

## PENGANTAR

Puji Syukur penulis panjatkan kehadirat ALLAH SWT karena hanya dengan berkat rahmat, barokah dan hidayah-Nya penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan baik yang berjudul **“Analisis Operasi Paralel Generator Sinkron 3 Fasa Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) Desa Andungbiru 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 Sumiati dan Ayahanda Suharto 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. Hery Purnomo, M.T. dan bapak Ir. Teguh Utomo, M.T. selaku dosen pembimbing skripsi yang selalu membimbing dengan penuh kesabaran dan memberi pengarahan penulis dalam penelitian ini.
6. Yang tercinta Soraya Norma Mustika, ST yang selaku memberikan waktu, tenaga, doa, dan semangat. Cepat selesai studi S2-nya.
7. Seluruh masyarakat Desa Andungbiru Kecamatan Tiris Kabupaten Probolinggo yang menjadi lokasi penelitian, terutama Bapak Rasyid selaku pengelola yang telah banyak membantu dan memberi izin dalam pengambilan data dan survei lapangan di lokasi pembangkit.
8. PT Haneda Sukses Mandiri terutama pak alex, pak hery, pak rohadi, pak topan, dan mbak novi yang sudah memberikan waktu, kesempatan, dan bantuannya.

9. Rekan-rekan satu geng faishal, fahmy, derry, madun, indra, andre, farhan, lalu yang sudah memberikan waktu, tenaganya, maupun hal-hal penting lain dalam penyusunan skripsi ini
10. Rekan-rekan mahasiswa Teknik Elektro angkatan Inverter 2011, khususnya rekan-rekan mahasiswa konsentrasi (A) Teknik Energi Elektrik.
11. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu 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, 24 November 2015



Penulis

## DAFTAR ISI

<b>PENGANTAR</b> .....	i
<b>DAFTAR ISI</b> .....	iii
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	vii
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	vii
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	ix
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	1
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> .....	4
2.1 Daya PLTMH.....	4
2.2 Metode Pengukuran Debit Air.....	4
2.2.1 Metode Apungan.....	5
2.3 Metode Menentukan Tinggi Jatuh Air.....	7
2.3.1 Metode Water Filled Tube .....	7
2.4 Nilai Efisiensi Perangkat PLTMH.....	9
2.4.1 Kotak Transmisi Mekanik.....	9
2.4.2 Efisiensi Pipa Pesat.....	9
2.4.3 Efisiensi Turbin Air .....	9
2.5 Generator Sinkron.....	10
2.5.1 Prinsip Kerja .....	11
2.5.2 Efisiensi Generator Sinkron.....	11
2.6 Sistem Eksitasi Tanpa Sikat ( <i>Brushless Excitation</i> ) Generator Sinkron.....	12
2.7 Operasi Paralel Generator Sinkron .....	12
2.8 Efek Pengaturan Kecepatan Penggerak Mula Pada Generator Yang Beroperasi Secara Paralel.....	13
2.9 Efek Pengaturan Arus Eksitasi Pada Generator Yang Beroperasi Secara Paralel	14
<b>BAB III METODE PENELITIAN</b> .....	16



