasil pengukuran Data beban berdasarkan hasil perhitungan selengkapnya dapat dilihat pada lampiran 2. Daya nyata yang diperoleh pada beban saat beban puncak adalah 16,1314 kW untuk unit 1 dan 5,7306 kW untuk unit 2. Kondisi di lapangan sebuah PLTMH tidak dapat beroperasi secara terus menerus, tetapi memerlukan waktu untuk kegiatan pemeliharaan dan perbaikan. PLTMH diistirahatkan selama 12 jam dalam satu bulan untuk pemeliharaan sehingga dalam satu tahun diperlukan waktu pemeliharaan sebanyak 144 jam dan memisalkan PF sebesar 70% dari daya terpasang sehingga diperoleh energi pada masing-masing pembangkit selama satu tahun adalah dengan Persamaan 2-11:

PLTMH Andungbiru unit 1:

$$E = 16,1314 \text{ kW} \times (8760 - 144) \times 70\%$$

$$E = 97291,6997 \text{ kWh}$$

PLTMH Andungbiru unit 2:

$$E = 5,7306 \text{ kW} \times (8760 - 144) \times 70\%$$

$$E = 34562,3947 \text{ kWh}$$

### 4.4 Biaya Operasional dan Pemeliharaan

Dalam satu bulan PLTMH Andungbiru unit 1 dan unit 2 memerlukan biaya pemeliharaan sebesar Rp 500.000,- per bulan didapat dari pendapatan hasil penjualan energi listrik. Dengan demikian dalam satu tahun biaya operasional dan pemeliharaan tersebut dikalikan 12, maka dalam satu tahun PLTMH Andungbiru unit 1 dan unit 2 memerlukan biaya pemeliharaan sebesar Rp 6.000.000,-. Biaya operasional di Andungbiru bapak Rasyid dibantu oleh 3 orang warga yang ditunjuk sebagai operator dengan gaji untuk bapak Rasyid sendiri sebagai operator mesin Rp 400.000,- operator air sebesar Rp

200.000,- operator jaringan Rp 300.000,- operator untuk cek kWh meter dan penarikan bulanan sebesar Rp 350.000,-.

Berdasarkan survei di lapangan untuk PLTMH unit 1 dari biaya operasional dan pemeliharaan serta gaji pegawai adalah Rp 17.000.000,- dan untuk PLTMH unit 2 sebesar Rp 4.000.000,-. Sehingga total dalam satu tahun biaya operasional dan pemeliharaan serta gaji pegawai adalah Rp 21.000.000,-.

#### 4.4.1 Harga Penjualan Listrik kepada Warga

Berdasarkan keterangan pengelola dan masyarakat yang dihasilkan oleh PLTMH Andungbiru unit 1 dan unit 2 dijual ke warga dengan harga per kWh yaitu pemakaian warga dengan pembatas arus (MCB) 2 A dan 4 A biaya per kWh dikenakan Rp 700,- .

#### 4.4.2 Swadaya Masyarakat Pembangunan PLTMH Andungbiru unit 1

Pada pembangunan PLTMH Andungbiru unit 1 berasal dari swadaya masyarakat sebesar Rp 345.087.500,- yang terdiri dari biaya pekerjaan elektrikal dan jaringan, biaya pekerjaan mekanikal, biaya pekerjaan sipil, dan lain-lain.

Tabel 4.12 Biaya Pembangunan PLTMH Andungbiru unit 1

No	Uraian Pekerjaan	Volume	Satuan	Jumlah Harga (Rp)
1	Kabel distribusi blunded cable 3 x 35 + 25 mm <sup>2</sup>	1000	m	31.500.000
2	Lightening arrester 3 Ph dan grounding	1	set	4.100.000
3	Kabel power dari generator ke panel kontrol	10	m	720.000
4	Panel koneksi JTM dan arrester	6	m	265.000
5	Suspension cable + bracket	1	set	1.687.500
6	Strain clamp + bracket	15	set	1.220.000
7	Parcing connector	1	rol	95.000
8	Biaya pemasangan dan komisioning	25	pcs	8.500.000
9	Tiang listrik besi + cat, tebal pipa 3 mm	1	ls	43.000.000
10	Mesin turbin	1	unit	75.000.000
11	Generator	1	unit	20.000.000
12	Panel control	1	unit	25.000.000
13	Pipa pesat beton dan PVC; diameter 50cm	170	batang	24.500.000
14	Pintu air; panjang 60cm, lebar 180 cm	1	unit	5.000.000
15	Saringan; tinggi 2 m, panjang 3 m	1	unit	2.000.000
16	Pekerjaan mekanikal	1	paket	7.500.000
17	Pekerjaan sipil	1	paket	95.000.000
<b>JUMLAH</b>				345.087.500

Sumber : Pengelola PLTMH Andungbiru; 2004

#### 4.4.3 Bantuan dari (FT UB) bekerjasama dengan PT. PGN Pembangunan PLTMH Andungbiru Unit 2

Pembangunan PLTMH unit 2 berasal bantuan dari hasil rekayasa Badan Penelitian dan Pengabdian Masyarakat (BPPM) Fakultas Teknik Universitas Brawijaya (FT UB) bekerjasama dengan PT. Perusahaan Gas Negara (PGN) sebesar Rp 309.275.000,-. Yaitu terdiri dari biaya pekerjaan elektrikal dan jaringan, biaya pekerjaan mekanikal, biaya pekerjaan sipil, dan lain-lain.

Tabel 4.13 Biaya Pembangunan PLTMH Andungbiru unit 2

No	Nama	Satuan	Jml	Jumlah (Rp)
<b>a. Pekerjaan Bangunan Sipil</b>				
1	Pekerjaan persiapan	paket	1	7.500.000
2	Pembuatan bangunan pembagi	paket	1	20.950.000
3	Normalisasi satuan	paket	1	47.591.000
4	Bangunan pengambilan air PLTMH dan pipa penstok	paket	1	60.650.000
5	Rumah turbin dan saluran buangan	paket	1	12.000.000
<b>b. Peralatan Mekanikal Elektrikal</b>				
1	Turbin Cross Flow tipe C4-24, P 10 kW, diameter shaft 3 inch	unit	1	72.250.000
2	Adaptor Connecting pipa pesat PVC dengan pipa besi	set	1	6.500.000
3	Transmisi roda pulley dan v-belt	set	1	1.750.000
4	Generator listrik 16 kVA, 230/400 V, 50 Hz, 3Ph, 1500 rpm dan base frame	unit	1	24.500.000
5	Kabel power, Grounding, dan arrester	set	1	3.750.000
6	Mekanik tool kit untuk operator	set	1	1.000.000
7	Loading, pemasangan dan komisioning	ls	1	5.500.000
8	Suku cadang peralatan mekanik, grease, hallite seal dan mur baut	ls	1	1.500.000
9	DLC dan ballast	paket	1	25.000.000
<b>c. Pekerjaan Jaringan</b>				
1	Kabel distribusi blunded cable 3 x 35 + 25 mm <sup>2</sup>	m	250	7.500.000
2	Ground road/ pentanahan	titik	4	160.000
3	Suspension cable	set	2	280.000
4	Strain clamp	set	2	330.000
5	Terminasi (kabel lug, ties dll)	ls	1	500.000
6	Instalasi kabel rumah pembangkit	buah	2	600.000
7	Lampu HL 14 watt			64.000
<b>d. Ongkos Kerja dan Kompensasi Lahan</b>				
1	Persiapan (pembersihan lahan)	ls	1	1.000.000
2	Pasang tiang dan kabel	tiang	4	400.000
3	Angkut turbin dan generator (pick up) malang-probolinggo	rit	2	3.000.000
4	Kompensasi lahan yang dilewati aliran	ls	1	5.000.000
<b>Jumlah a, b, c, d</b>				<b>309.275.000</b>

Sumber : Laporan Pekerjaan BPP FT UB; 2012

#### 4.4.4 Biaya investasi / *Cost Flow* (CF)

Biaya awal yang diperlukan untuk membangun PLTMH Andungbiru unit 1 dan unit 2 ini sebelum kena pajak ( $CF_0$ ) adalah Rp 345.087.500,- untuk unit 1 dan Rp 309.275.000,- untuk unit 2 ditambah dengan PPN 10% maka diperlukan biaya awal CF dengan menggunakan persamaan yang merupakan biaya investasi keseluruhan sebesar:

PLTMH Andungbiru unit 1:

$$CF = CF_0 + \text{PPN } 10\%$$

$$CF = \text{Rp } 345.087.500,- + \text{Rp } 34.508.750,-$$

$$CF = \text{Rp } 379.596.250,-$$

PLTMH Andungbiru unit 2:

$$CF = CF_0 + \text{PPN } 10\%$$

$$CF = \text{Rp } 309.275.000,- + \text{Rp } 30.927.500,-$$

$$CF = \text{Rp } 340.202.500,-$$

- Perhitungan Harga Pokok Produksi (HPP) per kWh

Pembangkit listrik tenaga mikrohidro Andungbiru unit 1 dan unit 2 harga pokok produksi per kWh nya dapat dihitung. Namun dibutuhkan data berupa bantuan dana dan biaya perawatan PLTMH unit 1 dan unit 2. Diasumsikan pembangunan PLTMH secara umum berumur 25 tahun jika dilihat dari segi teknis dan dirawat dengan baik walau umur PLTMH bisa melebihi 25 tahun namun secara umum untuk menghitung HPP menggunakan jangka waktu 25 tahun, oleh demikian PLTMH Andungbiru unit 1 dan unit 2 diperkirakan berumur 25 tahun dengan syarat dirawat dengan baik oleh warga. Sehingga Harga Pokok Produksi dari PLTMH Andungbiru unit 1 dan unit 2 sesuai perhitungan dengan Persamaan 2-11 menggunakan daya terpasang pada beban adalah :

- HPP PLTMH Andungbiru unit 1:

$$HPP \text{ per kWh} = \frac{\text{Cannual per tahun} + (O+M) \text{ per tahun}}{\text{Energi per tahun}}$$

$$HPP \text{ per kWh} = \frac{(15.183.850 + 17.000.000)}{97291,6997}$$

$$HPP \text{ per kWh} = \text{Rp } 331,- / \text{kWh}$$

- HPP PLTMH Andungbiru unit 2:

$$HPP \text{ per kWh} = \frac{\text{Cannual per tahun} + (O+M) \text{ per tahun}}{\text{Energi per tahun}}$$

$$HPP \text{ per kWh} = \frac{(13.608.100 + 4.000.000)}{34562,3947}$$

$$HPP \text{ per kWh} = \text{Rp } 509,- / \text{kWh}$$

Harga pokok produksi PLTMH Andungbiru unit 1 dan unit 2 secara teori memang lebih murah jika dibandingkan tarif listrik PLN. Tarif listrik PLN untuk pelanggan rumah tangga golongan dengan kapasitas R1/450 VA sebesar Rp 415,-/kWh dan kapasitas R1/900 VA sebesar Rp 605,-/kWh dengan biaya admin Bank rata-rata sebesar Rp 2.500,- dan PPJ (Pajak Penerangan Jalan) sekitar 3%-8% maka tentunya akan lebih murah. Listrik yang dihasilkan PLTMH Andungbiru unit 1 dan unit 2 dijual ke masyarakat setempat. Harga jual listrik yang dijual kepada masyarakat adalah sebesar Rp 700,-/kWh berdasarkan musyawarah.

Maka pendapatan dari hasil penjualan energi yang diproduksi selama satu tahun dapat dihitung menggunakan Persamaan 2-14 :

- a. Proyeksi pendapatan PLTMH Andungbiru unit 1 :

Proyeksi pendapatan dengan harga jual Rp 700 per kWh adalah :

$$\text{CIF} = \text{Harga jual} \times E \text{ (kWh)}$$

$$\text{CIF} = \text{Rp } 700,- \times 97291,6997 \text{ kWh}$$

$$\text{CIF} = \text{Rp } 68.104.190,-$$

Tabel 4.14 Proyeksi Pendapatan Unit 1

Harga Jual	CIF
Rp 700,-	Rp 68.104.190,-

- b. Proyeksi pendapatan PLTMH Andungbiru unit 2 :

Proyeksi pendapatan dengan harga jual Rp 700,- per kWh adalah :

$$\text{CIF} = \text{Harga jual} \times E \text{ (kWh)}$$

$$\text{CIF} = \text{Rp } 700,- \times 34562,3947 \text{ kWh}$$

$$\text{CIF} = \text{Rp } 24.193.676,-$$

Tabel 4.15 Proyeksi Pendapatan Unit 2

Harga Jual	CIF
Rp 700,-	Rp 24.193.676,-

#### 4.4.5 Aliran kas bersih / Annual Cash In Flow (Annual CIF)

Untuk pendekatan penentuan aliran kas bersih pengeluaran yang terdiri dari biaya operasional dan pemeliharaan untuk unit 1 adalah sebesar Rp 17.000.000,- dan untuk unit 2 adalah sebesar Rp 4.000.000,-. Aliran kas bersih tahunan dapat dihitung menggunakan Persamaan 2-15 :

- a. Aliran kas bersih PLTMH Andungbiru unit 1 :

Aliran kas bersih dengan proyeksi pendapatan Rp 68.104.190,-

Annual CIF = Rp 68.104.190,- - Rp 17.000.000,-

Annual CIF = Rp 51.104.190,-

Tabel 4.16 Aliran Kas Bersih Unit 1

Pendapatan	Aliran Kas Bersih
Rp 68.104.190,-	Rp 51.104.190,-

- b. Aliran kas bersih PLTMH Andungbiru unit 2 :

Aliran kas bersih dengan proyeksi pendapatan Rp 24.193.676,-

Annual CIF = Rp 24.193.676,- - Rp 4.000.000,-

Annual CIF = Rp 20.193.676,-

Tabel 4.17 Aliran Kas Bersih Unit 2

Pendapatan	Aliran Kas Bersih
Rp 24.193.676,-	Rp 20.193.676,-

#### 4.4.6 Periode pengembalian / *Payback period* (PP)

Dari hasil perhitungan Payback Period akan diketahui lama waktu yang diperlukan untuk mengembalikan dana investasi. *Payback Period* dapat dihitung menggunakan Persamaan 2-16 :

$$PP = \frac{\text{Total Investment Cost}}{\text{Pendapatan bersih/tahun}} \times 1 \text{ tahun}$$

