

**INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
KONSENTRASI TEKNIK ENERGI LISTRIK**



**PERANCANGAN PLTMH YANG DIKONFIGURASI SECARA *CASCADE*
DENGAN PLTMH DI PPLH-SELOLIMAN UNTUK MENAMBAH DAYA
KELUARAN**

SKRIPSI

**Disusun Oleh :
GIRI WAHYU WIRIASTO
NIM : 00.12.124**

MARET 2006



RECEIVED THE SECRETARY OF THE
NAVY DEPARTMENT
WASHINGTON
JANUARY 1941

RECEIVED THE SECRETARY OF THE
NAVY DEPARTMENT
WASHINGTON
JANUARY 1941

RECEIVED

RECEIVED
NAVY DEPARTMENT
WASHINGTON
JANUARY 1941

RECEIVED

LEMBAR PERSETUJUAN

**PERANCANGAN PLTMH YANG DIKONFIGURASI SECARA *CASCADE*
DENGAN PLTMH DI PPLH-SELOLIMAN UNTUK MENAMBAH DAYA
KELUARAN**

SKRIPSI

*Disusun dan diajukan untuk melengkapi dan memenuhi syarat
guna mencapai gelar sarjana teknik*

Disusun Oleh :

**GIRI WAHYU WIRIASTO
NIM : 00.12.124**

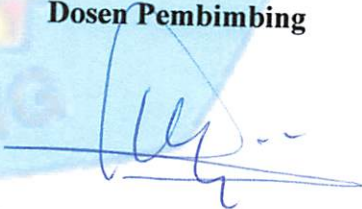
Diperiksa dan Disetujui

Mengetahui,

Ketua Jurusan Teknik Elektro

Dosen Pembimbing


Ir.F YUDI LIMPRAPTONO,MT
NIP.Y.10396500274


Ir.SIDIK NOERTJAHJONO,MT
NIP.102 870 0167

**KONSENTRASI TEKNIK ENERGI LISTRIK
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG**

PERSEMBAHANKU

Sebuah proses yang panjang, dimana perjalanan yang akhirnya penulis lalui adalah tidak terlepas dari peran serta orang-orang yang tercinta. Seperti lautan samudra nan luas, Belajar adalah suatu hal yang utama dan harus terus berjalan. Rampungnya skripsi ini bukan merupakan akhir dari proses pembelajaran. Semua ini berlalu tak terasa, berkat dukungan dari orang-orang yang menjadi bagian dari perjalanan hidup saya., TERIMA KASIH.
Dan akhirnya Skripsi ini saya persembahkan untukmu.

Ayahanda dan Ibunda tercinta
Hari Sukanto (alm)
Tuti Hidayati
& Eyang (mbah) Putri

"Tiada yang dapat menandingi dari apa yang telah engkau berikan kepada ananda.. Sesungguhnya kasih-sayang yang Kau beri melewati batas-batas samudra nan luas". Terimakasih Ayah, Ibu, eyang...

Adik-adikku tersayang
Difa & kel, Wanda dan De'Arqam

Terimakasih buanyaaak ya, berkat doa kalian, akhirnya mas lulus juga. Kalian juga bisa kok! Terus belajar dan jangan lupa berdoa. Mas akan selalu mendukung kalian.

Ir.Sidik Noertjahjono,MT

Dosen Pembimbing yang telah membantu "menurunkan" ilmu-ilmunya untuk saya hingga akhirnya terselesaikan skripsi ini. Terima kasih ya Pak! Anda Bapak bagi kami (KSTI). Kami akan selalu mendukung cita-cita Bapak untuk mencerdaskan calon-calon penerus bangsa.

Ir.Yadi Limpraptono,MT

Selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro (S-1) Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Nasional Malang. Besar harapan saya agar nantinya jurusan elektro menjadi lebih baik.

Ir.Mimien Mustikawati

Selaku Sekretaris Jurusan T.Elektro (S-1) Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Nasional Malang. Saya ucapkan terima kasih atas dukungannya.

KSTI (Kelompok Studi Teknologi Informasi)
Mas Eko, Bos'gendhut' Ajie hendro, Nanang
Roni W, Sinyo pramono, glenn jolodoro,
nurcahyo, adelia, gendhut 2, Hairi Rosadi (trims untuk pinjaman printernya ya ..hee), sonny,
anna,rudyanto,aris'kechenk' , Zorox

Yang telah memberikan supportnya 'allout' hingga skripsi ini terselesaikan. Terimakasih kawan. "kapan workshop lagi?". KSTI kudu masuk kampus lagi...

FORMAT (Fotografi Mahasiswa Teknik)

Ajlie (ketum),Lalu habieb,

zaenal,marsono,candra,syamsul, intan, karina,
wahyu dayat, deni, vivik, jo, opet, yuh, Didit
kuswanto

Ayo rek, motret terus. Aku bangga sama kalian. Jangan lupa belajar, kalian juga harus lulus. FORMAT harus terus hidup dalam perjalanan waktu esok hari...



FORKUM-UKM Bagus (LDI), Gondrong(ksr),yudha(PSM),Dosen(himakpa), iim,vipit (komit), adi (taekwondo),alan (sanggar),ali (sepakbola)	Ayo rek, terus berkegiatan. “Jangan biarkan aula sepi karena kalian enggan untuk masuk”. Buka pintu aula dan ekspresikan diri kalian OK.
Rekan-rekan Elektro 2000 Iswan, randi,handi	Ayo kawan kita lulus bareng. Sampai jumpa lagi. Thanks untuk semuanya..
<i>Special girl</i>	Widitaningsih tri kursanti (antie), bayangan wajahmu menghiasi hari-hariku yang sepi disaat mengerjakan skripsi ini. Seandainya kamu tahu, sungguh, aku suka kamu!
And Special thanks to Adjie hendro S Nanang roni w Hairi Rosadi (tunggulwulung members)	Kapan lulus bos ? walaupun banyak yang dipikirkan, coba usahakan untuk bisa focus lulus kuliah. Bukankah itu keinginanmu ? nang, yiks ndang lulus yoo..
Lalu husnul habieb	Bib, terimakasih atas semua bantuannya ya. Jangan bosen klo tak repoti.hee...suatu saat nanti karina akan jadi milikmu.SEMANGAT...
Ir.Sidik Noertjahjono,MT	Kapan ya bisa makan es krim buatan bapak lagi? Hee...
Kel.Bpk.Sumaryono	Terimakasih atas bantuannya dari sejak pertama kali saya datang kemalang, kebaikan om, tante, mas ganda, mas yuyun, lita tidak akan pernah saya lupakan. Selamat ketanah suci makkah, semoga om dan tante menjadi haji yang mabrur, Amien.
My Old “best” friend Lani (akhirnya kita lulus bareng ya, alhamdulillah), harjo, Ade, aris, teh githa, Toet2, Yiks, Yanti, bona, Regen Adik-adikku tersayang Difa & kel, Wanda dan De’Arqam	Terimakasih untuk doanya. Kapan yah bisa kumpul2 lagi ? disuranadi boleh jugahee Terimakasih buanyaaak ya, berkat doa kalian, akhirnya mas lulus juga. Kalian juga bisa kok! Terus belajar dan jangan lupa berdoa. Mas akan selalu mendukung kalian.

Kepada semua rekan-rekan /saudara-saudaraku , yang tidak sempat tertulis namanya diatas, “bukanlah maksud untuk melupakan , tapi maafkan atas kekurangan saya karena tidak bisa mengingat satu per satu dari kalian, tapi percayalah sesungguhnya kalian selalu ada dihatiku“

Malang
 Maret, 21, 2006
 18.21 wib

GIRI WAHYU WIRIASTO

ABSTRAKSI

PERANCANGAN PLTMH YANG DIKONFIGURASI SECARA CASCADE DENGAN PLTMH DI PPLH-SELOLIMAN UNTUK MENAMBAH DAYA KELUARAN

*Giri Wahyu W
T.Elektro Energi Listrik (S-1)
Institut Teknologi Nasional Malang*

*Ir.Sidik Noertjahjono,MT
Dosen Pembimbing*

Dewasa ini, kebutuhan akan energi di Indonesia sudah sangat tinggi. Hal ini menyebabkan PT. PLN (Persero) (Perusahaan Listrik Negara) sebagai penyedia Energi Listrik dituntut untuk bisa memenuhi seluruh kebutuhan daya listrik. Faktor utama yang menjadi kendala antara lain makin menipisnya sumber daya energi (batubara, gas dan minyak bumi) dunia sehingga menyebabkan naiknya harga Bahan Bakar Minyak , batubara dan gas yang merupakan bahan dasar pembangkitan. Hal itu pula yang mendorong melonjaknya biaya produksi pembangkit energi yang ada, akhirnya mempengaruhi kualitas dan kuantitas Pembangkit Energi yang ada di Indonesia.

Upaya yang sedang dikembangkan dalam memenuhi permintaan Daya listrik tersebut adalah memanfaatkan Potensi Sumber Daya Alam (SDA) yang tersedia sebagai Pembangkit Energi yang dapat diperbarukan (Renewable Energy).

Lokasi sumberdaya energi terbarukan umumnya berada di pedesaan dan desa terpencil, penyediaan energi konvensional di daerah ini memerlukan biaya tinggi (terutama karena biaya distribusi yang relatif tinggi), mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil, dan pemanfaatan energi terbarukan tidak hanya untuk menyediakan energi bagi keperluan rumah tangga akan tetapi juga untuk menambah penghasilan rumah tangga dengan

memperkenalkan dan mengimplementasikan kegiatan-kegiatan atau usaha untuk menambah penghasilan.

Indonesia memiliki potensi Air yang sangat besar. Hal ini dapat dimanfaatkan sebagai alternative Sumber Energi yang *Renewable* . Untuk skala kecil, aplikasi teknologi renewable menggunakan Mikrohidro. Mikrohidro adalah istilah yang digunakan untuk instalasi pembangkit listrik menggunakan energi air. Kondisi air yang bisa dimanfaatkan sebagai sumber daya (resource) penghasil listrik adalah memiliki kapasitas aliran dan ketinggian tertentu, Semakin besar kapasitas aliran naupun ketinggiannya dari rumah intalasi (house generator), maka semakin besar energi yang bisa dimanfaatkan untuk menghasilkan energi listrik.

Skripsi ini mendiskripsikan tentang perancangan sebuah PLTMH dengan konfigurasi cascade sebagai upaya untuk menambah daya listrik dengan memanfaatkan potensi aliran air yang sama dari PLTMH sebelumnya. Selain itu juga dibahas masalah biaya perancangan dan proyeksi pendapatan dari hasil penjualan daya listrik ke jala-jala PLN (interkoneksi).

Kata Kunci :

Microhydro, Renewable Energy, cascade system, PLN Persero, crossflow, impuls turbin, synchronous generator, protection power system, PPLH-seloliman.

KATA PENGANTAR

Teriring salam dan do'a semoga Allah SWT tetap melimpahkan rahmat dan Hidayah-Nya pada kita sekalian dalam mengemban amanah dan menjalankan tugas sehari-hari di muka bumi ini sebagai *khalifa fill ardl.Amin*.

Sholawat serta salam teriring kepada junjungan Nabi Muhammad SAW, Nabi akhir zaman yang telah mengentas ummat manusia dari masa *jahilliyah* menuju pencerahan sehingga ummat manusia dapat menjalankan roda kehidupan di dunia dalam jalan yang lurus yang jalan yang diridloi oleh Allah SWT.

Skripsi ini diajukan sebagai syarat untuk menyelesaikan perkuliahan di jurusan Teknik Elektro Program Studi Energi Listrik (S-1) Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Nasional Malang. *Alhamdulillah* dan Puji syukur kehadiran Allah SWT, akhirnya dalam proses yang cukup panjang skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik.

Penulis mengambil judul ini karena adanya beberapa permasalahan dewasa ini mengenai kebutuhan akan permintaan *suplay* energi listrik yang semakin meningkat dan harus terpenuhi. Mengingat bahwa PLN tidak mampu untuk merealisasikan semua kebutuhan suplai energi dalam waktu dekat. Permasalahan lainnya yakni semakin mahal biaya produksi energi listrik dengan bahan bakar minyak menjadikan Pembangkit energi terbarukan (*renewable energy*) khususnya Pembangkit listrik tenaga mikrohidro (PLTMH) menjadi alternatif energi yang harus direalisasikan mengingat potensi Sumber daya air kita yang melimpah. Adapun studi kasus dan rencana pengembangan dilakukan di PLTMH-Seloliman-Mojokerto,JATIM, dimana rancangan yang dibuat penulis memanfaatkan topografi wilayah yang baik untuk diterapkan pembangkit PLTMH secara bertingkat (*cascade*). Nantinya dengan direalisasikan PLTMH dengan konfigurasi *cascade* ini dapat menambah daya keluaran PLTMH sebelumnya sehingga apabila daya keluaran ini diinterkoneksi ke jala-jala PLN untuk dijual, maka untuk kedepan, dapat menjadi kas/pemasukan desa setempat.

Ucapan terimakasih yang sebesar-besarnya penulis sampaikan dalam kesempatan ini, kepada :

1. **Kedua orang tua penulis**, yang telah memberikan dukungan moril, materiil dan spiritual yang tak ternilai dengan apapun, sehingga skripsi ini akhirnya dapat terselesaikan.
2. **Ir.Sidik Noertjahjono,MT**, selaku dosen pembimbing, yang telah memberikan bimbingan dan tuntunan dalam penyusunan skripsi ini disela aktifitas dan kesibukannya.
3. **Ir.F.Yudi Limpraptono,MT**, selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro (S-1) Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Nasional Malang.
4. **Ir.Mimin Mustikawati**, selaku Sekretaris Jurusan Teknik Elektro (S-1) Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Nasional Malang.
5. Dan Seluruh komunitasku yang secara langsung ataupun tidak telah membantu sehingga terselesaikannya skripsi ini, rekan-rekan FORMAT, FORKUM-UKM,dan KSTI (Kelompok Studi Teknologi Informasi), *terus belajar bersama*.

Yang terakhir, bahwa penulis menyadari adanya banyak kekurangan dalam penyusunan dan penulisan skripsi ini, tentunya besar harapan penulis untuk mendapat kritik dan saran yang konstruktif agar skripsi ini menjadi lebih baik dan menuju kesempurnaan.

Semoga Allah SWT *meridloi* apa yang telah kita kerjakan di bumi ini dan semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi penyusun dan pembaca lainnya.

Billahittaufiq wal hidayah

Malang, April 2006

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	Halaman
LEMBAR PERSETUJUAN	
ABSTRAKSI.....	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR GAMBAR.....	ix
DAFTAR GRAFIK.....	xi
DAFTAR TABEL.....	xii
BAB I PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Permasalahan.....	3
1.3. Tujuan.....	3
1.4. Batasan Masalah.....	3
1.5. Metodologi.....	4
1.6. Sistematika.....	4
BAB II. LANDASAN TEORI	
2.1. Umum.....	6
2.1.1. Hidrologi.....	6
2.1.2. Bangunan Sipil.....	7
2.1.3. Hidrolika.....	10
2.2. Perancangan PLTMH dengan konfigurasi <i>cascade</i>	11
2.2.1. Sistem <i>Cascade</i>	11
2.2.2. Tinggi jatuh (<i>head</i>).....	12
2.2.3. Pipa pesat (<i>penstock</i>).....	17
2.2.4. Tangki pendatar (<i>reservoir</i>).....	19
2.2.5. Turbin air.....	20
2.2.6. Generator Sinkron.....	23

2.3.	Sistem proteksi.....	47
2.3.1.	Perlindungan generator terhadap petir.....	47
2.3.2.	Pengetanahan titik netral.....	50
2.3.3.	Relay pengaman.....	51
2.4.	Kapasitas Pembangkit.....	51
2.5.	Peralatan-peralatan elektrik yang mendukung perencanaan PLTMH.....	52
2.5.1.	Pentanahan (earthing).....	52
2.5.2.	Panel switch gear.....	52
2.5.3.	Jaringan distribusi.....	53
2.6.	Analisa Ekonomi Pembangunan PLTMH II.....	54
2.6.1.	Metoda rasio manfaat terhadap biaya / <i>cost-benefit ratio</i>	54

BAB III. PERANCANGAN KONFIGURASI CASCADE ANTARA PLTMH I DENGAN PLTMH II

3.1.	Perancangan PLTMH secara cascade.....	56
3.1.1.	Sistem <i>Cascade</i>	56
3.2.	Hidrologi dan bangunan sipil.....	57
3.2.1.	Perhitungan Tinggi Jatuh Efektif.....	57
3.2.2.	Perhitungan kehilangan tinggi jatuh akibat belokan (hb).....	58
3.2.3.	Perhitungan kehilangan tinggi jatuh akibat gesekan (hg).....	64
3.2.4.	Perhitungan kehilangan tinggi jatuh akibat perubahan penampang (hp).....	64
3.2.5.	kehilangan tinggi jatuh akibat saringan pada pintu pengambilan (hs).....	65
3.2.6.	Perhitungan Pukulan Air.....	66
3.2.7.	Perhitungan dimensi pusat.....	67
3.2.8.	Perhitungan bak penampung.....	68
3.3.	Peralatan Mekanik.....	69
3.3.1.	Turbini Air.....	69
3.4.	Peralatan Listrik.....	71
3.4.1.	Generator.....	71
3.4.2.	Pengaturan Kecepatan Putaran Generator.....	74
3.4.3.	Percobaan Pengukuran generator tanpa beban.....	74

3.4.4.	Percobaan pengujian pembangkit sinkron 3 fasa berbeban.....	76
3.4.5.	Percobaan hubung singkat.....	80
3.4.6.	Kerja Paralel Generator.....	84
3.4.7.	Sistem proteksi.....	87
3.5.	Perhitungan Kapasitas Pembangkitan.....	90
3.5.1.	Analisa Debit (Q), Head (H) dan Daya Keluaran (P).....	91
3.5.2.	Kapasitas Pembangkitan PLTMH cascade.....	91
3.5.3.	Daya keluaran system kerja paralel.....	92

**BAB IV. PERHITUNGAN ANALISA MANFAAT TERHADAP BIAYA / *COST*
BENEFIT RATIO PERANCANGAN PLTMH YANG DIKONFIGURASI
 SECARA *CASCADE***

4.1.	Studi Komparatif Perancangan PLTMH dengan konfigurasi cascade.....	94
4.2.	Perhitungan analisa manfaat terhadap biaya.....	94
4.2.1.	PLTMH I Selolimah.....	96
4.3.	Perhitungan / Evaluasi Proyek dengan Metode Rasio Manfaat Terhadap Biaya PLTMH I dengan PLTMH <i>cascade</i>	110
4.3.1.	Estimasi Biaya Investasi.....	110

BAB V. PENUTUP

5.1.	Kesimpulan.....	118
5.2.	Saran.....	120

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN A

LAMPIRAN B

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1. Kurva durasi Debit air.....	6
Gambar 2.2. Komponen-komponen Besar dari sebuah Skema Mikro Hidro.....	7
Gambar 2.3. Intake.....	8
Gambar 2.4. Saluran pembawa.....	9
Gambar 2.5. Bak penenang.....	9
Gambar 2.6. Skema tinggi jatuh air.....	10
Gambar 2.7. tinggi jatuh.....	12
Gambar 2.8. besarnya koefisien K sebagai fungsi sudut belokan α	13
Gambar 2.9 rugi-rugi pada trash-rack (saringan).....	14
Gambar 2.10 perubahan penampang dari penampang kecil k epenampang besar.....	15
Gambar 2.11 Perubahan penampang dari penampang besar ke penampang kecil.....	16
Gambar 2.12 macam lubang pemasukan dari kolam.....	17
Gambar 2.13 Generator sinkron jangkar dirotor.....	24
Gambar 2.14 $T = Br Bs \sin \delta$	24
Gambar 2.15 Kondisi reaksi jangkar untuk berbagai macam jenis beban.....	25
Gambar 2.16 kurva pemagnetan.....	26
Gambar 2.17 $E = V + I_r a + jIX_s$; $X_s = X_m + X_a$	27
Gambar 2.18 Vektor Diagram Potier.....	28
Gambar 2.19 kurva pemagnetan Pengujian Hubung singkat.....	29
Gambar 2.20 kurva pemagnetan beban nol dan factor kerja nol.....	31
Gambar 2.21 karakteristik beban nol dan karakteristik hubung singkat.....	33
Gambar 2.22 Diagram vector pengaturan tegangan.....	34
Gambar 2.23 karakteristik tegangan terminal V terhadap arus jangkar I.....	34
Gambar 2.24 sinkronoskop hubungan terang hubungan parallel.....	37
Gambar 2.25 Hubungan parallel generator.....	38
Gambar 2.26 Urutan fasa tegangan jala-jala.....	38
Gambar 2.27 Urutan fasa tegangan generator.....	38
Gambar 2.28 Arus sinkronisasi parallel generator.....	39

Gambar 2.29	Pembagian beban pada alternator parallel.....	41
Gambar 2.30	Hubungan kerja dari dua generator sinkron.....	44
Gambar 2.31	Karakteristik daya-kecepatan penggerak-mula.....	45
Gambar 2.32	Efek dari perubahan peneralan pada dua buah generator serempak yang diparalelkan.....	46
Gambar 3.1	PLTMH-Seloliman.....	56
Gambar 3.2	Skema perancangan PLTMH secara <i>cascade</i>	57
Gambar 3.3	Tinggi jatuh.....	58
Gambar 3.4	Besar sudut pipa pesat.....	59
Gambar 3.5	Rugi-rugi pada tras-rack.....	65
Gambar 3.6	Bak /tangki penampung.....	68
Gambar 3.7	Rangkaian generator sinkron 3 fasa Tanpa beban.....	74
Gambar 3.8	Generator sinkron hubung singkat.....	81
Gambar 3.9	kurva pengujian beban nol dan hubung singkat.....	82
Gambar 3.10	kurva pengujian faktor kerja nol.....	84
Gambar 3.11	rangkaian kerja paralel pembangkit sinkron 3 fasa.....	85
Gambar 3.12	diagram fasor kerja paralel generator sinkron 3 fasaHubungan gelap terang.....	86
gambar 3.13	single line diagram PLTMH <i>cascade</i>	88
gambar 3.14	skema sestem proteksi Pembangkit berkapasitas kecil.....	89
gambar 3.15	rencana kerja paralel generator.....	93
Gambar 4.1	PLTMH I.....	95
Gambar 4.2	PLTMH konfigurasi seri.....	95
Gambar 4.3	PLTMH konfigurasi <i>cascade</i>	96

DAFTAR GRAFIK

Grafik 2.1	Hubungan antara debit air dan daya keluaran.....	22
Grafik 3.1	karakteristik pembangkit sinkron tanpa beban dengan $n = 3000 \text{ rpm}$ $E_o = f(I_f)$	76
grafik 3.2	karakteristik generator sinkron Berbeban $E_o = f(I_f)$	79
grafik 3.3	karakteristik pembangkit sinkron Dihubung singkat $I_{sc} = f(I_f)$	81
grafik 3.4	Hubungan antara daya keluaran terhadap perubahan Debit air dengan head = 14m.....	90
grafik 3.5	Hubungan antara Daya keluaran terhadap perubahan Head dengan $Q = 0,305 \text{ m}^3/\text{det}$	91
grafik 4.1	Profil Keluaran Listrik PLTMH Kalimaron.....	99
grafik 4.2	proyeksi penjualan PLTMH I (kWh /10 tahun).....	109
grafik 4.3	Profil keluaran listrik PLTMH cascade.....	111
grafik 4.4	proyeksi penjualan PLTMH cascade (kWh /10 tahun).....	115

DAFTAR TABEL

Tabel 1	Harga konstanta K berdasarkan besarnya sudut.....	13
Tabel 2	Factor β pada trash-rack.....	14
Tabel 3	Nilai K sebagai fungsi dari α	16
Tabel 4	hubungan antara head dan diameter pipa.....	17
Tabel 5	macam turbin dan efisiensinya.....	21
Tabel 6	karakteristik <i>Runner</i> turbin.....	21
Tabel 7	Sinkronisasi kecepatan putaran generator.....	47
Tabel 8	contoh pengujian impuls pada generator.....	48
Tabel 9	contoh karakteristik Arrester untuk generator.....	48
Tabel 10	data Perencanaan.....	57
Tabel 11	besar sudut pipa pesat.....	59
Tabel 12	Lebar jarak pipa pesat dari reservoir ke muka turbin.....	59
Tabel 13	interpolasi Koefisien α	61
Tabel 14	perbandingan antara sudut saluran pipa dengan rugi-rugi saluran.....	63
Tabel 15	hasil pengukuran pembangkit sinkron tanpa beban dengan $n = 3000$ rpm.....	75
Tabel 16	hasil pebgukuran generator sinkron Berbeban, $n = 3000$ rpm.....	78
Tabel 17	hasil perhitungan generator sinkron berbeban.....	79
Tabel 18	hasil pengukuran pembangkit sinkron Dhubung singkat , $n = 3000$ rpm.....	81
Tabel 19	hasil pengukuran kerja parallel.....	85
Tabel 20	klasifikasi fungsi system proteksi.....	89
Tabel 22	Profil Pembangkitan Listrik Tahunan.....	102
Tabel 23	Proyeksi Penjualan Langsung ke Masyarakat (kWh/tahun).....	104
Tabel 24	Proyeksi Penjualan ke Jaringan (kWh/tahun).....	105
Tabel 25	Proyeksi Penjualan Listrik (Rp/tahun).....	106
Tabel 26	Proyeksi Penjualan Listrik 10 Tahun Kedepan.....	107
Tabel 27	Kebutuhan Biaya Operasional per-Tahun.....	107
Tabel 28	Kebutuhan Biaya Selama 10 Tahun.....	108

Tabel 29	Proyeksi Arus Kas.....	108
Tabel 30	Proyeksi Laba-Rugi.....	109
Tabel 31	Estimasi biaya investasi.....	110
Tabel 32	Profil Pembangkit listrik tahunan.....	111
Tabel 33	Proyeksi Penjualan ke Jaringan (kWh/tahun).....	112
Tabel 34	Data harga jual listrik ke jaringan per kWh.....	113
Tabel 35	Proyeksi Penjualan Listrik (Rp/tahun).....	113
Tabel 36	Proyeksi Penjualan Listrik 10 Tahun Kedepan.....	113
Tabel 37	Kebutuhan Biaya Operasional per-Tahun.....	114
Tabel 38	Kebutuhan Biaya Selama 10 Tahun.....	114
Tabel 39	Proyeksi Arus Kas.....	115

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Dewasa ini, kebutuhan akan energi di Indonesia sudah sangat tinggi. Hal ini menyebabkan PT. PLN (Persero) (Perusahaan Listrik Negara) sebagai penyedia Energi Listrik dituntut untuk bisa memenuhi seluruh kebutuhan daya listrik. Faktor utama yang menjadi kendala antara lain makin menipisnya sumber daya energi (batubara, gas dan minyak bumi) dunia sehingga menyebabkan naiknya harga Bahan Bakar Minyak , batubara dan gas yang merupakan bahan dasar pembangkitan. Hal itu pula yang mendorong melonjaknya biaya produksi pembangkit energi yang ada, akhirnya mempengaruhi kualitas dan kuantitas Pembangkit Energi yang ada di Indonesia.

Upaya yang sedang dikembangkan dalam memenuhi permintaan Daya listrik tersebut adalah memanfaatkan Potensi Sumber Daya Alam (SDA) yang tersedia sebagai Pembangkit Energi yang dapat diperbarukan (Renewable Energy).

Energi terbarukan merupakan faktor penggerak ekonomi masa depan. Pembangunan sektor energi dengan tugas utama sebagai alat untuk menanggulangi kemiskinan. Ini merupakan hal utama bagi Indonesia karena alasan pemerataan pembangunan dan memajukan desa-desa sebagai kekuatan baru bagi ekonomi nasional. Hal yang patut disyukuri oleh Bangsa Indonesia adalah potensi energi terbarukan yang melimpah dan tersebar seperti mikro hidro, tenaga angin, tenaga surya, dan biomassa, yang umumnya berada di pedesaan atau bahkan daerah terpencil, di seluruh kepulauan nusantara.

Lokasi sumberdaya energi terbarukan umumnya berada di pedesaan dan desa terpencil, penyediaan energi konvensional di daerah ini memerlukan biaya tinggi

(terutama karena biaya distribusi yang relatif tinggi), mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil, dan pemanfaatan energi terbarukan tidak hanya untuk menyediakan energi bagi keperluan rumah tangga akan tetapi juga untuk menambah penghasilan rumah tangga dengan memperkenalkan dan mengimplementasikan kegiatan-kegiatan atau usaha untuk menambah penghasilan.

Melimpahnya sumberdaya energi terbarukan selain memiliki fungsi strategis sebagai *security of supply* karena keterbatasan sumberdaya energi primer yang berasal dari fosil, juga akan berfungsi sebagai *precursor* bagi kegiatan ekonomi pedesaan. Dengan arahan yang tepat bagi pemanfaatan energi di desa maka diharapkan banyak usaha atau kegiatan produktif yang muncul guna meningkatkan perekonomian rumah tangga dan desa.

Penyediaan energi harus dilindungi ketahanannya. Pada saat sumberdaya energi yang tak terbarukan habis, harus ada sumber-sumber energi baru yang terbarukan yang menggantikannya. Juga pada saat sumberdaya energi tak terbarukan sudah tidak lagi bisa menjadi sumber devisa, harus ada sumber-sumber devisa baru yang terbarukan pula untuk menggantikannya.

Indonesia memiliki potensi Air yang sangat besar. Hal ini dapat dimanfaatkan sebagai alternative Sumber Energi yang *Renewable* . Untuk skala kecil, aplikasi teknologi renewable menggunakan Mikrohidro. Mikrohidro adalah istilah yang digunakan untuk instalasi pembangkit listrik menggunakan energi air. Kondisi air yang bisa dimanfaatkan sebagai sumber daya (*resource*) penghasil listrik adalah memiliki kapasitas aliran dan ketinggian tertentu, Semakin besar kapasitas aliran naupun ketinggiannya dari rumah intalasi (*house generator*), maka semakin besar energi yang bisa dimanfaatkan untuk menghasilkan energi listrik.