3.1 Studi Literatur .....	17
3.2 Survei Lapangan .....	17
3.3 Pengumpulan Data .....	17
3.4 Analisis Data dan Pembahasan .....	19
3.5 Pengambilan Kesimpulan dan Saran.....	21
<b>BAB IV PEMBAHASAN</b> .....	22
4.1 Komponen Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) Andungbiru .....	22
4.1.1 Generator Sinkron .....	22
4.1.2 Turbin <i>Cross Flow</i> (Arus Lintang) .....	25
4.1.3 Transmisi Mekanik .....	27
4.1.4 Bantalan ( <i>Bearing</i> ).....	29
4.1.5 Regulator.....	29
4.1.6 Pipa Pesat .....	30
4.1.7 Beban Komplemen.....	32
4.1.8 Saluran Pembuangan ( <i>tailrace</i> ).....	32
4.1.9 Pintu Air.....	33
4.1.10 Saluran Penyadap ( <i>intake</i> ) .....	34
4.1.11 Saluran Pembawa ( <i>headrace</i> ) .....	34
4.1.12 Saluran Pengendap ( <i>setling basin</i> ).....	35
4.2 Potensi Energi Aliran Air PLTMH Andungbiru Unit 1 dan Unit 2.....	35
4.2.1 Luas Penampang Melintang Sungai (A).....	36
4.2.2 Kecepatan Aliran Air ( $v$ ).....	36
4.2.3 Debit Air ( $Q$ ).....	38
4.2.4 Tinggi Jatuh Air ( $h$ ).....	40
4.3 Daya Terbangkitkan ( $P_{out}$ ) .....	40
4.4 Pengukuran Beban Pada Generator PLTMH Andungbiru.....	41
4.5 Data Jaringan PLTMH Andungbiru .....	44
4.6 Pembahasan.....	55
4.6.1 Operasi Secara Terpisah Generator PLTMH Andungbiru.....	55
4.6.2 Operasi Paralel Generator PLTMH Andungbiru .....	56
4.7 Pemutusan Sebagian Beban .....	58
4.7.1 PLTMH Andungbiru Unit 1 Beroperasi, PLTMH Andungbiru Unit 2 Berhenti Beroperasi .....	59