- a. Periode pengembalian PLTMH Andungbiru unit 1:

$$PP = \frac{\text{Rp } 379.596.250,-}{\text{Rp } 51.104.190,-} \times 1 \text{ tahun}$$

$$PP = 7 \text{ tahun } 5 \text{ bulan}$$

Tabel 4.18 Periode Pengembalian Unit 1

Aliran kas Bersih	Periode Pengembalian
Rp 51.104.190,-	7 tahun 5 bulan

- b. Periode pengembalian PLTMH Andungbiru unit 2:

$$PP = \frac{\text{Rp } 340.202.500,-}{\text{Rp } 20.193.676,-} \times 1 \text{ tahun}$$

$$PP = 16 \text{ tahun } 9 \text{ bulan}$$

Tabel 4.19 Periode Pengembalian Unit 2

Aliran kas Bersih	Periode Pengembalian
Rp 20.193.676,-	16 tahun 9 bulan

#### 4.4.7 Net Present Value (NPV)

Keputusan tentang apakah suatu usulan proyek investasi diterima atau ditolak ditentukan oleh nilai NPV nya. Jika nilai sekarang penerimaan kas bersih lebih besar

daripada nilai sekarang investasi, atau biasa disebut nilai NPV positif, maka usulan proyek investasi tersebut dinyatakan layak. Sebaliknya jika nilai sekarang penerimaan-penerimaan kas bersih lebih kecil daripada nilai sekarang investasi (pengeluaran) atau NPV negatif, maka dinyatakan tidak layak. Dengan demikian suatu usulan proyek investasi diterima jika NPV nya lebih besar dari nol. Kriteria kelayakan apabila nilai  $NPV > 0$ . Dengan Persamaan 2-17 diperoleh NPV sebesar:

- PLTMH Andungbiru unit 1 :

$$NPV = \sum_{t=0}^n \frac{CIF_t}{(1+K)^t} - Investment\ Cost$$

$$NPV = 1133406124$$

- PLTMH Andungbiru unit 2 :

$$NPV = \sum_{t=0}^n \frac{CIF_t}{(1+K)^t} - Investment\ Cost$$

$$NPV = 257656104,9$$

Perhitungan NPV terdapat pada lampiran 6 terlihat bahwa NPV bernilai positif, sehingga proyek tersebut layak dilakukan.

#### 4.4.8 ROI

Dari hasil perhitungan ROI dapat diketahui kelayakan ekonomis suatu investasi proyek, jika semakin besar persentase ROI maka semakin baik nilai kelayakan proyek tersebut. ROI dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 2-18 sebagai berikut :

$$ROI = \frac{pemasukan}{investasi} \times 100\%$$

Perhitungan ROI terdapat pada lampiran 6 setelah NPV, sehingga terlihat dalam perhitungan ROI bernilai positif sehingga layak dilaksanakan.

Tabel 4.20 ROI

Unit	Investasi	Aliran Kas Bersih	ROI (%)
1	Rp 379.596.250,-	Rp 51.104.190,-	2,36
2	Rp 340.202.500,-	Rp 20.193.676,-	0,48

#### 4.5 Pembahasan Ekonomis

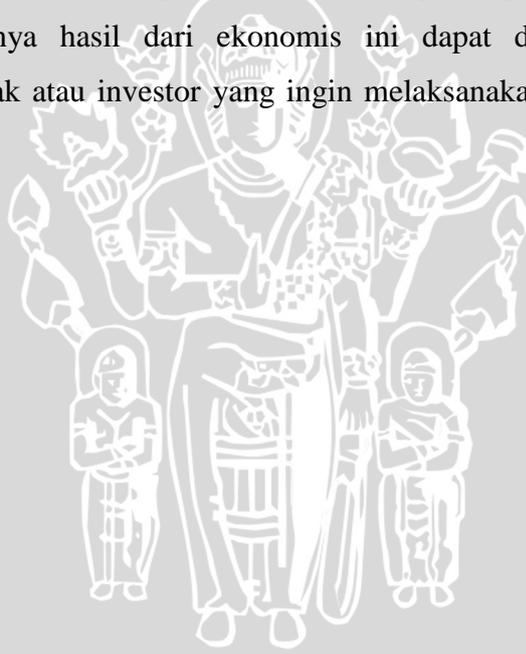
Dari perhitungan dan analisis dapat diketahui bahwa secara ekonomis proyek PLTMH Andungbiru unit 1 dan unit 2 sebagai berikut :

1. Lama waktu pengembalian atau *Payback Period* (PP) jika dikelola masyarakat dengan harga jual yang ada di lapangan sebesar Rp 700,- pada PLTMH Andungbiru

unit 1 yaitu 7 tahun 5 bulan. Sedangkan pada PLTMH Andungbiru unit 2 yaitu 16 tahun 9 bulan. Hal tersebut menunjukkan bahwa setelah waktu periode pengembalian terlampaui, maka keuntungan bersih dari biaya pembangunan atau investasi PLTMH Andungbiru unit 1 dan unit 2 dapat terlihat sehingga dapat meningkatkan perekonomian penduduk sekitar PLTMH Andungbiru.

2. *Net Present Value* (NPV) pada PLTMH Andungbiru unit 1 dan unit 2 menunjukkan bahwa proyek tersebut layak dilaksanakan karena bernilai 1133406124 dan 257656104,9.
3. *Return Of Investment* (ROI) menunjukkan 2,36% Unit 1 dan 0,48% Unit 2 menunjukkan bahwa pembangunan PLTMH Unit 1 dan Unit 2 ini akan menguntungkan secara ekonomis finansial.

Berdasarkan uraian diatas jelas bahwa proyek pembangunan PLTMH Andungbiru unit 1 dan unit 2 jika dikelola masyarakat dari segi ketersediaan energi maupun ekonomis layak untuk dilaksanakan. Selanjutnya hasil dari ekonomis ini dapat digunakan sebagai rekomendasi pada pihak – pihak atau investor yang ingin melaksanakan proyek PLTMH ini.



## BAB V PENUTUP

### 5.1 Kesimpulan

Dari hasil perhitungan dan analisa Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro Andungbiru unit 1 dan unit 2 di Dusun Sumberkapung Kecamatan Tiris, Kabupaten Probolinggo, Jawa Timur, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. PLTMH Andungbiru Unit 1 secara ekonomis harga jual energi listrik yang ada di lapangan yaitu, dengan harga jual Rp 700,-/kWh dengan waktu pengembalian modal awal selama 7 tahun 5 bulan. *Net Present Value* (NPV) pada PLTMH Andungbiru unit 1 menunjukkan bahwa proyek tersebut layak dilaksanakan karena bernilai lebih dari 0. *Return Of Investment* (ROI) menunjukkan bahwa lebih besar dari 0 jelas menunjukkan bahwa pembangunan PLTMH unit 1 ini akan menguntungkan secara ekonomis finansial.
2. PLTMH Andungbiru Unit 2 secara ekonomis harga jual energi listrik yang ada di lapangan yaitu, dengan harga jual Rp 700,-/kWh dengan waktu pengembalian modal awal selama 19 tahun 9 bulan. *Net Present Value* (NPV) pada PLTMH Andungbiru unit 2 menunjukkan bahwa proyek tersebut layak dilaksanakan karena bernilai lebih dari 0. *Return Of Investment* (ROI) menunjukkan bahwa lebih besar dari 0 jelas menunjukkan bahwa pembangunan PLTMH unit 2 ini akan menguntungkan secara ekonomis finansial.
3. Berdasarkan biaya produksi dan biaya pemeliharaan dalam 25 tahun kedepan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro Andungbiru Unit 1 dan Unit 2 menghasilkan harga pokok produksi sebesar Rp 331,-/kWh dan Rp 509,-/kWh. Untuk harga jual listrik kepada masyarakat saat ini adalah sebesar Rp 700,-/kWh. Oleh karena itu PLTMH Andungbiru Unit 1 dan Unit 2 mengalami keuntungan sebesar Rp 369,-/kWh dan Rp 191,-/kWh.

### 5.2 Saran

Dari hasil perhitungan dan analisa Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro Andungbiru Unit 1 dan Unit 2 di Kecamatan Tiris, Kabupaten Probolinggo, Jawa Timur yang telah dilakukan, ada beberapa saran untuk kedepannya yaitu:

- a. Harga jual energi listrik PLTMH unit 1 dan unit 2 di lapangan sekarang yaitu sebesar Rp 700,-/kWh sebenarnya bisa dijual lebih murah dibawah harga jual yang sekarang karena Harga Pokok Produksi Unit 1 masih Rp 331,-/kWh dan Unit 2 Rp 509,-/kWh.
- b. Pemeliharaan dan perawatan PLTMH harus dilakukan secara berkala dan berlanjut agar memperpanjang umur PLTMH dan mempertahankan efisiensinya.



## DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. 2010. *Kriteria Perencanaan Irigasi*. CV Galang Persada. Bandung.
- Arismunandar, A. dan Susumu Kuwahara. 2004. *Buku Pegangan Teknik Tenaga Listrik I*. Jakarta: PT Pradnya Paramita.
- Dandekar, M.M. dan K.N. Sharma. 1991. *Pembangkit Listrik Tenaga Air*. Jakarta: Universitas Indonesia.
- Harvey, Adam. 1993. *Micro-Hydro Design Manual*. Warwickshire CV23 9QZ, UK. Intermediate Technology Publications Ltd.
- Kadir, Abdul. 1980. *Pengantar Teknik Tenaga Listrik*. Jakarta: LP3ES.
- Kurniawan, A, dkk. 2009. *Pedoman Studi Kelayakan Hidrologi*. Jakarta: Direktorat Jenderal Listrik dan Pemanfaatan Energi Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral.
- Kurniawan, A, dkk. 2009. *Pedoman Studi Kelayakan Mekanikal Elektrikal*. Jakarta: Direktorat Jenderal Listrik dan Pemanfaatan Energi Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral.
- Kurniawan, A, dkk. 2009. *Pedoman Studi Kelayakan Sipil*. Jakarta: Direktorat Jenderal Listrik dan Pemanfaatan Energi Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral.
- Kusdiana, Dadan, dkk. 2008. *Pedoman Teknis Standardisasi Peralatan dan Komponen Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH)*. Jakarta: Direktorat Jenderal Listrik dan Pemanfaatan Energi Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral.
- Linsley, Ray K. 1995. *Teknik Sumber Daya Air Jilid 2*. Jakarta: Erlangga.
- Mismail, Budiono. 1991/1992. *Pelistrikan Desa di Indonesia*. Depok: Kampus Baru UI.
- Patty, O. 1995. *Tenaga Air*. Jakarta: Erlangga.
- Soeharto, Iman. 1997. *Manajemen Proyek: Dari Konseptual Sampai Operasional*. Jakarta: Erlangga.
- Sucipto, Agus. 2011. *Studi Kelayakan Bisnis*. Malang: UIN- Maliki Press.
- Wibawa, Unggul. 2001. *Sumber Daya Energi Alternatif*. Malang: Universitas Brawijaya.
- Zuhal. 1991. *Dasar Teknik Tenaga Listrik*. Bandung: ITB.



## LAMPIRAN

### LAMPIRAN 1 : Perhitungan Daya Nyata dan Daya Semu

Perhitungan daya nyata dan daya semu dari data pada tabel 4.4, tabel 4.5, tabel 4.6, tabel 4.7 diatas secara rinci diperlihatkan pada bagian dibawah ini:

a. Pada Generator PLTMH Andungbiru unit 1 hari pertama

1. Pada pukul 16.00

Data-data dari tabel diatas

- Tegangan pada setiap fasa :  $V_R = 228$  ,  $V_S = 228$  ,  $V_T = 225$
- Arus pada setiap fasa :  $I_R = 16,85$  ,  $I_S = 13,11$  ,  $I_T = 17,64$
- $\cos \varphi$  pada setiap fasa :  $\cos \varphi_R = 0,956$  ,  $\cos \varphi_S = 0,947$  ,  $\cos \varphi_T = 1$

Sehingga besarnya daya nyata dan daya semu pada generator :

$$P = [(V_R \cdot I_R \cdot \cos \varphi_R) + (V_S \cdot I_S \cdot \cos \varphi_S) + (V_T \cdot I_T \cdot \cos \varphi_T)]$$

$$P = [(228 \times 16,85 \times 0,956) + (228 \times 13,11 \times 0,947) + (225 \times 17,64 \times 1)]$$

$$P = 10,4724 \text{ kW}$$

$$S = [(V_R \cdot I_R) + (V_S \cdot I_S) + (V_T \cdot I_T)]$$

$$S = [(228 \times 16,85) + (228 \times 13,11) + (225 \times 17,64)]$$

$$S = 10,7998 \text{ kVA}$$

2. Pada pukul 17.00

Data-data dari tabel diatas

- Tegangan pada setiap fasa :  $V_R = 227$  ,  $V_S = 227$  ,  $V_T = 223$
- Arus pada setiap fasa :  $I_R = 23,333$  ,  $I_S = 18,53$  ,  $I_T = 22,98$
- $\cos \varphi$  pada setiap fasa :  $\cos \varphi_R = 0,961$  ,  $\cos \varphi_S = 0,939$  ,  $\cos \varphi_T = 0,986$

Sehingga besarnya daya nyata dan daya semu pada generator :

$$P = [(V_R \cdot I_R \cdot \cos \varphi_R) + (V_S \cdot I_S \cdot \cos \varphi_S) + (V_T \cdot I_T \cdot \cos \varphi_T)]$$

$$P = [(227 \times 23,333 \times 0,961) + (227 \times 18,53 \times 0,939) + (223 \times 22,98 \times 0,986)]$$

$$P = 14,0925 \text{ kW}$$

$$S = [(V_R \cdot I_R) + (V_S \cdot I_S) + (V_T \cdot I_T)]$$

$$S = [(227 \times 23,333) + (227 \times 18,53) + (223 \times 22,98)]$$

$$S = 14,6274 \text{ kVA}$$

3. Pada pukul 18.00

Data-data dari tabel diatas

- Tegangan pada setiap fasa :  $V_R = 165,3$  ,  $V_S = 164,3$  ,  $V_T = 160,2$
- Arus pada setiap fasa :  $I_R = 38,4$  ,  $I_S = 42,7$  ,  $I_T = 37,4$

- $\cos \varphi$  pada setiap fasa :  $\cos \varphi_R = 0,989$  ,  $\cos \varphi_S = 0,991$  ,  $\cos \varphi_T = 0,986$