1.2. Permasalahan

Adapun rumusan permasalahan mencakup ;

- a. Bagaimana merencanakan pembangunan sebuah PLTMH (Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro) dengan konfigurasi cascade secara umum.
- b. Bagaimana Analisa manfaat terhadap biaya / *Cost-Benefit Ratio* dalam pembangunan sebuah PLTMH yang dikonfigurasi secara cascade.

1.3. Tujuan

Adapun tujuan perancangan PLTMH yang dikonfigurasi secara cascade ini adalah untuk dapat menambah/meningkatkan daya keluaran dari *Power House* Utama yang di konfigurasi *cascade* dengan PLTMH yang baru sebesar 12 kW dan mengetahui analisa pembiayaan pembangunan.

1.4. Batasan Masalah

Agar permasalahan yang dibahas tidak meluas, maka penulis membatasi hanya pada hal-hal berikut :

1. Membahas tentang rancangan pembangunan PLTMH secara umum.
2. Membahas tentang aspek ekonomi-teknis yakni analisa *cost-benefit ratio* pembangunan sebuah PLTMH.
3. Tidak membahas masalah konstruksi sipil PLTMH, hidrologi, dan peralatan mekanikal secara mendalam.
4. Data penelitian perancangan PLTMH secara *cascade* ini Berdasarkan pada hasil penelitian pembangunan PLTMH utama (sebelumnya), dimana diperoleh debit andalan (Q) = 305 l/s
5. Sistem elektrikal pada perancangan ini seperti generator, sistem proteksi, switching dan interkoneksi gejala-gejala hanya dijelaskan secara umum.

6. Karena aspek perancangan PLTMH dengan konfigurasi secara *cascade* ini sangat luas, penulis hanya membobotkan analisa penelitian dari manfaat yang dicapai penambahan daya keluaran 12 kW yang dihasilkan dengan konfigurasi *cascade* melalui proyeksi laba-rugi / *cost benefit ratio* kedua PLTMH ini.

1.5. Metodologi

Metodologi yang digunakan dalam pembahasan skripsi ini adalah :

1. Studi Literatur, dari Artikel, dan buku-buku referensi yang berhubungan dengan judul diatas yang berkaitan PLTMH.
2. Studi Lapangan, disertai pengumpulan data-data pada instansi yang terkait. Adapun Bentuk data yang diambil dan digunakan :
 - Data Kuantitatif, yaitu data yang dapat dihitung atau data yang berbentuk perhitungan.
 - Data kualitatif, yaitu data yang berbentuk site/gambar, bagan perencanaan ataupun grafik.
3. Melakukan perhitungan-perhitungan berdasarkan data-data yang didapatkan.
4. Perancangan PLTMH meliputi :
 - a. Design konsep dengan system *cascade*.

1.6. Sistematika Pembahasan

Pembahasan secara garis besar dibagi dalam 5 bab, yakni :

1. BAB I

Pada bab ini akan diuraikan mengenai latar belakang penelitian, permasalahan berkaitan tentang PLTMH (Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro) yang terpasang di PPLH-Seloliman, batasan permasalahan, tujuan metodologi pembahasan, sistematika pembahasan.

2. BAB II

Bab ini berisikan teori dasar mengenai Perancangan PLTMH.

3. BAB III

Pada bab ini akan membahas Perancangan PLTMH yang dikonfigurasi secara cascade.

4. BAB IV

Pada bab ini berisi analisa proyeksi laba-rugi / *cost benefit ratio* perancangan PLTMH yang dikonfigurasi secara cascade dengan tujuan untuk memperoleh pandangan perencanaan pembangunan dari sisi finansial

5. BAB V

Bab ini merupakan penutup dan berisi kesimpulan serta saran terkait dengan pembahasan permasalahan yang telah dilakukan.

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1. Umum

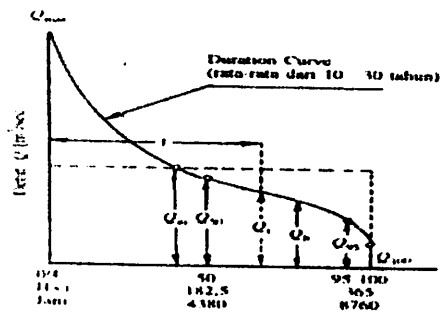
2.1.1. Hidrologi

A. Debit Sungai

Debit sungai merupakan data pokok untuk perencanaan pembangkit tenaga listrik dengan memanfaatkan tenaga potensial air, sehingga debit harus diukur secara teliti dan dalam waktu yang sepanjang mungkin.

Pengukuran debit sungai di lokasi PPLH-Seloliman-Mojokerto, berdasarkan debit andalan yakni pengukuran aliran sungai sepanjang tahun sehingga diperoleh data statistik debit sungai maksimum ataupun minimum.

B. Menentukan debit andalan



gambar 1

ditir: "tenaga air", O.F.Patty

Gambar 2.1; Kurva durasi Debit air
Sumber : "tenaga air", O.F.Patty; hal 12

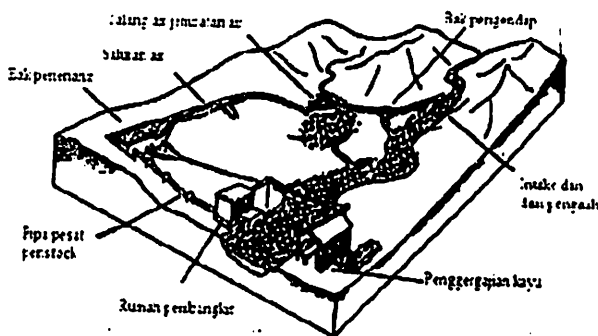
Duration curve adalah suatu grafik yang memperlihatkan debit sungai selama beberapa waktu tertentu dalam satu tahun, debit ini terdapat didalam sungai. (Gambar 2.1). Jelas bahwa debit minimum terdapat selama setahun penuh, debit maksimum (banjir) hanya terdapat selama beberapa jam. Duration curve

digambarkan dari data-data debit, sekurang-kurangnya selama 10 tahun, agar dapat memberikan informasi yang bisa digunakan. Data debit air jadi yang diperoleh saat pembangunan PLTMH I adalah $0.305 \text{ m}^3/\text{det}$.

Untuk menentukan besarnya debit sungai yang diharapkan dalam rangka merencanakan kapasitas turbin serta bangunan sipil lainnya yang diperlukan adalah suatu lengkung debit / *duration curve*, ini dapat diketahui sifat dari sungai tersebut, sehingga dapat diperkirakan besarnya debit andalan yang diharapkan.

2.1.2. Bangunan Sipil

Bangunan sipil yang direncanakan pada pembangkit dengan sistem *cascade* ini meliputi ; Bak penampung , reservoir, *penstock*, saluran tertutup antara bak penampung-reservoir dan *power house*.



Gambar 2.2
Komponen-komponen Besar dari sebuah
Skema Mikro Hidro

Sumber : www.mikrohidro.net

2.1.2.1. Bendung

Bendung adalah bangunan yang berfungsi untuk meninggikan elevasi muka air di sungai sehingga air dapat mengalir kearah *intake* untuk selanjutnya dialirkan kearah saluran pembawa khususnya pada musim kemarau. Bendung dilengkapi dengan pintu air penguras yang berfungsi mengendalikan jumlah air yang masuk

kedalam intake sekaligus sebagai pintu penguras untuk menggelontorkan endapan-endapan lumut (Sedimen) yang cepat atau lambat akan terkumpul dihilu bendung. Pada musim hujan khususnya musim banjir, pintu bendung harus dalam keadaan terbuka agar tekanan air yang menimpa badan bendung dapat dikurangi.

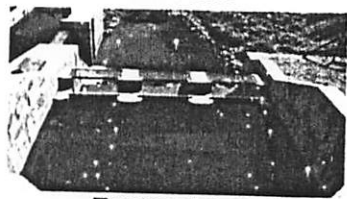
2.1.2.2. Intake

Intake adalah bangunan disisi kiri atau kanan bendung yang berfungsi untuk mengalirkan air kesaluran pembawa sesuai debit yang telah direncanakan. Intake dirancang agar selalu mampu mengalirkan air sesuai dengan debit perencanaan pada kondisi debit sungai yang bagaimanapun. Pada intake dilengkapi saringan kasar untuk mencegah sampah dan kayu-kayu besar masuk kedalam saluran pembawa.

- Intake**
 - **Side Intake**
 - Typical intake
 - At right angles to the river
 - **Tyrolean Intake**
 - Along the weir
 - Simple structure
 - Affected by sedimentation during flooding
 - More maintenance required



Side Intake



Tyrolean Intake

Gambar 2.3;intake

Sumber: www.e7.org/pages/A-Projects/Fiji/Micro-Hydro_fichiers

2.1.2.3. Saluran Pembawa

Merupakan saluran yang berfungsi untuk mengalirkan air dari intake ke bak penenang sehingga pada bak penenang selalu akan diperoleh suplay air sesuai dengan debit yang telah direncanakan.

Headrace

Function:

- Conveys water from the intake to the forebay
- Spillways provided along the headrace for excess water

Flow Capacity

$$Q_d = \frac{A \times R^{2/3} \times S_L^{1/2}}{n}$$

where,

A: Cross-sectional area

R: $R = A/P$

P: Length of wet sides

S_L : Longitudinal slope of headrace

n: Coefficient of roughness



Gambar 2.4; Saluran pembawa

Sumber: www.e7.org/pages/A-Projects/Fiji/Micro-Hydro_fichiers

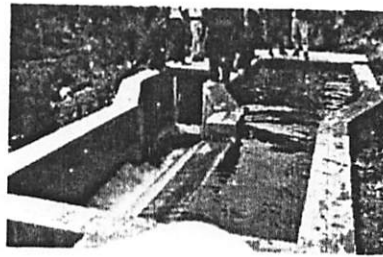
2.1.2.4. Bak Penenang (*Forbay*)

Bak penenang berfungsi untuk mengurangi kecepatan air yang masuk dari saluran, sehingga turbulensi air pada saat masuk kedalam penstock berkurang untuk dapat membangkitkan daya yang optimal. Pada bak penenang dilengkapi dengan saringan (*trash rack*) dimaksudkan agar air yang masuk kedalam turbin bebas dari benda-benda keras yang dapat merusak runner turbin.

Forebay

Function:

- Regulates fluctuating discharge in the penstock and the headrace caused by load fluctuation.
- Has final function to remove materials (silt, sand), debris (leaves, trash, driftwood, etc.) in the water



Attached Structure:

- Spillway
- Screen
- (Regulating gate)

Gambar 2.5; Bak penenang

Sumber: www.e7.org/pages/A-Projects/Fiji/Micro-Hydro_fichiers

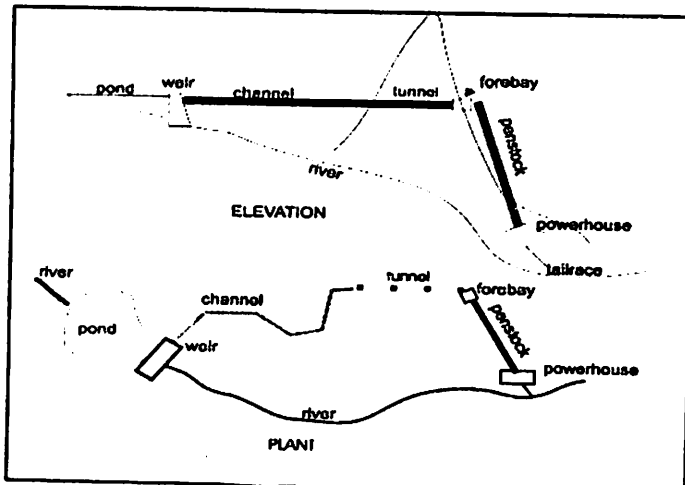
2.1.2.5. Power House

Rumah pembangkit berfungsi untuk melindungi alat-alat pembangkit serta merupakan pusat kontrol dari sistem pembangkit. Diluar rumah pembangkit terdapat *ballast tank*. *Ballast tank* diisi dengan air untuk menyerap panas yang dihasilkan oleh *ballast load* (elemen pemanas air). Dibawah rumah pembangkit terdapat saluran buang (*tail race*) yang berfungsi untuk mengalirkan air kembali ke saluran setelah melalui turbin.

2.1.3. Hidrolika

2.1.3.1. Air Sebagai Sumber Tenaga

Pemanfaatan potensi sumber daya air ini merupakan pemanfaatan energi potensial air menjadi energi kinetis dengan melakukan eskalasi tinggi jatuh (H) (topografis) dan Debit (Q) air.



Sbr: layman, hal 16

Gambar 2.6; Skema tinggi jatuh air

Sumber: "how to develop mikrohydro", Layman; hal.16

a. Tinggi Jatuh Brutto (H_{br}/H_g)

Adalah selisih tinggi muka air direservoir atas dengan muka air saluran pembuangan (*tail race*) jika turbin tak berputar (air tak mengalir)

b. Tinggi Jatuh Netto ($H_n = H_{eff}$)

- Pada turbin reaksi, adalah selisih tinggi tekanan dalam pipa pesat (penstock) sebelum masuk turbin dengan tinggi air belakang ditambah tinggi kecepatan dalam pipa pesat sebelum turbin, dikurangi dengan tinggi kecepatan disaluran pembuang (bila turbin bekerja).
- Pada turbin Impuls, ialah tinggi tekanan ditambah tinggi kecepatan pada tempat sebelum curat (*nozzle*) dikurangi dengan titik terendah pada *pitch circle* dari pada mangkok-mangkok turbin (yang terakhir ini umumnya sesuai dengan titik pusat ujung *nozzle*).

Kehilangan Tenaga

Air dalam pengalirannya dari saluran atas sampai ketail race akan mengalami kehilangan tenaganya ($\sum h_l$) yang dibedakan antara :

1. Major losses ($\sum h_f$), yaitu kerugian tenaga akibat gesekan pada saluran air (pipa pesat).
2. Minor losses ($\frac{\alpha * v^2}{2g}$) dimana :
 V = kecepatan aliran (m/det)
 α = koefisien rugi tenaga

2.2. Perencanaan PLTMH dengan konfigurasi cascade

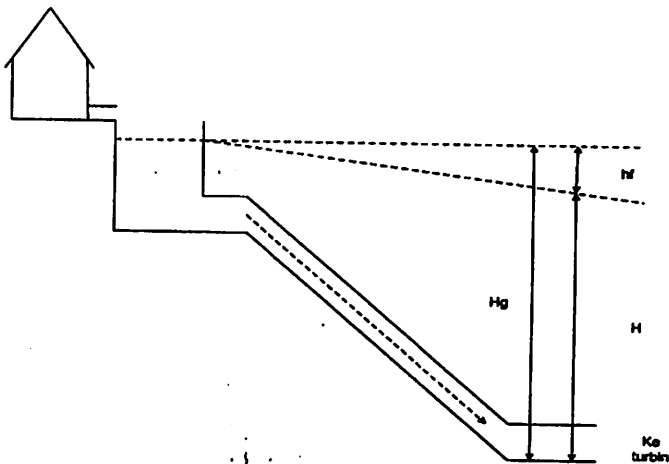
2.2.1. Sistem cascade

Cascade merupakan istilah yang artinya bertingkat. Dalam perencanaannya, sistem *cascade* ini merupakan sistem pengaliran air / *hydran system* dengan memanfaatkan elevasi / beda ketinggian pada topografi suatu wilayah. Dikutip dari <http://www.firehydrant.org/info/cascade.html> menerangkan bahwa "tekanan air meningkat 195,3 kg untuk setiap beberapa meter beda ketinggian / elevasi . Disebutkan juga dari beberapa pengalaman yang telah dilakukan, dengan ketinggian 45 m jatuh air akan menghasilkan sekitar 29,25 kg tekanan air hingga level bawah".

Dengan demikian terdapat potensi energi yang akan dihasilkan dari elevasi topografi dari aliran sungai di Seloliman.

2.2.2. Tinggi Jatuh

Untuk mendapatkan tinggijatuh yang dapat dimanfaatkan, dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 2.7: tinggi jatuh
Sumber: bambang Triatmojo, 1993;59

Sehingga tinggi jatuh dirumuskan sebagai berikut (bambang Triatmojo, 1993;59) :

$$H = H_g - H_f \dots\dots\dots (2.1)$$

Dimana ;

H = Tinggi jatuh efektif (m)

H_g = Tinggi permukaan air dari tendoh sampai tail race (m)

H_f = Kehilangan tinggi jatuh akibat system penyaluran air mulai dari pipa pesat sampai ujung pipa pesat (m)

Sedangkan kehilangan tinggi jatuh (H_f) terdiri dari (bambang triatmodjo,1993 ; 53)

$$H_f = h_b + h_g + h_s + h_p \dots\dots\dots (2.2)$$

Dengan

h_b = Kehilangan tinggi jatuh akibat belokan pipa pesat (m)

- hg = kehilangan tinggi jatuh akibat gesekan air dengan pipa pesat (m)
- hs = kehilangan tinggi jatuh akibat saringan pada pintu pengambilan (m)
- hp = kehilangan tinggi jatuh akibat perubahan penampang dari besar ke kecil (m)

2.2.2.1. Kehilangan tinggi jatuh akibat belokan

Kehilangan tinggi jatuh akibat belokan (hb) dalam pipa pesat dicari dari persamaan (NurYuwono,1990;74) :

$$H_b = K \cdot V^2 / 2g.....(2.3)$$

Dimana :

- hb = Kehilangan tinggi jatuh akibat belokan (m)
- Kb = Koefisien belokan yang besarnya tergantung besarnya sudut
- V = Kecepatan air dalam pipa pesat (m/det)
- g = Percepatan gravitasi (9,81 m/det²)

Harga konstanta Kb diperoleh dengan menggunakan interpolasi dari tabel 2.10 dan besarnya sudut sebagaimana pada gambar berikut.



Gambar 2.8 : besarnya koefisien K sebagai fungsi sudut belokan α
 Sumber: NurYuwono,1990;74

Tabel 1. Harga konstanta K berdasarkan besarnya sudut

α	20°	40 °	60 °	80 °	90 °
K	0,05	0,14	0,36	0,74	0,98

2.2.2.2. Kehilangan tinggi jatuh akibat gesekan

Kehilangan tinggi jatuh akibat gesekan air dengan pipa pesat (hg) dapat dicari dari persamaan (bambang Triatmojdo; 1993 ;28).

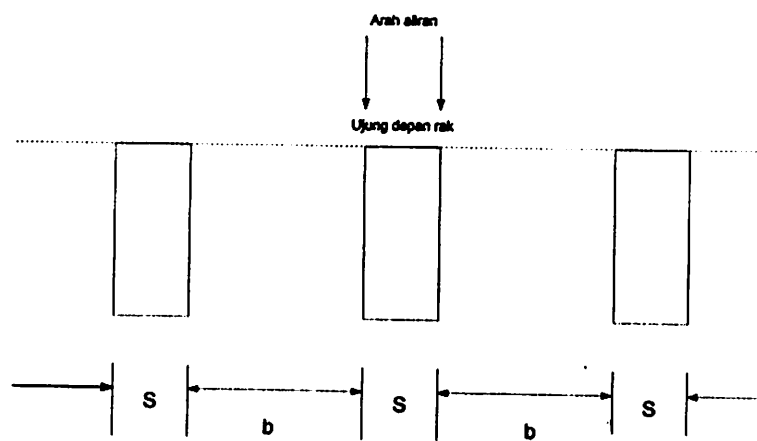
$$H_g = f \cdot \frac{L}{d} \cdot \frac{V^2}{2g}(2.4)$$

Dimana :

- h_g = kehilangan gesekan tinggi jatuh akibat gesekan (m)
- f = koefisien gesekan (0,02 – 0,03) untuk besi dan beton
- L = panjang pipa pesat (m)
- d = diameter pipa pesat (m)
- V = kecepatan air dalam pipa pesat (m/dt)
- g = percepatan gravitasi (9,81 m/det²)

2.2.2.3. Kehilangan tinggi jatuh akibat saringan pada pintu pengambilan

Kehilangan tinggi jatuh pada pintu pengambilan dihitung dengan rumus Kirchmer (O.F.Patty ; 1995;40).



Gambar 2.9 : rugi-rugi pada trash-rack (saringan)
Sumber : "tenaga air", O.F.Patty; hal 23

Faktor β mempunyai nilai-nilai seperti terlihat pada tabel 2 berikut

Arah Aliran	Bentuk	β
		2,42
		1,83

		1,67
		0,76

Sumber : "tenaga air", O.F.Patty; hal 24

$$h_s = C \frac{V^2}{2g} \dots\dots\dots(2.5)$$

$$C = \beta \left(\frac{S}{B} \right)^{4/3} \sin \alpha \dots\dots\dots(2.6)$$

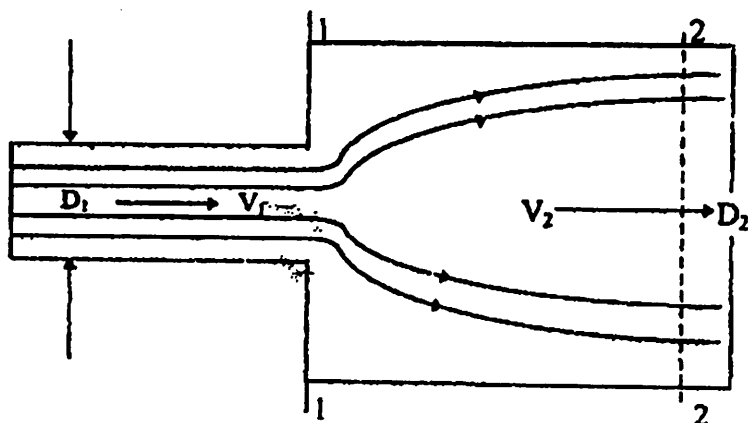
Dimana :

- h_s = kehilangan tinggi pada saringan (m)
- V = kecepatan aliran melalui saringan (m/dt)
- g = percepatan gravitasi (9,81 m/det²)
- s = tebal jeruji (m)
- β = koefisien saringan
- b = jarak bersih antar jeruji (m)
- α = sudut kemiringan saringan

2.2.2.4. Kehilangan tinggi jatuh akibat perubahan penampang

Kehilangan tinggi jatuh akibat perubahan penampang dapat dicari persamaan (Bambang Triatmodjo; 1993;49-53).

- Pipa berdiameter kecil menjadi besar, dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 2.10 : perubahan penampang dari penampang kecil kepenampang besar
Sumber: bambang triatmodjo; 1993;50

Kehilangan tinggi akibat perubahan penampang pipa dari diameter kecil menjadi diameter besar diberikan oleh persamaan berikut :

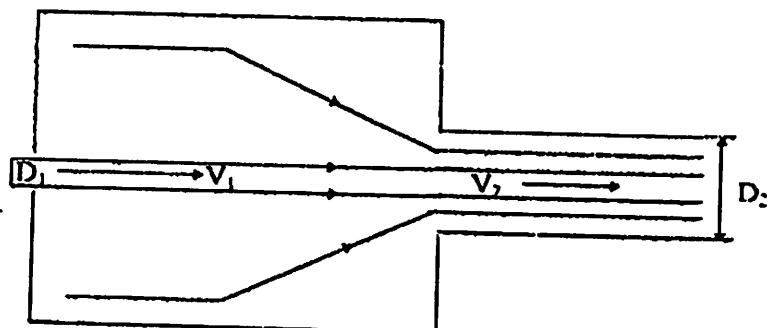
$$H_p = K' \frac{V_1^2 - V_2^2}{2g} \dots\dots\dots(2.7)$$

Dengan K tergantung pada sudut α dan diberikan pada tabel berikut.

Tabel 3 Nilai K sebagai fungsi dari α

α	10°	20 °	30 °	40 °	50 °	60 °	75 °
K'	0,078	0,31	0,49	0,60	0,67	0,72	0,72

- Pipa berdiameter besar menjadi kecil, dapat dilihat pada gambar berikut;



Gambar 2.11: Perubahan penampang dari penampang besar ke penampang kecil
Sumber: bambang triatmodjo; 1993;51

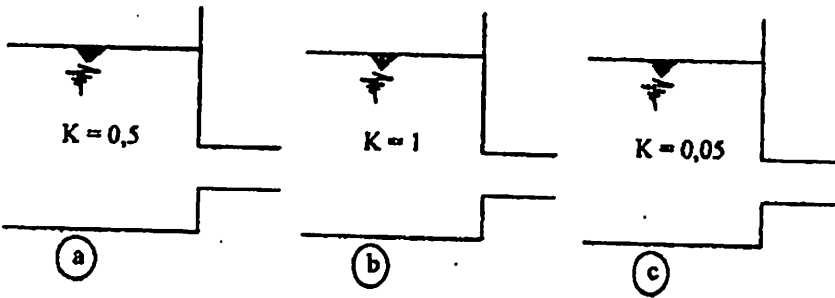
Pada lubang masuk dari kolom ke pipa, kehilangan tinggi tergantung pada bentuk lubang pemasukan. Pada gambar dibawah berikut ini ditunjukkan bentuk lubang pemasukan dari nilai K.

Kehilangan tinggi pada pengecilan pipa diberikan oleh bentuk berikut :

$$h_p = K \cdot \frac{V^2}{2g} \dots\dots\dots(2.8)$$

dimana :

- hp = kehilangan tinggi jatuh akibat perubahan penampang (m)
- V1 = Kecepatan air dipenampang pertama (m/det)
- V2 = Kecepatan air dipenampang kedua (m/det)
- K' = koefisien yang tergantung pada bentuk lubang pemasukan dari kolom ke pipa.
- g = percepatan gravitasi (9,81 m/det2)



Gambar 2.12: macam lubang pemasukan dari kolam
Sumber: bambang triatmodjo; 1993;52

2.2.3.Pipa Pesat (penstock)

2.2.3.1. Dimensi pipa pesat

Diameter pipa pesat (penstock) ditentukan berdasarkan tinggi jatuh yang terjadi dan besarniya debit pembangkitan (debit yang melalui pipa pesat). Untuk mendimensi diameter pipa pesat digunakan ketentuan sebagai berikut (K.Teri Prasetyo, 1993 ; 16) :

Tabel 4; hubungan antara head dan diameter pipa

Tinggi jatuh (H)	Diameter (D)
$h < 50 \text{ m}$	$0,794 - Qp^{0,404}$
$50 \text{ m} < h < 100 \text{ m}$	$0,794 - Qp^{0,404}$
$100 \text{ m} < h < 200 \text{ m}$	$0,733 - Qp^{0,404}$
$H < 200 \text{ m}$	$0,735 - Qp^{0,404}$

Tinggi yang terjadi pada lokasi proyek kurang dari 50 m, maka rumus yang digunakan untuk menentukan diameter pipa pesat adalah :

$$D = 0,794 - Qp^{0,404} \dots\dots\dots(2.9)$$

Dimana ;

- D = diameter pipa pesat (m)
- Qp = debit pembangkit (m³/det)

Dalam kajian ini direncanakan pipa pesat baja. Bagaimanapun baiknya kualitas suatu pipa baja, pasti timbul karat (korosi), oleh karena itu pada tebal yang diperhitungkan selalu ditambahkan tebal untuk karat. Tambahan tebal untuk karat ini diambil (1-3) mm, sehingga (O.F. Patty,34) :

$$\delta = \frac{P \cdot R}{\mu \cdot \sigma} \dots\dots\dots(2.10)$$

Dimana ;

- δ = tebal pipa pesat (mm)
- P = Tekanan air (kg/cm²) ≈ ρ · ha
- ρ = berat jenis air (kg/cm²)
- ha = Besar perubahan tekanan akibat air (%)
- H = tinggi jatuh efektif (m)
- d = diameter pipa pesat (m)
- φ = koefisien las listrik (0,85 – 0,95)
- σ = tegangan yang diperbolehkan dalam satuan ukuran statis (kg/cm²)
- R = jari-jari dalam pipa (m)

2.2.3.2. Pukulan Air

Adanya perubahan yang mendadak pada turbin air mengakibatkan pukulan air mengakibatkan pukulan air (*water hammer*) pada pipa pesat, yang mengakibatkan perubahan tekanan pipa pesat. Tanda-tanda adanya pukulan air dapat dilihat bila terjadi getaran pada pipa pesat. Besar perubahan tekanan akibat pukulan air (M.M Dancleket, dan K.N.Sharma;308-309);

$$h_a = \frac{a \cdot v}{2g}(2.11)$$

dimana ;

- h_a = perubahan tekanan (%)
- a = kecepatan tekanan gelombang (142,5 m/det)
- V = kecepatan air dalam pipa pesat (m/det)
- g = percepatan gravitasi (9,81 m/det²)

2.2.4. Tangki Pendatar (reservoir)

Tangki pendatar/reservoir ditempatkan sebelum pipa pesat, berfungsi untuk (O.F.Patty,1995; 82) ;

1. Menghilangkan tambahan tekanan pada pipa pesat akibat penutupan turbin secara mendadak. Seperti kita ketahui penutupan turbin secara mendadak mengakibatkan timbulnya pukulan air pada pipa pesat.
2. Mengurangi tambahan tekanan pada pipa pesat akibat penutupan turbin secara tiba-tiba.
3. Bila beban bertambah, maka tambahan debit selalu dapat dipenuhi dengan mengambilnya dari tangki, dengan demikian timbulnya kehampaan dalam pipa pesat yang mengakibatkan kerusakan pipa oleh tekanan udara dapat dihindarkan luas tangki pendatar dihitung dengan persamaan sebagai berikut (O.F.Patty,1995;86);

$$AS = \frac{V_o^2 \cdot L \cdot A_t}{2g \cdot h_f \cdot H}(2.12)$$

Dimana ;

- As = luas penampang reservoir (m²)
V = kecepatan air dalam pipa pesat (m/det)
L = panjang pipa pesat (m)
At = luas penampang saluran pipa pesat (m²/det)
g = percepatan gravitasi (9,81 m/det²)
hf = kehilangan tinggi jatuh (m)
H = tinggi jatuh efektif (m)

Tinggi tangki pendatar direncanakan berdasarkan tinggi lonjakan maksimum (naik turunnya air). Besar lonjakan maksimum dapat dicari dari persamaan (O.F.Patty; 87);

$$Z_m = V \sqrt{\frac{L}{g}} \cdot \frac{A_t}{A_s} \dots\dots\dots (2.13)$$

Dimana ;

- Z_m = lonjakan maksimum bila geseran diabaikan
V = kecepatan air dalam pipa pesat (m/det)
L = panjang pipa pesat (m)
g = percepatan gravitasi (9,81 m/det²)
A_t = luas penampang pipa pesat (m²)
A_s = luas penampang tangki pendatar (m²)

2.2.5. Turbin Air

Pada umumnya turbin air dibedakan berdasarkan tinggi terjun airnya. (Arismunandar; S.Kuwahara;1991;53). Berdasarkan aliran kerjanya turbin dibedakan menjadi 2 golongan utama, yaitu ;

1. Turbin impuls

Turbin yang bekerja akibat pancaran air dari mulut pipa (nozzle) ke sudu-sudu turbin. Pancaran air tersebut menyebabkan turbin berputar, disini, tinggi terjun diubah menjadi kecepatan yang menghasilkan tenaga kinetis.