4.7.2 PLTMH Andungbiru Unit 1 Beroperasi, PLTMH Andungbiru Unit 2

Berhenti Beroperasi ..... 60

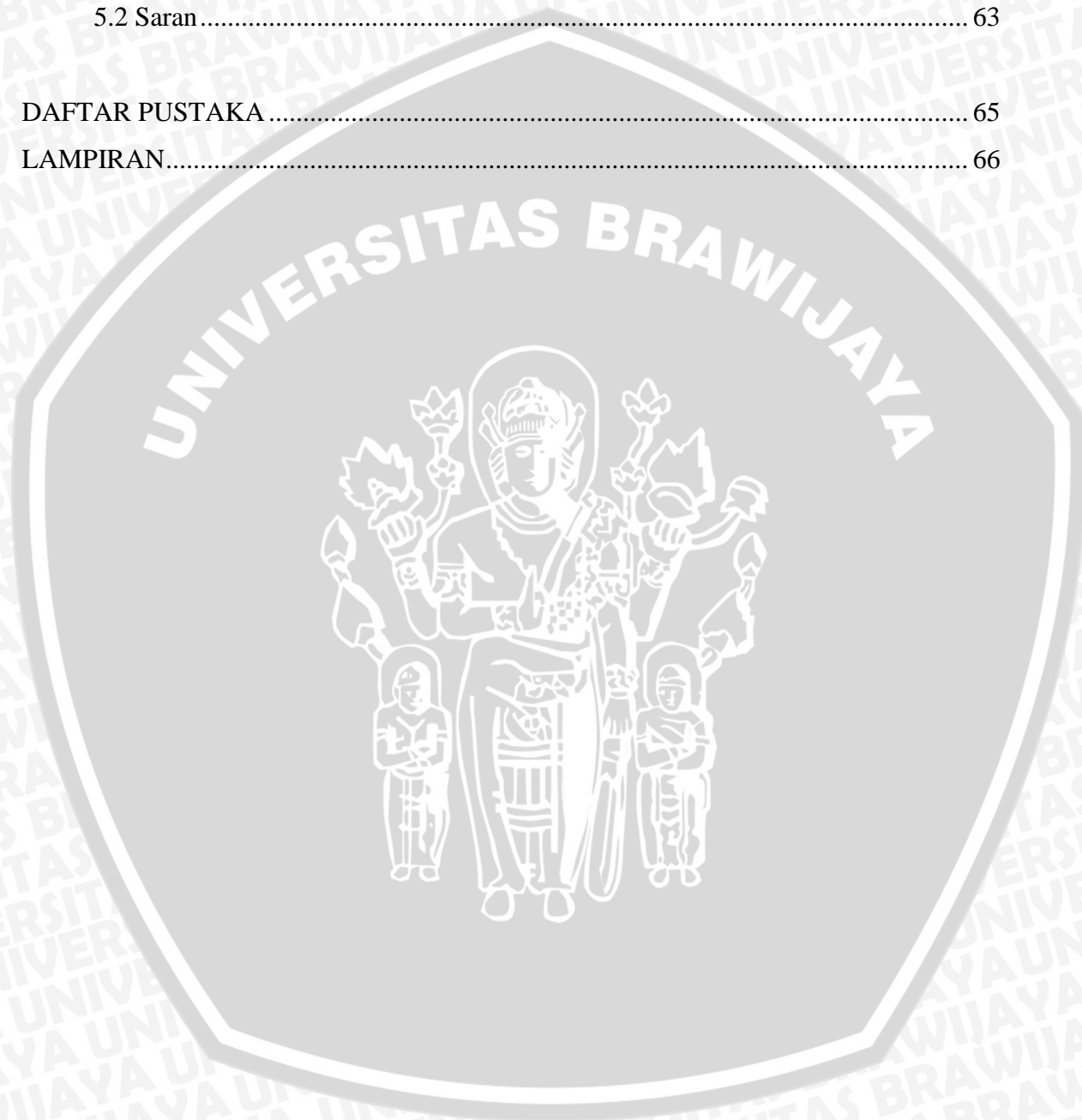
**BAB V PENUTUP** ..... 62

5.1 Kesimpulan..... 62

5.2 Saran..... 63

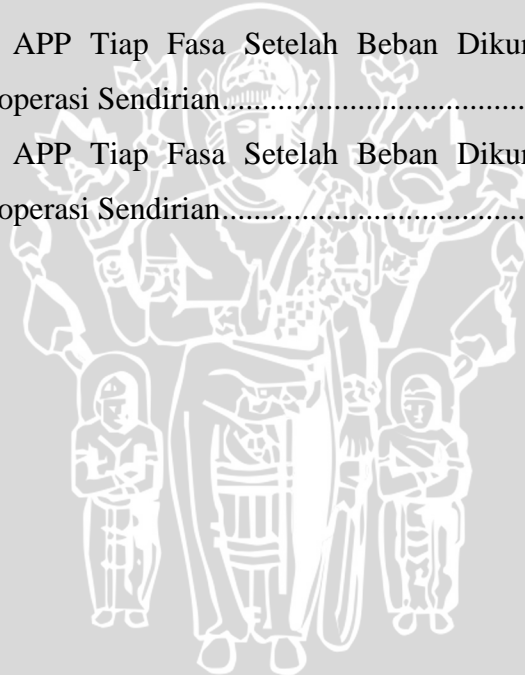
DAFTAR PUSTAKA..... 65

LAMPIRAN..... 66



## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Efisiensi Transmisi Sabuk.....	9
Tabel 2.2 Efisiensi Turbin Air .....	10
Tabel 4.1 Hasil Pengukuran Kedalaman Sungai .....	36
Tabel 4.2 Hasil Pengukuran Waktu Tempuh Dengan Metode Apungan .....	37
Tabel 4.3 Kecepatan Aliran Air Pada Setiap Titik .....	38
Tabel 4.4 Data Pengukuran Pada Generator PLTMH Andungbiru Unit 1 .....	42
Tabel 4.5 Data Pengukuran Pada Generator PLTMH Andungbiru Unit 2 .....	42
Tabel 4.6 Beban Daya Nyata dan Daya Reaktif PLTMH Andungbiru .....	43
Tabel 4.7 Hasil Pengukuran, V, I, cos phi, dan Perhitungan P .....	51
Tabel 4.8 Daya Total Pada APP (Alat Pembatas dan Pengukur) Tiap Fasa .....	59
Tabel 4.9 Daya Pada Generator.....	59
Tabel 4.10 Daya Total Pada APP Tiap Fasa Setelah Beban Dikurangkan Ketika Generator Unit 2 Beroperasi Sendirian.....	60
Tabel 4.11 Daya Total Pada APP Tiap Fasa Setelah Beban Dikurangkan Ketika Generator Unit 2 Beroperasi Sendirian.....	61