Sehingga besarnya daya nyata dan daya semu pada generator :

$$P = [(V_R \cdot I_R \cdot \cos \varphi_R) + (V_S \cdot I_S \cdot \cos \varphi_S) + (V_T \cdot I_T \cdot \cos \varphi_T)]$$

$$P = [(165,3 \times 38,4 \times 0,989) + (164,3 \times 42,7 \times 0,991) + (160,2 \times 37,4 \times 0,986)]$$

$$P = 19,1378 \text{ kW}$$

$$S = [(V_R \cdot I_R) + (V_S \cdot I_S) + (V_T \cdot I_T)]$$

$$S = [(165,3 \times 38,4) + (164,3 \times 42,7) + (160,2 \times 37,4)]$$

$$S = 19,3546 \text{ kVA}$$

#### 4. Pada pukul 19.00

Data-data dari tabel diatas

- Tegangan pada setiap fasa :  $V_R = 156,2$  ,  $V_S = 158,7$  ,  $V_T = 166,1$
- Arus pada setiap fasa :  $I_R = 41,4$  ,  $I_S = 44,3$  ,  $I_T = 34,1$
- $\cos \varphi$  pada setiap fasa :  $\cos \varphi_R = 0,985$  ,  $\cos \varphi_S = 0,974$  ,  $\cos \varphi_T = 0,991$

Sehingga besarnya daya nyata dan daya semu pada generator :

$$P = [(V_R \cdot I_R \cdot \cos \varphi_R) + (V_S \cdot I_S \cdot \cos \varphi_S) + (V_T \cdot I_T \cdot \cos \varphi_T)]$$

$$P = [(156,2 \times 41,4 \times 0,985) + (158,7 \times 44,3 \times 0,974) + (166,1 \times 34,1 \times 0,991)]$$

$$P = 18,8303 \text{ kW}$$

$$S = [(V_R \cdot I_R) + (V_S \cdot I_S) + (V_T \cdot I_T)]$$

$$S = [(156,2 \times 41,4) + (158,7 \times 44,3) + (166,1 \times 34,1)]$$

$$S = 19,1611 \text{ kVA}$$

#### 5. Pada pukul 20.00

Data-data dari tabel diatas

- Tegangan pada setiap fasa :  $V_R = 163,9$  ,  $V_S = 158,9$  ,  $V_T = 171,1$
- Arus pada setiap fasa :  $I_R = 38,3$  ,  $I_S = 43,6$  ,  $I_T = 33,65$
- $\cos \varphi$  pada setiap fasa :  $\cos \varphi_R = 0,99$  ,  $\cos \varphi_S = 0,975$  ,  $\cos \varphi_T = 0,995$

Sehingga besarnya daya nyata dan daya semu pada generator :

$$P = [(V_R \cdot I_R \cdot \cos \varphi_R) + (V_S \cdot I_S \cdot \cos \varphi_S) + (V_T \cdot I_T \cdot \cos \varphi_T)]$$

$$P = [(163,9 \times 38,3 \times 0,99) + (158,9 \times 43,6 \times 0,975) + (171,1 \times 33,65 \times 0,995)]$$

$$P = 18,6982 \text{ kW}$$

$$S = [(V_R \cdot I_R) + (V_S \cdot I_S) + (V_T \cdot I_T)]$$

$$S = [(163,9 \times 38,3) + (158,9 \times 43,6) + (171,1 \times 33,65)]$$

$$S = 18,9629 \text{ kVA}$$

#### 6. Pada pukul 21.00

Data-data dari tabel diatas

- Tegangan pada setiap fasa :  $V_R = 189$  ,  $V_S = 193$  ,  $V_T = 188$
- Arus pada setiap fasa :  $I_R = 34,33$  ,  $I_S = 31,65$  ,  $I_T = 33,78$
- $\cos \varphi$  pada setiap fasa :  $\cos \varphi_R = 0,969$  ,  $\cos \varphi_S = 0,969$  ,  $\cos \varphi_T = 0,993$

Sehingga besarnya daya nyata dan daya semu pada generator :

$$P = [(V_R \cdot I_R \cdot \cos \varphi_R) + (V_S \cdot I_S \cdot \cos \varphi_S) + (V_T \cdot I_T \cdot \cos \varphi_T)]$$

$$P = [(189 \times 34,33 \times 0,969) + (193 \times 31,65 \times 0,969) + (188 \times 33,78 \times 0,993)]$$

$$P = 18,5125 \text{ kW}$$

$$S = [(V_R \cdot I_R) + (V_S \cdot I_S) + (V_T \cdot I_T)]$$

$$S = [(189 \times 34,33) + (193 \times 31,65) + (188 \times 33,78)]$$

$$S = 18,9475 \text{ kVA}$$

b. Pada Generator PLTMH Andungbiru unit 1 hari kedua

1. Pada pukul 16.00

Data-data dari tabel diatas

- Tegangan pada setiap fasa :  $V_R = 226$  ,  $V_S = 227$  ,  $V_T = 224$
- Arus pada setiap fasa :  $I_R = 22,81$  ,  $I_S = 17,44$  ,  $I_T = 20,24$
- $\cos \varphi$  pada setiap fasa :  $\cos \varphi_R = 0,96$  ,  $\cos \varphi_S = 0,957$  ,  $\cos \varphi_T = 0,986$

Sehingga besarnya daya nyata dan daya semu pada generator :

$$P = [(V_R \cdot I_R \cdot \cos \varphi_R) + (V_S \cdot I_S \cdot \cos \varphi_S) + (V_T \cdot I_T \cdot \cos \varphi_T)]$$

$$P = [(226 \times 22,81 \times 0,96) + (227 \times 17,44 \times 0,957) + (224 \times 20,24 \times 0,986)]$$

$$P = 13,2078 \text{ kW}$$

$$S = [(V_R \cdot I_R) + (V_S \cdot I_S) + (V_T \cdot I_T)]$$

$$S = [(226 \times 22,81) + (227 \times 17,44) + (224 \times 20,24)]$$

$$S = 13,6478 \text{ kVA}$$

2. Pada pukul 17.00

Data-data dari tabel diatas

- Tegangan pada setiap fasa :  $V_R = 225$  ,  $V_S = 224$  ,  $V_T = 221$
- Arus pada setiap fasa :  $I_R = 25,75$  ,  $I_S = 22,26$  ,  $I_T = 24,13$
- $\cos \varphi$  pada setiap fasa :  $\cos \varphi_R = 0,968$  ,  $\cos \varphi_S = 0,964$  ,  $\cos \varphi_T = 0,983$

Sehingga besarnya daya nyata dan daya semu pada generator :

$$P = [(V_R \cdot I_R \cdot \cos \varphi_R) + (V_S \cdot I_S \cdot \cos \varphi_S) + (V_T \cdot I_T \cdot \cos \varphi_T)]$$

$$P = [(225 \times 25,75 \times 0,968) + (224 \times 22,26 \times 0,964) + (221 \times 24,13 \times 0,983)]$$

$$P = 15,6572 \text{ kW}$$

$$S = [(V_R \cdot I_R) + (V_S \cdot I_S) + (V_T \cdot I_T)]$$

$$S = [(225 \times 25,75) + (224 \times 22,26) + (221 \times 24,13)]$$

$$S = 16,1127 \text{ kVA}$$

3. Pada pukul 18.00

Data-data dari tabel diatas

- Tegangan pada setiap fasa :  $V_R = 164,1$  ,  $V_S = 150,9$  ,  $V_T = 155,3$
- Arus pada setiap fasa :  $I_R = 39,5$  ,  $I_S = 44,6$  ,  $I_T = 42,1$
- $\cos \varphi$  pada setiap fasa :  $\cos \varphi_R = 0,976$  ,  $\cos \varphi_S = 0,999$  ,  $\cos \varphi_T = 1$

Sehingga besarnya daya nyata dan daya semu pada generator :

$$P = [(V_R \cdot I_R \cdot \cos \varphi_R) + (V_S \cdot I_S \cdot \cos \varphi_S) + (V_T \cdot I_T \cdot \cos \varphi_T)]$$

$$P = [(164,1 \times 39,5 \times 0,976) + (150,9 \times 44,6 \times 0,999) + (155,3 \times 42,1 \times 1)]$$

$$P = 19,5879 \text{ kW}$$

$$S = [(V_R \cdot I_R) + (V_S \cdot I_S) + (V_T \cdot I_T)]$$

$$S = [(164,1 \times 39,5) + (150,9 \times 44,6) + (155,3 \times 42,1)]$$

$$S = 19,7502 \text{ kVA}$$

4. Pada pukul 19.00

Data-data dari tabel diatas

- Tegangan pada setiap fasa :  $V_R = 139,8$  ,  $V_S = 152,8$  ,  $V_T = 158,6$
- Arus pada setiap fasa :  $I_R = 41,1$  ,  $I_S = 44,4$  ,  $I_T = 40,7$
- $\cos \varphi$  pada setiap fasa :  $\cos \varphi_R = 1$  ,  $\cos \varphi_S = 0,993$  ,  $\cos \varphi_T = 0,992$

Sehingga besarnya daya nyata dan daya semu pada generator :

$$P = [(V_R \cdot I_R \cdot \cos \varphi_R) + (V_S \cdot I_S \cdot \cos \varphi_S) + (V_T \cdot I_T \cdot \cos \varphi_T)]$$

$$P = [(139,8 \times 41,1 \times 1) + (152,8 \times 44,4 \times 0,993) + (158,6 \times 40,7 \times 0,992)]$$

$$P = 18,8860 \text{ kW}$$

$$S = [(V_R \cdot I_R) + (V_S \cdot I_S) + (V_T \cdot I_T)]$$

$$S = [(139,8 \times 41,1) + (152,8 \times 44,4) + (158,6 \times 40,7)]$$

$$S = 18,9851 \text{ kVA}$$

5. Pada pukul 20.00

Data-data dari tabel diatas

- Tegangan pada setiap fasa :  $V_R = 165,4$  ,  $V_S = 153,1$  ,  $V_T = 163$
- Arus pada setiap fasa :  $I_R = 37,3$  ,  $I_S = 38,4$  ,  $I_T = 40$
- $\cos \varphi$  pada setiap fasa :  $\cos \varphi_R = 0,976$  ,  $\cos \varphi_S = 0,982$  ,  $\cos \varphi_T = 1$

Sehingga besarnya daya nyata dan daya semu pada generator :

$$P = [(V_R \cdot I_R \cdot \cos \varphi_R) + (V_S \cdot I_S \cdot \cos \varphi_S) + (V_T \cdot I_T \cdot \cos \varphi_T)]$$

$$P = [(165,4 \times 37,3 \times 0,976) + (153,1 \times 38,4 \times 0,982) + (163 \times 40 \times 1)]$$

$$P = 18,3146 \text{ kW}$$

$$S = [(V_R \cdot I_R) + (V_S \cdot I_S) + (V_T \cdot I_T)]$$

$$S = [(165,4 \times 37,3) + (153,1 \times 38,4) + (163 \times 40)]$$

$$S = 18,5685 \text{ kVA}$$

6. Pada pukul 21.00

Data-data dari tabel diatas

- Tegangan pada setiap fasa :  $V_R = 180$  ,  $V_S = 182$  ,  $V_T = 168,8$
- Arus pada setiap fasa :  $I_R = 34,25$  ,  $I_S = 31,66$  ,  $I_T = 38,9$
- $\cos \varphi$  pada setiap fasa :  $\cos \varphi_R = 0,956$  ,  $\cos \varphi_S = 0,994$  ,  $\cos \varphi_T = 0,992$

Sehingga besarnya daya nyata dan daya semu pada generator :

$$P = [(V_R \cdot I_R \cdot \cos \varphi_R) + (V_S \cdot I_S \cdot \cos \varphi_S) + (V_T \cdot I_T \cdot \cos \varphi_T)]$$

$$P = [(180 \times 34,25 \times 0,956) + (182 \times 31,66 \times 0,994) + (168,8 \times 38,9 \times 0,992)]$$

$$P = 18,1351 \text{ kW}$$

$$S = [(V_R \cdot I_R) + (V_S \cdot I_S) + (V_T \cdot I_T)]$$

$$S = [(180 \times 34,25) + (182 \times 31,66) + (168,8 \times 38,9)]$$

$$S = 18,4934 \text{ kVA}$$

c. Pada Generator PLTMH Andungbiru unit 2 hari pertama

1. Pada pukul 16.00

Data-data dari tabel diatas

- Tegangan pada setiap fasa :  $V_R = 188$  ,  $V_S = 197$  ,  $V_T = 196$
- Arus pada setiap fasa :  $I_R = 9,18$  ,  $I_S = 5,69$  ,  $I_T = 5,53$
- $\cos \varphi$  pada setiap fasa :  $\cos \varphi_R = 0,946$  ,  $\cos \varphi_S = 0,907$  ,  $\cos \varphi_T = 0,935$

Sehingga besarnya daya nyata dan daya semu pada generator :

$$P = [(V_R \cdot I_R \cdot \cos \varphi_R) + (V_S \cdot I_S \cdot \cos \varphi_S) + (V_T \cdot I_T \cdot \cos \varphi_T)]$$

$$P = [(188 \times 9,18 \times 0,946) + (197 \times 5,69 \times 0,946) + (196 \times 5,53 \times 0,935)]$$

$$P = 3,6628 \text{ kW}$$

$$S = [(V_R \cdot I_R) + (V_S \cdot I_S) + (V_T \cdot I_T)]$$

$$S = [(188 \times 9,18) + (197 \times 5,69) + (196 \times 5,53)]$$

$$S = 3,9307 \text{ kVA}$$

2. Pada pukul 17.00

Data-data dari tabel diatas

- Tegangan pada setiap fasa :  $V_R = 196$  ,  $V_S = 203$  ,  $V_T = 195$
- Arus pada setiap fasa :  $I_R = 11,31$  ,  $I_S = 8,19$  ,  $I_T = 8,77$

- $\cos \varphi$  pada setiap fasa :  $\cos \varphi_R = 0,95$  ,  $\cos \varphi_S = 0,91$  ,  $\cos \varphi_T = 0,949$