2. Turbin Reaksi

Turbin dimana proses perubahan energi potensial menjadi energi kinetis terjadi pada roda pengantar maupun roda pengantar maupun roda penggerak, sehingga penurunan tekanan pada sudu-sudunya.

Macam-macam turbin berdasarkan tinggi terjun air adalah :

Tabel 5; macam turbin dan efisiensinya

Type turbin	Head range (m)	Jenis runner turbin	Efisiensi %
1. Kaplan & Propeller	$2 < H < 40$	Turbin Reaksi	80-95
2. Francis	$10 < H < 350$	Turbin Reaksi	80-90
3. Pelton	$50 < H < 1300$	Turbin Impuls	80-90
3. Michell-Banki / cross flow	$3 < H < 250$	Turbin Impuls	65-85
5. Turgo	$50 < H < 250$	Turbin Impuls	80-95

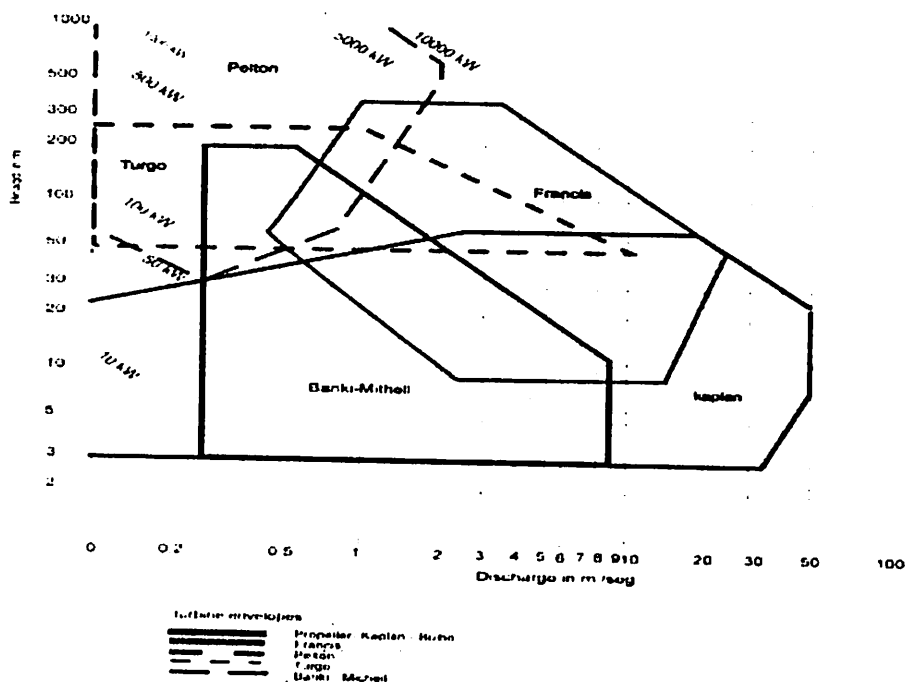
Sbr. Layman, hal 170

Tabel 6; karakteristik *Runner* turbin

Type turbin	Kecepatan normal N (rpm)	Runaway speed N max/n
Kaplan single regulated	75-100	2.0-2.4
Kaplan double regulated	75-150	2.8-3.2
Francis	500-1500	1.8-2.2
Pelton	500-1500	1.8-2.0
Cross-flow	60-1000	1.8-2.0
Turgo	600-1000	2

Sbr: layman, hal 177

Spesifikasi turbin berdasarkan debit air dan daya keluaran



Sumber: layman, hal.175

Grafik 2.1 ; Hubungan antara debit air dan daya keluaran
Sumber: "how to develop mikrohydro", Layman ; hal175

Untuk menentukan jenis turbin yang dipilih, maka terlebih dahulu dicari kecepatan spesifik, yakni kecepatan model turbin (turbin dengan bentuk yang sama tetapi skalanya berbeda), yang bekerja pada tinggi jatuh satu satuan debit sehingga membangkitkan daya output satu satuan daya.

$$N_s = N_g \cdot \sqrt{\frac{P}{H_{eff}^{5/4}}} \dots \dots \dots (2.14)$$

- N_s = kecepatan spesifik (rpm)
- N_g = kecepatan putar generator (rpm)
- P = daya efektif turbin (m)
- H = tinggi jatuh efektif (m)

Kriteria Pemilihan Jenis Turbin

Pemilihan jenis turbin dapat ditentukan berdasarkan kelebihan dan kekurangan unjuk kerja jenis turbin, khususnya untuk suatu rancangan yang sangat spesifik. Pada tahap awal, pemilihan jenis turbin dapat diperhitungkan dengan mempertimbangkan parameter-parameter khusus yang mempengaruhi sistem operasi turbin, yaitu :

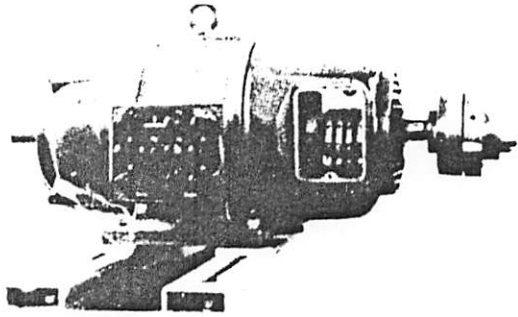
- Faktor tinggi jatuh air efektif (net head) dan debit yang akan dimanfaatkan untuk operasi turbin.
- Faktor daya (Power) yang ingin dicapai sesuai dengan head (H) dan debit (Q) yang tersedia.
- Kecepatan putaran turbin yang akan ditransmisikan kegenerator.

Sehingga jenis turbin dapat ditentukan menurut ketentuan pada tabel-tabel diatas (tabel jenis turbin dan efisiensinya, tabel karakteristik runner turbin dan grafik hubungan daya keluaran dan debit). Sedangkan untuk penentuan elevasi penempatan turbin, titik pusat ditentukan 1-2 meter diatas muka air disaluran bawah (tailrace).

2.2.6. Generator Sinkron³

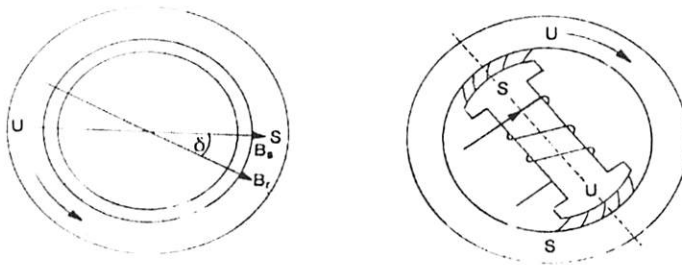
2.2.6.1. Prinsip Kerja

Mesin sinkron mempunyai kumparan jangkar pada stator dan kumparan medan pada rotor. Kumparan jangkarnya berbentuk sama dengan mesin induksi sedangkan kumparan medan mesin sinkron dapat berbentuk kutub sepatu (salient) atau kutub dengan celah udara sama rata (rotor silinder). Arus searah (DC) untuk menghasilkan fluks pada kumparan medan dialirkan ke rotor melalui cincin.



Gambar 2.13
 Generator sinkron jangkar dirotor
Sumber: "dasar tenaga listrik",Zuhal;hal.91

Apabila kumparan jangkar dihubungkan dengan sumber tegangan 3 fasa akan ditimbulkan medan putar pada stator. Kutub medan rotor yang diberi penguat arus searah mendapat tarikan dari kutub medan putar stator hingga turut berputar dengan kecepatan yang sama (sinkron). Dilihat dari segi adanya interaksi dua medan magnet, kopel yang dihasilkan motor sinkron merupakan fungsi sudut kopelnya (δ)



Gambar 2.14
 $T = B_r B_s \sin \delta$
Sumber: "dasar tenaga listrik",Zuhal;hal.92

Pada beban nol, sumbu kutub medan putar berimpit dengan sumbu kutub kumparan medan ($\delta = 0$). Setiap penambahan beban membuat medan rotor ‘ tertinggal ‘ sebentar dari medan stator, terbentuk sudut kopel (δ); untuk kemudian berputar

dengan kecepatan yang sama lagi. Beban maksimum tercapai ketika $\delta = 90^\circ$.

Penambahan beban lebih lanjut mengakibatkan hilangnya kekuatan kopel dan motor disebut kehilangan sinkronisasi.

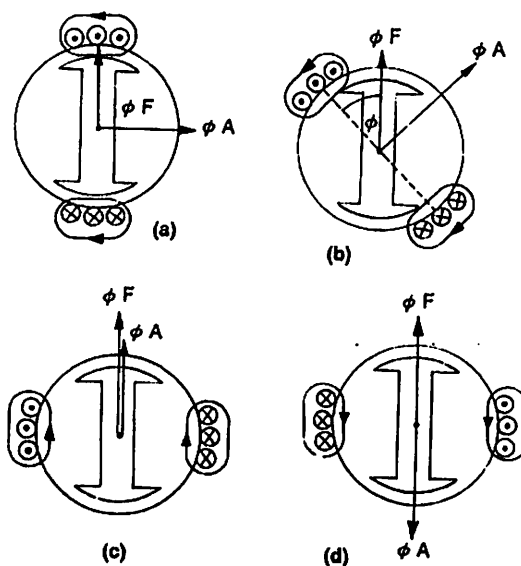
2.2.6.2. Reaksi Jangkar

Apabila generator sinkron (alternator) melayani beban, maka pada kumparan jangkar stator mengalir arus; dan arus ini menimbulkan fluks jangkar. Fluks jangkar yang menimbulkan arus (ϕA) akan berinteraksi dengan yang dihasilkan kumparan medan rotor (ϕF), sehingga menghasilkan fluks resultante (Q_R).

$$Q_R = \phi F + \phi A ; \text{jumlah secara vector.}$$

Adanya interaksi ini dikenal sebagai reaksi jangkar.

Kondisi reaksi jangkar untuk berbagai macam jenis beban adalah sebagai berikut :



Gambar 2.15

Kondisi reaksi jangkar untuk berbagai macam jenis beban
Sumber: "dasar tenaga listrik", Zuhail, hal. 93

Gambar a : Arus jangkar (I) sefasa dengan ggl (E) Jenis Beban : tahanan (resistif) ϕ A tegak lurus terhadap ϕ F	Gambar b : Arus jangkar (I) terdahulu dengan sudut ϵ dari ggl (E) Jenis beban : kapasitif ϕ A terbelakang dengan sudut ($90^0 - \theta$)
Gambar c: Arus jangkar (I) terdahulu 90^0 dari ggl (E) Jenis beban : kapasitif murni ϕ A memperkuat ϕ F, terjadi pengaruh pemagnetan	Gambar d : Arus jangkar (I) terbelakang 90^0 dari ggl (E) Jenis beban : induktif murni. ϕ A memperlemah ϕ F, terjadi pengaruh pemagnetan

Terlihat reaksi jangkar pada alternator bergantung pada jenis beban yang dilayani, dengan perkataan lain bergantung pada sudut fasa antara arus jangkar (I) dengan tegangan induksi (ggl).

2.2.6.3. Alternator tanpa beban

Dengan memutar alternator pada kecepatan sinkron dan rotor diberi arus medan (If), tegangan (Eo) akan terinduksi pada kumparan jangkar stator.

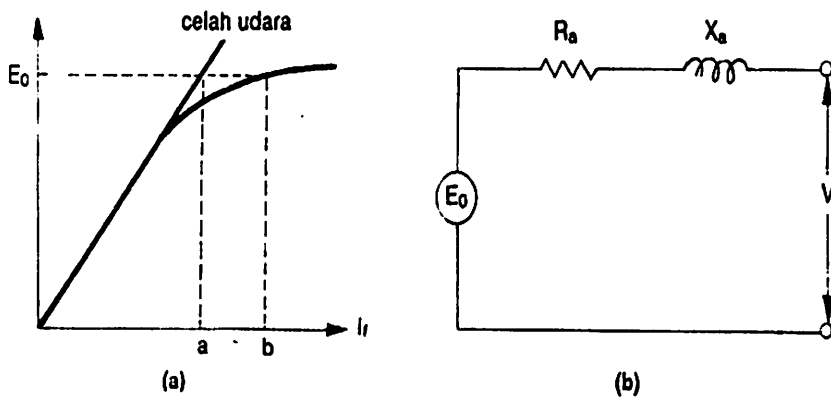
$$E_o = c n \phi$$

c = konstanta mesin

n = putaran sinkron

ϕ = fluks yang dihasilkan oleh If

Dalam keadaan tanpa beban arus jangkar tidak mengalir pada stator, karenanya tidak terdapat pengaruh reaksi jangkar. Fluks hanya dihasilkan oleh arus medan (If). Apabila arus medan (If) diubah-ubah harganya, akan diperoleh harga Eo seperti terlihat pada kurva pemagnetan gambar 2.16a. Pada celah udara kurva pemagnetan merupakan garis lurus.



Gambar 2.16

Sumber: "dasar tenaga listrik", Zuhail; hal.94

ab = tambahan arus medan yang diperlukan untuk daerah jenuh

R_a = tahanan stator

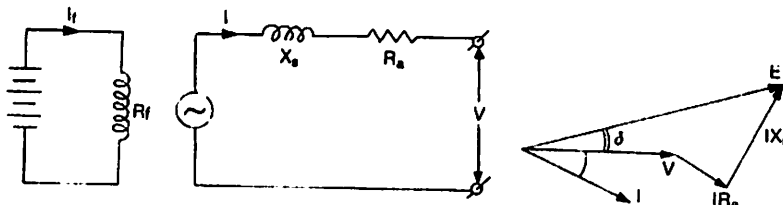
X_a = fluks bocor

$E_0 = V$ (keadaan tanpa beban)

2.2.6.4. Alternator berbeban

Dalam keadaan berbeban arus jangkar akan mengalir dan mengakibatkan terjadinya reaksi jangkar. Reaksi jangkar bersifat reaktif karena itu dinyatakan sebagai reaktansi dan disebut reaktansi pemagnet (X_m).

Reaktansi Pemagnet (X_m) ini bersama-sama dengan reaktansi fluks bocor (X_a) dikenal sebagai reaktansi sinkron (X_s). Model rangkaian dan diagram vektor dari alternator berbeban induktif (faktor kerja terbelakang) dapat dilihat pada gambar 2.17.



Gambar 2.17

$$E = V + I_r a + j I X_s ; X_s = X_m + X_a$$

Sumber: "dasar tenaga listrik", Zuhaili, hal. 95

2.2.6.5. Vektor Diagram Potier

Hubungan parameter (gambar 2.18a) dinyatakan oleh persamaan berikut ini :

$$E = E_a + j I X_m$$

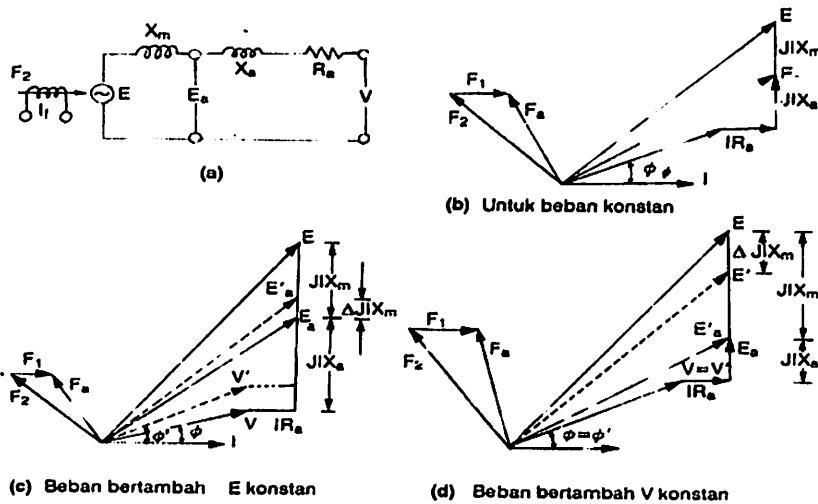
$$E = V + I_r a + j X_a$$

$$E = V + j I (X_m + X_a) + I_r a$$

E merupakan gaya gerak listrik yang dihasilkan gaya gerak magnet F_2 . E_a merupakan gaya gerak listrik yang dihasilkan gaya gerak magnet F_a . Adanya arus beban menyebabkan reaksi jangkar yang akan membangkitkan gaya gerak magnet F_1 . Keadaan tersebut dinyatakan oleh persamaan :

$F_a = F_1 + F_2$ dan hubungan vektornya terlihat pada gambar 18b yang dikenal sebagai diagram potier.

V adalah tegangan terminal dan I adalah arus beban yang mengalir pada stator. Karena adanya reaksi jangkar harga X_m tidak konstan, tetapi berubah sesuai dengan perubahan beban. Untuk mendapatkan gaya gerak listrik E konstan, F_2 harus dibuat konstan. Jika arus beban I bertambah, reaksi jangkar F_1 bertambah dan jumlah vector F_a menjadi lebih kecil. Dengan sendirinya E_a menjadi lebih kecil, demikian pula V , yang bertambah besar adalah reaktansi X_m , sedangkan X_a konstan (perhatikan gambar 2.18c)



Gambar 2.18
 Sumber: "dasar tenaga listrik", Zuhail, hal.96

Untuk mendapatkan tegangan terminal V konstan, pada saat beban bertambah E_a harus dibuat konstan, berarti F_a juga harus konstan dari F_2 diperbesar dengan menambah penguat (perhatikan gambar 18d).

Untuk mendapatkan tegangan terminal yang konstan pada saat alternator dibebani, penguat harus diperbesar. Yang diberi tanda aksen (') adalah keadaan sebelum beban bertambah.

Dalam menggambar diagram potier dari hasil pengujian, panjang komponen vektor yang diperlukan untuk konstruksi diagram potier dapat diperoleh dari hasil pengujian. Pengujian dilakukan dengan mengatur mesin pada kecepatan nominal konstan dan tanpa ada daya keluar.

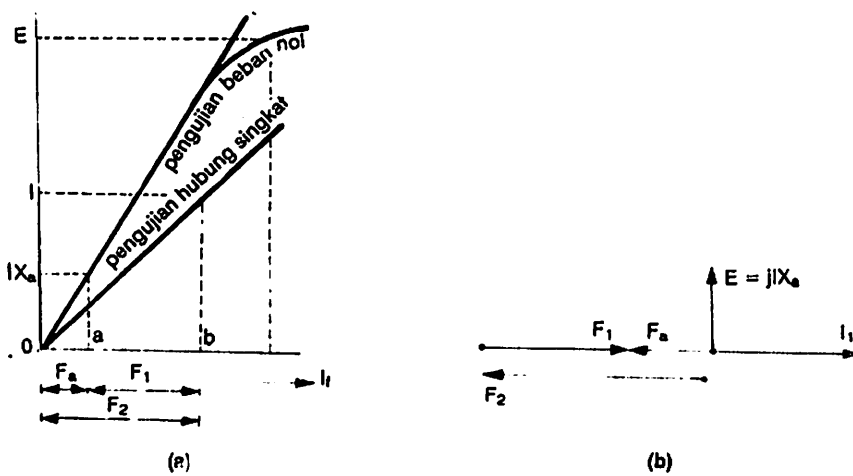
Pengujian beban nol

Pengujian dilakukan dengan menaikkan arus penguat sedikit demi sedikit sampai tercapai tegangan terminal E . Ujung terminal dibiarkan terbuka atau dalam keadaan tanpa beban. Data hasil pengujian dibuat kurva pemagnetan dengan tegangan E yang merupakan fungsi I_f .

Pengujian Hubung singkat

Pengujian dilakukan dengan menaikkan arus penguat pada rotor sedikit demi sedikit sampai keadaan arus beban penuh tercapai. Pada pengujian ini ujung terminal dihubungkan singkat.

Dari kedua pengujian diatas dapat digambarkan kurva seperti gambar 2.19



Gambar 2.19

Sumber: "dasar tenaga listrik",Zuhal;hal.97

Pada pengujian hubung singkat, I_f adalah penguatan untuk menghasilkan arus kerja stator. Jika tahanan stator diabaikan, diagram potier tampak seperti gambar 17b, hal ini karena $V = 0$, $E = j I X_a$ dan harga F_a kecil sekali. F_1 dan F_2 saling berlawanan, besarnya hampir sama. Harga X_a dihitung dari garis kebocoran fluks. Oa adalah harga F_a atau gaya gerak magnet pada keadaan hubung singkat yang diperlukan untuk menghasilkan tegangan $I X_a$ pada beban nol. Sedangkan ob adalah arus penguat medan yang menghasilkan gaya gerak magnet f_2 . Perbedaan ab menyatakan harga F_1 yang ekuivalen dengan arus rotor. Dari keterangan diatas, kita dapat menentukan harga X_a bila parameter lainnya diketahui, namun hasil yang diperoleh kurang teliti.

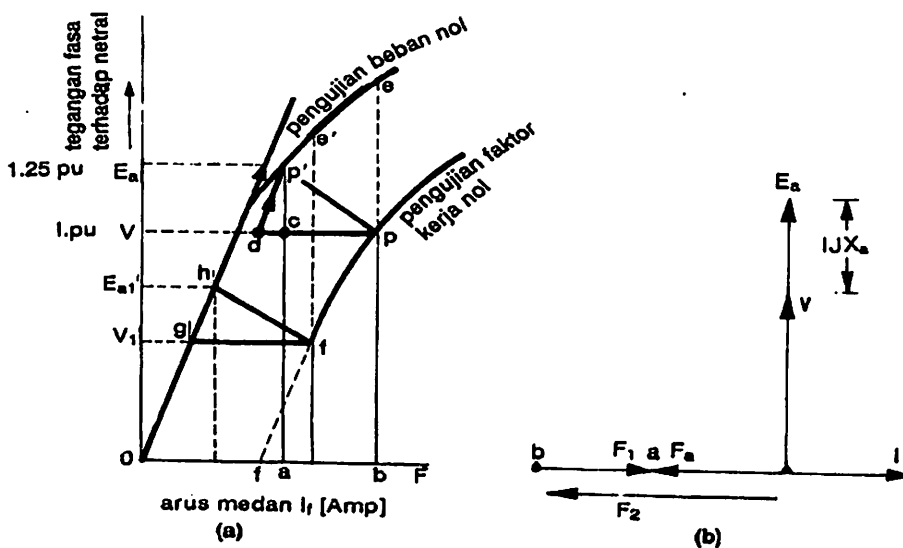
Pengujian faktor kerja nol

Menentukan harga reaktansi bocor X_a dapat dilakukan dengan pengujian berbeban dengan factor kerja sama dengan nol. Pengujian dilakukan seperti pada pengujian beban nol hanya saja dalam hal ini pada faktor kerja nol diberikan beban dan mesin bekerja sebagai reactor. Arus stator pada arus kerjanya dijaga supaya konstan dan demikian pula faktor kerja nolnya, kurva hasil pengujian yaitu V terhadap I_f tampak seperti kurva pemagnetan beban nol yang telah bergeser ke sebelah kanan. Perhatikan gambar 2.20a, untuk mendapatkan tegangan terminal sebesar V pada keadaan operasi seperti ini diperlukan arus medan sebesar ob . Dalam hal ini gaya gerak magnet jangkar (F_1) ekuivalen terhadap arus ab , juga resultan gaya gerak magnet (F_a) ekuivalen terhadap arus medan dan dinyatakan sebagai berikut :

$$oa = ob - ab$$

$$F_a = F_2 - F_1$$

Perhatikan gambar 2.20b.



Gambar 2.20

Sumber: "dasar tenaga listrik", Zuhail; hal.98

Resultan gaya gerak magnet F_a akan membangkitkan tegangan dari kurva kejenuhan beban nol sebesar E_a volt. Karena pada operasi faktor kerja sama dengan nol, penjumlahan secara aljabar (biasa) V dan $I X_a$ akan menghasilkan tegangan yang dibangkitkan. Jadi garis $P'C$ ekivalen dengan tegangan reaktansi bocor.

$$X_s = \frac{\text{tegangan } P'C}{\text{arus ker jangkar}}$$

Titik d diperoleh karena perpotongan garis yang dibentuk dari titik P sejajar karakteristik beban nol pada daerah titik jenuh dengan garis yang diluar dari titik P sejajar ob. Pada akhirnya diperoleh segitiga potier ($PP'd$).

2.2.6.6. Reaktansi Sinkron

Harga X_s diperoleh dari dua macam percobaan yaitu percobaan tanpa beban dan percobaan hubungan singkat. Dari percobaan tanpa beban diperoleh harga E_o sebagai fungsi arus medan (I_f). Seperti telah diterangkan, hubungan ini menghasilkan kurva pemagnetan, dan dari kurva ini harga yang akan dipakai adalah harga liniernya (unsaturated). Pemakaian harga linier yang merupakan garis lurus cukup beralasan mengingat kelebihan arus medan pada keadaan jenuh sebenarnya dikompensasi oleh adanya reaksi jangkar.

Percobaan hubungan singkat akan menghasilkan hubungan antara arus jangkar (I) sebagai fungsi arus medan (I_f), dan ini merupakan garis lurus (I_{hs}). Jadi harga reaktansi sinkron adalah :

$$X_s = \frac{E_o}{I_{hs}} = \frac{oa}{bc} ; \text{ harga } R_a \text{ diabaikan.}$$

Seperti telah diuraikan diatas reaktansi sinkron X_s diperoleh dari harga liniernya atau dalam keadaan tidak jenuh. Karena itu hasil yang diperoleh kurang teliti dan hanya dapat dipakai untuk menghitung secara kasar. Untuk memperoleh harga X_s yang lebih tepat dapat digunakan segitiga potier (gambar 2.20b).

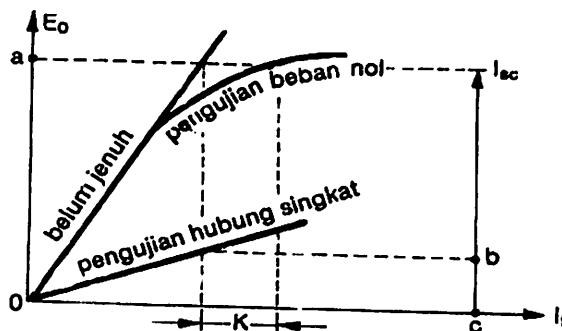
Dari uraian terdahulu diketahui bahwa segitiga potier ditentukan dari karakteristik kejenuhan beban nol dan karakteristik faktor kerja nol sebuah mesin. Jika segitiga

Harga reaktansi sinkron dapat diperoleh dari karakteristik beban nol dan karakteristik faktor kerja nol. Jika mesin mempunyai karakteristik seperti gambar 20a yang dioperasikan pada faktor kerja nol dan tegangan terminal per fasa V dengan arus medan yang diperlukan adalah ob . Jika beban berubah arus medan ob akan menghasilkan tegangan terminal per fasa E_o pada kurva tanpa beban. Karena faktor kerja beban nol, praktis E_o merupakan jumlah tegangan terminal V dengan IX_s .

$$X_s = \frac{\text{legangan, } eP}{\text{arusno min al / fasa}}$$

untuk hal yang pertama (sebelum segitiga potier digeser

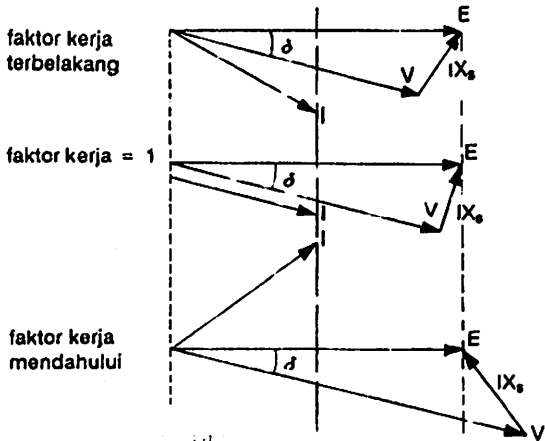
Dari kedua keadaan tersebut dapat dilihat bahwa e_f lebih besar dari e_P . Karena harga arus nominal kedua keadaan tersebut sama, reaktansi sinkron keadaan kedua lebih besar dari pada keadaan pertama.



Sumber: "dasar tenaga listrik",Zuhal;hal.100

2.2.6.7. Pengaturan tegangan

Diagram vektor pada gambar 2.22 memperlihatkan bahwa terjadinya perbedaan antara terminal tegangan terminal V dalam keadaan berbeban dengan



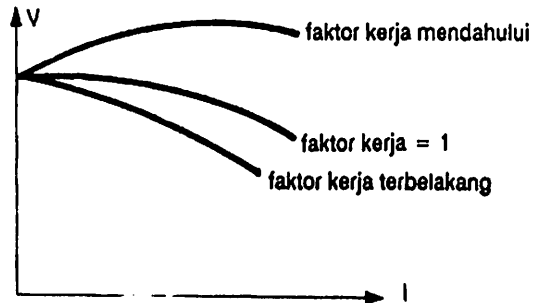
Gambar 2.22

Sumber: "dasar tenaga listrik", Zuhail; hal. 100

Tegangan E_o pada saat tidak berbeban dipengaruhi selain oleh faktor kerja juga oleh besarnya arus jangkar (I) yang mengalir. Gambar dibuat berdasarkan n , I_f , dan E yang konstan. Perubahan arus jangkar (I), dilakukan dengan mengubah faktor kerja beban. Dengan memperhatikan perubahan tegangan V untuk faktor kerja berbeda-beda pada gambar diatas, karakteristik tegangan terminal V terhadap arus jangkar I dapat digambar sebagai berikut :

Pengaturan tegangan adalah perubahan tegangan terminal alternator antara beban nol dengan beban penuh. Hal ini dinyatakan sebagai :

$$\text{Pengatur tegangan} = \frac{E_o - V}{V}$$



Gambar 2.23

Sumber: "dasar tenaga listrik", Zuhaili; hal. 101

2.2.6.8. Menentukan pengaturan tegangan

Ada tiga cara untuk menentukan pengaturan tegangan pada mesin yang besar yaitu :

- a. Impedansi sinkron atau metoda gaya gerak listrik.