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Pengukuran Luas Penampang Melintang Sungai .....	5
Gambar 2.2 Metode Pengukuran <i>Water-Filled Tube</i> -1 .....	7
Gambar 2.3 Metode Pengukuran <i>Water-Filled Tube</i> -2 .....	8
Gambar 2.4 Metode Pengukuran <i>Water-Filled Tube</i> -3 .....	8
Gambar 2.5 Transmisi Sabuk .....	9
Gambar 2.6 Konstruksi Generator Sinkron .....	11
Gambar 2.7 <i>Brushless Excitation</i> .....	12
Gambar 2.8 Pengubahan Pembagian Daya Tanpa Merubah Frekuensi Sistem .....	13
Gambar 2.9 Perubahan Frekuensi Sistem Tanpa Mengubah Pembagian Daya .....	14
Gambar 2.10 Pembagian Daya Reaktif Tanpa Mengubah Tegangan Terminal.....	14
Gambar 2.11 Perubahan Tegangan Terminal Tanpa Mengubah pembagian Daya Reaktif 15	
Gambar 3.1 Diagram Alir Metode Penelitian Yang Digunakan .....	16
Gambar 4.1 Generator Sinkron 3 Fasa Pada PLTMH Andungbiru Unit 1.....	23
Gambar 4.2 Generator Sinkron 3 Fasa Pada PLTMH Andungbiru Unit 2.....	24
Gambar 4.3 Turbin Crossflow Pada PLTMH Andungbiru 1 .....	25
Gambar 4.4 Turbin Crossflow Pada PLTMH Andungbiru 2 .....	25
Gambar 4.5 Bagian Dalam Turbin Cross Flow .....	26
Gambar 4.6 Transmisi Mekanik Sabuk-V Pada PLTMH Andungbiru 1 .....	28
Gambar 4.7 Transmisi Mekanik Sabuk-V Pada PLTMH Andungbiru 2 .....	28
Gambar 4.8 Bantalan Yang Digunakan Pada PLTMH Andungbiru .....	29
Gambar 4.9 Regulator Turbin PLTMH Andungbiru Unit 1.....	30
Gambar 4.10 Regulator Turbin PLTMH Andungbiru Unit 2.....	30
Gambar 4.11 Pipa Pesat PLTMH Andungbiru Unit 1.....	31
Gambar 4.12 Pipa Pesat PLTMH Andungbiru Unit 2.....	31
Gambar 4.13 Beban Komplemen Pemanas Udara ( <i>air heater</i> ) PLTMH Andungbiru Unit 2 .....	32
Gambar 4.14 Saluran Pembuangan PLTMH Andungbiru .....	33
Gambar 4.15 Pintu Air PLTMH Andungbiru.....	33
Gambar 4.16 <i>Intake</i> PLTMH Andungbiru .....	34
Gambar 4.17 Saluran Pembawa PLTMH Andungbiru.....	34
Gambar 4.18 Saluran Pengendap PLTMH Andungbiru.....	35
Gambar 4.19 Penampang Melintang Sungai PLTMH Andungbiru .....	36