Sehingga besarnya daya nyata dan daya semu pada generator :

$$P = [(V_R \cdot I_R \cdot \cos \varphi_R) + (V_S \cdot I_S \cdot \cos \varphi_S) + (V_T \cdot I_T \cdot \cos \varphi_T)]$$

$$P = [(196 \times 11,31 \times 0,95) + (203 \times 8,19 \times 0,91) + (195 \times 8,77 \times 0,949)]$$

$$P = 5,2418 \text{ kW}$$

$$S = [(V_R \cdot I_R) + (V_S \cdot I_S) + (V_T \cdot I_T)]$$

$$S = [(196 \times 11,31) + (203 \times 8,19) + (195 \times 8,77)]$$

$$S = 5,5895 \text{ kVA}$$

### 3. Pada pukul 18.00

Data-data dari tabel diatas

- Tegangan pada setiap fasa :  $V_R = 136,4$  ,  $V_S = 152,1$  ,  $V_T = 159,1$
- Arus pada setiap fasa :  $I_R = 19,64$  ,  $I_S = 17,01$  ,  $I_T = 14,75$
- $\cos \varphi$  pada setiap fasa :  $\cos \varphi_R = 0,972$  ,  $\cos \varphi_S = 0,985$  ,  $\cos \varphi_T = 0,939$

Sehingga besarnya daya nyata dan daya semu pada generator :

$$P = [(V_R \cdot I_R \cdot \cos \varphi_R) + (V_S \cdot I_S \cdot \cos \varphi_S) + (V_T \cdot I_T \cdot \cos \varphi_T)]$$

$$P = [(136,4 \times 19,64 \times 0,97) + (152,1 \times 17,01 \times 0,985) + (159,1 \times 14,75 \times 0,94)]$$

$$P = 7,3559 \text{ kW}$$

$$S = [(V_R \cdot I_R) + (V_S \cdot I_S) + (V_T \cdot I_T)]$$

$$S = [(136,4 \times 19,64) + (152,1 \times 17,01) + (159,1 \times 14,75)]$$

$$S = 7,6128 \text{ kVA}$$

### 4. Pada pukul 19.00

Data-data dari tabel diatas

- Tegangan pada setiap fasa :  $V_R = 150,3$  ,  $V_S = 166,3$  ,  $V_T = 156,6$
- Arus pada setiap fasa :  $I_R = 17,88$  ,  $I_S = 14,34$  ,  $I_T = 14,68$
- $\cos \varphi$  pada setiap fasa :  $\cos \varphi_R = 0,952$  ,  $\cos \varphi_S = 0,961$  ,  $\cos \varphi_T = 0,946$

Sehingga besarnya daya nyata dan daya semu pada generator :

$$P = [(V_R \cdot I_R \cdot \cos \varphi_R) + (V_S \cdot I_S \cdot \cos \varphi_S) + (V_T \cdot I_T \cdot \cos \varphi_T)]$$

$$P = [(150,3 \times 17,88 \times 0,952) + (166,3 \times 14,34 \times 0,961) + (156,6 \times 14,68 \times 0,946)]$$

$$P = 7,0249 \text{ kW}$$

$$S = [(V_R \cdot I_R) + (V_S \cdot I_S) + (V_T \cdot I_T)]$$

$$S = [(150,3 \times 17,88) + (166,3 \times 14,34) + (156,6 \times 14,68)]$$

$$S = 7,3710 \text{ kVA}$$

### 5. Pada pukul 20.00

Data-data dari tabel diatas

- Tegangan pada setiap fasa :  $V_R = 155,5$  ,  $V_S = 169,8$  ,  $V_T = 181$
- Arus pada setiap fasa :  $I_R = 16,48$  ,  $I_S = 14,89$  ,  $I_T = 12,73$
- $\cos \varphi$  pada setiap fasa :  $\cos \varphi_R = 0,946$  ,  $\cos \varphi_S = 0,957$  ,  $\cos \varphi_T = 0,925$

Sehingga besarnya daya nyata dan daya semu pada generator :

$$P = [(V_R \cdot I_R \cdot \cos \varphi_R) + (V_S \cdot I_S \cdot \cos \varphi_S) + (V_T \cdot I_T \cdot \cos \varphi_T)]$$

$$P = [(155,5 \times 16,48 \times 0,946) + (169,8 \times 14,89 \times 0,957) + (181 \times 12,73 \times 0,925)]$$

$$P = 6,9752 \text{ kW}$$

$$S = [(V_R \cdot I_R) + (V_S \cdot I_S) + (V_T \cdot I_T)]$$

$$S = [(155,5 \times 16,48) + (169,8 \times 14,89) + (181 \times 12,73)]$$

$$S = 7,3951 \text{ kVA}$$

#### 6. Pada pukul 21.00

Data-data dari tabel diatas

- Tegangan pada setiap fasa :  $V_R = 199$  ,  $V_S = 193$  ,  $V_T = 200$
- Arus pada setiap fasa :  $I_R = 11,76$  ,  $I_S = 15,01$  ,  $I_T = 10,13$
- $\cos \varphi$  pada setiap fasa :  $\cos \varphi_R = 0,933$  ,  $\cos \varphi_S = 0,977$  ,  $\cos \varphi_T = 0,927$

Sehingga besarnya daya nyata dan daya semu pada generator :

$$P = [(V_R \cdot I_R \cdot \cos \varphi_R) + (V_S \cdot I_S \cdot \cos \varphi_S) + (V_T \cdot I_T \cdot \cos \varphi_T)]$$

$$P = [(199 \times 11,76 \times 0,933) + (193 \times 15,01 \times 0,977) + (200 \times 10,13 \times 0,927)]$$

$$P = 6,8918 \text{ kW}$$

$$S = [(V_R \cdot I_R) + (V_S \cdot I_S) + (V_T \cdot I_T)]$$

$$S = [(199 \times 11,76) + (193 \times 15,01) + (200 \times 10,13)]$$

$$S = 7,2632 \text{ kVA}$$

#### d. Pada Generator PLTMH Andungbiru unit 2 hari kedua

##### 1. Pada pukul 16.00

Data-data dari tabel diatas

- Tegangan pada setiap fasa :  $V_R = 187$  ,  $V_S = 195$  ,  $V_T = 199$
- Arus pada setiap fasa :  $I_R = 7,58$  ,  $I_S = 8,73$  ,  $I_T = 8,9$
- $\cos \varphi$  pada setiap fasa :  $\cos \varphi_R = 0,932$  ,  $\cos \varphi_S = 0,937$  ,  $\cos \varphi_T = 0,936$

Sehingga besarnya daya nyata dan daya semu pada generator :

$$P = [(V_R \cdot I_R \cdot \cos \varphi_R) + (V_S \cdot I_S \cdot \cos \varphi_S) + (V_T \cdot I_T \cdot \cos \varphi_T)]$$

$$P = [(187 \times 7,58 \times 0,932) + (195 \times 8,73 \times 0,937) + (199 \times 8,9 \times 0,936)]$$

$$P = 4,5740 \text{ kW}$$

$$S = [(V_R \cdot I_R) + (V_S \cdot I_S) + (V_T \cdot I_T)]$$

$$S = [(187 \times 7,58) + (195 \times 8,73) + (199 \times 8,9)]$$

$$S = 4,8910 \text{ kVA}$$

2. Pada pukul 17.00

Data-data dari tabel diatas

- Tegangan pada setiap fasa :  $V_R = 193$  ,  $V_S = 190$  ,  $V_T = 194$
- Arus pada setiap fasa :  $I_R = 10,1$  ,  $I_S = 10,83$  ,  $I_T = 10,25$
- $\cos \varphi$  pada setiap fasa :  $\cos \varphi_R = 0,958$  ,  $\cos \varphi_S = 0,956$  ,  $\cos \varphi_T = 0,97$

Sehingga besarnya daya nyata dan daya semu pada generator :

$$P = [(V_R \cdot I_R \cdot \cos \varphi_R) + (V_S \cdot I_S \cdot \cos \varphi_S) + (V_T \cdot I_T \cdot \cos \varphi_T)]$$

$$P = [(193 \times 10,1 \times 0,958) + (190 \times 10,83 \times 0,956) + (194 \times 10,25 \times 0,97)]$$

$$P = 5,7634 \text{ kW}$$

$$S = [(V_R \cdot I_R) + (V_S \cdot I_S) + (V_T \cdot I_T)]$$

$$S = [(193 \times 10,1) + (190 \times 10,83) + (194 \times 10,25)]$$

$$S = 5,9955 \text{ kVA}$$

3. Pada pukul 18.00

Data-data dari tabel diatas

- Tegangan pada setiap fasa :  $V_R = 135,3$  ,  $V_S = 137,2$  ,  $V_T = 139,6$
- Arus pada setiap fasa :  $I_R = 19,56$  ,  $I_S = 16,48$  ,  $I_T = 16,04$
- $\cos \varphi$  pada setiap fasa :  $\cos \varphi_R = 0,968$  ,  $\cos \varphi_S = 0,98$  ,  $\cos \varphi_T = 0,959$

Sehingga besarnya daya nyata dan daya semu pada generator :

$$P = [(V_R \cdot I_R \cdot \cos \varphi_R) + (V_S \cdot I_S \cdot \cos \varphi_S) + (V_T \cdot I_T \cdot \cos \varphi_T)]$$

$$P = [(135,3 \times 19,56 \times 0,97) + (137,2 \times 16,48 \times 0,98) + (139,6 \times 16,04 \times 0,96)]$$

$$P = 6,9249 \text{ kW}$$

$$S = [(V_R \cdot I_R) + (V_S \cdot I_S) + (V_T \cdot I_T)]$$

$$S = [(135,3 \times 19,56) + (137,2 \times 16,48) + (139,6 \times 16,04)]$$

$$S = 7,1467 \text{ kVA}$$

4. Pada pukul 19.00

Data-data dari tabel diatas

- Tegangan pada setiap fasa :  $V_R = 154,4$  ,  $V_S = 149$  ,  $V_T = 153,2$
- Arus pada setiap fasa :  $I_R = 17,58$  ,  $I_S = 16,53$  ,  $I_T = 15,41$
- $\cos \varphi$  pada setiap fasa :  $\cos \varphi_R = 0,955$  ,  $\cos \varphi_S = 0,977$  ,  $\cos \varphi_T = 0,94$

Sehingga besarnya daya nyata dan daya semu pada generator :

$$P = [(V_R \cdot I_R \cdot \cos \varphi_R) + (V_S \cdot I_S \cdot \cos \varphi_S) + (V_T \cdot I_T \cdot \cos \varphi_T)]$$

$$P = [(154,4 \times 17,58 \times 0,96) + (149 \times 16,53 \times 0,97) + (153,2 \times 15,41 \times 0,94)]$$

$$P = 7,2177 \text{ kW}$$

$$S = [(V_R \cdot I_R) + (V_S \cdot I_S) + (V_T \cdot I_T)]$$

$$S = [(154,4 \times 17,58) + (149 \times 16,53) + (153,2 \times 15,41)]$$

$$S = 7,5381 \text{ kVA}$$

5. Pada pukul 20.00

Data-data dari tabel diatas

- Tegangan pada setiap fasa :  $V_R = 169,8$  ,  $V_S = 157,9$  ,  $V_T = 162,4$
- Arus pada setiap fasa :  $I_R = 14,26$  ,  $I_S = 16,43$  ,  $I_T = 14,95$
- $\cos \varphi$  pada setiap fasa :  $\cos \varphi_R = 0,94$  ,  $\cos \varphi_S = 0,973$  ,  $\cos \varphi_T = 0,925$

Sehingga besarnya daya nyata dan daya semu pada generator :

$$P = [(V_R \cdot I_R \cdot \cos \varphi_R) + (V_S \cdot I_S \cdot \cos \varphi_S) + (V_T \cdot I_T \cdot \cos \varphi_T)]$$

$$P = [(169,8 \times 14,26 \times 0,94) + (157,9 \times 16,43 \times 0,973) + (162,4 \times 14,95 \times 0,925)]$$

$$P = 7,0461 \text{ kW}$$

$$S = [(V_R \cdot I_R) + (V_S \cdot I_S) + (V_T \cdot I_T)]$$

$$S = [(169,8 \times 14,26) + (157,9 \times 16,43) + (162,4 \times 14,95)]$$

$$S = 7,4436 \text{ kVA}$$

6. Pada pukul 21.00

Data-data dari tabel diatas

- Tegangan pada setiap fasa :  $V_R = 194$  ,  $V_S = 194$  ,  $V_T = 197$
- Arus pada setiap fasa :  $I_R = 12,86$  ,  $I_S = 12,73$  ,  $I_T = 12,06$
- $\cos \varphi$  pada setiap fasa :  $\cos \varphi_R = 0,965$  ,  $\cos \varphi_S = 0,966$  ,  $\cos \varphi_T = 0,94$

Sehingga besarnya daya nyata dan daya semu pada generator :

$$P = [(V_R \cdot I_R \cdot \cos \varphi_R) + (V_S \cdot I_S \cdot \cos \varphi_S) + (V_T \cdot I_T \cdot \cos \varphi_T)]$$

$$P = [(194 \times 12,86 \times 0,965) + (194 \times 12,73 \times 0,966) + (197 \times 12,06 \times 0,94)]$$

$$P = 7,0264 \text{ kW}$$

$$S = [(V_R \cdot I_R) + (V_S \cdot I_S) + (V_T \cdot I_T)]$$

$$S = [(194 \times 12,86) + (194 \times 12,73) + (197 \times 12,06)]$$

$$S = 7,3041 \text{ kVA}$$



## LAMPIRAN 2 : Data Beban

Tabel Data Beban

no APP	V (Volt)	I (A)	pf	P (Watt)
1	166,7	1,4	0,86	200,7068
2	169,1	1,1	0,87	161,8287
3	169,1	1	0,89	150,499
4	169,6	1,2	0,9	183,168
5	171	1,2	0,87	178,524
6	171	1,3	0,88	195,624
7	172,7	1,6	0,87	240,3984
8	174	1,9	0,85	281,01
9	174	1,8	0,9	281,88
10	174	0,8	0,85	118,32
11	174	1,1	0,85	162,69
12	174,7	1	0,88	153,736
13	174,7	1,9	0,9	298,737
14	174,7	1,2	0,87	182,3868
15	174,7	1,3	0,88	199,8568
16	162,6	0,8	0,83	107,9664
17	162,6	1,7	0,86	237,7212
18	157,5	0,9	0,84	119,07
19	158,5	1,9	0,85	255,9775
20	153,5	1	0,84	128,94
21	153,5	1,1	0,87	146,8995
22	154,3	0,9	0,82	113,8734
23	154,3	1	0,86	132,698
24	154,3	0,7	0,86	92,8886
25	154,3	0,8	0,86	106,1584
26	154,3	0,7	0,85	91,8085
27	154,3	0,9	0,86	119,4282
28	154,3	0,8	0,82	101,2208
29	150,8	1,1	0,83	137,6804
30	150,8	1	0,83	125,164
31	150,8	1,1	0,83	137,6804
32	150,8	1	0,83	125,164
33	153,3	0,7	0,86	92,2866
34	153,3	1	0,86	131,838
35	153,3	0,9	0,9	124,173
36	151,4	1,1	0,85	141,559
37	151,4	1,3	0,85	167,297
38	151,4	0,8	0,85	102,952
39	152	1,1	0,86	143,792
40	152	1	0,86	130,72
41	149,9	0,7	0,82	86,0426
42	149,9	1,1	0,83	136,8587
43	149,9	1,2	0,83	149,3004