Metoda impedansi sinkron

1. Menentukan harga impedansi sinkron dari karakteristik beban nol dan karakteristik hubung singkat.
 2. Menentukan harga X_s atau reaktansi sinkron seperti telah diuraikan sebelumnya.
 3. Menentukan harga tegangan dalam E_o .
 4. Menentukan harga pengaturan tegangan.
- b. Metoda ampere lilitan atau metode gaya gerak listrik

Pada cara ini reaktansi bocor X_a diabaikan dan reaksi jangkar diperhitungkan. Ampere lilitan yang diperlukan untuk membangkitkan tegangan V pada beban penuh adalah jumlah vector sebagai berikut.

V adalah tegangan terminal yang jika dijumlahkan dengan tegangan jatuh I_r akan menghasilkan E . Medan yang diperlukan untuk membangkitkan tegangan ini adalah F_e . Pada pengujian hubung singkat arus medan disesuaikan sampai keadaan arus normal dicapai, yang dalam hal ini

adalah sebesar F1. Kemudian ditentukan harga F2 untuk mendapatkan tegangan Eo. Ditentukan pula harga prosentase pengaturan tegangan

$$= \frac{E_o - V}{V} \times 100\%$$

c. Metoda faktor daya nol / metode potier.

Seluruh metoda diatas digunakan untuk mendapatkan harga Eo atau tegangan tanpa beban. Untuk maksud tersebut perlu diketahui harga tahanan jangkar Ra, karakteristik beban nol, dan karakteristik hubung singkat.

1. Tahanan stator Ra perfasa dapat diukur langsung dengan menggunakan voltmeter dan amperemeter atau hubungan dengan menggunakan *wheatstone*. Namun harga tahanan ini dalam keadaan kerja akan berbeda dengan hasil pengukuran karena ada pengaruh permukaan penghantar. Harga Ra kira-kira 1,6 kali harga Ra pengukur dengan arus searah.
2. Karakteristik beban nol diperoleh dari data hasil pengujian dalam keadaan tanpa beban.
3. Karakteristik hubung singkat diperoleh dari data hasil pengujian hubung singkat.

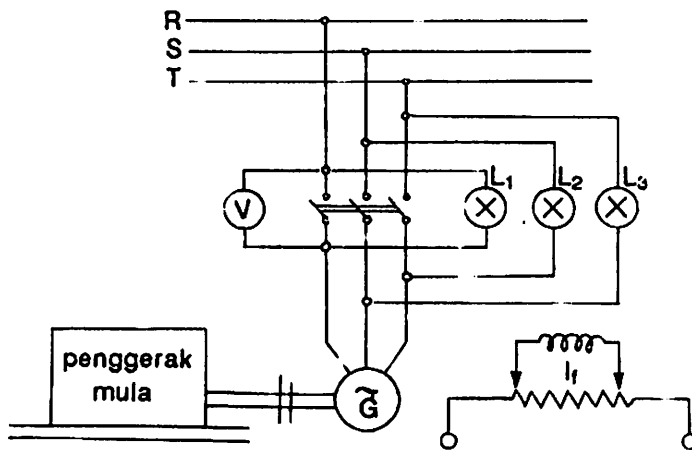
Hasil yang diperoleh dengan menggunakan metode ini kurang teliti. Pengaturan dapat dilakukan untuk faktor kerja terdahulu, *unity* ataupun terbelakang.

2.2.6.9. Kerja Paralel Generator

Untuk melayani beban berkembang, ada kalanya kita harus memparalelkan dua atau lebih alternator dengan maksud memperbesar kapasitas daya yang dibangkitkan. Selain untuk tujuan diatas, kerja paralel juga sering dibutuhkan untuk menjaga kontinuitas pelayanan apabila ada mesin (alternator) yang harus dihentikan, misalnya untuk istirahat atau reparasi. Untuk maksud memparalel ini, ada beberapa persyaratan yang harus dipenuhi, yaitu :

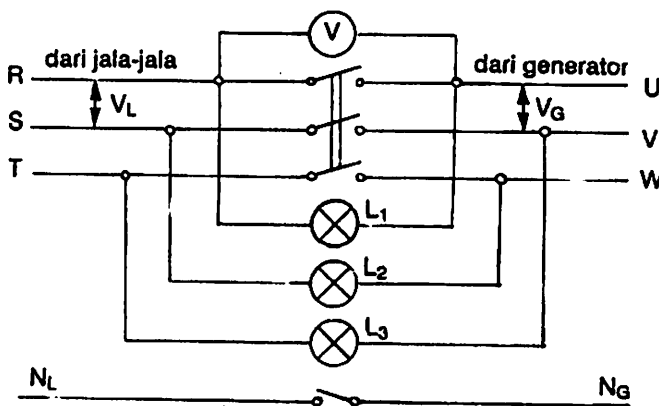
1. Harga sesaat ggl kedua alternator harus sama besar, dan bertentangan arah atau harga tegangan efektif terminal alternator harus sama besar dan bertentangan arah dengan harga efektif tegangan jala-jala.
2. Frekuensi kedua alternator atau frekwensi alternator dengan jala-jala harus sama.
3. Urutan fasa kedua alternator harus sama.
4. Fasa kedua alternator harus sama dan bertentangan setiap saat.

Misalkan suatu geberator G akan diparalel dengan jala-jala. Mula-mula G diputar oleh penggerak mula mendekati putaran sinkronnya, lalu penguatan I_f diatur hingga tegangan terminal generator tersebut sama dengan tegangan jala-jala. Untuk mendekati frekuensi dan urutan fasa kesemua tegangan (generator dan jala-jala) digunakan alat pendeteksi seperti pada gambar 24 berupa lampu sinkronoskop hubungan terang. Benar tidaknya hubungan parallel tadi, dapat dilihat dari lampu tersebut. Jika rangkaian untuk parallel itu benar (urutan fasa sama), lampu L1, L2 dan L3 akan hidup mati dengan frekuensi $f_L - f_G$ cycle. Sehingga apabila ke 3 lampu sedang tidak berkedip berarti $f_L = f_G$ atau frekuensi tegangan generator dan jala-jala sudah sama.



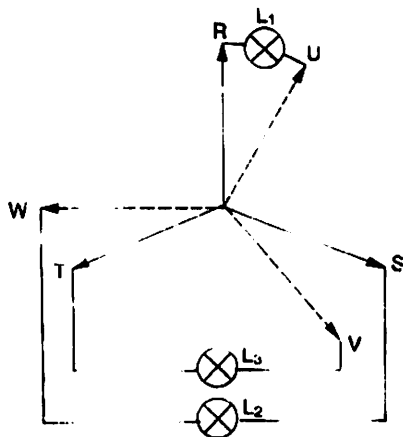
Gambar 2.24
 Sumber: "dasar tenaga listrik",Zuhal;hal.106

Untuk mengetahui bahwa fasa kedua tegangan (generator dn jala-jala) sama dapat dilihat dari lampu L1,L2 dan L3 yang untuk hubungan seperti pada gambar 2.25, L1 akan mati dan L2,L3 menyala sama terang. Frekuensi tegangan generator diatur oleh penggerak mula sedang besar tngangan diatur oleh penguatan medan. Jika rangkaian untuk paralel urutan fasa tidak sama, lampu L1,L2 dan L3 akan hidup-mati bergantian dengan dengan frekuensi ($f_L + f_G$) cycle.

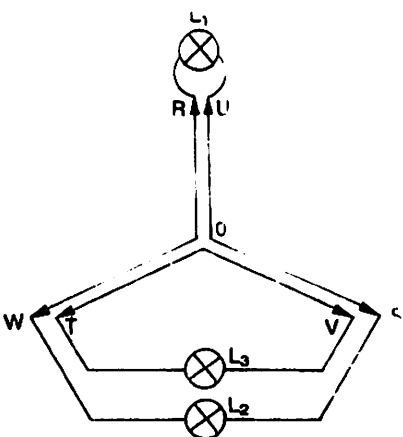


Gambar 2.25
 Sumber: "dasar tenaga listrik",Zuhal;hal.108

Dalam hal ini dua buah fasa (seberang) pada terminal generator harus kita pertukarkan. Untuk jelasnya lihat diagram pada gambar 2.25 dan gambar 2.24.



Gambar 2.26



Gambar 2.27

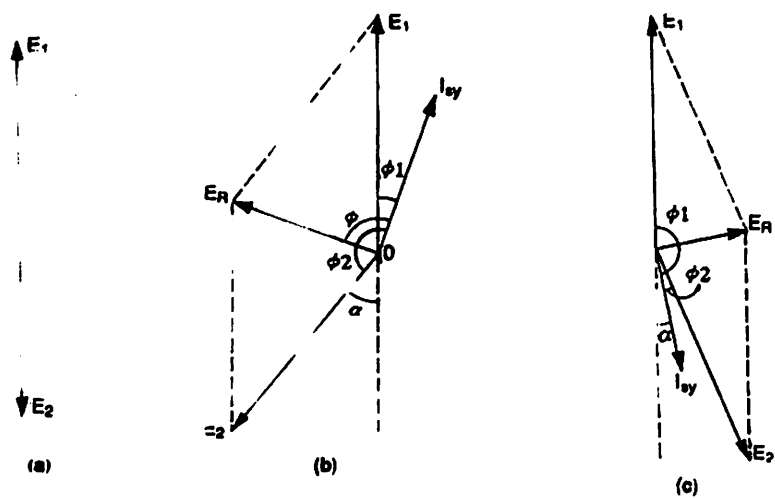
Sumber: "dasar tenaga listrik",Zuhal;hal.108

R,S dan T urutan fasa tegangan jala-jala, U,V dan W urutan fasa tegangan generator. Jika urutan kedua sistem tegangan sama, lampu L1,L2 dan L3 akan hidup-mati bergantian dengan frekuensi f_L - f_G cycle. Saat memparalel adalah pada keadaan L1 mati sedang L2 dan L3 menyala sama terang, dan keadaan ini berlangsung agak lama (yang berarti f_L dan f_G sudah sangat dekat atau benar-benar sama).Dalam keadaan ini, posisi semua fasa sistem tegangan jala-jala berimpit dengan semua fasa sistem tegangan generator.

L1 ; mendapat tegangan $V_{ru} = 0$ (lampu mati) karena R berimpit dengan U ($V_{mu} = V_{or} - V_{uo} = 0$), L2 ; mendapat tegangan $V_{ts} \neq 0$ (lampu hidup). $V_{ws} = V_{wo} - V_{so} = \sqrt{3} V_{so}$. L3 ; mendapat tegangan $V_{tv} \neq 0$ (lampu hidup). $V_{tv} = V_{to} - V_{vo} = \sqrt{3} V_{vo}$.

2.2.6.10. Arus Sinkronisasi

Dua alternator yang bekerja paralel dalam keadaan sinkron berkecenderungan mempertahankan keadaan tersebut. Pada saat alternator dalam keadaan tepat sinkron, tegangan kedua alternator sama besar dan saling berlawanan.



Gambar2. 28
 Sumber: "dasar tenaga listrik",Zuhal;hal.109

Perhatikan gambar 28a, dalam hal ini tidak ada arus sirkulasi. Dalam hal ini tidak ada arus sirkulasi. E_1 adalah gaya gerak listrik alternator nomor 1 dan fasanya akan saling berlawanan dengan gaya gerak listrik E_2 dari alternator nomor 2. Pada gambar 28b terlihat tegangan E_2 terbelakang. Dianggap $E_1 = E_2$ sehingga ada tegangan E_r yang menyebabkan adanya arus sirkulasi. Harga arus sikronisasi ini diketahui sebesar $I_{sy} = \frac{E_r}{Z_s}$, dengan Z_s adalah impedansi dari kedua mesin

tersebut. Arus I_{sy} terbelakang terhadap E_r dengan sudut ϕ sebesar $\text{arc tg} \left(\frac{X_s}{R_a} \right)$ dengan X_s adalah jumlah reaktansi kedua mesin tersebut. Juga R_a merupakan tahanan jangkar kedua mesin tersebut. Karena harga R_a biasanya kecil dan diabaikan maka besar sudut ϕ kira-kira $= 90^\circ$. Disini mesin nomor satu akan bekerja sebagai sebagai generator dan mesin nomor 2 akan bekerja sebagai motor.

Arus sinkronisasi akan membangkitkan kopel yang akan menyebabkan vektor tegangan E2 bergeser ke kanan untuk mendapatkan keadaan sinkron.

Jika E2 terdahulu seperti gambar 28c, Isy akan dibangkitkan mesin nomor 2 dan mesin nomor 1 akan bekerja sebagai motor. Tegangan E2 tetap dan tegangan E1 akan bergeser kekiri karena adanya kopel yang dibangkitkan oleh arus Isy untuk mendapatkan keadaan sinkron:

2.2.6.11. Daya sinkronisasi

Dalam gambar 28b terlihat mesin nomor 1 bekerja sebagai pembangkit dan mensuplai daya sinkronisasi sebesar $E1 I_{sy} \cos \phi 1$, dengan harga $\phi 1$ kecil. Daya keluar mesin tersebut disuplai sebagai ; a) masukan bagi mesin nomor 2, b) rugi tembaga rangkaian jangkar kedua mesin tersebut. Daya masuk ke mesin nomor 2 adalah $E2 I_{sy} \cos \phi 2$ yang diperkirakan sama dengan $E2 I_{sy}$.

Jadi, $I_{sy} E1 = E2 I_{sy} + \text{rugi tembaga}$. $E1 = E2$ diperkirakan.

$$E_r = 2E \cos \frac{(180^\circ - \alpha)}{2} = 2E \cos (90^\circ - \frac{\alpha}{2}) = 2E \sin (\frac{\alpha}{2}) \quad 2 E \times \frac{\alpha}{2} = E \alpha$$

dengan α dalam radian listrik.

$$I_{sy} = \frac{E_r}{Z_s} = \frac{E_r}{X_s} = \frac{\alpha E}{X_s}$$

Daya sinkronisasi yang dikirim mesin nomor 1 adalah : $P_{sy} = E1 I_{sy}$

$$P_{sy} = \left(\frac{\alpha E}{X_s} \right) \times E = \left(\frac{\alpha E^2}{X_s} \right) \text{ (daya perfasa) .}$$

$P_{sy} = E \alpha \times I_{sc}$ dengan $\frac{E}{X_s} = I_{sc}$ arus hubung singkat. Total daya sinkronisasi adalah $3P_{sy}$.

2.2.6.12. Torsi Sinkronisasi

Torsi sinkronisasi T_{sy} dinyatakan dalam N-meter. Daya sinkronisasi besarnya adalah :

$$3P_{sy} = T_{sy} \times 2\pi \times \frac{N_s}{60} \text{ (watt)}$$

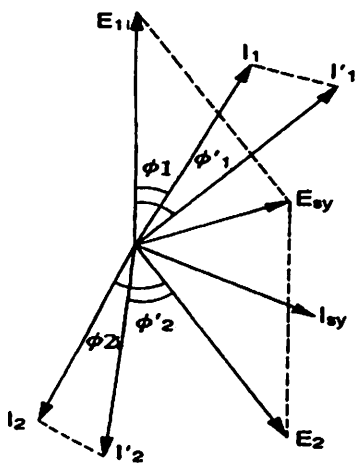
$$T_{sy} = 3 \frac{P_{sy} \times 60}{2\pi N_s}$$

Dengan N_s adalah kecepatan sinkronisasi dan sama dengan 120 f/p

2.2.6.13. Pembagian beban pada alternator paralel

Jumlah beban yang diterima alternator yang bekerja paralel bergantung pada pengaturan kopel daya masuk pada mesin penggerak mula. Perubahan penguatan hanya akan berubah kVa yang keluar dan dapat mengubah faktor kerja beban yang dibangkitkan, dengan tidak mengubah kW mesin tersebut.

Pada gambar 2.29 , I_1 dan I_2 masing-masing mempunyai faktor kerja $\cos \phi_1$ dan $\cos \phi_2$. Arus total yang disuplai beban merupakan jumlah vektor arus I_1 dan I_2 . Bila daya masuk untuk mesin penggerak mula generator nomor 2. Dinaikkan, vektor gaya gerak magnet bergeser kekanan seperti tampak pada gambar. Resultan tegangan E_{sy} yang dihasilkan akan menimbulkan arus sirkulasi I_{sy} yang terbelakang hampir 90° terhadap vektor tegangan E_{sy} .



Gambar 2.29

Sumber: "dasar tenaga listrik",Zuhal;hal.114

$I'2$ adalah arus jangkar baru dari mesin nomor 2 yang merupakan jumlah vektor I_{s2} dan I_2 . Ternyata $I'2$ lebih besar dari pada I_2 dan sudut $\phi'2$ lebih kecil dari pada ϕ_2 . Arus I_{s2} ini juga lewat mesin nomor 1 dan menyebabkan arus I_1 berubah menjadi $I'1$ yang lebih kecil dari pada I_1 , sedangkan sudut $\phi'1$ lebih besar daripada ϕ_1 . Dari uraian diatas dapat diketahui bahwa kenaikan daya masuk pada mesin penggerak mula dapat menyebabkan mesin tersebut mengambil beban yang lebih besar pada faktor kerja yang berbeda. Ada beberapa hal yang perlu diingat :

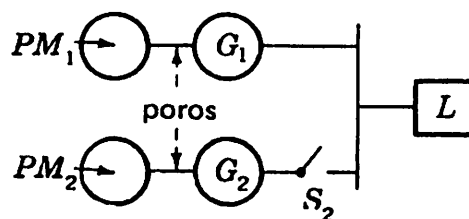
1. Beban yang diambil masing-masing alternator bergantung pada pengaturan kopel.
2. Penguatan hanya mengubah faktor kerja.
3. Jika daya yang masuk ke mesin penggerak dijaga konstan tetapi penguatan diubah, komponen kVa yang keluar dari mesin tersebut dapat berubah sedangkan komponen kWnya tetap.

2.2.6.14. Generator-generator sinkron yang saling dihubungkan (*Interconnected Synchronous generators*)¹.

Sistem daya listrik terdiri atas sejumlah besar generator serempak yang dihubungkan secara paralel melalui saluran transmisi dan mencatu sejumlah daya beban yang tersebar dimana-mana. Untuk memberi gambaran tentang bentuk dasar cara kerja paralel dalam skala yang sangat disederhanakan, perhatikan suatu sistem dasar yang terdiri atas dua buah generator 3 fasa yang sepada G_1 dan G_2 dengan penggerak mula masing-masing PM_1 dan PM_2 mencatu daya pada beban L , seperti tampak pada diagram jala-jala tunggal (gambar 30). Misalkan generator G_1 mencatu beban pada tegangan dan frekuensi yang diinginkan, dan generator G_2 terputus. Generator G_2 dapat diparalelkan dengan G_1 dengan menggerakkannya pada kecepatan serempak dan mengatur peneralan medannya sehingga tegangan terminalnya sama dengan yang berasal dari bus. Bila frekuensi

dari mesin yang dihubungkan tidak tepat sama dengan yang berasal dari bus, maka hubungan fasa antara teganganya dan tegangan yang berasal dari bus akan berubah selaras dengan perbedaan antara frekuensi dari kedua tegangan besarnya mungkin kurang dari satu putaran tiap detik. Penyambung arus S2 harus tertutup pada saat kedua tegangan sefasa sementara dan tegangan pada penyambung besarnya nol. Suatu piranti untuk menunjukkan saat yang sama disebut sinkroskop. Setelah G2 diserempakkan dengan cara demikian, masing-masing mesin dapat diatur melalui kutub pengatur penggerak utama dan peneralan medan untuk mengambil jatuh beban daya aktif dan daya pasif.

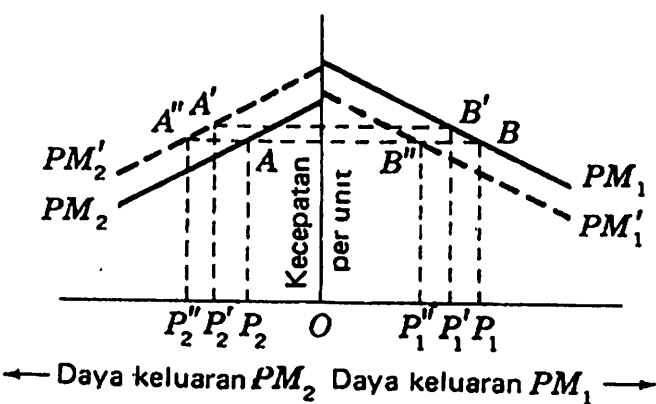
Berlawanan dengan generator DC, generator sinkron yang diparalel harus bekerja pada kecepatan keadaan mantap yang tepat sama (untuk jumlah kutub yang sama). Karenanya, bagaimana daya aktif terbagi diantara mesin-mesin tersebut hampir tergantung sepenuhnya pada karakteristik daya-kecepatan dari masing-masing penggerak mula.



Gambar 2.30
Hubungan kerja dari dua generator sinkron
Sumber: "mesin sinkron", Abdulkadir; hal.76

Pada gambar 2.30, garis-garis utuh yang miring PM1 dan PM2 menyatakan karakteristik daya-kecepatan dari kedua penggerak mula dengan katub pengatur terbuka tetap. Semua penggerak mula praktis mempunyai karakteristik daya-kecepatan yang condong kebawah. Beban keseluruhan PL terlihat sebagai garis datar AB, dan keluaran daya generator adalah P1 dan P2 (rugi-rugi diabaikan),

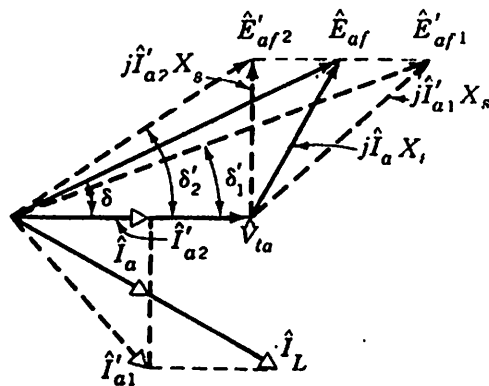
sekarang misalkan pembuka katub pengatur PM2 diperbesar, maka kurva daya kecepatan bergeser keatas pada garis putus-putus PM'2. Selanjutnya garis putus-putus A' B' menyatakan daya beban. Perhatikan bahwa keluaran dari generator 2 sekarang telah bertambah besar dari P2 ke P'2 sedangkan yang berasal dari generator 1 telah berkurang dari P1 ke P'1. Pada saat yang sama, frekuensi sistem telah bertambah besar. Frekuensi dapat dikembalikan ke normal dengan menggeser beban lebih lanjut dari generator 1 ke generator 2 dengan menutup katub pengatur pada generator 1, sehingga keadaan demikian daya beban dinyatakan oleh A'' B'', dan keluaran daya dari masing-masing generator adalah P1'' dan P2''. Jadi, frekuensi sistem dan pembagian daya aktif diantara generator dapat diatur dengan katub pengatur penggerak mula.



Gambar 2.31
 Karakteristik daya-kecepatan penggerak-mula
 Sumber: "mesin sinkron", Abdulkadir, hal. 78

Perubahan-perubahan pada peneralan akan berpengaruh terhadap tegangan terminal dan pembagian daya-reaktif. Sebagai contoh, kedua generator sepadan pada gambar 2.30 diatur sehingga beban aktif dan beban pasif terbagi sama besar. Diagram fasornya tampak sebagai garis utuh pada gambar 2.31, dimana V_t merupakan tegangan terminal, I_L adalah arus beban, I_a merupakan arus gandar-

kumparan pada masing-masing generator, dan E_{af} adalah tegangan peneralan. Jatuhnya tegangan reaktansi serempak pada tiap-tiap generator adalah $jI_a X_s$, sedangkan turunnya tahanan diabaikan. Sekarang misalkan peneralan dari generator 1 diperbesar. Maka tegangan bus V_{ta} akan bertambah besar pula. Tegangan tersebut akan dapat dipulihkan ke normal dengan mengurangi peneralan pada generator 2. Keadaan akhir terlihat berupa fasor garis putus-putus pada gambar 2.31. Tegangan terminal, arus beban, dan faktor daya beban tak berubah. Karena katub pengatur tidak diapa-apakan, maka keluaran daya dan komponen sefasa arus gandar-kumparan generator tidak berubah. Tegangan peneralan E_{af1} dan E_{af2} telah beringsut sefasa sedemikian sehingga $E_{af} \sin \delta$ tetap harganya. Pada saat ini generator dengan peneralan membesar mengambil lebih banyak beban kVA-reaktif tertinggal. Untuk keadaan yang digambarkan sebagai fasor garis putus-putus pada gambar 2.31, generator 1 mencatu semua kVar, dan generator 2 bekerja pada faktor daya satu. Jadi tegangan terminal dan pembagian daya reaktif diantara generator dapat diatur dengan peneralan medan.



Gambar 2.32
Efek dari pengubahan peneralan pada dua buah generator serempak yang diparalelkan
Sumber: "mesin sinkron", Abdulkadir, hal. 79

Biasanya katub pengatur penggerak mula diatur melalui pengatur frekuensi otomatis sedemikian sehingga frekuensi sistem terjaga pada harga yang boleh dikatakan tetap dan daya terbagi serasi diantara generator-generator. Seringkali aliran daya-reaktif dan tegangan diatur secara otomatis oleh pengatur tegangan yang bekerja pada rangkaian medan generator dan oleh transformator yang mempunyai peralatan pengatur tegangan otomatis.

Konfigurasi Generator

Generator dapat dipasang secara vertikal maupun horizontal, tergantung dari dari konfigurasi turbinnya. Kriteria lainnya karakteristik generator adalah bagaimana penempatan *bearing*nya. Sebagai contoh, dalam praktiknya untuk memasang generator dengan dukungan *ekstra-reinforced bearing* sehingga dapat menggerakkan turbin francis. Dengan demikian pemasangan turbin secara axis tidak memerlukan rancangan pipa yang menyilang untuk memperbaiki efisiensi menyeluruh.

Kecepatan putar generator

- Kecepatan Putaran sinkronisasi Generator (rpm)

Tabel 7 Sinkronisasi kecepatan putaran generator

Jumlah Kutub	Frekuensi 50 Hz	Frekuensi 60 Hz
2	3000	3600
4	1500	1800
6	1000	1200
8	750	900
10	600	720
12	500	600
14	428	540
16	375	450
18	333	400
20	300	360
22	272	327
24	250	300
26	231	277
28	214	257

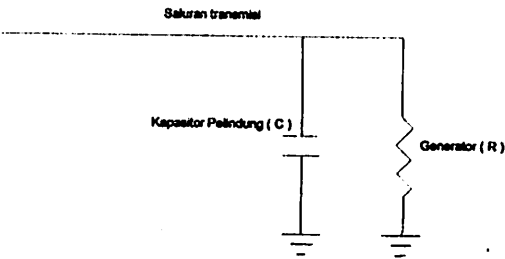
Sbr: layman ; hal 177

2.3. Sistem Proteksi

2.3.1. Perlindungan generator terhadap petir

Distribusi tegangan yang disebabkan oleh surja (*surge*) tegangan antara lapisan dalam lilitan generator menunjukkan nilai yang tertinggi dekat ujung keluar atau pada ujung titik netral lilitan. Untuk meratakan muka gelombang tegangan dan menyeragamkan distribusi tegangan pada gulungan generator dipasang sebuah kapasitor pelindung sebesar 0,1 – 0,5 μ F antara setiap terminal dan tanah.

Untuk generator yang dihubungkan langsung dengan saluran transmisi, bila tegangan yang masuk adalah $E_0 = e^{-at} - e^{-bt}$ maka tegangan terminal generator, lihat gambar dibawah ini ;



$$E = \frac{\alpha - \beta}{a - \beta} e^{-at} + \frac{\beta - \alpha}{b - \beta} e^{-bt} + \frac{(a - \beta)(a - b)}{(a - \beta)(b - \beta)} e^{-\beta t}$$

$$\alpha = \frac{Z - R}{CRZ}$$

$$\beta = \frac{Z + R}{CRZ}$$

Arester petir bersama dengan kapasitor pelindung dibutuhkan untuk melindungi generator terhadap petir yang dekat menyambarnya atau terhadap gelombang berjalan yang mempunyai jangka waktu lama.

Untuk generator yang dihubungkan dengan saluran transmisi melalui transformator, surja tegangan yang dialihkan dari sisi tegangan yang dialihkan dari sisi tegangan tinggi kesisi tegangan rendah dari transformator mengandung komponen alih elektrostatik. Karena tegangan elektrostatik yang dialihkan mungkin

menjadi sangat besar bila transformator tidak dihubungkan dengan generator sehingga mungkin mengakibatkan kekuatan isolasi dari rangkaian tegangan rendah akan dilebihi, maka perlu dipasang sebuah kapasitor pelindung dalam rangkaian generator. Tetapi bila rangkaian tegangan rendah dihubungkan dengan ril fasa yang terisolasi atau dengan kabel, maka generator maka kapasitor ini dapat ditiadakan karena tegangan alih elektrostatik menurun dengan dihubungkannya transformator dengan generator, maka kapasitor pelindung kadang-kadang tidak dibutuhkan bagi generator dengan gulungan dengan kumparan tunggal (*single turn coil*).