Gambar 4.20 Jaringan Listrik PLTMH Andungbiru Unit 1 Fasa R..... 45

Gambar 4.21 Jaringan Listrik PLTMH Andungbiru Unit 1 Fasa S ..... 46

Gambar 4.22 Jaringan Listrik PLTMH Andungbiru Unit 1 Fasa T ..... 47

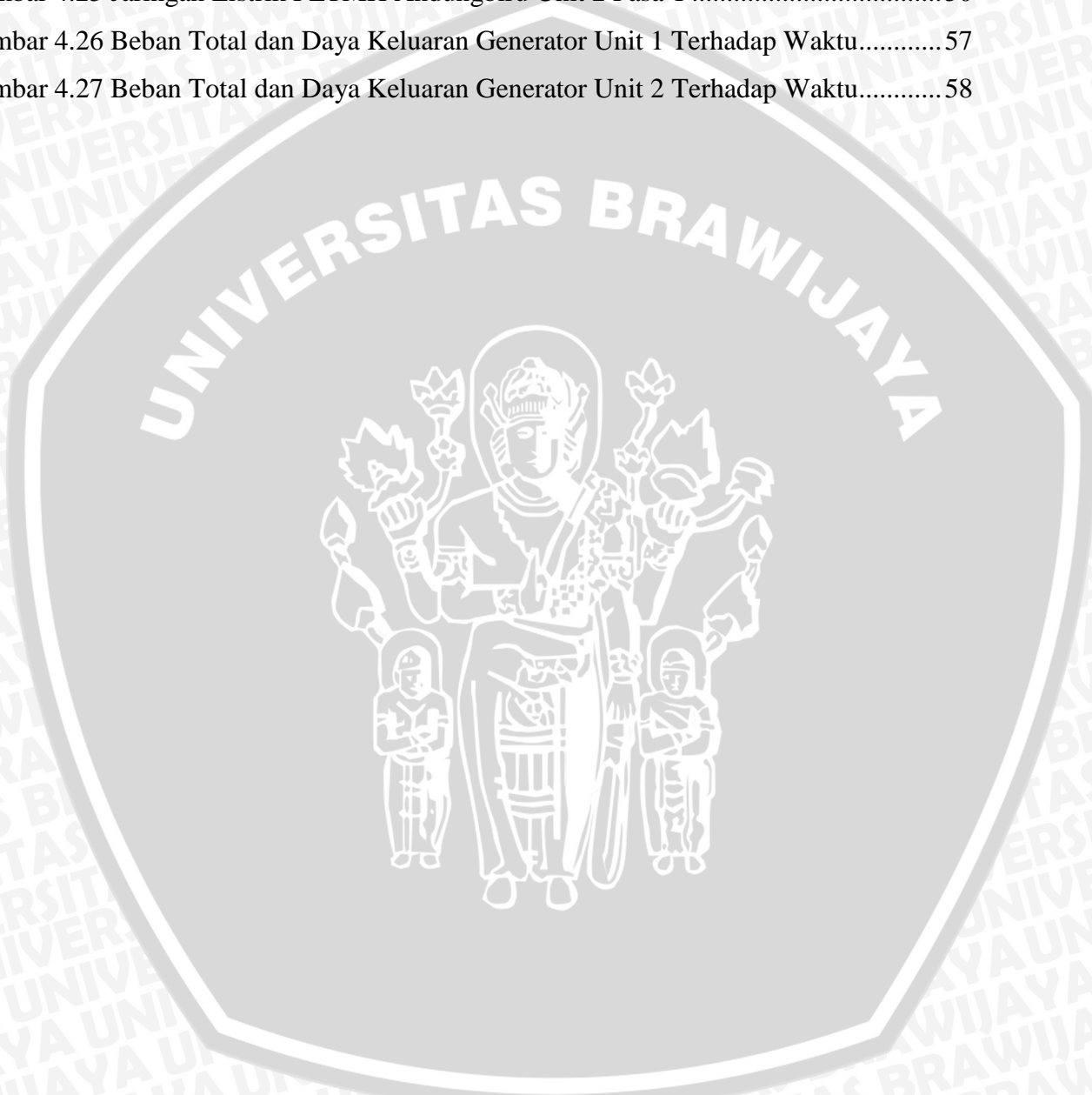
Gambar 4.23 Jaringan Listrik PLTMH Andungbiru Unit 2 Fasa R..... 48

Gambar 4.24 Jaringan Listrik PLTMH Andungbiru Unit 2 Fasa S ..... 49

Gambar 4.25 Jaringan Listrik PLTMH Andungbiru Unit 2 Fasa T ..... 50

Gambar 4.26 Beban Total dan Daya Keluaran Generator Unit 1 Terhadap Waktu..... 57

Gambar 4.27 Beban Total dan Daya Keluaran Generator Unit 2 Terhadap Waktu..... 58





**DAFTAR LAMPIRAN**

Lampiran 1	Konstruksi generator PLTMH Andungbiru.....	53
Lampiran 2	Penyearah Generator PLTMH Andungbiru.....	55
Lampiran 3	Skema Generator PLTMH Andungbiru .....	56
Lampiran 4	Blok Diagram Generator PLTMH Andungbiru.....	57
Lampiran 5	Gambar Konstruksi Turbin <i>Cross Flow</i> C4-20 .....	58
Lampiran 6	Dokumentasi Kegiatan Survei .....	59