Tabel Data Beban

no APP	V (Volt)	I (A)	pf	P (Watt)
44	151,4	0,7	0,85	90,083
45	151,4	1,1	0,85	141,559
46	109,8	1,4	0,87	133,7364
47	111	1,5	0,85	141,525
48	111,8	1,1	0,87	106,9926
49	117,1	1,2	0,86	120,8472
50	117,1	1,3	0,86	130,9178
51	118,1	1,6	0,9	170,064
52	118,1	1,2	0,9	127,548
53	118,1	0,9	0,9	95,661
54	119,3	0,8	0,87	83,0328
55	119,3	1,4	0,87	145,3074
56	119,3	1,4	0,87	145,3074
57	119,3	1,2	0,87	124,5492
58	125,6	1	0,85	106,76
59	125,6	1,6	0,88	176,8448
60	116,4	1,7	0,87	172,1556
61	148	1,5	0,88	195,36
62	159	0,8	0,85	108,12
63	170	1,1	0,87	162,69
64	170	1,4	0,87	207,06
65	148	0,9	0,87	115,884
66	135,7	1,5	0,85	173,0175
67	135,7	1,3	0,85	149,9485
68	135,9	1,4	0,87	165,5262
69	135,9	0,7	0,87	82,7631
70	135,8	1	0,88	119,504
71	135,8	0,7	0,9	85,554
72	136,7	1,2	0,86	141,0744
73	136,7	1,2	0,86	141,0744
74	136,7	0,9	0,88	108,2664
75	148	1,9	0,87	244,644
76	128	1,2	0,87	133,632
77	125,5	1,3	0,9	146,835
78	120,8	0,6	0,87	63,0576
79	120,8	1,2	0,87	126,1152
80	120,8	0,7	0,87	73,5672
81	120,8	0,6	0,87	63,0576
82	120,8	0,6	0,87	63,0576
83	114,1	0,7	0,86	68,6882
84	120	1	0,88	105,6
85	118,2	1	0,87	102,834
86	118,2	1	0,87	102,834
87	165,1	1,5	0,83	205,5495

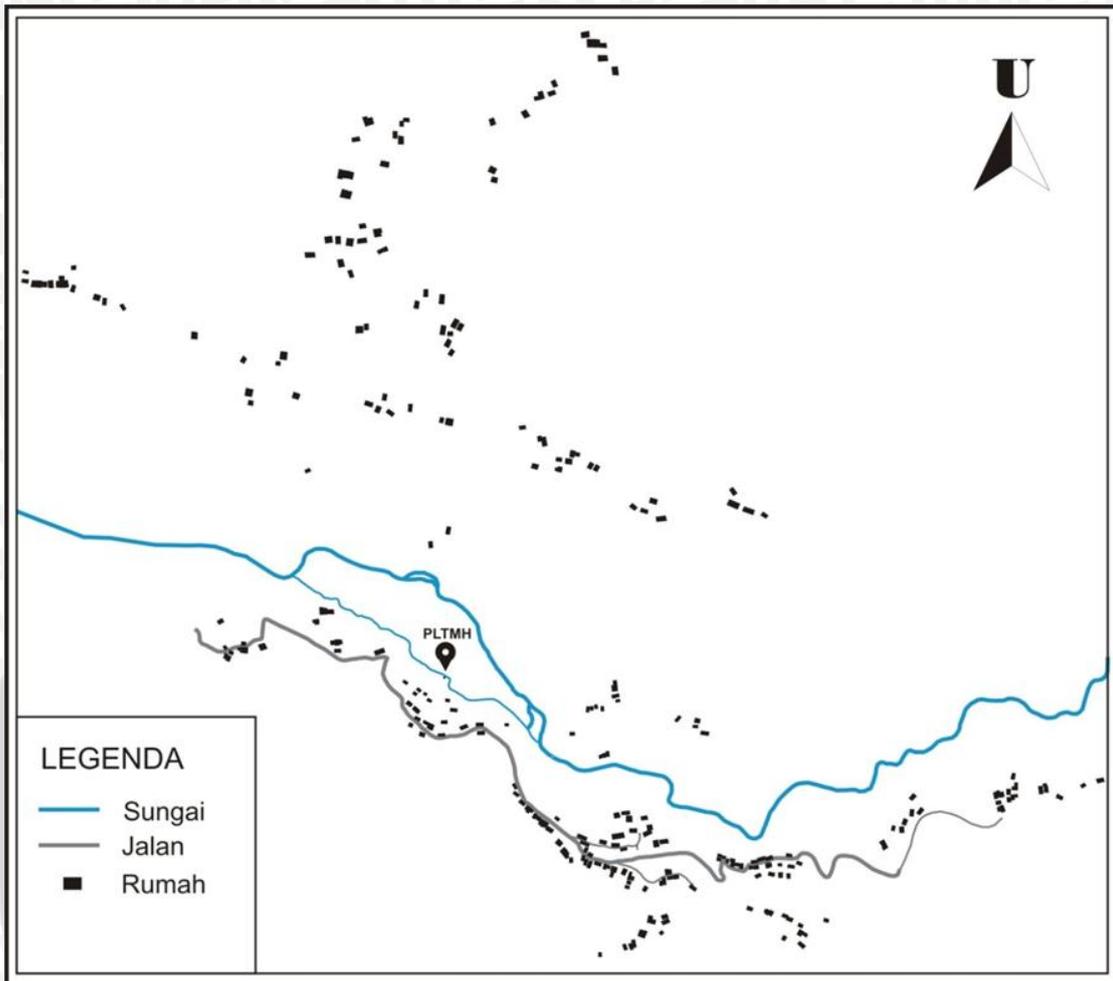
Tabel Data Beban

no APP	V (Volt)	I (A)	pf	P (Watt)
88	153,8	0,8	0,77	94,7408
89	153,8	0,7	0,85	91,511
90	153,8	0,8	0,82	100,8928
91	150,6	0,7	0,84	88,5528
92	150,6	0,8	0,85	102,408
93	150,6	1,2	0,85	153,612
94	151	0,7	0,84	88,788
95	151	0,9	0,86	116,874
96	151	1,1	0,87	144,507
97	151	0,9	0,86	116,874
98	151	1,2	0,88	159,456
99	166,9	0,7	0,87	101,6421
100	166,9	0,9	0,86	129,1806
101	167	0,8	0,9	120,24
102	167	1,2	0,88	176,352
103	167	1	0,85	141,95
104	167	0,7	0,77	90,013
105	167	1,3	0,86	186,706
106	167	0,5	0,85	70,975
107	167,2	0,8	0,76	101,6576
108	167,2	0,9	0,89	133,9272
109	167,2	1	0,78	130,416
110	167,2	0,8	0,77	102,9952
111	167,4	0,7	0,87	101,9466
112	168	0,8	0,79	106,176
113	169	0,8	0,84	113,568
114	169	0,9	0,87	132,327
115	169	1	0,9	152,1
116	169	1	0,76	128,44
117	170	0,7	0,83	98,77
118	171,8	0,7	0,85	102,221
119	171,8	0,7	0,86	103,4236
120	171,8	0,7	0,85	102,221
121	172,1	0,8	0,86	118,4048
122	172,1	0,6	0,9	92,934
123	172,7	0,7	0,76	91,8764
124	174,7	0,7	0,87	106,3923
125	174,7	1	0,78	136,266
126	136,2	0,9	0,87	106,6446
127	136,8	1,6	0,87	190,4256
128	134,7	0,8	0,82	88,3632
129	134,1	1,3	0,83	144,6939
130	134,1	0,9	0,85	102,5865
131	134,1	1,9	0,81	206,3799

Tabel Data Beban

no APP	V (Volt)	I (A)	pf	P (Watt)
132	132	1,1	0,84	121,968
133	132	1,4	0,85	157,08
134	131,5	0,7	0,84	77,322
135	130,3	0,7	0,85	77,5285
136	129,7	0,8	0,83	86,1208
137	129	2	0,82	211,56
138	128	1,1	0,84	118,272
139	128	0,8	0,86	88,064
140	128	0,7	0,79	70,784
141	129,3	0,7	0,84	76,0284
142	127,4	1,8	0,8	183,456
143	127,4	0,6	0,88	67,2672
144	127,4	1	0,84	107,016
145	134	0,9	0,82	98,892
146	131	0,9	0,86	101,394
147	130,2	0,8	0,8	83,328
148	129,1	0,8	0,86	88,8208
149	128,7	1	0,82	105,534
150	128,2	1	0,8	102,56
151	128	1,1	0,82	115,456
152	126	1,4	0,88	155,232
153	126	1,3	0,84	137,592
154	126	1,1	0,86	119,196
155	126	0,8	0,81	81,648
156	124,6	0,9	0,83	93,0762
157	124	1,2	0,85	126,48
158	124	0,9	0,84	93,744
159	124	0,9	0,8	89,28
160	123,6	1	0,86	106,296
161	123,6	1,1	0,83	112,8468
162	123,6	1,3	0,82	131,7576
163	126	1,1	0,85	117,81
164	126	1,5	0,82	154,98
165	126	1,7	0,83	177,786
166	125	1,9	0,85	201,875
167	124	0,7	0,86	74,648
168	123,7	0,9	0,82	91,2906
169	123,1	1,2	0,84	124,0848
170	123,1	1	0,85	104,635
171	122,7	0,9	0,82	90,5526
172	121	1,3	0,83	130,559
173	120,8	1,2	0,86	124,6656
174	122,2	1,2	0,87	127,5768
175	121,6	0,7	0,83	70,6496
176	121,6	1,1	0,85	113,696
177	121,6	1,6	0,87	169,2672
178	121,6	0,8	0,84	81,7152