Karena nilai tegangan seperti terantum pada tabel berikut dapat dipakai sebagai tegangan pengujian impuls untuk generator, maka tingkat perlindungan dari arrester petir harus dikoordinasikan dengan kira-kira 80 % dari nilai tegangan pengujian tersebut. Karakteristik arrester petir untuk generator dapat dilihat pada tabel dibawah.

Arus pelepasan (*discharge*) cukup 2.500 A karena tegangan dirangkaian generator juga tidak tinggi. Meskipun arrester petir dan kapasitor pelindung dipasang, dianjurkan agar digunakan juga transformator pengisolasi (*insulating*) bila generator dihubungkan langsung dengan saluran transmisi yang melalui daerah dimana diperkirakan banyak terjadi petir.

Tabel 8: contoh pengujian impuls pada generator
Sumber: TTL, Arlono Arismunandar; hal 98

Tegangan Dasar (kV)	Tegangan Uji (kV)	$(2E + 1 \text{ kV} \times \sqrt{2} \times 1,25)$ (kV)
3	25	14 (E = 3,3 kV)
6	35	25 (E = 6,6 kV)
10	55	41 (E = 11 kV)
12	65	48,5 (E = 13,5 kV)
15	80	60 (E = 16,5 kV)
Ringkasan	Bentuk gelombang ;	E ekivalen dengan 1,1 x tegangan

+ (3 x 4,0) μ s	dasar
-----------------------	-------

Tabel 9; contoh karakteristik Arrester untuk generator
Sumber: TTL, Artono Arismunandar; hal 98

Tegangan Rangkaian (kV)	Tegangan Dasar Arester (kV)	Tegangan Percikan (kV)	Tegangan Batas (kV)		Tegangan Percikan Impuls (kV)	Tegangan Percikan surja hubung (kV) (10-1000 μ s)
			5 kA	1,5kA		
3	4,2	6,3	13	12	15	14
4	8,4	12,6	25	23	30	27
10	14	21	43	40	45	41
15	21	31,5	64	60	67	60

2.3.2. Pengetanahan titik netral

Titik netral generator dihubungkan ketanah untuk perlindungannya. Yang lazim digunakan adalah sistem pengetanahan sampai 100 A. Karena sudah jelas bahwa tidak akan ada pengaruh arus sirkulasi harmonis ketiga meskipun dua generator atau lebih yang berkarakteristik sama dihubungkan pada ril yang sama pula, maka sistem hubungan unit tahanan dapat dipakai.

Cara lain adalah pengetanahan melalui transformator tiang. Sistem ini tepat bagi mesin berkapasitas besar. Pengetanahan dilakukan melalui gulungan tegangan tinggi pada transformator tiang dengan menyisipkan tahanan pada sisi tegangan rendah untuk membatasi arus pengetanahan sampai 5-15 A ; nilai tahanan R didapat dari persamaan berikut :

$$R = \frac{10^6}{6\pi f C N^2} (\Omega)$$

Dimana ; C = kapasitansi tiap fasa dari rangkaian urutan nol dari generator (μ F)

f = frekuensi (Hz)

N = Perbandingan lilitan dari transformator

Bila cara ini dipakai untuk dua generator atau lebih pada rel yang sama, perlu diberikan perhatian khusus terhadap hal-hal tertentu, antara lain, bahwa pengamanan selektif terhadap gangguan tidak dimungkinkan, dan bahwa rele pengetanahan mungkin akan salah-kerja karena satu komponen tegangan urutan nol, yang diterapkan pada sisi tegangan tinggi karena hubung-singkat satu fasa ke tanah, dialihkan kesisi terminal generator melalui kapasitansi gulungan (Buku Pegangan TTL, "Pembangkitan Dengan Tenaga Air" jilid I hal 97, Arismunandar A).

2.3.3. Relay Pengaman

Relay pengaman yang bekerja pada sistem (generator, jala-jala listrik dan Interkoneksi) diantaranya ;

- Backup overcurrent, 51V
- Loss of Excitation, 40
- Reverse Power, 32
- Negative sequence overcurrent , 46
- Ground overcurrent, 51G
- General differential, 87

2.4. Kapasitas Pembangkit

Daya teoritis yang keluar dari generator dapat diperoleh dari perkalian efisiensi turbin dan generator dengan daya keluar secara teoritis (arismunandar dan Kuwahara, 1991;)

$$P = 9,8 \cdot H \cdot Q \cdot \mu$$

Dimana ;

P = daya yang dihasilkan (kW)

H = Tinggi efektif (m)

Q = Debit pembangkit (m³/det)

μ = efisiensi pembangkitan

Sedangkan energi yang dihasilkan adalah perkalian antara daya yang dihasilkan dengan waktu yang dipakai untuk durasi (prasetya;1993;24).

$$E = P \cdot n \cdot n_i$$

Dimana ;

n = lamanya operasi PLTMH (jam)

n_i = jumlah hari

E = energi yang dihasilkan (kWh)

P = daya yang dihasilkan (kW)

2.5. Peralatan-peralatan elektrikal yang mendukung perencanaan PLTMH

2.5.1. Pentanahan (Earthing)

Pentanahan atau Arde merupakan bagian yang sangat penting bagi pembangkit. Pentanahan adalah titik referensi tegangan nol bagi pembangkit. Semua sistem pengamanan petir, benda metal, penstock, turbin, body generator, ballast tank dan titik netral pembangkit dihubungkan dengan pentanahan. Pentanahan juga berfungsi untuk mencegah terjadinya kejutan listrik pada manusia jika terjadi kebocoran arus atau kegagalan fungsi alat. Pentanahan terdiri dari elektroda pentanahan (berupa batang tembaga) yang ditanam sedalam 2 meter sebanyak 4 atau 6 batang (tergantung jenis tanah di pembangkit) melingkari rumah pembangkit dan dihubungkan satu sama lain dengan konduktor pentanahan (berupa kabel tembaga 16 mm², BC 16).

2.5.2. Panel Switch Gear

Panel switch gear berfungsi untuk mendistribusikan arus listrik dari mikrohidro kemasing-masing jaringan. Panel ini berfungsi untuk menyalakan dan mematikan konsumen, serta untuk menjaga dari arus hubung singkat pada salah satu jaringan, tidak akan mengganggu jaringan yang lain. Pada panel ini bias melihat arus dan pemakaian kWh beban.

Komponen Utama Panel Switcgear

- MCCB-1, sebagai saklar dari mikrohidro, fungsi utama MCCB-1 ini untuk memutuskan aliran listrik dari mikrohidro apabila terjadi gangguan pada jaringan.
- MCB-2, sebagai saklar yang menghubungkan ke desa janjing. Fungsi utama MCB-2 ini untuk memutuskan aliran listrik bila terjadi hubung singkat pada jalur transmisi pada desa janjing, sehingga apabila terjadi hubung singkat tidak mengganggu jalur lain.
- MCB-3, sebagai saklar yang menghubungkan ke PPLH dan desa sempur. Fungsi utama MCB-3 ini untuk memutuskan aliran listrik bila terjadi hubung singkat pada jalur transmisi PPLH dan desa sempur, sehingga apabila terjadi hubung singkat tidak mengganggu jalur lain.
- kWh-1, angka yang terbaca merupakan jumlah daya yang dihasilkan oleh mikrohidro.
- kWh-2, angka yang terbaca adalah jumlah pemakaian daya desa janjing.
- kWh-3, angka yang terbaca adalah jumlah pemakaian daya kantor PPLH.
- Trafo Arus (CT), terdapat pada jalur mikrohidro, desa janjing dan PPLH, karena keluaran dari trafo ini mencerminkan arus yang dipakai oleh masing-masing beban. Diapasang pada masing-masing fasa.
- Fuse (F1-9), untuk proteksi terhadap hubung singkat pada lampu pilot.
- Volt Meter (V), angka yang terbaca merupakan tegangan antara fasa dengan neutral atau fasa dengan fasa sesuai dengan selectornya.
- Ampere Meter (A 1,2,3), angka yang terbaca menunjukkan arus yang dipakai masing-masing konsumen.
- Ampere Selector Switch (ASS), switch untuk memilih arus yang akan ditampilkan pada ampere meter.
- Volt Selector Switch (VSS), switch untuk memilih arus yang akan ditampilkan pada ampere meter.

- Frequency Meter (Hz), angka yang terbaca menunjukkan frekuensi yang dibangkitkan oleh generator.
- Lampu Pilot (PL), ada tiga warna, apabila menyala menyatakan bahwa masing-masing fasa dibeban sudah dinyalakan.
- Capacitor (C _{1,2,3}), filter kapasitor.

2.5.3. Jaringan Distribusi

Jaringan kabel untuk menghantarkan arus listrik dari rumah pembangkit kekonsumen. Standar kabel yang digunakan adalah Aluminium Twisted Insulated Cable (TIC) 4x70 mm² / 4x35 mm² / 4x16 mm² / 4x10 mm² tergantung dari besarnya daya yang hendak disalurkan. Setiap tiang dan jaringan harus diberi nomor agar memudahkan pencatatan sambungan dari tiang kekonsumen. Harus diusahakan agar beban untuk masing-masing fasa adalah seimbang. Pada beberapa tiang (tergantung panjang jaringan dan tanah disekitar jaringan) harus diberi pentanahan yang dihubungkan ke kabel netral. Pada tiang yang pertama (didekat rumah pembangkit) dipasang penangkal petir (lightning arresters) untuk melindungi generator dari arus kejut yang disebabkan oleh petir

2.6. Analisa Ekonomi Pembangunan PLTMH II

2.6.1. Metoda rasio manfaat terhadap biaya / *cost-benefit ratio*

Seperti disebutkan diatas, metode ratio manfaat biaya mencakup perhitungan rasio manfaat terhadap biaya. Baik dalam mengevaluasi proyek dalam sektor swasta maupun dalam sektor publik, nilai waktu dari uang haruslah dipertimbangkan berdasarkan perhitungan waktu arus kas (manfaat) yang terjadi setelah proyek dimulai. Jadi rasio B/C sebenarnya merupakan rasio manfaat terdiskonto terhadap biaya terdiskonto. Setiap metode untuk secara formal mengevaluasi proyek sektor publik haruslah mempertimbangkan nilai dari sumber-sumber daya yang dialokasikan untuk mencapai tujuan-tujuan sosial.

Rasio B/C didefinisikan sebagai rasio dari nilai ekivalen manfaat-manfaat terhadap nilai ekivalen biaya-biaya. Ukuran nilai ekivalen yang diterapkan dapat berupa nilai sekarang, nilai tahunan, atau nilai masa depan, tetapi biasanya, analisis nilai tahunan, *annual worth/ AW* atau metode nilai sekarang, *present worth method / PW* yang digunakan. Tingkat bunga untuk proyek-proyek publik, sebagaimana dibahas pada bagian sebelumnya, digunakan dalam perhitungan nilai ekivalen. Rasio manfaat/biaya juga dikenal sebagai rasio tabungan-investasi (*saving-investment ratio, SIR*) oleh beberapa badan pemerintahan. Beberapa perumusan yang berbeda terhadap rasio B/C telah dikembangkan. Dua dari rumus yang lebih umum digunakan ditunjukkan disini, menggambarkan pemakaian baik nilai sekarang maupun nilai tahunan.

Rasio B/C konvensional dengan PW :

$$B/C = \frac{PW(\text{manfaat} - \text{proyek} - \text{yang} - \text{diusulkan})}{PW(\text{biaya} - \text{total} - \text{proyek} - \text{yang} - \text{diusulkan})} = \frac{PW(B)}{1 + PW(O \& M)}$$

Untuk $PW(\bullet) = \text{nilai sekarang dari } (\bullet)$

B = manfaat proyek yang diusulkan

I = Investasi awal dalam proyek yang diusulkan

$O \& M$ = biaya-biaya operasi dan perawatan (*operating & maintenance*) dari proyek yang diusulkan.

Rasio B/C termodifikasi dengan PW :

$$BC = \frac{PW(B) - PW(O \& M)}{1}$$

Pembagian dari rasio manfaat / biaya termodifikasi menyatakan nilai ekivalen manfaat dikurangi nilai ekivalen dari biaya-biaya O&M, dan menyebut hanya mencakup biaya-biaya investasi awal. Proyek diterima jika rasio B/C, sebagaimana didefinisikan dalam persamaan diatas, lebih besar atau sama dengan 1,0.

BAB III

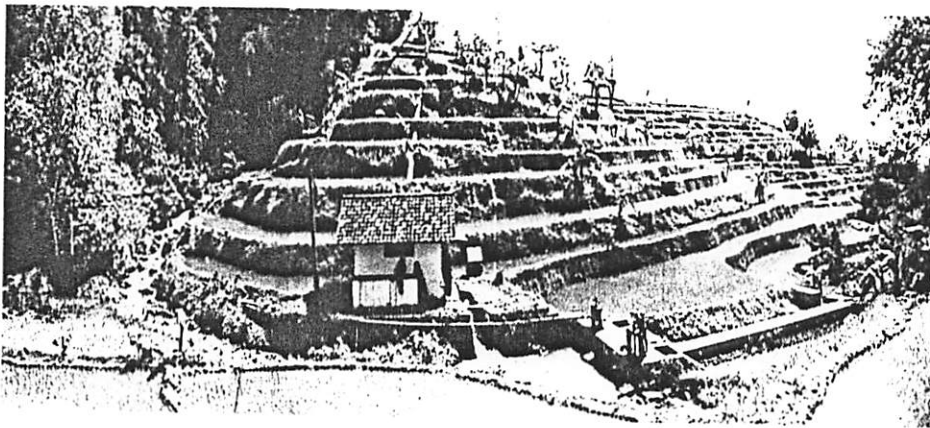
PERANCANGAN KONFIGURASI *CASCADE* ANTARA PLTMH I DENGAN PLTMH II

3.1. Perancangan PLTMH secara cascade

3.1.1. Sistem *Cascade*

Cascade merupakan istilah yang artinya bertingkat. Dalam perencanaannya, sistem *cascade* ini merupakan sistem pengaliran air pada *hydransystem* dengan memanfaatkan elevasi / beda ketinggian pada topografi suatu wilayah.

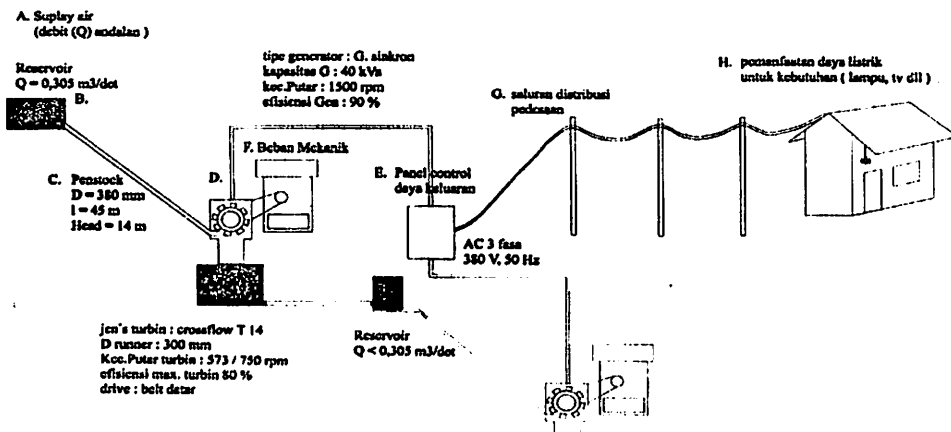
Dikutip dari <http://www.firehydrant.org/info/cascade.html> menerangkan bahwa “tekanan air meningkat 195,3 kg untuk setiap beberapa meter beda ketinggian / elevasi . Disebutkan juga dari beberapa pengalaman yang telah dilakukan, dengan ketinggian 45 m jatuh air akan menghasilkan sekitar 29,25 kg tekanan air hingga level bawah”. Dengan demikian terdapat potensi energi yang akan dihasilkan dari elevasi topografi dari aliran sungai di Seloliman.



Sbr : Dok.pribadi

Gambar 3.1
Lokasi PLTMH-Seloliman

Berdasarkan gambar diatas, sistem *cascade* kemungkinan besar dapat diterapkan pada PLTMH Seloliman karena sesuai kondisinya memiliki potensi elevasi / kemiringan topografi yang dapat dimanfaatkan.



Gambar 3.2 : Skema perancangan PLTMH secara *cascade*
 Sumber: Maher.Philip and Smith.Nigel. : "Pico Hydro for village Power"; hal 17

Data Perencanaan

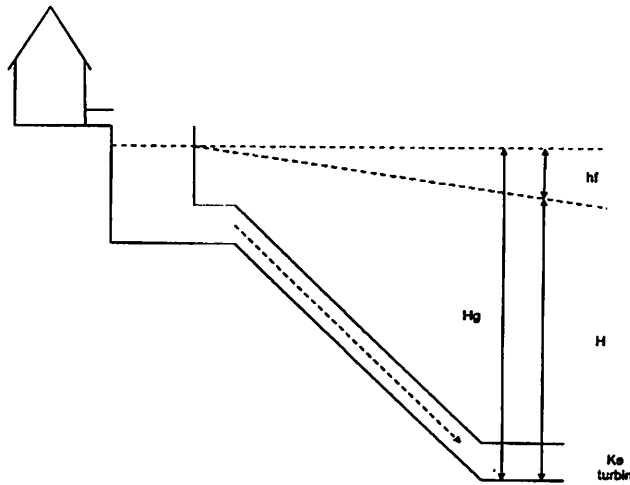
Tabel 10 : data Perencanaah

Debit PLTMH I Seloliman	0.315 m ³ /det
Gaya gravitasi	9,81 m/det ²
Kecepatan Aliran air dalam pipa pesat	$v = \frac{Q}{A}$ $= \frac{Q}{1/4\pi D^2}$ $= 1,57 \text{ m/dt}$
Tinggi jatuh (H) rencana	7 m

3.2. Hidrologi dan bangunan sipil

3.2.2. Perhitungan Tinggi Jatuh Efektif

Untuk mendapatkan tinggi jatuh yang dimanfaatkan dapat diperhatikan pada gambar dibawah ini. Rumus yang digunakan untuk menentukan besar tinggi jatuh adalah $H = H_g - H_f$ (2.1)



Gambar 3.3 : Tinggi jatuh
 Sumber: bambang Triatmojo, 1993;59

Untuk menghitung besar kehilangan tinggi jatuh efektif, terlebih dahulu direncanakan diameter pipa pesat. Besar diameter pipa pesat bergantung dari debit penbangkitan merata, sebagai mana dalam rumus :

$$D = 0,794 Q_p^{0,404}$$

Diketahui data perencanaan :

$$Q = 0.3 \text{ m}^3/\text{dt}$$

$$D = 0,794 Q_p^{0,404}$$

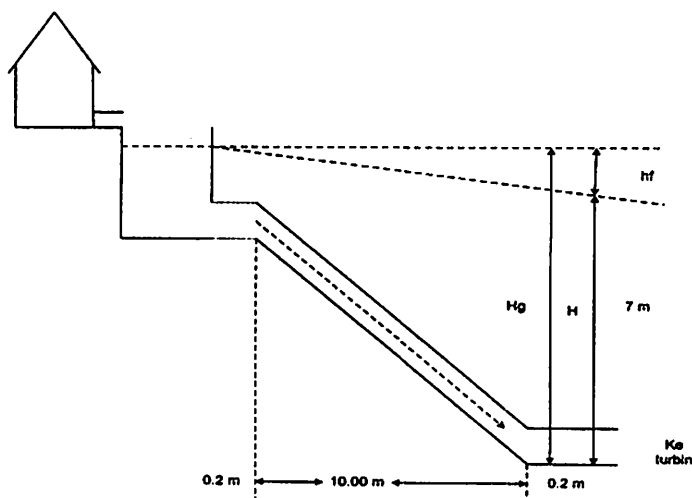
$$= 0,794 \cdot 0,3^{0,404}$$

$$= 0,49 \text{ m}$$

3.2.3 Perhitungan kehilangan tinggi jatuh akibat belokan (hb)

Kehilangan tinggi jatuh akibat belokan dihitung dengan rumus :

$$H_b = K \cdot V^2 / 2g \dots\dots\dots(2.3)$$



Gambar 3.4: Besar sudut pipa pesat
 Sumber: bambang Triatmojo, 1993;59

Belokan terjadi setelah tangki pendatar dan sebelum masuk keturbin.
 Besarnya K tergantung pada besarnya sudut.

Untuk menentukan besarnya sudut pipa pesat, dapat digunakan tabel 11
 berikut sebagai konstanta. (Bab II)

α	20°	40°	60°	80°	90°
K	0.05	0.14	0.36	0.74	0.98

Untuk mencari kemiringan yang sesuai, tergantung dari lebar jarak saluran
 pipa pesat dari tinggi jatuh hingga kemuka turbin (lihat gambar). Maka
 digunakan variasi lebar jarak pipa pesat sbb.

Lebar jarak pipa pesat dari reservoir ke muka turbin / L (m)							
2	3	4	5	6	7	8	9

Perhitungan;

$$\text{Arc tg } \alpha = \frac{\text{head}}{L}$$

* Untuk L = 2 meter

$$\text{Arc tg } \alpha = \frac{7,00}{2} = 3.5$$

$$= 74.05^{\circ}$$

* Untuk L = 3 m

$$\begin{aligned}\text{Arc tg } \alpha &= \frac{7.00}{3} = 2.33 \\ &= 66.77^{\circ}\end{aligned}$$

* Untuk L = 4 m

$$\begin{aligned}\text{Arc tg } \alpha &= \frac{7.00}{4} = 1.74 \\ &= 60.25^{\circ}\end{aligned}$$

* Untuk L = 5 m

$$\begin{aligned}\text{Arc tg } \alpha &= \frac{7.00}{5} = 1.4 \\ &= 54.46^{\circ}\end{aligned}$$

* Untuk L = 6 m

$$\begin{aligned}\text{Arc tg } \alpha &= \frac{7.00}{6} = 1.16 \\ &= 49.38^{\circ}\end{aligned}$$

* Untuk L = 7 m

$$\begin{aligned}\text{Arc tg } \alpha &= \frac{7.00}{7} = 1 \\ &= 45^{\circ}\end{aligned}$$

* Untuk L = 8 m

$$\begin{aligned}\text{Arc tg } \alpha &= \frac{7.00}{8} = 0.875 \\ &= 41.18^{\circ}\end{aligned}$$

* Untuk L = 9 m

$$\begin{aligned}\text{Arc tg } \alpha &= \frac{7.00}{9} = 0.77 \\ &= 37.87^{\circ}\end{aligned}$$

Tabel 12 ; hasil perhitungan

Lebar jarak pipa pesat dari reservoir ke muka turbin / L (m)							
2	3	4	5	6	7	8	9
74.05 °	66.77 °	60.25 °	54.46 °	49.38 °	45°	41.18°	37.87°

Dengan cara interpolasi pada α , dengan demikian akan diperoleh K dari tabel diatas.

Tabel 13 ; interpolasi Koefisien α

α	74.05°	66.77°	60.25°	54.46°	49.38°	45°	41.18°	37.87°
K	0,61	0,44	0,36	0,30	0,24	0,195	0,15	0,12

Arialisa perhitungan

Diketahui data perencanaan :

$$K = 0,12 ; 0,15 ; 0,195 ; 0,24 ; 0,30 ; 0,36 ; 0,44 ; 0,61$$

$$V = 1,57 \text{ m/dt}$$

$$g = 9,81 \text{ m/dt}^2$$

* untuk K = 0,12

$$\begin{aligned}
 hb &= K \frac{V^2}{2g} \\
 &= 0,12 \cdot \frac{1,57^2}{2 \cdot 9,81} \\
 &= 0,015 \text{ m}
 \end{aligned}$$

* Untuk K = 0,15

$$\begin{aligned}
 hb &= K \frac{V^2}{2g} \\
 &= 0,15 \cdot \frac{1,57^2}{2 \cdot 9,81} \\
 &= 0,0188 \text{ m}
 \end{aligned}$$

* Untuk $K = 0,19$

$$\begin{aligned}hb &= K \frac{V^2}{2g} \\&= 0,195 \cdot \frac{1,57^2}{2 \cdot 9,81} \\&= 0,024 \text{ m}\end{aligned}$$

* Untuk $K = 0,24$

$$\begin{aligned}hb &= K \frac{V^2}{2g} \\&= 0,24 \cdot \frac{1,57^2}{2 \cdot 9,81} \\&= 0,030 \text{ m}\end{aligned}$$

* Untuk $K = 0,30$

$$\begin{aligned}hb &= K \frac{V^2}{2g} \\&= 0,30 \cdot \frac{1,57^2}{2 \cdot 9,81} \\&= 0,037 \text{ m}\end{aligned}$$

* Untuk $K = 0,36$

$$\begin{aligned}hb &= K \frac{V^2}{2g} \\&= 0,36 \cdot \frac{1,57^2}{2 \cdot 9,81} \\&= 0,045 \text{ m}\end{aligned}$$

* Untuk $K = 0,44$

$$hb = K \frac{V^2}{2g}$$

$$= 0,44 \cdot \frac{1,57^2}{2 \cdot 9,81}$$

$$= 0,055 \text{ m}$$

* Untuk $K = 0,61$

$$hb = K \frac{V^2}{2g}$$

$$= 0,61 \cdot \frac{1,57^2}{2 \cdot 9,81}$$

$$= 0,075 \text{ m}$$

Tabel 14 ; perbandingan antara sudut saluran pipa dengan rugi-rugi saluran

α	74.05°	66.77°	60.25°	54.46°	49.38°	45°	41.18°	37.87°
K	0,61	0,44	0,36	0,30	0,24	0,195	0,15	0,12
Hb	0,075	0,055	0,045	0,037	0,03	0,024	0,0188	0,015

Dari tabel diatas, dapat diketahui bahwa semakin besar sudut saluran pipa pesat dari belokan muka turbin, maka semakin besar pula rugi-rugi gesekan saluran.

Berdasarkan data perencanaan, diketahui :

$$\begin{aligned} \text{Arc tg } \alpha &= \frac{7,00}{10,00} = 0,7 \\ &= 34,9^\circ \end{aligned}$$

Dengan cara interpolasi pada $\alpha = 34,9^\circ$, diperoleh $K = 0,11$

$$hb = K \frac{V^2}{2g}$$

$$= 0,11 \cdot \frac{1,57^2}{2 \cdot 9,81}$$

$$= 0,0138 \text{ m}$$

Jadi Besar Hb bila terjadi dua belokan = 0,007 m

3.2.4. Perhitungan kehilangan tinggi jatuh akibat gesekan (hg)

Dapat dihitung dengan rumus :

$$H_g = f \cdot \frac{L}{d} \cdot \frac{V^2}{2g} \dots\dots\dots(2.4)$$

Diketahui data perencanaan

$f = 0,025$

$L = \sqrt{10^2 + 7^2} + 0,4$

$\quad = \sqrt{100 + 49} + 0,4$

$\quad = 13 \text{ m}$

$V = 1,57 \text{ m/dt}$

$g = 9,81 \text{ m/dt}^2$

$d = 0,49 \text{ m}$

$$H_g = f \cdot \frac{L}{d} \cdot \frac{V^2}{2g}$$
$$= 0,025 \cdot \frac{13}{0,49} \cdot \frac{1,57^2}{2 \cdot 9,81}$$
$$= 0,083 \text{ m}$$

3.2.5. Perhitungan kehilangan tinggi jatuh akibat perubahan penampang (hp)

Dapat dihitung dengan rumus : $h_p = K \frac{V^2}{2g} \dots\dots\dots(2.8)$

Diketahui data perencanaan ;

$K = 0,05$

$V = 1,57 \text{ m/dt}$

$g = 9,81 \text{ m/dt}^2$

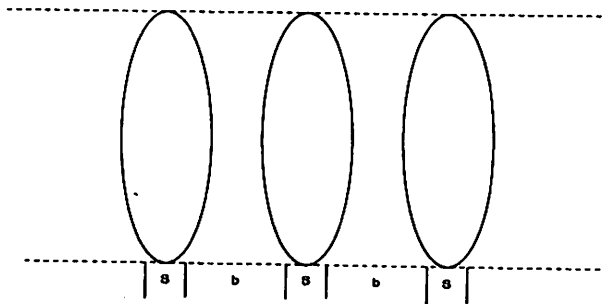
$$h_p = K \frac{V^2}{2g}$$

$$= 0,05 \frac{1,57^2}{2 \cdot 9,81}$$

$$= 0,0062 \text{ m}$$

3.2.6. Perhitungan kehilangan tinggi jatuh akibat saringan pada pintu pengambilan (hs)

Dapat dihitung dengan rumus sbb :



Gambar 3.5 : Rugi-rugi pada tras-rack
Sumber : "tenaga air", O.F.Patty; hal 23

$$hs = C \frac{V^2}{2g} \dots\dots\dots(2.5)$$

$$C = \beta \left(\frac{S}{B} \right)^{4/3} \sin \alpha \dots\dots\dots(2.6)$$

data perencanaan

$$\beta = 1,67$$

$$S = ,002 \text{ m}$$

$$b = 0,1 \text{ m}$$

$$\alpha = 90^0$$

$$C = \beta \left(\frac{S}{B} \right)^{4/3} \sin \alpha$$

$$C = 1,67 \left(\frac{0,002}{0,1000} \right)^{4/3} \sin 90^0$$

$$= 1,67 \cdot 0,00543$$

$$= 0,00906 \text{ m}$$

$$\begin{aligned}
 h_s &= C \frac{V^2}{2g} \\
 &= 0,00906 \frac{1,57^2}{2 \cdot 9,81} \\
 &= 0,001138 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Jadi total kehilangan tinggi jatuh (hf) adalah

$$\begin{aligned}
 h_f &= h_b + h_g + h_p + h_s \\
 &= 0,0138 + 0,083 + 0,0062 + 0,001138 \\
 &= 0,104 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Dengan adanya kehilangan tinggi jatug yang disebabkan oleh rugi-rugi saluran, maka dapat dicari rugi energi yang terbuang sbb;

$$\begin{aligned}
 P &= Q \cdot h \cdot \eta \cdot g \\
 &= 0,3 \cdot 0,104 \cdot 9,81 \cdot 0,8 \\
 &= 0,24 \text{ kW} \\
 E &= P \cdot n(\text{hari}) \cdot n(\text{jam}) \\
 &= 0,24 \cdot 30 \cdot 24 \\
 &= 176,29 \text{ kWh/bulan}
 \end{aligned}$$

Harga jual kepada PLN berdasarkan HPP titik interkoneksi Jaringan : Rp 443,46 per kWh
Tegangan Menengah PLN (JTM)

Sbr: PLN Mojokerto & PPLH Seloliman

$$\begin{aligned}
 &= 176,29 \cdot 443,46 \\
 &= \text{Rp.} 78.177,5634 / \text{bln}
 \end{aligned}$$

Dengan demikian tinggi jatuh efektif (Heff) pada PLTMH konfigurasi *cascade* adalah

$$\begin{aligned}
 H_{eff} &= H_g - H_f \\
 &= 7 - 0,104 \\
 &= 6,89 \text{ m}
 \end{aligned}$$

3.2.7. Perhitungan Pukulan Air

Besarnya pukulan air menentukan besarnya perubahan tekanan . Perubahan tekanan akibat air dinyatakan dalam % dapat dihitung dengan persamaan sbb

$$h_a = \frac{a \cdot v}{2g} \dots\dots\dots(2.11)$$

diketahui ;

$$a = 142,5 \text{ m/dt}$$

$$v = 1,57 \text{ m/dt}$$

$$g = 9,81 \text{ m/dt}^2$$

$$h_a = \frac{a \cdot v}{2g}$$

$$h_a = \frac{142,5 \cdot 1,57}{2 \cdot 9,81}$$

$$= 11,4 \% \text{ dari } H$$

3.2.8. Perhitungan dimensi pusat

Besarnya perubahan tekanan akibat pukulan air harus diperhitungkan agar pipa pesat dapat menahannya, pipa pesat dihitung dengan rumus sbb ;

$$\delta = \frac{P \cdot R}{\mu \sigma} \dots\dots\dots(2.10)$$

Diketahui

$$P = \gamma \cdot h_a$$

$$= 1 \cdot 11,4 \% \cdot H_{eff}$$

$$= 1 \cdot 11,4\% \cdot 6,89$$

$$= 0,79 \text{ m}$$

$$= 79 \text{ cm}$$

$$R = d/2$$

$$= 0,49/2$$

$$= 0,245 \text{ m}$$

$$= 24,5 \text{ cm}$$

$$\delta = 1631,52 \text{ kg/cm}^2$$

$$\mu = 0,95$$

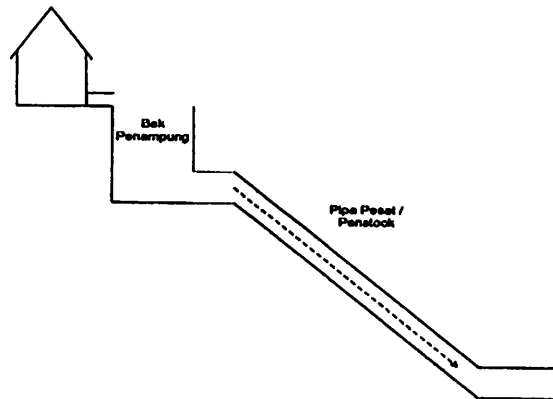
$$\delta = \frac{P \cdot R}{\mu \sigma} + 0,03$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{79 \cdot 24,5}{0,95 \cdot 1631,52} + 0,03 \\
 &= 1,4278 \text{ cm} \\
 &= 0,01428 \text{ m}
 \end{aligned}$$

3.2.9. Perhitungan bak penampung

Luas bak/tangki penampung dihitung dengan menggunakan rumus sbb;

$$AS = \frac{Vo^2 \cdot L \cdot At}{2g \cdot hf \cdot H} \dots\dots\dots(2.12)$$



Gambar 3.6 : Bak /tangki penampung

Dengan data perencanaan

$$Vo = 1,57 \text{ m/dt}$$

$$L = 13 \text{ m}$$

$$d = 0,49 \text{ m}$$

$$At = 1/4 \pi d^2 = 0,188 \text{ m}^2$$

$$hf = 0,104 \text{ m}$$

$$H_{eff} = 6,89 \text{ m}$$

$$\begin{aligned}
 AS &= \frac{Vo^2 \cdot L \cdot At}{2g \cdot hf \cdot H} \\
 &= \frac{1,57^2 \cdot 13 \cdot 0,188}{2 \cdot 9,81 \cdot 0,104 \cdot 6,89}
 \end{aligned}$$

$$= \frac{6,024}{14.05}$$

$$= 0,43 \text{ m}$$

Agar lonjakan yang terjadi pada tangki penampung tidak terlalu besar, maka luas tangki penampung direncanakan berbentuk segi empat dengan luas 0,43 meter.

Volume bak 10 - 20 kali debit yang masuk untuk menjamin aliran steady di pipa pesat dan mampu meredam tekanan balik pada saat penutupan aliran di pipa pesat

Besar tinggi lonjakan maksimum dapat dihitung dengan rumus sbb;

$$Z_m = V \sqrt{\frac{L}{g} \cdot \frac{A_t}{A_s}} \dots\dots\dots (2.13)$$

Diketahui ;

$$V_o = 1,57 \text{ m/dt}$$

$$L = 13 \text{ m}$$

$$g = 9,81 \text{ m/dt}^2$$

$$A_t = 0,188 \text{ m}^2$$

$$A_s = 0,43 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} Z_m &= V \sqrt{\frac{L}{g} \cdot \frac{A_t}{A_s}} \\ &= 1,57 \sqrt{\frac{13 \cdot 0,188}{9,81 \cdot 0,43}} \\ &= 1,19 \text{ m} \end{aligned}$$

3.3. Peralatan Mekanik

3.3.1. Turbin Air

3.3.1.1. Penentuan Jenis Turbin

Setiap jenis turbin akan mempunyai kecepatan jenis yang berbeda-beda. Kecepatan dari masing-masing jenis turbin tersebut dapat dicari besarnya dengan rumus sbb;

$$N_s = N_g \sqrt{\frac{P}{H_{eff}^{5/4}}} \dots\dots\dots(2.14)$$

Diketahui data perencanaan

$$N_g = 1500 \text{ rpm}$$

$$P = 12 \text{ kW}$$

$$H_{eff} = 6,89 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} N_s &= N_g \sqrt{\frac{P}{H_{eff}^{5/4}}} \\ &= 1500 \sqrt{\frac{12}{7^{1,25}}} \\ &= 465,5 \text{ rpm} \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan diatas, diperoleh kecepatan putaran turbin sebesar 465,5 rpm, dengan menggunakan Parallel pada Tural klasifikasi tinggi jatuh (H) , debit air (Q) dan putaran spesifikasi runner turbin maka turbin yang sesuai untuk PLTM di jaringan irigasi Seloliman adalah turbin crossflow.

3.3.1.2. Perhitungan diameter runner turbin

Untuk dapat mengetahui runner turbin , dapat menggunakan rumus sbb:

$$D = \sqrt{\frac{Q}{2,2\sqrt{H}}}$$

Diketahui data perencanaan

$$Q = 0.3 \text{ m}^3/\text{dt}$$

$$H = 7 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} D &= \sqrt{\frac{Q}{2,2\sqrt{H}}} \\ &= \sqrt{\frac{0,3}{2,2\sqrt{7}}} \end{aligned}$$

$$= \sqrt{\frac{0,3}{5,8}}$$

$$= 0,227 \text{ m}$$

$$= 220 \text{ mm}$$

3.4. Peralatan Listrik

3.4.1. Generator

Generator mengkonversi energi mekanik menjadi energi listrik. Sesuai dengan pembahasan sebelumnya mengenai jenis-jenis generator (AC) yang dapat digunakan ada 2 macam, Generator Sinkron dan Asinkron. Untuk dapat menentukan Generator yang akan digunakan maka dibuat beberapa perbandingan mengenai karakteristik dari masing-masing generator.

Data Perencanaan Pemilihan jenis Generator.

Perbedaan generator Sinkron dan Asinkron, *Zuhal* ;

Generator Sinkron	Generator Asinkron
Prinsip kerja : - Mesin sinkron mempunyai kumparan jangkar pada stator dan rotor. Kumparan medannya berbentuk kutub dengan celah udara sama rata (rotor silinder). Arus DC untuk menghasilkan fluks pada kumparan medan dialirkan ke rotor melalui cincin. Apabila kumparan jangkar dihubungkan dengan sumber tegangan tiga fasa akan timbul medan putar pada stator. Kutub	Prinsip kerja : - Generator induksi jarang dipakai sebagai pembangkit tenaga listrik, tetapi lebih digunakan sebagai pe-rem regeneratif. Pada pemakaian motor induksi, yang saat-saat tertentu motor berputar melebihi kecepatan sinkronnya, secara otomatis motor akan bekerja sebagai generator dan berlangsunglah proses pe-reman - Bila slip dibuat $\square$ arallel / kecepatan berputar rotor (nr)

medan rotor yang diberi penguat arus DC mendapat tarikan dari kutub medan putar stator hingga turut berputar dengan kecepatanyang sama (sinkron). <i>Zuhal, 91</i> - Apabila generator sinkron melayani beban, maka pada kumparan jangkar stator mengalir arus; dan arus ini menimbulkan fluks jangkar. Fluks jangkar yang ditimbulkan arus (ϕA) akan berinteraksi dengan yang dihasilkan kumparan medan rotor (ϕF), sehingga menghasilkan fluks resultante (ϕR). Kondisi reaksi jangkar untuk berbagai macam jenis beban antara lain beban tahanan (resistif), beban resistif, beban kapasitif murni, dan beban induktif murni.	lebih besar dari kecepatan medan putar stator) ns), mesin akan berfungsi sebagai generator dan energi listrik akan dikembalikan pada $\square$arall jala-jala, begitu juga sebaliknya. - Motor induksi umumnya berputar dengan kecepatan konstan, mendekati kecepatan sinkronnya. - Tegangan dapat diatur dengan cara : a. Mengubah jumlah kutub motor. b. Mengubah frekuensi jala-jala. c. Mengatur tegangan jala-jala. d. Pengaturan tahanan luar - Dengan menghubungkan sumber tegangan 3 fasa pada kumparan stator; dihasilkan medan putar.
--	---

Perbedaan lain antara Generator sinkron dan Asynkron. *Layman, 185.*

Generator Sinkron	Generator Asynkron
- Terdapat Sistem eksitasi DC yang diasosiasikan dengan regulator tegangan untuk menghasilkan tegangan, frekuensi dan mengontrol sudut fasa sebelum terhubung ke jala-jala, dan menyuplai daya reaktif pada jala-jala listrik. - Dari segi biaya generator sinkron lebih mahal daripada generator asynkron. - Karena dianggap handal, generator sinkron Sering digunakan pada pembangkit-pembangkit listrik.	- Tidak terdapat sistem eksitasi sehingga tidak dimungkinkan untuk mengatur / regulasi tegangan, dan menyerap daya reaktif pada jala-jala. - Lebih murah 2-4% dari generator sinkron. - Walaupun digunakan pada sistem pembangkit energi listrik, biasanya pada pembangkit yang berkapasitas 5000 kVA.

Berdasarkan parameter-parameter diatas, generator yang digunakan pada PLTMH dengan konfigurasi *cascade* untuk membangkitkan daya (yang direncanakan) sebesar $\pm 12 \text{ kW}$ ini menggunakan generator sinkron.

3.4.2. Pengaturan Kecepatan Putaran Generator.

Pengaturan kecepatan putaran generator dapat diperoleh dari rumus sbb:

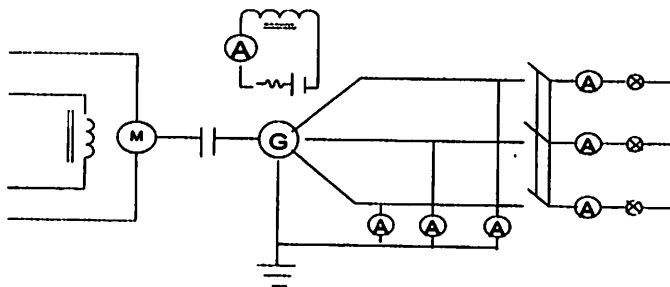
$$N_s = \frac{120 \cdot f}{P}$$
, perubahan jumlah kutub (P) ataupun frekuensi (f) akan mempengaruhi putaran.

Data Generator Sinkron yang akan digunakan (nameplate).

Merek	: AVK
Type	: DKBN 34/40 – 4TS

No.Seri	: 521 940 45
Daya	: 450 kVA
Tegangan	: 400/231 V
Hubungan	: Y
Arus	: 57,7 A
Frekwensi	: 50 Hz
Cos θ	: 0,8
Phasa	: 3
Putaran	: 1500 rpm
Isolasi class	: F
Excitasi	
Tegangan	: 27 V
Arus	: 2,15 A
Tahun	
	:

3.4.3. Percobaan Pengukuran generator tanpa beban



Gambar 3.7 ; Rangkaian generator sinkron 3 fasa
Tanpa beban

Sumber: panduan praktikum D.K.E.L;2005,hal 4

Data percobaan

1. Generator sinkron 3 fasa, dipasang pada landasan dan dikopel dengan penggerak mula / motor (sebagai pengganti turbin) yang sudah terhubung dengan panel.
2. Kecepatan putaran sinkron generator 3 fasa = 3000 rpm.
3. Pada terminal keluaran pembangkit dipasang tiga buah voltmeter AC dan pada kumparan medannya dicatu dengan sumber DC yang akan diatur secara bervariasi melalui potensiometer field-en dan dipasang ampere meter DC.

4. Percobaan dimulai dengan arus penguat $I_f = 0$, yang akan memberikan $E_o = 0$ kemudian I_f dinaikkan sampai $E_o = 0$ mencapai harga nominal yaitu tegangan fasa-fasa = 220 volt atau tegangan fasa-fasa = 380 volt.
5. Pencatatan E_o dan I_f dilakukan pada setiap kenaikan I_f dengan besar nilai yang ditentukan sendiri.
6. Mengulangi percobaan hingga diperoleh beberapa nilai untuk membuat lengkung karakteristik generator tanpa beban dengan $E_o = E_o (I_f)$.

Data hasil percobaan

Tabel 15 ;
hasil pengukuran pembangkit sinkron tanpa beban dengan $n = 3000$ rpm

No	If (naik)		If (turun)	
	If (A)	Eo (V)	If (A)	Eo (V)
1.	0,00	5,72	0,12	170,8
2.	0,03	44,8	0,09	135,0
3.	0,06	90,8	0,06	93,4
4.	0,09	134,4	0,03	47,8
5.	0,12	170,8	0,00	5,84

Analisa data hasil percobaan

Dari data hasil pengukuran diatas, maka ;

$$E_o = k \cdot n \cdot \phi$$

$$I_{f1} = I_{f2} , \text{ maka } \phi 1 = \phi 2$$

N_1 dan N_2 pada I_f yang sama maka $\phi 1 = \phi 2$, sehingga,

$$E_1 = k \cdot N_1 \cdot \phi 1$$

$$E_2 = k \cdot N_2 \cdot \phi 2$$

Dimana ;

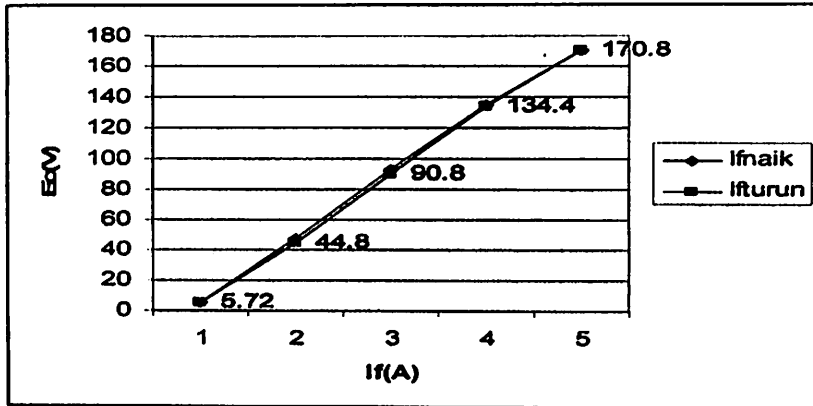
E_1, E_2 = tegangan jangkar

K = konstanta

$\phi 1, \phi 2$ = fluksi yang dihasilkan I_{f1} dan I_{f2}

Grafik3.1
karakteristik pembangkit sinkron tanpa beban dengan $n = 3000$ rpm

$$E_o = f(I_f)$$



Dengan demikian , pada pembangkit sinkron tanpa beban dengan n konstanta pada 3000 rpm, apabila arus penguatannya (I_f) dinaikkan maka tegangan akan bertambah besar dan apabila penguatannya (I_f) diturunkan maka tegangannya akan bertambah kecil, hal ini dipengaruhi oleh fluks-fluks yang dihasilkan.

3.4.4. Percobaan pengujian pembangkit sinkron 3 fasa berbeban

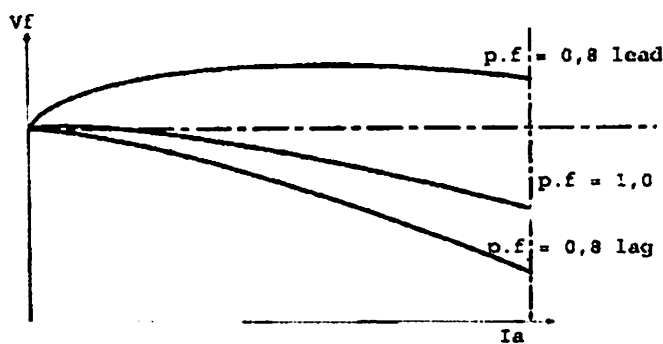
$$U = U(I_a)$$

Untuk : $n = \text{konstan}$

$$P.f = \text{konstan}$$

Untuk keadaan beban induktif pada $P.f$ *lagging*, reaksi jangkar dan penurunan tegangan $I_a (R_a + jX_a)$ menyebabkan tegangan tersebut turun, oleh karena itu untuk keadaan luar tersebut mempunyai lengkung yang yang menurun (untuk $\cos \phi$ yang lebih kecil maka penurunan akan lebih besar) Sedangkan untuk keadaan beban kapasitif (pada $p.f = \text{leading}$), $\square$ arall diatas bergerak pada penambahan tegangan. Untuk $\cos \phi$ yang lebih kecil penambahan akan lebih cepat. Dari beban resistif, kurva berada pada daerah diantara beban induktif dan beban kapasitif. Seperti yang terlihat pada gambar grafik dibawah ini.

Grafik lengkung regulasi generator AC pada $p.f$ yang berbeda



Pelaksanaan percobaan

1. Rangkaian percobaan adalah seperti gambar 3.7
2. Sebagai mesin penggerak mula masih menggunakan motor (sebagai pengganti turbin).
3. Putaran generator sinkron 3 fasa = 3000 rpm.
4. Saklar induk beban di-On-kan
5. Pelaksanaan dilakukan dengan menambah beban secara bertahap.
6. Mengamati perubahan yang terjadi, lalu kemudian mencatat nilai arus dan tegangan keluaran pada □aral.
7. Dari hasil pengukuran, membuat karakteristik luar pembangkit serempak. $U = U (I_a)$.

Data hasil percobaan

Tabel 16
hasil pebgukuran generator sinkron Berbeban, $n = 3000 \text{ rpm}$

No	Beban (W)	I_a (A)	V_a (V)
1.	0	0	220
2.	40	0,17	217
3.	60	0,24	212
4.	100	0,38	200

Analisa data hasil percobaan

Dari data hasil pengukuran diatas maka dapat diketahui *voltage regulation* (% V_r), yaitu : $\% V_r = \frac{V_n - V_{fl}}{V_{fl}} \times 100 \%$

Dimana $V_{nl} = E_o$ pada beban nol = 220 volt

$V_{fl} = E_o$ pada keadaan berbeban

4. Voltage regulation untuk beban 0 watt :

$$\begin{aligned}\% V_r &= \frac{220 - 220}{220} \times 100 \% \\ &= 0 \%\end{aligned}$$

5. Voltage regulation untuk beban 40 watt :

$$\begin{aligned}\% V_r &= \frac{220 - 217}{220} \times 100 \% \\ &= 1,38 \%\end{aligned}$$

6. Voltage regulation untuk beban 60 watt :

$$\begin{aligned}\% V_r &= \frac{220 - 212}{220} \times 100 \% \\ &= 3,77 \%\end{aligned}$$

7. Voltage regulation untuk beban 100 watt :

$$\begin{aligned}\% V_r &= \frac{220 - 200}{220} \times 100 \% \\ &= 10 \%\end{aligned}$$

Perhitungan arus jangkar (I_a) untuk masing-masing, maka ;

$$P = \sqrt{3} \cdot V \cdot I_a \cos \theta ; \text{dimana } \cos \theta = 1$$

* Untuk beban = 0 watt

$$I_a = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot V_a \cdot \cos \theta} = \frac{0}{\sqrt{3} \cdot 220 \cdot 1} = 0 \text{ A}$$

* Untuk beban = 40 watt

$$I_a = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot V_a \cdot \cos \theta} = \frac{40}{\sqrt{3} \cdot 217 \cdot 1} = 0,106 \text{ A}$$

* Untuk beban = 60 watt

$$I_a = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot V_a \cdot \cos \theta} = \frac{60}{\sqrt{3} \cdot 212 \cdot 1} = 0,16 \text{ A}$$

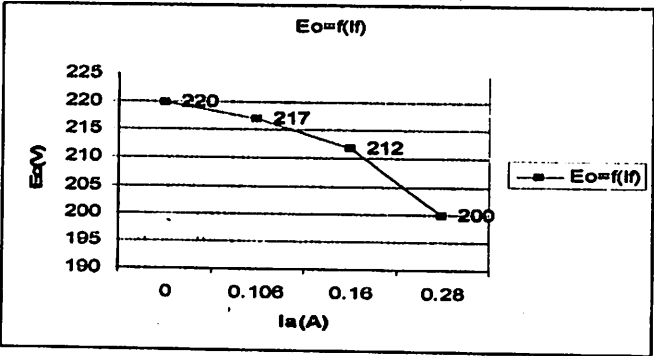
8. Untuk beban = 100 watt

$$I_a = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot V_a \cdot \cos\theta} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 200 \cdot 1} = 0,28 \text{ A}$$

Tabel 17
hasil perhitungan generator sinkron berbeban

No	Beban (W)	Ia (A)	Va (V)	% Vr
1.	0	0	220	0
2.	40	0.106	217	1,38
3.	60	0.16	212	3,77
4.	100	0.28	200	10

Grafik 3.2 ; karakteristik generator sinkron
Berbeban $E_o = f (I_f)$



Dengan demikian, bila beban bertambah besar maka V_r akan naik, dalam keadaan berbeban arus jangkar akan timbul putaran yang menyebabkan terjadinya reaksi jangkar, dengan bertambahnya beban maka arus jangkar akan semakin besar yang mengakibatkan tegangan (V) terminal turun, dalam keadaan berbeban arus jangkar akan mengalir dan mengakibatkan terjadinya reaksi jangkar yang bersifat reaktif, dengan bertambahnya beban maka arus jangkar akan menjadi besar pula sehingga rugi-rugi tegangan akan semakin besar.

3.4.5. Percobaan hubung singkat

Pengujian hubung singkat akan menghasilkan karakteristik hubung singkat sebagai berikut :

$$I_{sc} (\text{jangkar}) = I_{sc} (\text{medan})$$

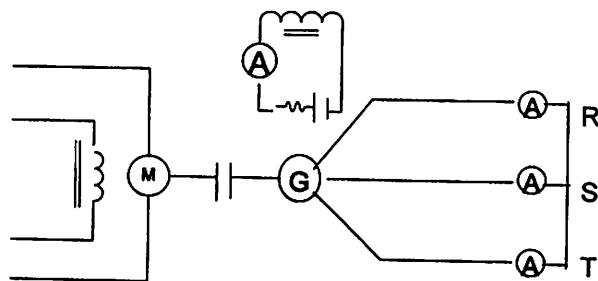
Untuk $I_f = \text{konstan}$

$$U = n \omega (0)$$

Fluks resultan ϕ_s mesin pada keadaan hubung singkat (*short circuit*) maka $U = 0$ dan I_a besar, GGL juga besar, karena reaksi jangkar bersifat melawan medan magnet maka GGL resultan kecil, sehingga ϕ_{arall} magnet berada pada daerah tak jenuh (sekalipun medan penguat besar, reaksi jangkar juga besar). Karena pembangkit bekerja pada daerah tak jenuh, bentuk kurva $I_{sc} = I_{sc} (I_f)$ berbentuk lurus (linier).

Pelaksanaan percobaan

1. Putaran generator sinkron 3 fasa = 3000 rpm
2. Mengatur arus penguat medan I_f dari 0 kemudian secara bertahap dinaikkan sampai harga I_{sc} mencapai harga maksimum. Setiap kenaikan I_{sc} yang terukur dan selama percobaan putaran mesin supaya dijaga nominalnya.
3. Dari hasil percobaan, dapat dibuat karakteristik hubung singkat dengan,
 $I_{sc} = I_{sc} (I_f)$



Gambar 3.8 ; generator sinkron hubung singkat
Sumber: panduan praktikum D.K.E.L;2005,hal 18

Data hasil percobaan

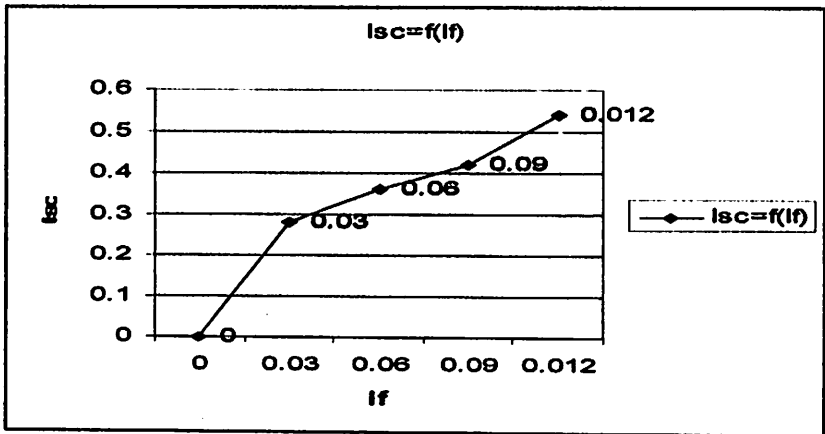
Tabel 18
hasil pengukuran pembangkit sinkron Dihubung singkat , $n = 3000 \text{ rpm}$

No	If (A)	Isc (A)
1.	0	0
2.	0,03	0,28
3.	0,06	0,36
4.	0,09	0,42
5.	0,12	0,54

Analisa data hasil percobaan

Karakteristik hubungan singkat dari data hasil pengukuran dapat dilihat pada grafik berikut :

Grafik 3.3 ; karakteristik pembangkit sinkron
Dihubung singkat $I_{sc} = f(I_f)$



Bila $E = n \cdot c \cdot \phi$ maka ;

* I_f naik , maka ϕ naik

* Jika E naik, $I_{sc} = \frac{E}{R_s}$ juga naik

Dimana :

I_{sc} = arus hubung singkat (A)

E = GGL Induksi (V)

R_s = Resistansi (Ω)

Sehingga dapat digambarkan karakteristik $I_s = I_f$ dalam pengujian hubung singkat :

Pengujian hubung singkat dan pengujian beban nol.

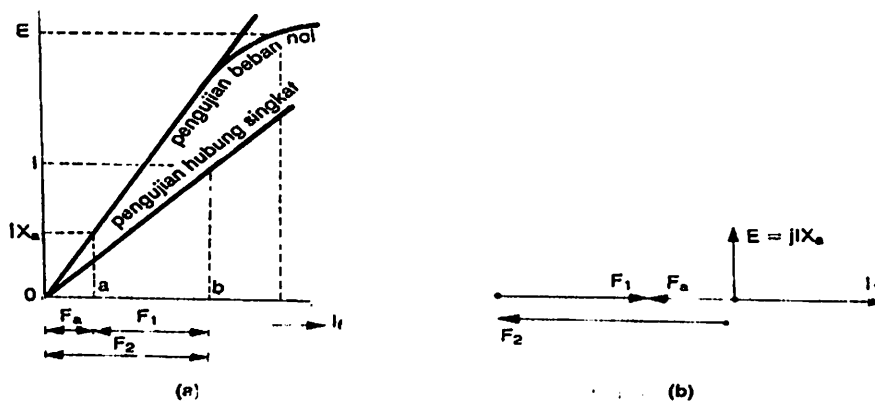
Pengujian beban nol

Pengujian dilakukan dengan menaikkan arus penguat sedikit demi sedikit sampai tercapai tegangan terminal E. Ujung terminal dibiarkan terbuka atau dalam keadaan tanpa beban. Data hasil pengujian dibuat kurva pemagnetan dengan tegangan E yang merupakan fungsi I_f .

Pengujian Hubung singkat

Pengujian dilakukan dengan menaikkan arus penguat pada rotor sedikit demi sedikit sampai keadaan arus beban penuh tercapai. Pada pengujian ini ujung terminal dihubungkan singkat.

Dari kedua pengujian diatas dapat digambarkan kurva seperti gambar 3.9



Gambar 3.9 kurva pengujian beban nol dan hubung singkat
Sumber: dasar tenaga listrik, Zuhaili; hal 97

Pada pengujian hubung singkat, I_f adalah penguatan untuk menghasilkan arus kerja stator. Jika tahanan stator diabaikan, diagram potier tampak seperti gambar 3.9b, hal ini karena $V = 0$, $E = j I X_a$ dan harga F_a kecil sekali. F_1 dan F_2 saling berlawanan, besarnya hampir sama. Harga X_a dihitung dari garis kebocoran fluks. Oa adalah harga F_a atau gaya gerak magnet pada keadaan hubung singkat yang diperlukan untuk menghasilkan tegangan $I X_a$ pada beban nol. Sedangkan ob adalah arus penguat medan yang menghasilkan gaya gerak magnet F_2 . Perbedaan ab menyatakan harga F_1 yang ekuivalen dengan arus rotor. Dari keterangan diatas, kita dapat

menentukan harga X_a bila parameter lainnya diketahui, namun hasil yang diperoleh kurang teliti.