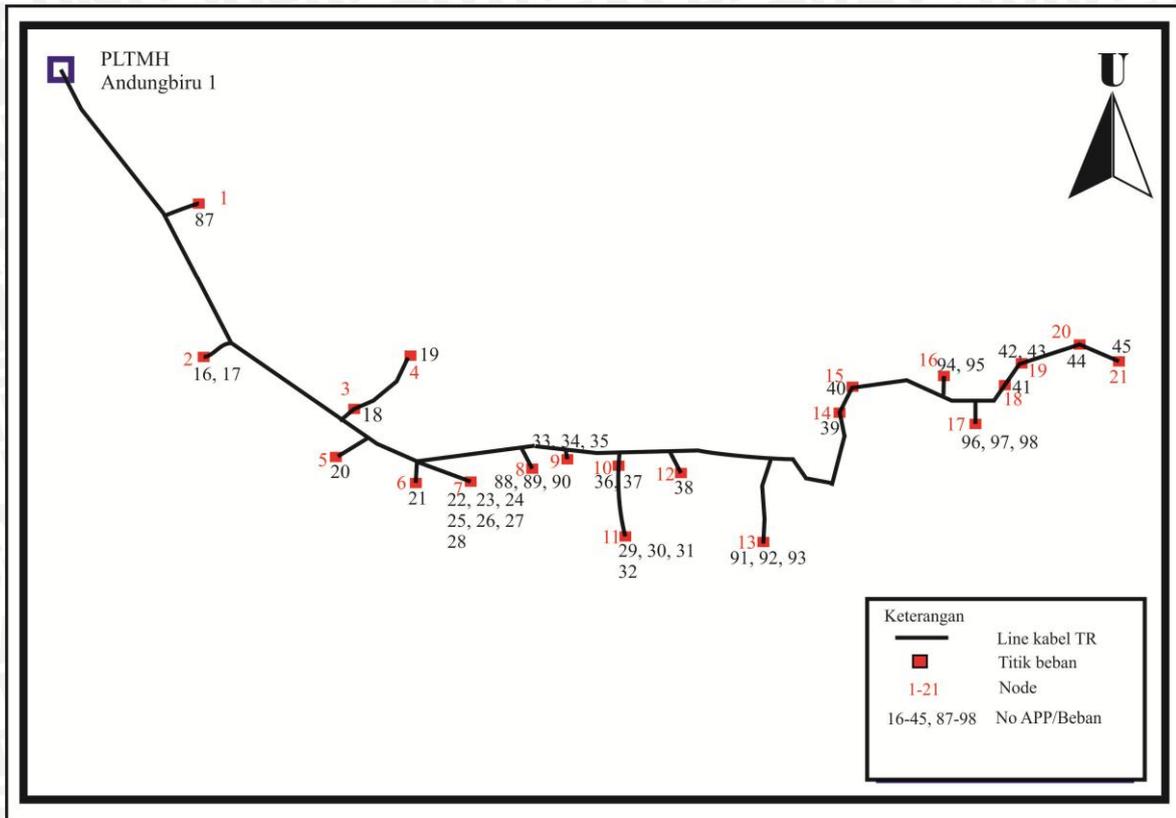
LAMPIRAN 3 : PETA PLTMH ANDUNGBIRU DAN RUMAH PELANGGAN



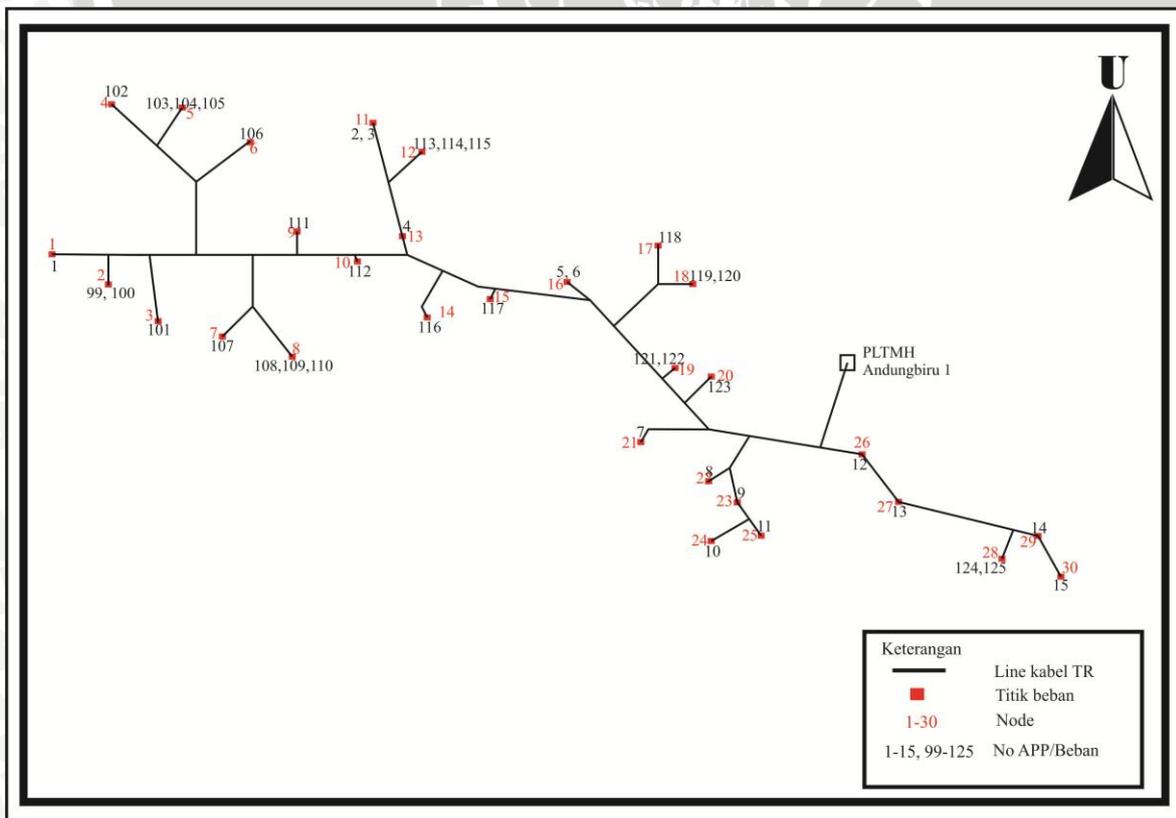
Sumber : Google Earth dan survei



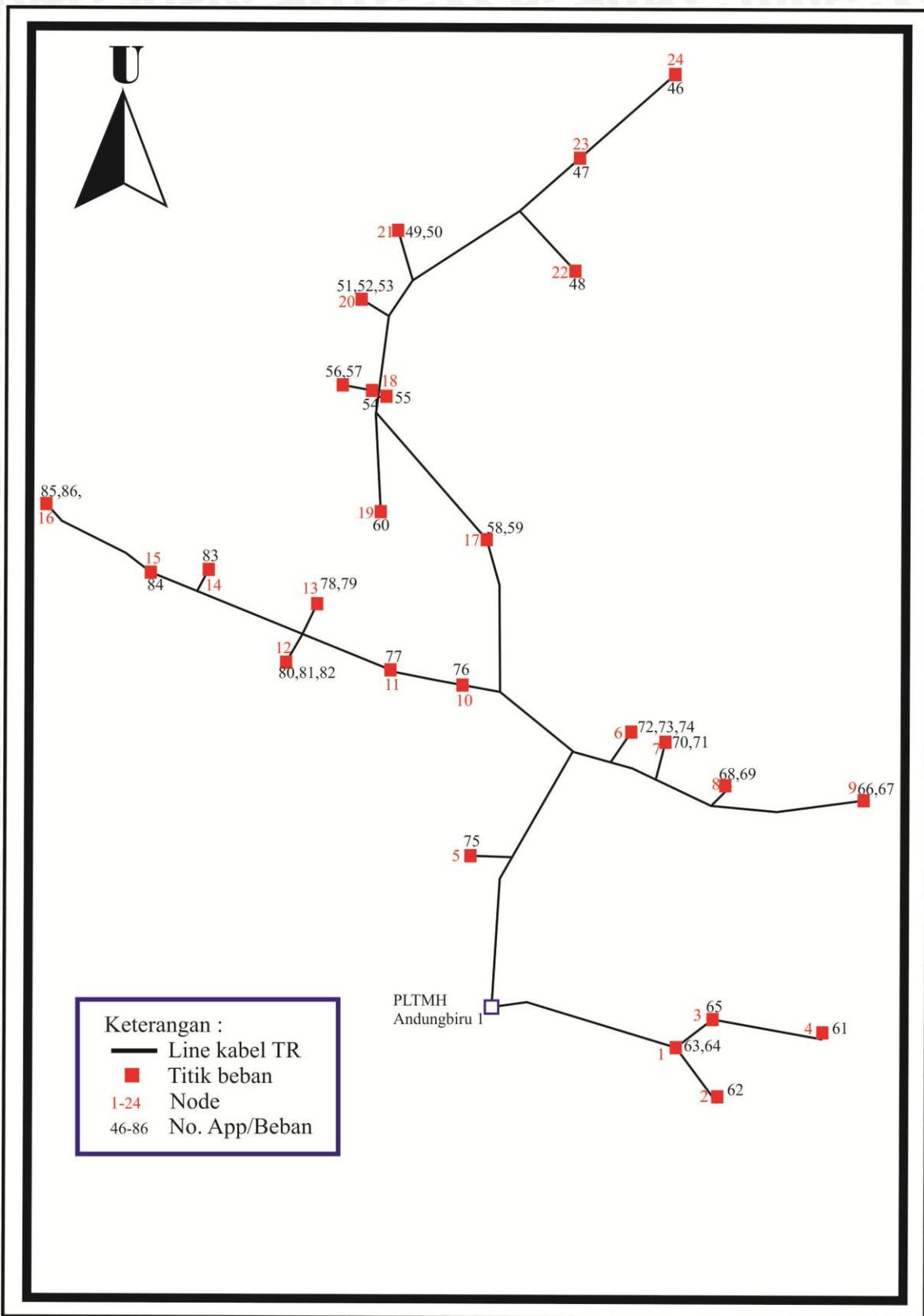
Gambar peta jaringan listrik PLTMH Andungbiru 1 fasa R



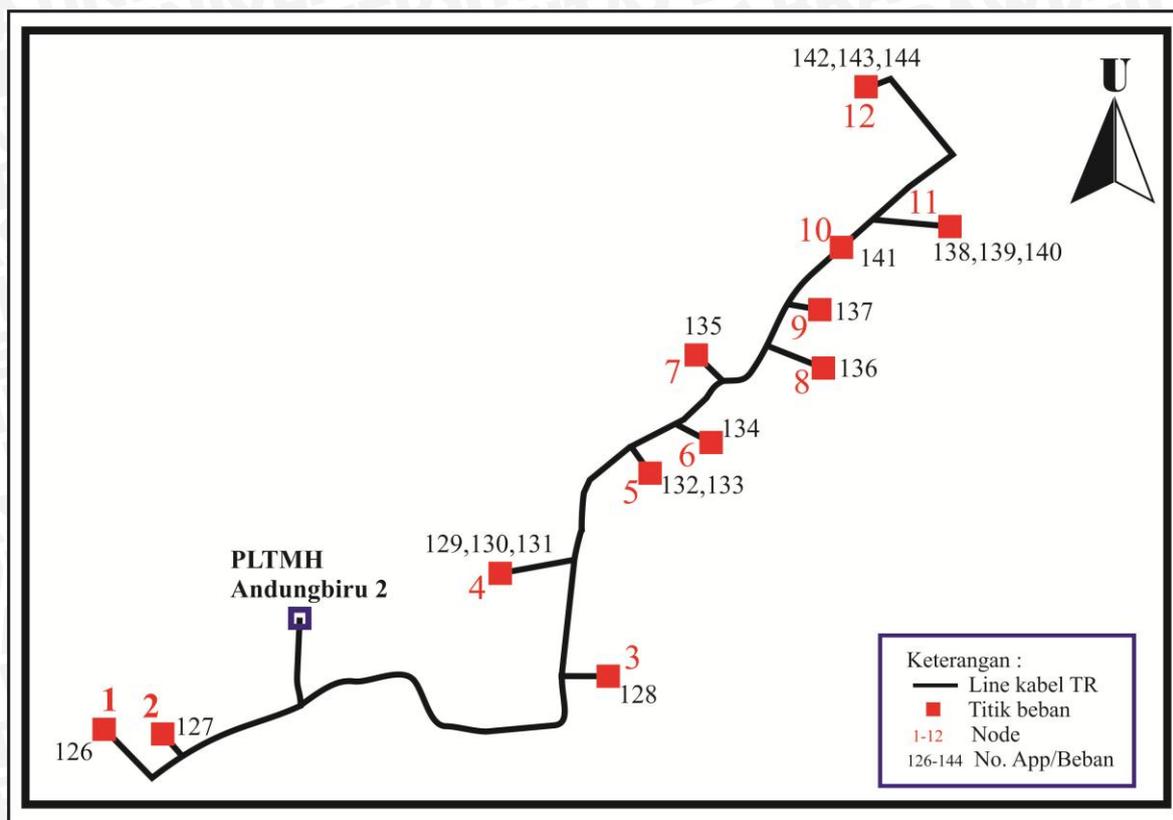
Gambar peta jaringan listrik PLTMH Andungbiru 1 fasa S



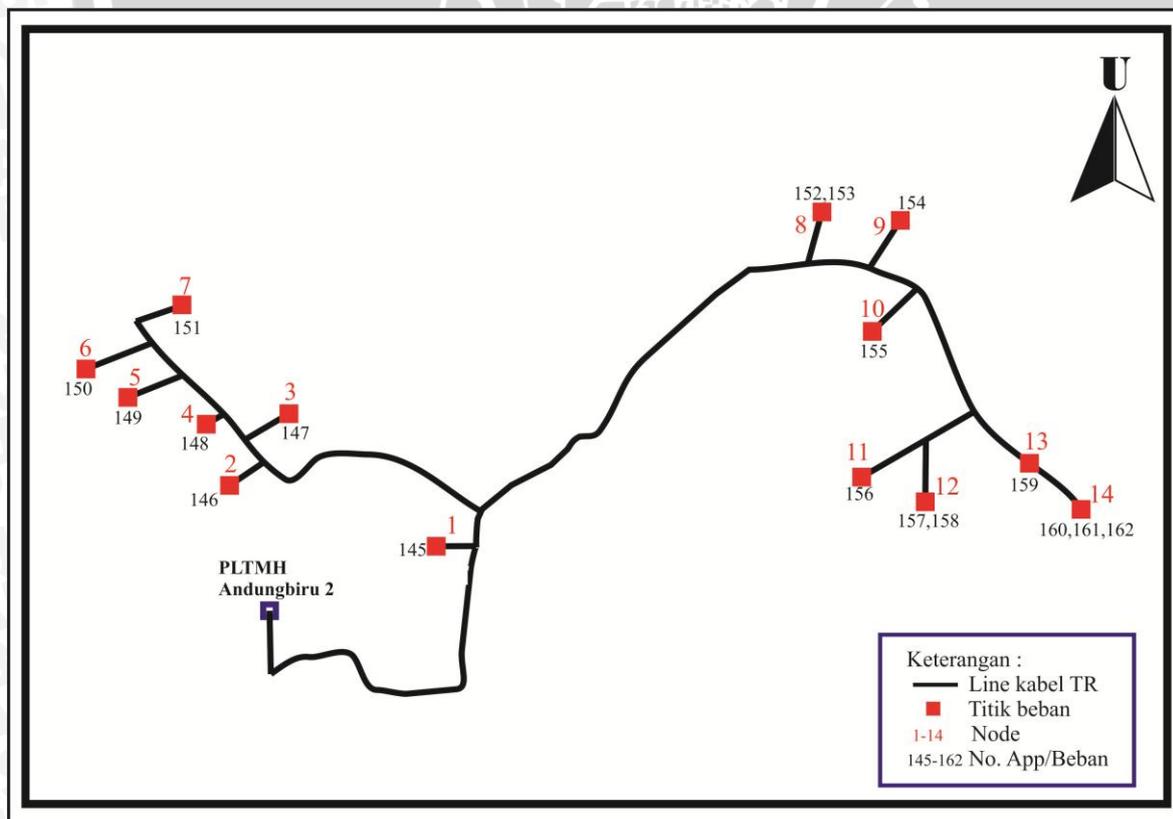
Gambar peta jaringan listrik PLTMH Andungbiru 1 fasa T



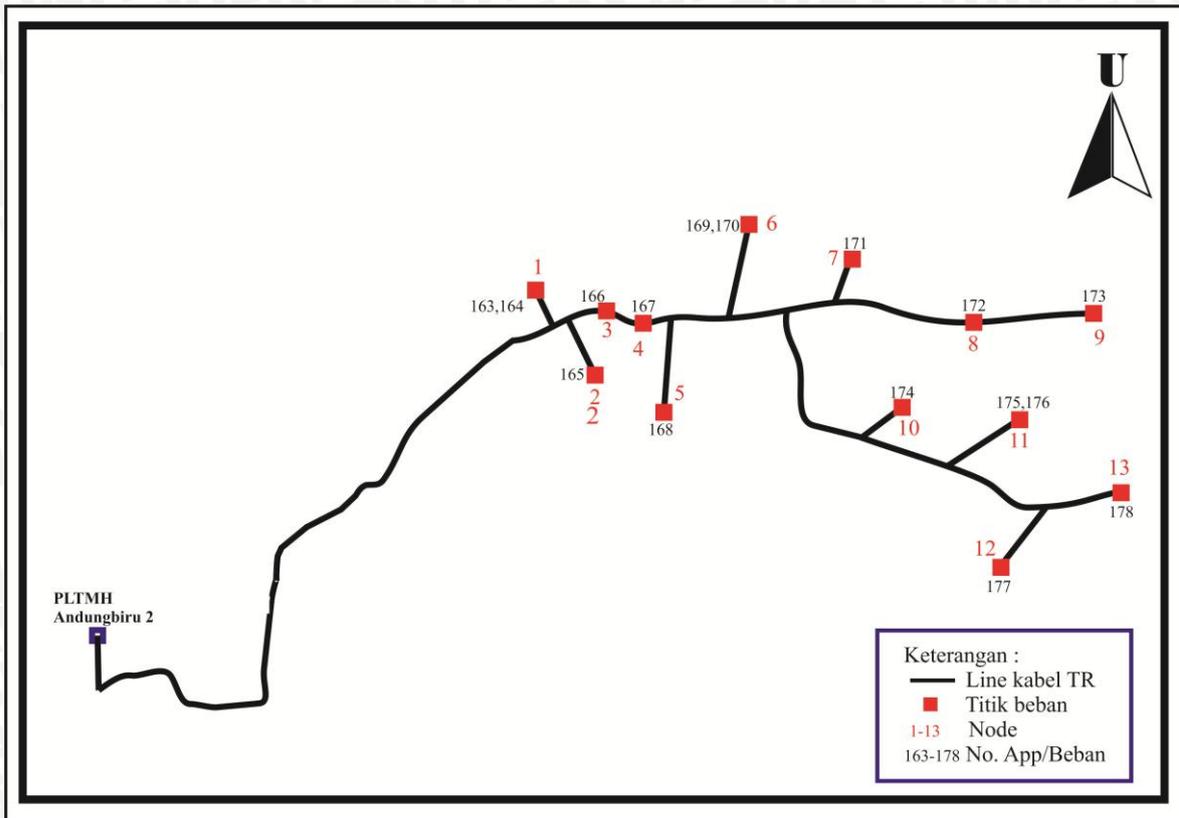
Gambar peta jaringan listrik PLTMH Andungbiru 2 fasa R