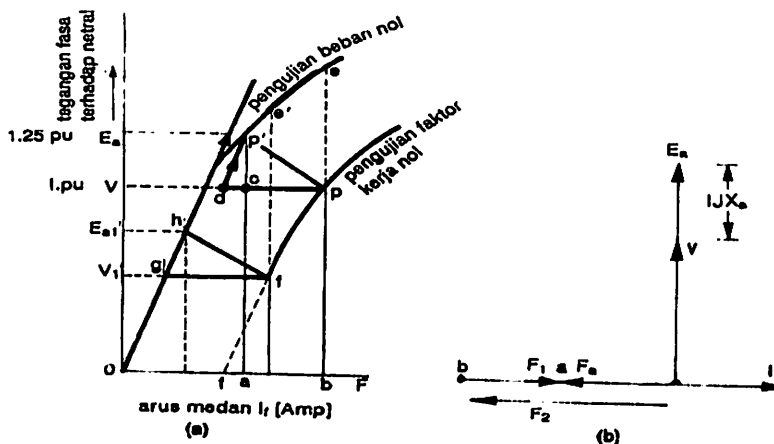
Pengujian faktor kerja nol

Menentukan harga reaktansi bocor X_a dapat dilakukan dengan pengujian berbeban dengan faktor kerja sama dengan nol. Pengujian dilakukan seperti pada pengujian beban nol hanya saja dalam hal ini pada faktor kerja nol diberikan beban dan mesin bekerja sebagai reaktor. Arus stator pada arus kerjanya dijaga supaya konstan dan demikian pula faktor kerja nolnya, kurva hasil pengujian yaitu V terhadap I_f tampak seperti kurva pemagnetan beban nol yang telah bergeser ke sebelah kanan. Perhatikan gambar 3.10a, untuk mendapatkan tegangan terminal sebesar V pada keadaan operasi seperti ini diperlukan arus medan sebesar ob . Dalam hal ini gaya gerak magnet jangkar (F_1) ekuivalen terhadap arus ab , juga resultan gaya gerak magnet (F_a) ekuivalen terhadap arus medan dan dinyatakan sebagai berikut:

$$oa = ob - ab$$

$$F_a = F_2 - F_1$$

Perhatikan gambar 3.10b.



Gambar 3.10 ; kurva pengujian $\square$ arall kerja nol
 Sumber: dasar tenaga listrik, Zuhail; hal 98

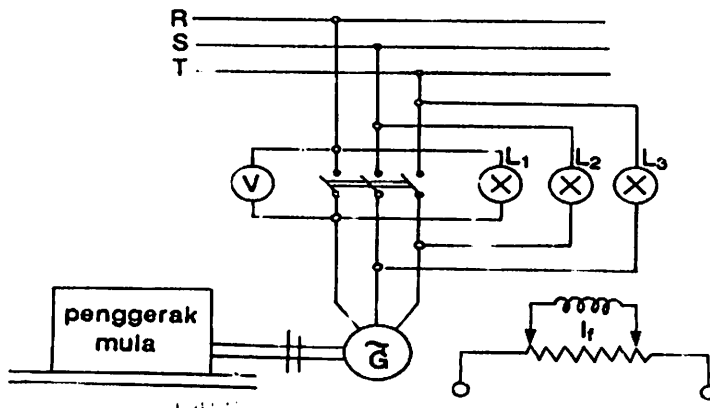
Resultan gaya gerak magnet F_a akan membangkitkan tegangan dari kurva kejenuhan beban nol sebesar E_a volt. Karena pada operasi faktor kerja sama dengan nol, penjumlahan secara aljabar (biasa) V dan $I_x a$ akan menghasilkan tegangan yang dibangkitkan. Jadi garis $P'C$ ekivalen dengan tegangan reaktansi bocor.

$$X_s = \frac{\text{tegangan } P'C}{\text{ arus ker jangkar}}$$

Titik d diperoleh karena perpotongan garis yang dibentuk dari titik P sejajar karakteristik beban nol pada daerah titik jenuh dengan garis yang diluar dari titik P sejajar ob. Pada akhirnya diperoleh segitiga potier ($PP'd$).

Dengan demikian pada pembangkit sinkron 3 fasa dihubung singkat, kenaikan i_f diikuti dengan kenaikan arus hubung singkat I_{sc} , hal ini dipengaruhi oleh reaktansi jangkar yang bersifat melawan medan magnet.

3.4.6. Kerja Paralel Gencrator



Gambar 3.11 ; rangkaian kerja □arallel pembangkit sinkron 3 fasa
Sumber: dasar tenaga ,Zuhal;hal 106

Pelaksanaan Percobaan

1. Generator 3 fasa diputar oleh motor penggerak mula, putaran diatur dengan tahanan geser pada penguat medan motor penggerak sampai pada kecepatan 3000 rpm.

2. Penguatan generator diambil dari sumber, melalui voltage regulator.
3. Putaran diatur dengan mengatur tahanan penguat dari medan penggerak mula, sehingga frekwensi listrik yang dibangkitkan tepat 50 Hz, sama dengan frekuensi jala-jala PLN.
4. Mengamati lampu synchrhonoscope (dalam hubungan gelap atau terang).
5. Saklar paralel dihubungkan pada saat yang tepat, hal mana dapat dilihat pada lampu synchronoscope.
6. Mengamati tegangan generator, frekuensi generator dan arus penguatan generator pada saat kerja paralel berlangsung.

Data hasil percobaan

Tabel 19
hasil pengukuran kerja paralel

Vo (V)	If (A)	F (Hz)	L1	L2	L3
220	0,083	50	On	on	off

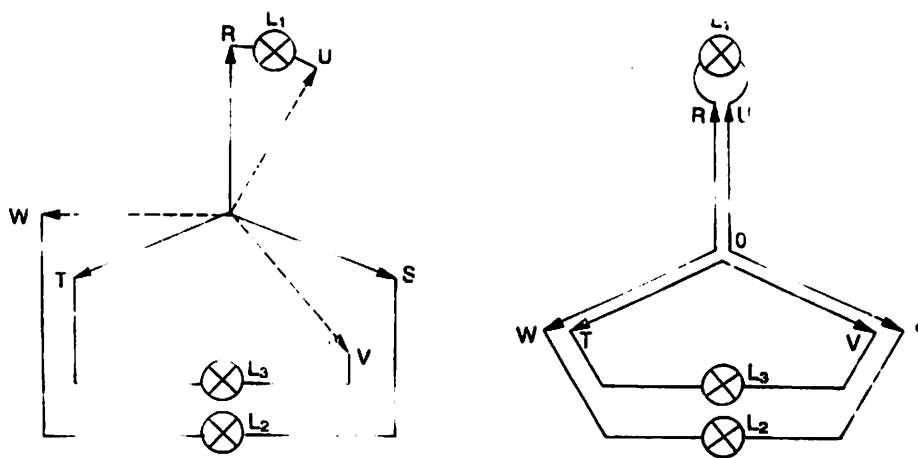
Analisa data hasil percobaan

Dari data yang didapat, menunjukkan bahwa urutan fasa, tagangan dan frekuensi yang sama dapat ditunjukkan dengan lampu synchrhonoscope yang dihubungkan secara paralel dimana hasil pengukuran /percobaan pada fasa $f = 50 \text{ Hz}$, $V_o = 220 \text{ V}$; $I_f = 0,087 \text{ A}$

Maka : L1 = On/nyala

L2 = On/nyala

L3 = off /mati



Gambar 3.12; diagram fasor kerja paralel generator sinkron 3 fasa
Hubungan gelap terang

Sumber: dasar tenaga listrik, Zuhail; hal 108

R, S dan T urutan fasa jala-jala, U, V dan W urutan fasa generator. Jika urutan fasa kedua sistem tegangan sama, lampu L1, L2 dan L3 akan hidup mati bergantian dengan frekuensi $f_L - f_G$ cycle, jika fasa sama, lampu 2 nyala / mati saat memparalel ialah pada keadaan L1 mati sedang L2 dapat menyala sama terang dan keadaan ini berlangsung agak lama (f_L dan f_G sudah sangat dekat).

Keterangan :

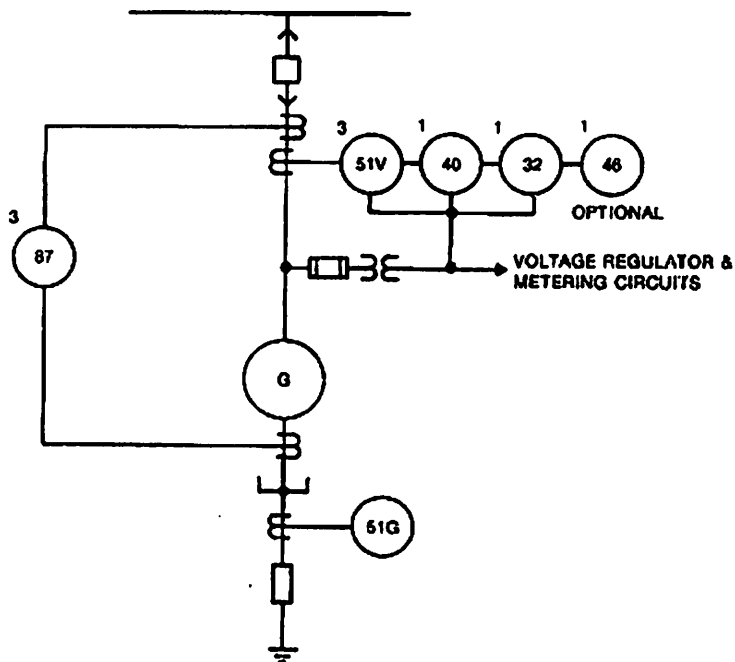
L1 ; mendapat tegangan $V_{ru} = 0$ (lampu mati) karena R berhimpit dengan U ($V_{mu} = V_{br} - V_{ud}$)

L2 ; mendapat tegangan $V_{ts} \neq 0$ (lampu hidup)

L3 ; mendapat tegangan $V_{tv} \neq 0$ (lampu hidup)

Dengan demikian, pada percobaan kerja paralel syarat untuk memparalel terpenuhi bila 2 diantara 3 lampu akan menyala dan yang satunya mati. Tegangan, frekuensi dan urutan fasa keluaran generator dan jala-jala PLN harus sama.

3.4.7.2. Relay Pengaman



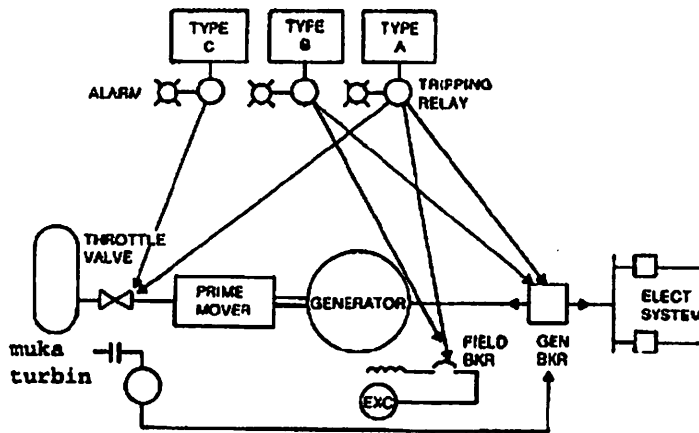
**Gambar 3.14 skema sistem proteksi
Pembangkit berkapasitas kecil**

Sumber: "power plant protection system"; ANSI; hal 468

Tabel 20: klasifikasi fungsi system proteksi

Type	Jenis Pengaman / relay	Lokasi penempatan
B	Backup overcurrent, 51V	System
B	Loss of Exitation, 40	Generator or
B	Reverse Power, 32	exciter
B	Negative sequence overcurrent , 46	Prime mover
B	Ground overcurrent, 51G	System
A	General differential, 87	generator

Skema Trip-ing untuk fungsi relay type A.



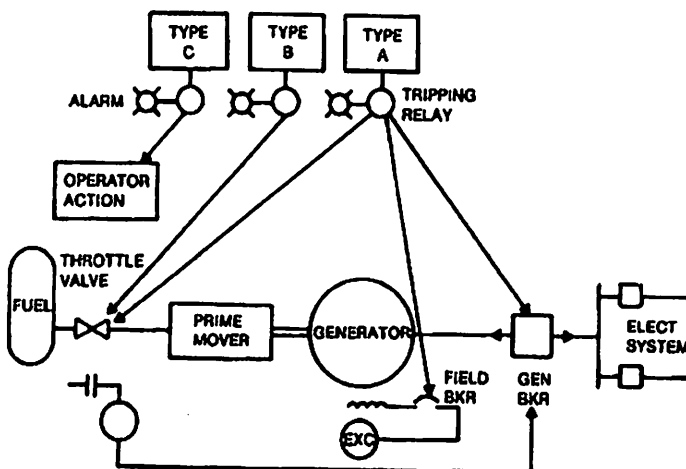
Sumber: "power plant protection system";ANSI;hal 464

Terdapat alternatif kemungkinan yang perlu dipertimbangkan, antara lain :

1. Trip generator, circuit breakers dan penutupan pintu air / valve.

Suplai air yang menggerakkan turbin tidak sebanding dengan beban yang terlalu kecil., akibatnya terjadi overspeed pada generator, hal ini dapat diantisipasi dengan mengurangi debit air yang masuk ke turbin melalui valve, atau jika terdapat sensor otomatis / relay pada valve dapat langsung mentrip-kan circuit breaker hal ini dilakukan untuk melindungi generator.

Skema Trip-ing untuk fungsi relay type B



Sumber: "power plant protection system";ANSI;hal 465

Terdapat empat hal yang perlu dipertimbangkan dalam bekerjanya relay.

- Trip Generator pemutus medan (CB), dan penutupan valve/keran air.
- Trip generator dan circuit breaker (CB).
- Trip valve katup penutup.
- Alarm sebagai sinyal mematikan penggerak secara manual.

3.5.Perhitungan Kapasitas Pembangkitan

3.5.1. Analisa Debit (Q), Head (H) dan Daya Keluaran (P)

Dengan menggunakan Rumus Daya teoritis ;

$$P = \eta \cdot g \cdot Q \cdot H$$

Dimana:

P = daya, (W)

η = efisiensi system

g = gravitasi, (m/det)

H = tinggi terjun, (m) dan

Q = debit air. (m³/det)

Diketahui ;

H = 14 m

g = 9,8 m/det²

η turbin = 0,8

Q = 0.1,0.2...0.5 m³/det

P(Q) = H · Q · η · g

P(Q) =

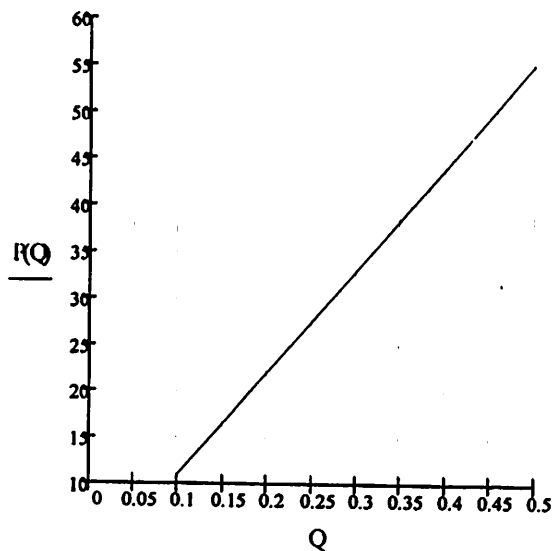
10.976

21.952

32.928

43.904

54.88



Grafik 3.4

Hubungan antara daya keluaran terhadap perubahan Debit air dengan head = 14m

Diketahui :

$$Q = 0,305 \text{ m}^3/\text{det}$$

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

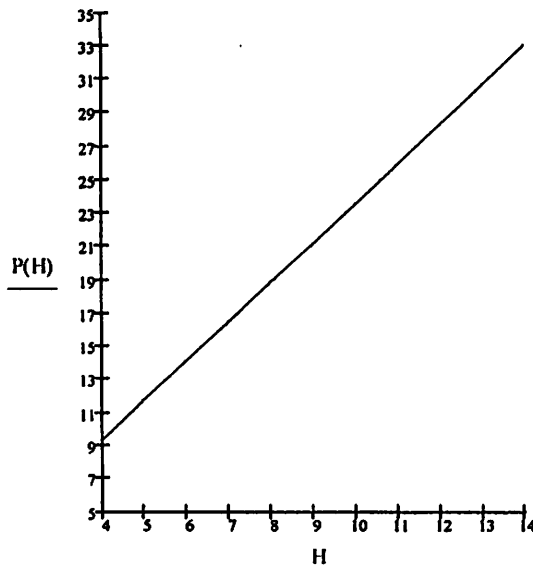
$$\eta_{\text{turbin}} = 0,8$$

$$H = 5,6,7 \dots 15 \text{ m}$$

$$P(H) = H \cdot Q \cdot \eta \cdot g$$

$$P(H) =$$

9.408
11.76
14.112
16.464
18.816
21.168
23.52
25.872
28.224
30.576
32.928



Grafik 3.5

Hubungan antara Daya keluaran terhadap perubahan Head dengan $Q = 0,305 \text{ m}^3/\text{det}$

Berdasarkan grafik hubungan antara daya keluaran terhadap perubahan Head, sehingga untuk menghasilkan daya keluaran dengan sistem cascade sebesar 12 kw dibutuhkan tinggi jatuh air/head $\pm 7 \text{ m}$.

3.5.2. Kapasitas Pembangkitan PLTMH cascade

Perhitungan daya (teoritis) dan energi yang dihasilkan PLTM pada saluran irigasi di Seloliman dihitung dengan menggunakan rumus sbb;

$$P = 9,81 \cdot \mu \cdot Q_p \cdot H_{\text{eff}}$$

$$E = P \cdot n \cdot n_i$$

Diketahui data perencanaan :

$$\mu = 0,8$$

$$Q_p = 0,3 \text{ m}^3/\text{det}$$

$$H_{\text{eff}} = 7,89 \text{ m}$$

$$n = 24 \text{ jam}$$

$$n_i = 30 \text{ hari}$$

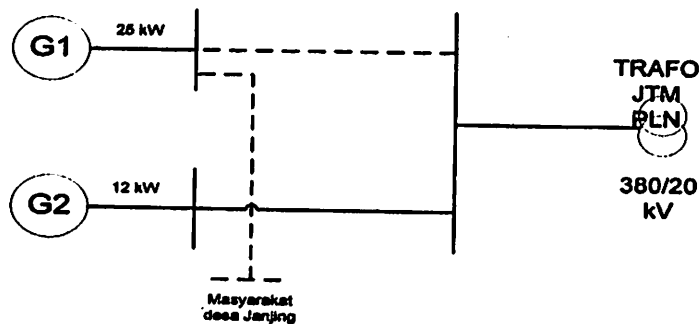
$$\begin{aligned} P &= 9,81 \cdot \mu \cdot Q_p \cdot H_{eff} \\ &= 9,81 \cdot 0,8 \cdot 0,3 \cdot 7,89 \\ &= 18,57 \text{ kW} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} E &= P \cdot n \cdot n_i \\ &= 18,57 \cdot 24 \cdot 30 \\ &= 13374,87 \text{ kWh} \end{aligned}$$

3.5.3. Daya keluaran system kerja paralel

Berdasarkan landasan teori pada bab sebelumnya, terdapat syarat-syarat yang harus dipenuhi antara lain :

- Harga sesaat ggl kedua alternator harus sama besar, dan bertentangan arah, atau harga efektif terminal alternator harus sama besar dan berlawanan arah dengan harga efektif tegangan jala-jala.
- Frekuensi kedua alternator dengan jala-jala harus sama.
- Urutan fasa kedua alternator harus sama.



Gambar 3.15: rencana kerja paralel generator
Sumber: mesin sinkron, Abdul Kadir

Diketahui data perencanaan ;

$$PG1 = 25 \text{ kW}$$

$$PG_{cascade}(\text{rencana}) = 12 \text{ kW}$$

$$P_{tot} = 25 + 12$$

$$= 37 \text{ kW}$$

Dengan demikian daya total keluaran yang dimiliki PLTMH di Seloliman setelah PLTMH dengan konfigurasi cascade ini dibangun adalah $\pm 37 \text{ kW}$. Daya yang dihasilkan ini diantaranya dimanfaatkan guna kebutuhan listrik masyarakat desa janjing dan sisanya dijual ke PLN yang terkoneksi pada JTM-PLN distribusi Mojokerto-JATIM.

BAB IV

PERHITUNGAN ANALISA MANFAAT TERHADAP BIAYA / *COST BENEFIT RATIO* PERANCANGAN PLTMH YANG DIKONFIGURASI SECARA CASCADE

4.1. Studi Komparatif Perancangan PLTMH dengan konfigurasi cascade

PLTMH Seloliman

Diketahui :

$$Q = 0.315 \text{ m}^3/\text{det}$$

$$H = 14 \text{ m}$$

$$\eta = 80 \%$$

$$g = 9.8 \text{ m}/\text{der}$$

$$\begin{aligned} P &= Q \cdot H \cdot \eta \cdot g \\ &= 0.315 \cdot 14 \cdot 0.8 \cdot 9.8 \\ &= 34.75 \text{ kW} \end{aligned}$$

PLTMH yang diparalel

PLTMH I

Diketahui :

$$Q = 0.2 \text{ m}^3/\text{det}$$

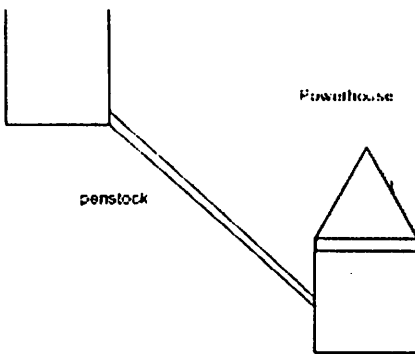
$$H = 14 \text{ m}$$

$$\eta = 80 \%$$

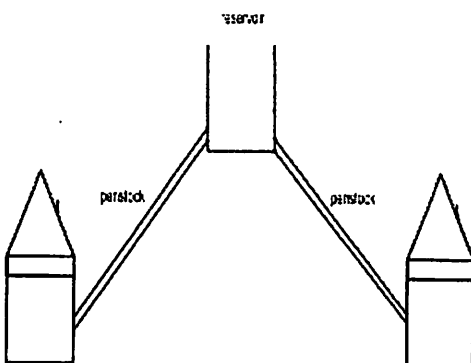
$$g = 9.8 \text{ m}/\text{det}$$

$$\begin{aligned} P &= Q \cdot H \cdot \eta \cdot g \\ &= 0.2 \cdot 14 \cdot 0.8 \cdot 9.8 \\ &= 21.95 \text{ kW} \end{aligned}$$

PLTMH II



Gambar 4.1
PLTMH I



Gambar 4.2
PLTMH konfigurasi seri

$$Q = 0.1 \text{ m}^3/\text{det}$$

$$H = 14 \text{ m}$$

$$\eta = 80 \%$$

$$g = 9.8 \text{ m/det}$$

$$\begin{aligned} P &= Q \cdot H \cdot \eta \cdot g \\ &= 0.1 \cdot 14 \cdot 0.8 \cdot 9.8 \\ &= 10.97 \text{ kW} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{\text{tot}} &= P_1 + P_2 \\ &= 21.95 + 10.97 \\ &= 32.93 \text{ kW} \end{aligned}$$

PLTMH yang dikonfigurasi cascadee

PLTMH I

Diketahui :

$$Q = 0.315 \text{ m}^3/\text{det}$$

$$H = 14 \text{ m}$$

$$\eta = 80 \%$$

$$g = 9.8 \text{ m/det}$$

$$\begin{aligned} P &= Q \cdot H \cdot \eta \cdot g \\ &= 0.315 \cdot 14 \cdot 0.8 \cdot 9.8 \\ &= 34.75 \text{ kW} \end{aligned}$$

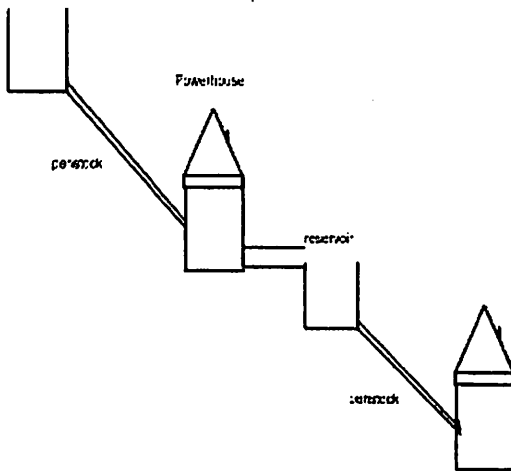
PLTMH II

$$Q = 0.3 \text{ m}^3/\text{det}$$

$$H = 7 \text{ m}$$

$$\eta = 80 \%$$

$$g = 9.8 \text{ m/det}$$



Gambar 4.3
PLTMH konfigurasi cascade

$$\begin{aligned}
 P &= Q \cdot H \cdot \eta \cdot g \\
 &= 0.3 \cdot 7 \cdot 0.8 \cdot 9.8 \\
 &= 16.46 \text{ kW} \\
 P_{\text{tot}} &= P_1 + P_2 \\
 &= 34.75 + 16.46 \\
 &= 51.03 \text{ kW}
 \end{aligned}$$

4.2. Perhitungan analisa manfaat terhadap biaya

4.2.1. PLTMH I Seloliman

PLTMH Kalimaron selesai dibangun pada tahun 1994 pada mulanya dengan kapasitas 9 kW. Pada tahun 2000 kapasitas PLTMH ditingkatkan menjadi sekitar 20 kW untuk memenuhi kebutuhan listrik (khususnya penerangan) pada dusun Jhjing, PPLH Seloliman dan unit usaha kecil di Dusun Sempur. Beban puncak dari PLTMH Kalimaron diperkirakan sebesar 7 kW dan terjadi antara pukul 18:00-23:00. PLTMH Kalimaron praktis dapat memenuhi kebutuhan listrik masyarakat sepanjang tahun.

Sampai saat ini PLTMH Kalimaron telah beroperasi selama lebih kurang 9 tahun dengan waktu operasi lebih dari 62.000 jam tanpa mengalami gangguan yang berarti. Dengan data tersebut dapat dikatakan bahwa ketersediaan PLTMH Kalimaron mencapai sekitar 87%.

Sekitar 2-3 tahun yang lalu jaringan listrik PLN, baik pada tegangan menengah maupun rendah, masuk ke wilayah Desa Seloliman. Mengingat PLTMH Kalimaron selalu memiliki kelebihan daya dan di pihak lain adanya fasilitas PSK Tersebar, maka uji coba pemanfaatan fasilitas PSK Tersebar pada PLTMH Kalimaron akan menjadi kasus yang sangat menarik.

Uji coba ini sekaligus akan dijadikan acuan untuk beberapa hal sebagai berikut:

- mendapatkan gambaran dan inventarisasi masalah yang terkait dengan prosedur pelaksanaan PSK Tersebar

- mengidentifikasi kelayakan dan kemampuan teknis pendukung untuk integrasi pembangkit skala kecil ke jaringan PLN
- mengoptimalkan daya guna PLTMH yang tersebar diberbagai wilayah dan pola pendanaan yang dapat dibangun
- melakukan analisis mengenai dampak ekonomi dari PSK Tersebar khususnya dalam rangka meningkatkan pendapatan masyarakat setempat

Pada awalnya PLTMH Kalimaron dirancang untuk menyediakan kebutuhan listrik dari 400 KK yang ada di Dusun Jajjing. Mengingat adanya berbagai kebutuhan listrik untuk kegiatan PPLH dan beberapa kegiatan produktif masyarakat Desa Seloliman (pengolahan Kapuk Randu dan Kertas Bekas). Kecuali untuk kegiatan pengolahan kapuk randu, pengolahan kertas bekas, dan kantor PPLH, sebagian besar beban listrik diatas pada umumnya terjadi pada malam hari.

Meskipun demikian beban puncak PLTMH Kalimaron masih berada dibawah kapasitas mampunya, yang diperkirakan 4 kW pada siang hari dan 7 kW pada malam hari. Dengan adanya fasilitas PSK Tersebar tersebut dimuka, memberikan peluang untuk mengoptimalkan daya dan energi yang dibangkitkan oleh PLTMH Kalimaron, disamping dapat memberikan pendapatan tambahan bagi anggota Paguyuban PLTM Kalimaron.

Beban yang dipikul PLTMH Kalimaron saat ini meliputi:

- 10 KK di Dusun Jajjing masing-masing dengan daya 450 VA
- 29 KK di Dusun Jajjing masing-masing dengan daya 200 VA
- Mesin pengolahan kapuk randu, 3.000 VA
- Pengolahan kertas bekas, 900 VA
- Kantor PPLH, 2000 VA
- Gedung Serbaguna, 1.300 VA
- Guest-house, 900 VA
- Ruang seminar, 900 VA
- Restoran, 900 VA
- Bungalow, 900 VA

4.2.1.1.Lokasi PLTMH Kalimaron

Lokasi PLTMH Kalimaron terletak diperbukitan Gunung Penanggungan, tepatnya di Desa Seloliman, Kecamatan Trawas, Kabupaten Mojokerto. Secara geografis terletak pada sekitar 112°35' BT dan 7°36' LS. PLTMH Kalimaron dapat ditempuh dalam waktu sekitar 1,5 jam dari Surabaya.