Gambar peta jaringan listrik PLTMH Andungbiru 2 fasa S



Gambar peta jaringan listrik PLTMH Andungbiru 2 fasa T





### LAMPIRAN 4 : Data Pelanggan

Sumber : Pengelola PLTMH Andungbiru

No	Nama	Alamat	Daya (VA)	Daya (VA)	Daya (VA)	Daya (VA)
	Enji		2590	200.000	2734	115.000
	Pak aryama		3447	128.000	3494	37.000
3	Pak adi		2681	136.000	2743	50.000
4	Lukman		4215	125.000	4831	92.000
5	Pak im		4870	110.000	4944	59.000
6	Edi P. MUL		4009	82.000	4072	50.000
7	P. Mus		1138	40.000	1173	28.000
8	Pak mat		2494	40.000	2511	15.000
9	Pak yen		1109	24.000	1137	23.000
10	Pak tohen		2405	80.000	2492	70.000
11	Pak riska		1505	90.000	1576	57.000
12	Pak H misro		5633	98.000	5710	60.000
13	Buk sipol		441	137.000		
14	Pak ririn		4276	73.000		
15	Pak sutik		3747	145.000		
16	Pak jamila		2031	45.000	2066	5000
17	Selamet		7172	90.000		
18	Pak yul		1737	35.000		
19	Sumito		2031			
	P. maryam		= 532	= 110.000		
	P. Srs		= 501	= 116.000	662	= 45.000
	P. Dion		= 204	= 68.000	320	= 65.000
	P. Mulyo				89	= 70.000



16-02-2015

20	H. Buri	405	38.000 L		
21	pak alim	635	60.000 L	704	50.000
22	pak nur su	1048	120.000 L	1113	50.000 L
23	Eddu	951	116.000 L	1019	15.000 L
24	buk sujak	797	130.000	799	75.000 L
25	Jumadi	1616	62.000 L	1647	24.000
26	Sam	1376	49.000 L	1403	20.000
27	Sahe	2500	150.000	2588	20.000
28	eli	775	53.000	817	34.000
29	pak tono	1255	21.000 L	1257	30.000 L
30	pak nur saleh	657	17.000 L	678	17.000
31	pak al	4043	100.000	4117	60.000
32	pak buami	534	119.000	600	50.000 L
33	ros	526	70.000	557	25.000
34	sale	790	70.000 L	324	28.000
35	jatim	813	127.000 L	871	45.000 L
36	H. Topok	238	70.000	1012	55.000
37	pak er hari	1804	80.000 L	1380	60.000
38	pak bu	4248	76.000	4819	50.000
39	pak wa dul	855	30.000	907	18.000
40	pak defa	1515	39.000 L	1587	52.000
41	hofip	3252	70.000 L	3338	50.000 L
42	pak ni	6016	120.000 L		
43	pak samat	1559	56.000		
44	pak wiwin				
45	pak dul rasat	2616	49.000	2657	52.000
46	pak nur eko	615	40.000	615	30.000
47	pak uwa astro	4125	22.000	4166	35.000
48	pak hari	4192	25.000	4238	37.000
49	pak aryama				
50	pak ati	1000	36.000	1015	30.000
51	pak dikin	3134	29.000	2183	44.000
52	niwi	741	26.000	800	40.000
53	pak nisam	678	25.000	414	28.000
54	pak ir	747	130.000 L	825	60.000 L
55	pak ses torimin	264	45.000 L	757	25.000 L
56	buk asri	208	89.000	245	30.000 L
57	pak lidia	340	80.000 L	403	50.000

58 - P. Widi = 45 = 66.000 L = 61 = 13.000 L  
 59 - Sanin = 25 = 20.000 =  
 60 - P. Sidiq = 287 = 53.000 - 200 = 120 = 26.000 L  
 61 - P. Toriman = 244 = 170.000 L = 294 = 64.000



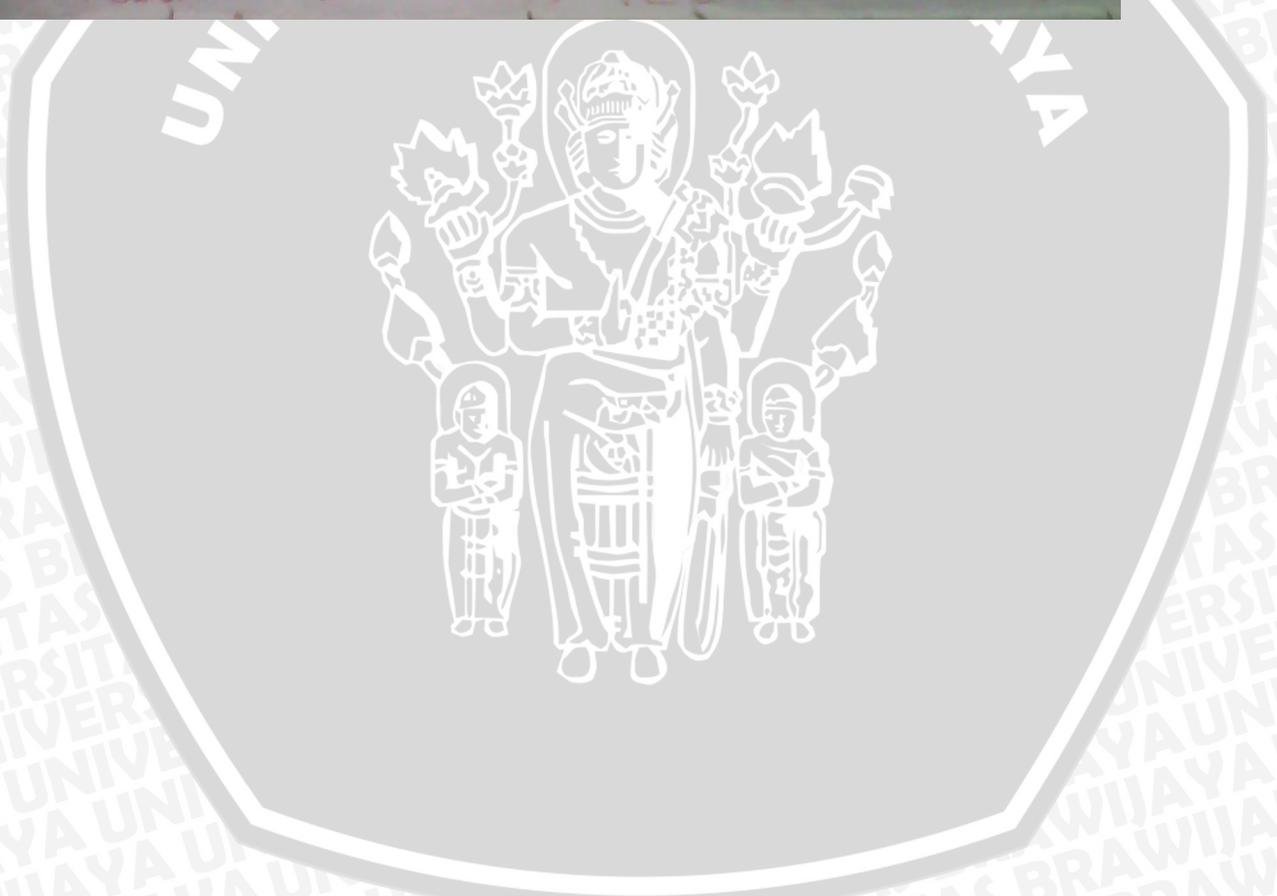
58	pak riki	517	80.000	614	75.000
59	parle	362	49.000	408	37.000
60	pak di parman	2980	23.000		
61	matram	194	40.000	224	24.000
62	buk yanto	436	30.000 L		
63	armadi	736	137.000		
64	supandi	720	100.000		
65	pak nikmat	164	28.000		
66	Sumarto	101	64.000 L		

NO	NAMA PELANJARAN	SUMBER DUREN			
		Revisi KWH	Sekarang KWH	Bayar	100/1000
1	Ustat	4298	250.000	4415	110.000
2	Pak halel	4856	240.000 L	5006	170.000
3	Pak tek	3173	130.000	4080	85.000
4	Di karli	1609	150.000 L	1745	110.000
5	suman		130.000 L	171	97.000
6	Pak ses	7553	105.000		
7	Pak ros	545	25.000		
8	leha	725	23.000	800	4.000
9	Pak toha	2839	144.000 L	2976	62.000
10	Pak sumi	573	225.000	225	120.000
11	Pak er	3882	245.000	2974	24.000 L
12	Pak surep	3785	150.000 L	3389	84.000 L
13	Pak sumi	4300	112.000 L	4341	47.000
14	pak jum	3256	136.000 L	3331	60.000
15	Pak sadi	1127	64.000	1164	30.000
16	Pak herman	1326	73.000	1352	25.000
17	Pak misrai	1762	89.000	1821	47.000
18	Pak suripa	4619	208.000	4756	10.000
19	Suri	288	64.000 L	318	24.000
20	Pak pit	1269	66.000 L	1296	22.000
21	Pak di ter	4353	136.000	4409	44.000
22	Pak nur kamal	3590	110.000 L	3622	60.000
23	Pak ulum	4659	169.000 L	4758	89.000
24	Pak ris	4020	177.000 L	4125	84.000
25	Pak nur mis	967	61.000	992	35.000
26	Pak johan	660	85.000	703	20.000
27	Pak tres	7054	95.000	7109	32.000 L
28	Buk toyami	464/813	260.000	4708	124.000
29	Sudi	2634	236.000	2786	95.000
30	Pak en nitro	1565	82.000 L	1601	29.000



31	buk yuli	<del>428</del> 166	50000	185	15.000
32	buk butdri	228	12.000	260	28.000
33	pak nanik	5156	120.000		
34	pak les	119	100.000		
35	sato	..	100.000		
36	pak pur				

37	Tosan	53	43.000	= 101	= 40.000
38	Masuli	23	18.000	=	
39	P. Atan	181	124.000	= 216	= 20.000
40	P. Seg	50	40.000	= 29	= 23.000
50	P. Gus	18	15.000	= 40	= 17.000
51	P. Puri	215			
52	Sato	3417	71.000	= 263	= 38.000
53	Sato	492	260.000	=	
54	P. Suli	..	276.000	= 30	= 29.000



## LAMPIRAN 5 : Tabel Perhitungan NPV

PLTMH Andungbiru unit 1 :

Tahun	n	CIF <sub>t</sub>	(1+k) <sup>t</sup>	CIF <sub>t</sub> /(1+k) <sup>t</sup>	Investasi	NPV
2004	0	0	1	0	379596250	-379596250
2005	1	51104190	1.07	47760925.23	328492060	-280731134.8
2006	2	102208380	1.1449	89272757.45	277387870	-188115112.6
2007	3	153312570	1.225043	125148725.4	226283680	-101134954.6
2008	4	204416760	1.31079601	155948567.5	175179490	-19230922.53
2009	5	255520950	1.402551731	182182905.9	124075300	58107605.92
2010	6	306625140	1.500730352	204317277.7	72971110	131346167.7
2011	7	357729330	1.605781476	222775847.9	21866920	200908927.9
2012	8	408833520	1.71818618	237944830.9	-29237270	267182100.9
2013	9	459937710	1.838459212	250175640	-80341460	330517100
2014	10	511041900	1.967151357	259787788.1	-131445650	391233438.1
2015	11	562146090	2.104851952	267071557.9	-182549840	449621397.9
2016	12	613250280	2.252191589	272290458.3	-233654030	505944488.3
2017	13	664354470	2.409845	275683485.8	-284758220	560441705.8
2018	14	715458660	2.57853415	277467203.6	-335862410	613329613.6
2019	15	766562850	2.759031541	277837653.8	-386966600	664804253.8
2020	16	817667040	2.952163749	276972115.9	-438070790	715042905.9
2021	17	868771230	3.158815211	275030722.6	-489174980	764205702.6
2022	18	919875420	3.379932276	272157944.3	-540279170	812437114.3
2023	19	970979610	3.616527535	268483953.3	-591383360	859867313.3
2024	20	1022083800	3.869684462	264125876.4	-642487550	906613426.4
2025	21	1073187990	4.140562375	259188944.1	-693591740	952780684.1
2026	22	1124292180	4.430401741	253767546.5	-744695930	998463476.5
2027	23	1175396370	4.740529863	247946200.9	-795800120	1043746321
2028	24	1226500560	5.072366953	241800439.8	-846904310	1088704750
2029	25	1277604750	5.42743264	235397624.4	-898008500	1133406124

PLTMH Andungbiru unit 2 :

Tahun	n	CIF <sub>t</sub>	(1+k) <sup>t</sup>	CIF <sub>t</sub> /(1+k) <sup>t</sup>	Investasi	NPV
2011	0	0	1	0	312702500	-340202500
2012	1	20193676	1.07	18872594.39	292508824	-301136229.6
2013	2	40387352	1.1449	35275877.37	272315148	-264539270.6
2014	3	60581028	1.225043	49452164.54	252121472	-230169307.5
2015	4	80774704	1.31079601	61622634.94	231927796	-197805161.1
2016	5	100968380	1.402551731	71989059.5	211734120	-167245060.5
2017	6	121162056	1.500730352	80735393.84	191540444	-138305050.2
2018	7	141355732	1.605781476	88029245.62	171346768	-110817522.4
2019	8	161549408	1.71818618	94023226.29	151153092	-84629865.71
2020	9	181743084	1.838459212	98856195.87	130959416	-59603220.13
2021	10	201936760	1.967151357	102654409	110765740	-35611331
2022	11	222130436	2.104851952	105532570	90572064	-12539494
2023	12	242324112	2.252191589	107594803.7	70378388	9716415.74
2024	13	262517788	2.409845	108935549	50184712	31250836.96
2025	14	282711464	2.57853415	109640380	29991036	52149343.97
2026	15	302905140	2.759031541	109786762.3	9797360	72489402.32
2027	16	323098816	2.952163749	109444747.5	-10396316	92341063.49
2028	17	343292492	3.158815211	108677611.4	-30589992	111767603.4
2029	18	363486168	3.379932276	107542441.2	-50783668	130826109.2
2030	19	383679844	3.616527535	106090674.1	-70977344	149568018.1
2031	20	403873520	3.869684462	104368592.3	-91171020	168039612.3
2032	21	424067196	4.140562375	102417777.5	-111364696	186282473.5
2033	22	444260872	4.430401741	100275527.6	-131558372	204333899.6
2034	23	464454548	4.740529863	97975239.36	-151752048	222227287.4
2035	24	484648224	5.072366953	95546759.23	-171945724	239992483.2
2036	25	504841900	5.42743264	93016704.85	-192139400	257656104.9

## Tabel Perhitungan ROI

PLTMH Andungbiru unit 1 :

Tahun	n	Keuntungan	Biaya	Keuntungan-Biaya	ROI
2004	0	0	379596250	-379596250	-1
2005	1	51104190	379596250	-328492060	-0.865372247
2006	2	102208380	379596250	-277387870	-0.730744495
2007	3	153312570	379596250	-226283680	-0.596116742
2008	4	204416760	379596250	-175179490	-0.46148899
2009	5	255520950	379596250	-124075300	-0.326861237
2010	6	306625140	379596250	-72971110	-0.192233485
2011	7	357729330	379596250	-21866920	-0.057605732
2012	8	408833520	379596250	29237270	0.07702202
2013	9	459937710	379596250	80341460	0.211649773
2014	10	511041900	379596250	131445650	0.346277525
2015	11	562146090	379596250	182549840	0.480905278
2016	12	613250280	379596250	233654030	0.61553303
2017	13	664354470	379596250	284758220	0.750160783
2018	14	715458660	379596250	335862410	0.884788535
2019	15	766562850	379596250	386966600	1.019416288
2020	16	817667040	379596250	438070790	1.15404404
2021	17	868771230	379596250	489174980	1.288671793
2022	18	919875420	379596250	540279170	1.423299545
2023	19	970979610	379596250	591383360	1.557927298
2024	20	1022083800	379596250	642487550	1.69255505
2025	21	1073187990	379596250	693591740	1.827182803
2026	22	1124292180	379596250	744695930	1.961810555
2027	23	1175396370	379596250	795800120	2.096438308
2028	24	1226500560	379596250	846904310	2.23106606
2029	25	1277604750	379596250	898008500	2.365693813

PLTMH Andungbiru unit 2 :

Tahun	n	Keuntungan	Biaya	Keuntungan-Biaya	ROI
2011	0	0	312702500	-312702500	-1
2012	1	20193676	312702500	-292508824	-0.940642188
2013	2	40387352	312702500	-272315148	-0.881284376
2014	3	60581028	312702500	-252121472	-0.821926564
2015	4	80774704	312702500	-231927796	-0.762568752
2016	5	100968380	312702500	-211734120	-0.703210941
2017	6	121162056	312702500	-191540444	-0.643853129
2018	7	141355732	312702500	-171346768	-0.584495317
2019	8	161549408	312702500	-151153092	-0.525137505
2020	9	181743084	312702500	-130959416	-0.465779693
2021	10	201936760	312702500	-110765740	-0.406421881
2022	11	222130436	312702500	-90572064	-0.347064069
2023	12	242324112	312702500	-70378388	-0.287706257
2024	13	262517788	312702500	-50184712	-0.228348445
2025	14	282711464	312702500	-29991036	-0.168990634
2026	15	302905140	312702500	-9797360	-0.109632822
2027	16	323098816	312702500	10396316	-0.05027501
2028	17	343292492	312702500	30589992	0.009082802
2029	18	363486168	312702500	50783668	0.068440614
2030	19	383679844	312702500	70977344	0.127798426
2031	20	403873520	312702500	91171020	0.187156238
2032	21	424067196	312702500	111364696	0.24651405
2033	22	444260872	312702500	131558372	0.305871862
2034	23	464454548	312702500	151752048	0.365229674
2035	24	484648224	312702500	171945724	0.424587485
2036	25	504841900	312702500	192139400	0.483945297

## LAMPIRAN 6 : Tabel Pengukuran

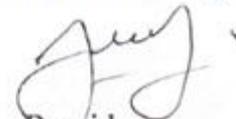
Data Pengukuran pada Generator PLTMH Andungbiru Unit 1 Hari Pertama

Pukul	Tegangan (V)			Arus (A)			cos phi		
	Fasa R	Fasa S	Fasa T	Fasa R	Fasa S	Fasa T	Fasa R	Fasa S	Fasa T
16.00	228	228	225	16,85	13,11	17,64	0,956	0,947	1
17.00	227	227	223	23,333	18,53	22,98	0,961	0,939	0,986
18.00	165,3	164,3	160,2	38,4	42,7	37,4	0,989	0,991	0,986
19.00	156,2	158,7	166,1	41,4	44,3	34,1	0,985	0,974	0,991
20.00	163,9	158,9	171,1	38,3	43,6	33,65	0,99	0,975	0,995
21.00	189	193	188	34,33	31,65	33,78	0,969	0,969	0,993

Data Pengukuran pada Generator PLTMH Andungbiru Unit 1 Hari Kedua

Pukul	Tegangan (V)			Arus (A)			cos phi		
	Fasa R	Fasa S	Fasa T	Fasa R	Fasa S	Fasa T	Fasa R	Fasa S	Fasa T
16.00	226	227	224	22,81	17,44	20,24	0,96	0,957	0,986
17.00	225	224	221	25,75	22,26	24,13	0,968	0,964	0,983
18.00	164,1	150,9	155,3	39,5	44,6	42,1	0,976	0,999	1
19.00	139,8	152,8	158,6	41,1	44,4	40,7	1	0,993	0,992
20.00	165,4	153,1	163	37,3	38,4	40	0,976	0,982	1
21.00	180	182	168,8	34,25	31,66	38,9	0,956	0,994	0,992

Mengetahui, 9 Agustus 2015  
Pengelola PLTMH Andungbiru

  
Rasyid



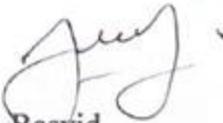
Data Pengukuran pada Generator PLTMH Andungbiru Unit 2 Hari Pertama

Pukul	Tegangan (V)			Arus (A)			cos phi		
	Fasa R	Fasa S	Fasa T	Fasa R	Fasa S	Fasa T	Fasa R	Fasa S	Fasa T
16.00	188	197	196	9,18	5,69	5,53	0,946	0,907	0,935
17.00	196	203	195	11,31	8,19	8,77	0,95	0,91	0,949
18.00	136,4	152,1	159,1	19,64	17,01	14,75	0,972	0,985	0,939
19.00	150,3	166,3	156,6	17,88	14,34	14,68	0,952	0,961	0,946
20.00	155,5	169,8	181	16,48	14,89	12,73	0,946	0,957	0,925
21.00	199	193	200	11,76	15,01	10,13	0,933	0,977	0,927

Data Pengukuran pada Generator PLTMH Andungbiru Unit 2 Hari Kedua

Pukul	Tegangan (V)			Arus (A)			cos phi		
	Fasa R	Fasa S	Fasa T	Fasa R	Fasa S	Fasa T	Fasa R	Fasa S	Fasa T
16.00	187	195	199	7,58	8,73	8,9	0,932	0,937	0,936
17.00	193	190	194	10,1	10,83	10,25	0,958	0,956	0,97
18.00	135,3	137,2	139,6	19,56	16,48	16,04	0,968	0,98	0,959
19.00	154,4	149	153,2	17,58	16,53	15,41	0,955	0,977	0,94
20.00	169,8	157,9	162,4	14,26	16,43	14,95	0,94	0,973	0,925
21.00	194	194	197	12,86	12,73	12,06	0,965	0,966	0,94

Mengetahui, 10 Agustus 2015  
Pengelola PLTMH Andungbiru

  
Rasyid



## LAMPIRAN 7 : Biaya Pembangunan PLTMH Unit 1

No	Uraian Pekerjaan	Volume	Satuan	Jumlah Harga (Rp.)
1	Kabel distribusi blunded cable 3 x 35 + 25 mm <sup>2</sup>	1000	m	31,500,000
2	Lightning arrester 3 Ph dan grounding	1	set	4,100,000
3	Kabel power dari generator ke panel kontrol	10	m	720,000
4	Panel koneksi JTM dan arrester	6	m	265,000
5	Suspension cable + bracket	1	set	1,687,500
6	Strain clamp + bracket	15	set	1,220,000
7	Parcing connector	1	rol	95,000
8	Biaya pemasangan dan komisioning	25	pes	8,500,000
9	Tiang listrik besi + cat, tebal pipa 3 mm	1	ls	43,000,000
10	Mesin turbin	1	unit	75,000,000
11	Generator	1	unit	20,000,000
12	Panel kontrol	1	unit	25,000,000
13	Pipa pesat PVC; diameter 50, panjang 28 meter	7	batang	24,500,000
14	Pintu air; panjang 60cm, lebar 180 cm	1	unit	5,000,000
15	Saringan; tinggi 2 m, panjang 3 m	1	unit	2,000,000
16	Pekerjaan mekanikal	1	paket	7,500,000
17	Pekerjaan sipil	1	paket	95,000,000
<b>JUMLAH</b>				<b>345,087,500</b>

Mengetahui, 24 November 2015  
Pengelola PLTMH Andungbiru

  
Rasyid



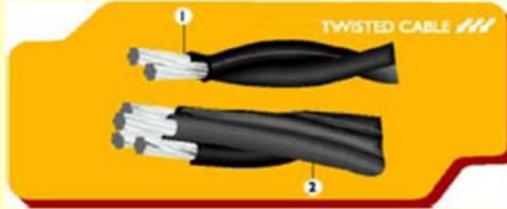


# LAMPIRAN 8 : Spesifikasi Kabel

PT. KABELINDO MURNI Tbk

## NFA2X - T 0.6/1 kV

Aluminium Conductor, XPLE Insulated, Twisted Cable with Neutral Messenger and Public Lighting



- 1. Conductor : All Aluminium Conductor (AAC)
- 2. Insulation : Extruded Cross Linked Polyethylene (XLPE)

### XPLE LOW VOLTAGE CABLE

#### TECHNICAL DATA



Specification : SPLN 42 - 10 : 191

Conductor Shape : mm



Used for secondary distribution and street lighting overhead low voltage cable.



DC Test Voltage : 8.5 kV for 5 minute

#### DIMENSIONAL DATA

3 CORES

Nominal Cross Section Area		Number of wire		Nominal Ins. Thickness		Min. Calculated Breaking Strength	Approximately		Min. Bending Diameter	Std. Length Delivery
phase	Neutral	Public Lighting	phase	Neutral	Public Lighting		Cabling Diameter	Net. Weight		
mm <sup>2</sup>	mm <sup>2</sup>	mm <sup>2</sup>	mm	mm	mm	kg	mm	kg / km	mm	mm
25	25	2 x 16	1.4	1.4	1.2	712	31.1	570	550	1000
35	25		1.6	1.4		712	33.3	594	599	
50	35		1.6	1.6		997	35.5	893	639	
70	50		1.8	1.6		1395	39.7	1149	715	
95	70		2	1.8		1932	42.2	1501	760	
25	25	2 x 16	1.4	1.4	1.2	712	31.1	570	560	1000
35	25		1.6	1.4		712	33.3	594	599	
50	35		1.6	1.6		997	35.5	893	639	
70	50		1.8	1.6		1395	39.7	1149	715	
95	70		2	1.8		1932	42.2	1501	760	

#### ELECTRICAL DATA

Nominal Cross Section Area		DC. Resistance at 20° C						Current Carrying Capacity at 35° C		Conductor Short Circuit Current at :							
phase	Neutral	Conductor Max.		Insulation Min.		Public Lighting	Neutral	Public Lighting	Neutral	Public Lighting	Current at :						
		Phase	Neutral	Phase	Neutral						0.1	0.5	1.0				
mm <sup>2</sup>	mm <sup>2</sup>	Ohm / km		M.ohm/km		A	A	A	A	A	A	A	A				
25	25	1.20	1.38	1.91	600									590	630	72	103
35	25	0.868	1.38		580	590	125	10.18	4.55	3.22							
50	35	0.641	0.986		500	580	154	14.55	6.51	4.60							
70	50	0.443	0.690		470	490	196	20.37	9.11	6.44							
95	70	0.320	0.450		450	470	242	27.64	12.36	8.74							



LAMPIRAN 9 : Data Biaya Operasional dan Pemeliharaan

DATA BIAYA OPERASIONAL DAN PEMELIHARAAN

Unit 1 :

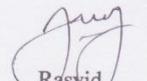
Rp 17.000.000,-

Unit 2 :

Rp 4.000.000,-

Kepala bagian (opeator mesin)	400000
Air	200000
Jaringan	300000
cek kWh meter dan penarikan bulanan	350000
operasioanal dan pemeliharaan	500000
Total dalam 1 bulan	1750000
total selama 1 tahun	21000000

Mengetahui, 21 November 2015  
Pengelola PLTMH Andungbiru

  
Rasyid



**LAMPIRAN 10 : Dokumentasi**

Foto turbin PLTMH unit 1



Foto turbin PLTMH unit 2



Foto rumah pembangkit



Foto saat pengukuran pada beban