Secara administratif lokasi PLTMH Kali Maron terletak di:

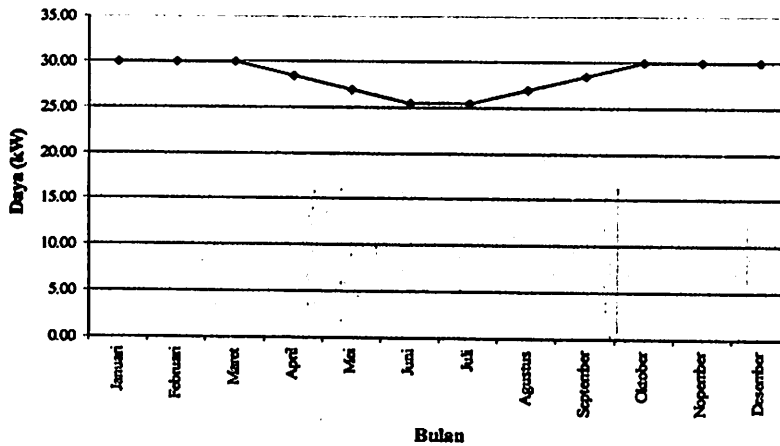
Desa : Seloliman
Kecamatan : Trawas
Kabupaten : Mojokerto

4.2.1.2 Kondisi Teknis

PLTMH Kalimaron saat ini masih bekerja dengan baik dengan daya terpasang sebesar 30 kW. Spesifikasi bangunan sipil dan elektro-mekanikal PLTMH Kalimaron berturut-turut disampaikan pada Tabel 1 dan Tabel 2.

Mengingat kerugian head di pipa supply kapasitas mampu PLTMH Kalimaron saat ini sekitar 25 kW. Berdasarkan pemantauan dilapangan daya keluaran PLTMH Kalimaron dapat dikatakan merata sepanjang tahun. Namun untuk keperluan analisis daya keluaran PLTMH Kalimaron diperhitungkan sedikit berkurang pada bulan-bulan kemarau. Profil keluaran daya selama satu tahun diasumsikan mengikuti pola pada grafik 4.1 berikut..

Grafik 4.1; Profil Keluaran Listrik PLTMH Kalimaron



Sbr:PPLH-Seloliman

4.2.1.3. Operasional dan Pemeliharaan

Pelaksanaan operasional dan pemeliharaan PLTMH Kalimaron, sebagaimana yang telah berlangsung selama ini ini akan tetap ditangani dan dikelola oleh Paguyuban PLTM Kalimaron. Berdasarkan pengalaman yang ada dan tambahan sedikit pelatihan untuk pengoperasian peralatan interkoneksi dan tata cara pemeliharaannya, Paguyuban PLTM Kalimaron akan mampu menanganinya.

4.2.1.4. Sumber Dana

Dari hasil pertemuan antara pengurus Paguyuban PLTM Kalimaron dengan Pejabat DJLPE, dan Pejabat PLN setempat, yang diselenggarakan di PPLH Seloliman, pada tanggal 4 April 2003, tersirat bahwa dana untuk keperluan optimalisasi pemanfaatan PLTMH Seloliman dalam rangka PSK Tersebar tidak dapat sepenuhnya dilakukan melalui pinjaman komersial. Karenanya, diperlukan suatu kombinasi pendanaan berupa hibah, pinjaman lunak dan/atau bantuan dana bergulir, dan dana masyarakat sendiri melalui Paguyuban PLTM Kalimaron.

Namun melihat kemampuan masyarakat yang terhimpun didalam Paguyuban PLTM Kalimaron pada saat ini sangat terbatas dan atas kesediaan MHPP-GTZ, maka pendanaan dalam rangka PSK Tersebar ini akan dibantu oleh MHPP-GTZ sebagai

dana bergulir. Dana tersebut tidak akan dikenakan bunga. Namun, dalam proyeksi ini diperhitungkan ada terdapat kompensasi nilai tukar uang senilai tingkat inflasi yang diasumsikan sebesar 7% per-tahun.

Pengembalian dana bergulir akan dilakukan dengan mengambil dari sebagian hasil penjualan listrik baik ke PLN maupun masyarakat. Harga penjualan ke PLN diperhitungkan sebesar $0,8 \times \text{HPP}$ pada titik interkoneksi JTM. Berdasarkan data yang diterima dari PLN Cabang Mojokerto, HPP pada titik interkoneksi JTM adalah Rp. 554,-/kWh dengan nilai kontrak sebesar Rp.335,-

4.2.1.5. Kelayakan Usaha

4.2.1.5.1 Pemasaran

PSK Tersebar yang digariskan melalui KEPMEN ESDM No. 1122 K/30/MEM/2002, tanggal 12 Juni 2002, adalah suatu ketentuan yang dikeluarkan oleh Menteri Energi dan Sumberdaya Mineral yang mewajibkan PLN membeli listrik yang dibangkitkan oleh sumber energi terbarukan yang dimiliki oleh UKM atau Koperasi, seperti pada PLTMH Seloliman tersebut. Ketentuan tersebut sebenarnya telah memberikan pengamanan dalam memasarkan produk berupa tenaga listrik yang diusahakan oleh Koperasi atau UKM.

Ketentuan tersebut memang mengandung fasilitas dari pemerintah kepada Koperasi dan UKM, sehingga sangat rawan terjadi perubahan arah kebijakan yang ditetapkan pemerintah. Walau demikian secara obyektif kebutuhan tenaga listrik akan terus meningkat sejalan tuntutan akan pertumbuhan ekonomi, dan untuk menunjang pemenuhan tenaga listrik tidak dapat lagi mengandalkan pada investasi Pemerintah. Listrik swasta adalah suatu yang tidak dapat dihindari sejalan dengan semakin besarnya nilai investasi yang harus dilakukan serta semakin terbatasnya dana yang dapat disediakan Pemerintah, maupun paradigma peranan Pemerintah dimasa mendatang yang lebih berperan sebagai regulator dan fasilitator.

Pola Pembangkit listrik Sekala Kecil (PSK) tersebar memang merupakan hal baru bagi Indonesia. Pola ini sebenarnya telah dikembangkan dinegara-negara berkembang lainnya maupun di negara maju, sehingga bila Indonesia tidak segera memasuki sistem tersebut maka akan terus menerus mengalami kekurangan daya listrik.

Pengamanan penjualan dilakukan dengan dibuat kontrak pembelian listrik antara PLN sebagai pemilik jaringan distribusi. Adanya kontrak tersebut merupakan pengamanan bagi pihak-pihak yang terkait.

- Bagi bank maka adanya kontrak tersebut dapat dinilai adanya jaminan penjualan yang berarti mengamankan sumber pengembalian kreditnya.
- Bagi PLN adanya kontrak tersebut berarti adanya jaminan ketersediaan daya listrik.
- Bagi Usaha PLTMH akan memudahkan memperoleh sumber dana investasi serta kepastian pembayaran.
- Bagi Pemda adanya jaminan terciptanya pertumbuhan ekonomi dimasyarakat dan jaminan adanya PAD.

4.2.1.5.2 Teknik Operasional

PLTMH Kalimantan dibangun atas inisiatif Yayasan Mandiri dan PPLI Seloliman. Sumber pendanaan utama diperoleh dari Pemerintah Jerman melalui GTZ. Pengelolaannya diserahkan kepada Paguyuban Kali Maron (PKM) Seloliman.

Berkaitan dengan Optimalisasi PLTMH Kalimantan, Paguyuban PLTM Kalimantan dalam mengelola usaha cukup meyakinkan, mengingat secara teknis telah memiliki pengalaman mengelola PLTMH tersebut selama lebih kurang 9 tahun.

Pengelolaan usaha komersial dapat diperkirakan tidak menghadapi kendala yang berarti, karena Paguyuban Kali Maron (PKM) Seloliman telah terbiasa melakukan kegiatan usaha sosial dan komersial.

Produktifitas PLTMH sangat dipengaruhi oleh keandalan sistim dan cuaca. Keandalan sistim dapat dikatakan tidak ada hal yang sangat berarti, disamping alat-alat yang teruji dengan baik, serta masa operasi selama 9 tahun selama ini tidak dijumpai permasalahan dalam peralatan tersebut. Dalam memproduksi energi listrik bagi pembangkit tenaga air sangat dipengaruhi ketersediaan debit air yang akan menggerakkan turbin. Pada iklim dimana curah hujan tinggi maka akan dicapai produksi pada kapasitas maksimum. Sebaliknya pada iklim dimana curah hujan sangat rendah maka maka kapasitas akan menurun. Statistik ketersediaan listrik adalah seperti yang telah diuraikan dimuka.

4.2.1.5.3 Produksi

Produktifitas PLTMH sangat dipengaruhi oleh kehandalan sistirh dan cuaca. Keandalan sistim dapat dikatakan sangat terjamin dan telah terbukti bahwa sistem telah berjalan selama 9 tahun tanpa dijumpai permasalahan yang berarti. Dalam memproduksi energi listrik bagi pembangkit tenaga air sangat dipengaruhi ketersediaan debit air yang akan menggerakkan turbin. Pada iklim dimana curah hujan tinggi maka akan dicapai produksi pada kapasitas maksimum. Sebaliknya pada iklim dimana curah hujan sangat rendah maka maka kapasitas akan menurun. Berdasarkan masukan yang dilaporkan masyarakat ketesediaan air Kalimaron dapat dikatakan sangat stabil sepanjang tahun. Meskipun demikian, agar dicapai analisis yang lebih obyektif, ketersediaan sumberdaya air untuk PLTMH Kalimaron diasumsikan mengikuti pola statistik sebagai Tabel 22 berikut.

Tabel 22; Profil Pembangkitan Listrik Tahunan

Bulan	Ketersediaan (%)	Keluaran (kW)
Januari	100%	30.00
Februari	100%	30.00
Maret	100%	30.00
April	95%	28.50
Mei	90%	27.00

Juni	85%	25.50
July	85%	25.50
Agustus	90%	27.00
September	95%	28.50
Oktober	100%	30.00
November	100%	30.00
Desember	100%	30.00
Rata-rata	95%	28.50

Sbr.PPLH-Seloloman

4.2.1.5.4 Penjualan Listrik

Dalam transaksi jual beli tenaga listrik dimungkinkan dengan beberapa alternatif, yaitu;

Alternatif pertama, seluruh produksi dijual kepada PLN.

Alternatif kedua, penjualan kepada jaringan PLN merupakan sisa energi yang tidak terjual kepada anggota Koperasi.

Dari hasil pertemuan antara pengurus Paguyuban Kali Maron (PKM) Seloliman dengan Pejabat DJLPE, dan Pejabat PLN setempat, yang diselenggarakan di PPLH Seloliman, pada tanggal 4 April 2003, disepakati bahwa sebagai langkah awal akan diarahkan pada alternatif kedua dengan transaksi sebagai berikut:

- Penjualan langsung dilakukan dan diperuntukkan kepada konsumen utama yaitu masyarakat, khususnya masyarakat dari Dusun Janjing, yang selama ini telah berlangganan.
- Penjualan kepada PLN dilakukan pada saat PLTMH Kalimaron memiliki kelebihan daya.
- Tidak dilakukan pembelian listrik PLN manakala terjadi kekurangan pasokan untuk pada konsumen utama.

Berdasarkan pengalaman selama ini kebutuhan daya yang diminta konsumen utama adalah 7 kW pada masa beban puncak antara pukul 18:00 hingga pukul 23:00., sementara itu kebutuhan daya pada masa beban biasa diperkirakan 75%

dari beban puncak. Proyeksi perhitungan penjualan langsung dapat dilihat pada Tabel berikut.

Tabel 23; Proyeksi Penjualan Langsung ke Masyarakat (kWh/tahun)

	Beban Puncak		Beban Dasar		Energi Harian	Jumlah Hari	Total
	kW	Jam	kW	Jam	kWh		Bulanan
Januari	7	5	4.2	19	114.8	31	3,559
Februari	7	5	4.2	19	114.8	28	3,214
Maret	7	5	4.2	19	114.8	31	3,559
April	7	5	4.2	19	114.8	30	3,444
Mei	7	5	4.2	19	114.8	31	3,559
Juni	7	5	4.2	19	114.8	30	3,444
Juli	7	5	4.2	19	114.8	31	3,559
Agustus	7	5	4.2	19	114.8	31	3,559
September	7	5	4.2	19	114.8	30	3,444
Oktober	7	5	4.2	19	114.8	31	3,559
Nopember	7	5	4.2	19	114.8	30	3,444
Desember	7	5	4.2	19	114.8	31	3,559
Pertahun						365	41,902

Sbr:PPLH-Seloliman

Terhadap kelebihan daya yang tersedia disalurkan ke grid PLN, sebagai penjualan kepada PLN. Perhitungan penjualan ke jaringan PLN dapat dilihat pada Tabel berikut.

Tabel 24; Proyeksi Penjualan ke Jaringan (kWh/tahun)

	Waktu Beban Puncak (WBP)			Luar Waktu Beban Puncak (LWBP)			Total Penjualan
	kW	Jam	kWh	kW	Jam	kWh	kWh
Januari	23.00	5	3,565	25.80	19	15,196	18,761
Februari	23.00	5	3,220	25.80	19	13,726	16,946
Maret	23.00	5	3,565	25.80	19	15,196	18,761
April	21.50	5	3,225	24.30	19	13,851	17,076
Mei	20.00	5	3,100	22.80	19	13,429	16,529
Juni	18.50	5	2,775	21.30	19	12,141	14,916
Juli	18.50	5	2,868	21.30	19	12,546	15,413
Agustus	20.00	5	3,100	22.80	19	13,429	16,529
September	21.50	5	3,225	24.30	19	13,851	17,076

Oktober	23.00	5	3,565	25.80	19	15,196	18,761
Nopember	23.00	5	3,450	25.80	19	14,706	18,156
Desember	23.00	5	<u>3,565</u>	25.80	19	<u>15,196</u>	<u>18,761</u>
Pertahun			<u>39,223</u>			<u>168,464</u>	<u>207,686</u>

Sbr:PPLH-Seloliman

4.2.1.5.5. Aspek Finansial

Pendapatan dari penjualan listrik diproyeksikan sesuai dengan asumsi-asumsi yang sangat erat dengan kinerja penjualan, yaitu:

Faktor iklim.

Dalam memproduksi energi listrik bagi pembangkit tenaga air sangat dipengaruhi ketersediaan debit air yang akan menggerakkan turbin. Pada iklim dimana curah hujan tinggi maka akan dicapai produksi pada kapasitas maksimum. Sebaliknya pada iklim dimana curah hujan sangat rendah maka kapasitas akan menurun. Hal ini telah diuraikan pada Aspek Operasional Usaha.

Harga

Berkenaan dengan harga, maka dalam proyeksi ini akan terlibat dua macam harga, yaitu harga jual kepada anggota koperasi dan harga jual kepada PLN. Dari hasil pertemuan antara pengurus Paguyuban PLTM Kalimantan dengan Pejabat DJLPE, dan Pejabat PLN setempat, yang diselenggarakan di PPLH Seloliman pada tanggal 4 April 2003 dilaporkan bahwa harga jual kepada Anggota Paguyuban PLTM Kalimantan akan disesuaikan sesuai nilai keekonomiannya, namun karena harga tersebut belum dapat ditentukan, maka dalam proyeksi harga jual kepada anggota Paguyuban PLTM Kalimantan diasumsikan sebesar Rp 100,- per kWh.

Harga jual ke PLN telah diatur dalam ketentuan pemerintah yaitu Keputusan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral, Nomor 1122 K/30/MEM/2002, tentang Pedoman Pengusahaan Pembangkit Tenaga Listrik Skala Kecil Tersebar (PSK Tersebar), yaitu bahwa harga jual tenaga listrik dalam rangka PSK Tersebar ditentukan menurut HPP pada titik interkoneksi dengan sistim PLN. Ketentuan

yang diberlakukan adalah; apabila terinterkoneksi pada tegangan menengah maka harga jualnya merupakan 0,8 x HPP Tegangan menengah, dan apabila terinterkoneksi pada tegangan rendah maka harga jualnya merupakan 0,6 x HPP Tegangan rendah.

Dalam pertemuan antara pengurus Paguyuban PLTM Kalimaron dengan Pejabat DJLPE, dan Pejabat PLN setempat, yang diselenggarakan di PPLH Seloliman, pada tanggal 4 April 2003, disepakati bahwa interkoneksi akan dilakukan pada jaringan tegangan rendah (JTR). Namun dalam Studi Kelayakan ini diusulkan interkoneksi dilakukan pada Jaringan Tegangan Menengah (JTM). Adapun sebagai pertimbangan adalah bahwa JTM akan lebih handal, dan walaupun pada satu sisi investasi lebih besar tetapi pada sisi lain tambahan pendapatan yang diperoleh lebih besar dibanding biaya investasinya. Dimana berdasarkan perhitungan PLN, HPP JTM pada Interkoneksi Seloliman sebesar Rp 554,33 per kWh.

Harga jual yang digunakan dalam proyeksi keuangan sebagai berikut.

Harga Pokok Penjualan PLN (HPP) pd titik interkoneksi JTM di Seloliman	: Rp 554,33 per kWh
Harga jual pada Jaringan Tegangan Menengah PLN (JTM) seseuai ketentuan Pemerintah	: 80% dari HPP
Harga jual kepada PLN berdasarkan HPP titik interkoneksi Jaringan Tegangan Menengah PLN (JTM)	: Rp 443,46 per kWh
Harga jual pada anggota PKM	: Rp 100,- per kWh

Sbr.PPLH-Seloliman

Dalam proyeksi diasumsikan bahwa harga tersebut akan terjadi peningkatan setiap tahunnya sebesar 3% terhadap harga tahun sebelumnya.

Sesuai dengan volume penjualan dimuka maka perkiraan pendapatan dari transaksi penjualan listrik baik kepada konsumen langsung mupun kepada PLN adalah sebagai berikut.

Tabel 25; Proyeksi Penjualan Listrik (Rp/tahun)

Moda Penjualan	Unit (kWh/th)	Harga/unit (Rp/kWh)	Jumlah (Rp/th)
Penjualan Langsung	41.902	100,00	4.190.200

Penjualan ke JTM	207.686	443,46	92.101.264
Pendapatan	249.588		96.291.464

Sbr:PPLH-Seloliman

Proyeksi penjualan secara garis selama 10 tahun kedepan dapat dilihat pada Tabel 8 berikut dan secara detil disertakan pada Lampiran.

Tabel 26; Proyeksi Penjualan Listrik 10 Tahun Kedepan

Periode	Jumlah Penjualan	
Tahun ke-1	Rp	96.291.464,30
Tahun ke-2	Rp	99.180.208,23
Tahun ke-3	Rp	102.155.614,50
Tahun ke-4	Rp	105.220.282,90
Tahun ke-5	Rp	108.376.891,40
Tahun ke-6	Rp	111.628.198,10
Tahun ke-7	Rp	114.977.044,00
Tahun ke-8	Rp	118.426.355,00
Tahun ke-9	Rp	121.979.146,00
Tahun ke-10	Rp	125.638.520,00

Sbr:PPLH-Seloliman

Sifat dari investasi dalam pembangkit listrik tenaga air adalah tahan lama dan sangat sedikit keterlibatan manusia, sehingga biaya sangat rendah. Biaya yang terjadi lebih diperuntukkan bagi pemeliharaan dan pengendalian. Pekerjaan yang akan dihadapi tidak terlalu kompleks dan tidak padat aktifitasnya.

Biaya-biaya tersebut adalah sebagai Tabel berikut.

Tabel 27 ; Kebutuhan Biaya Operasional per-Tahun

	Item	Jumlah Satuan	Variabel	Harga Satuan		Jumlah	
1.	Operator	2 orang/bulan	12	Rp	150.000	Rp	3.600.000
2.	Administrasi	1 orang/bulan	12	Rp	150.000	Rp	1.800.000
3.	Pelumas	1 liter/bulan	12	Rp	8.000	Rp	96.000
4.	Material Lainnya	1 ls	12	Rp	500.000	Rp	6.000.000
5.	Pemeliharaan	1 ls	1	Rp	2.000.000	Rp	2.000.000
6.	Retribusi Daerah	1 ls	12	Rp	100.000	Rp	1.200.000
7.	Penyusutan	1 ls	0,1	Rp	108.000.000	Rp	10.800.000
	Jumlah					Rp	25.496.000

Sbr:PPLH-Seloliman

Terhadap biaya-biaya selain penyusutan dan bunga diperhitungkan terjadi kenaikan 10% setiap tahunnya. Proyeksi biaya dalam 10 tahun kedepan akan terlihat sebagai Tabel berikut.

Tabel 28 ; Kebutuhan Biaya Selama 10 Tahun

Periode	Biaya Opr. Pembangkitan	Penyusutan	Bunga	Jumlah Biaya
Tahun-1	13,471,333	10,800,000	6,437,444	30,708,777
Tahun-2	16,165,600	10,800,000	5,732,598	32,698,198
Tahun-3	17,782,160	10,800,000	4,291,874	32,874,034
Tahun-4	19,560,376	10,800,000	2,747,000	33,107,376
Tahun-5	21,516,414	10,800,000	1,090,448	33,406,861
Tahun-6	23,668,055	10,800,000	12,402	34,480,457
Tahun-7	26,034,860	10,800,000	-	36,834,860
Tahun-8	28,638,347	10,800,000	-	39,438,347
Tahun-9	31,502,181	10,800,000	-	42,302,181
Tahun-10	34,652,399	10,800,000	-	45,452,399
	232,991,725	108,000,000	20,311,767	361,303,492

Sbr:PPLH-Seloliman

4.2.1.5.6 Proyeksi Keuangan

Dari perhitungan berdasarkan asumsi-asumsi yang telah diketengahkan dimuka maka diperoleh gambaran Proyeksi Arus Kas, Proyeksi Laba Rugi sebagaimana dapat dilihat pada Lampiran

Arus Kas

Menggunakan asumsi maupun parameter lain yang diperkirakan sebagai mana diuraikan dimuka, maka proyeksi arus kas selama 10 tahun memperlihatkan hasil sebagai Tabel berikut.

Tabel 29 ; Proyeksi Arus Kas

Periode	Kas	IRR
Tahun-1	Rp 62,841,748	-41.81%
Tahun-2	Rp 68,558,558	13.91%
Tahun-3	Rp 78,688,864	40.38%
Tahun-4	Rp 90,027,412	53.51%
Tahun-5	Rp 102,713,183	60.51%
Tahun-6	Rp 141,637,174	65.21%
Tahun-7	Rp 163,023,235	67.93%
Tahun-8	Rp 184,591,706	69.55%
Tahun-9	Rp 208,729,780	70.53%
Tahun-10	Rp 235,739,114	71.14%
Rata-rata	Rp 1,336,550,773	

Sbr:PPLH-Seloliman

Memperhatikan perhitungan diatas, maka pengembalian modal investasi terjadi pada antara tahun ke 2. (Proyeksi selengkapnya dapat dilihat pada Lampiran).

Proyeksi Laba (Rugi)

Menggunakan asumsi maupun parameter lain yang diperkirakan sebagai mana diuraikan dimuka, maka proyeksi laba (rugi) selama 10 tahun memperlihatkan hasil sebagai Tabel berikut.

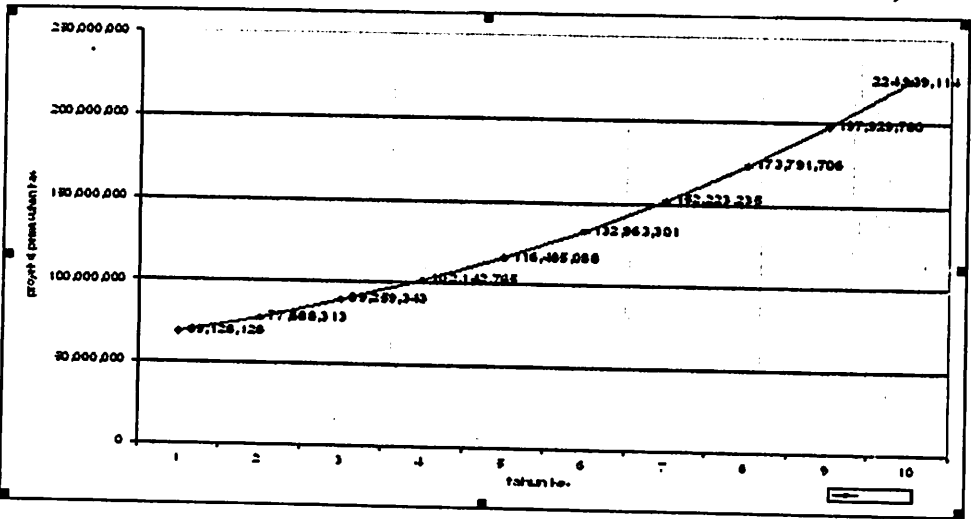
Tabel 30; Proyeksi Laba-Rugi

	Laba/Rugi		Rasio laba terhadap investasi (ROI)
Tahun-1	Rp	69,128,128	64.01%
Tahun-2	Rp	77,688,313	71.93%
Tahun-3	Rp	89,259,343	82.65%
Tahun-4	Rp	102,142,765	94.58%
Tahun-5	Rp	116,485,088	107.86%
Tahun-6	Rp	132,963,301	123.11%
Tahun-7	Rp	152,223,235	140.95%
Tahun-8	Rp	173,791,706	160.92%
Tahun-9	Rp	197,929,780	183.27%
Tahun-10	Rp	224,939,114	208.28%
Rata-rata	Rp	1,336,550,773	123.75%

Sbr:PPLH-Seloliman

Memperhatikan perhitungan diatas, maka terlihat bahwa perbandingan laba terhadap nilai investasi dalam 10 tahun diperoleh rata-rata 152,30% yang berarti duabelas kali lebih dari bunga deposito yang diasumsikan sebesar 12%. Proyeksi selengkapnya dapat dilihat pada Lampiran.

Grafik 4.2. ; proyeksi penjualan PLTMH I (kWh /10 tahun)



4.3. Perhitungan / Evaluasi Proyek dengan Metode Rasio Manfaat Terhadap Biaya

PLTMH I deengan PLTMH *cascade*.

Dalam perhitungan aspek Ekonomis-teknik perancangan PLTMH dengan system cascade ini adalah menganalisa karakteristik penting dari proyek sector public dimana banyak dari proyek seperti ini mempunyai kegunaan ganda. Pengembangan proyek semacam ini untuk mencapai lebih dari satu tujuan harus memastikan bahwa nilai ekonomis keseluruhan yang lebih besar akan tercapai.

Dalam bab sebelumnya telah dijelaskan mengenai pemanfaatan Daya keluaran yang dihasilkan PLTMH I melalui proyeksi analisa manfaat terhadap biaya dimana dari total daya yang dihasilkan PLTMH I sebesar ± 25 kW, dimana 7 kW dimanfaatkan oleh masyarakat Desa Njanjing dengan penjualan per kWhnya Rp.100,- dan sisanya dijual ke PLN. Demikian pula daya keluaran yang dihasilkan PLTMH II ini dari akan dijual langsung seluruhnya sebesar 12 kW ke PLN.

4.3.1. Estimasi Biaya Investasi.⁵

Sumber Dana

Pada pembangunan PLTMH pertama tidak diketahui secara detail berapa jumlah biaya investasi yang dikeluarkan dalam pembangunannya. Pada pembangunan PLTMH ini biaya investasi menggunakan data sbb (dengan asumsi akan terjadi inflasi setiap tahunnya sebesar 7 %):

Biaya Pembangkitan /kW	Biaya Interkoneksi	
\$2000 /kW Daya (rencana) yang dibangkitkan = 12 kW (kurs \$1 = Rp.9200,-) = Rp.220.800000,-	Elektrikal & Mekanikal	Rp.71.000.000
	Jaringan, meter, dan ins pelanggan	Rp. 37.000.000

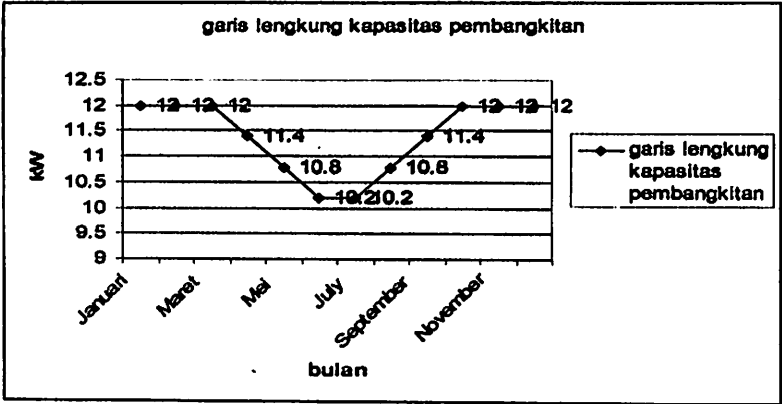
(Sumber Kompas 25/10, 2005 & Prop.Paguyuban kalimaron-Seloliman)

Penjualan daya 12 kW kepada PLN adalah PSK (pembangkit skala kecil) Tersebar yang digariskan melalui KEPMEN ESDM No. 1122 K/30/MEM/2002, tanggal 12 Juni 2002, adalah suatu ketentuan yang dikeluarkan oleh Menteri Energi dan Sumberdaya Mineral yang mewajibkan PLN membeli listrik yang dibangkitkan oleh sumber energi terbarukan yang dimiliki oleh UKM atau Koperasi, seperti pada PLTMH Seloliman tersebut. Ketentuan tersebut sebenarnya telah memberikan pengamanan dalam memasarkan produk berupa tenaga listrik yang diusahakan oleh Koperasi atau UKM³.

Tabel 32 ; Profil Pembangkit listrik tahunan

Bulan	Ketersediaan (%)	Keluaran (kW)
Januari	100%	12
Februari	100%	12
Maret	100%	12
April	95%	11.4
Mei	90%	10.8
Juni	85%	10.2
July	85%	10.2
Agustus	90%	10.8
September	95%	11.4
Oktober	100%	12
November	100%	12
Desember	100%	12
Rata-rata	95%	11.55

Grafik 4.3 Profil keluaran listrik PLTMH cascade



Tabel 33 ;Proyeksi Penjualan ke Jaringan (kWh/tahun).

		Waktu Beban Puncak (WBP)			Total Penjualan
		kW	Jam	kWh	kWh
	Januari	12	24	288	8928
	Februari	12	24	288	8064
	Maret	12	24	288	8928
	April	11.	24	273.6	8208
		4			
	Mei	10.	24	259.2	8035.2
		8			
	Juni	10.	24	244.8	7344
		2			
	Juli	10.	24	244.8	7588.8
		2			
	Agustus	10.	24	259.2	8035.2
		8			
	September	11.	24	273.6	8208
		4			
	Oktober	12	24	288	8928
	Nopember	12	24	288	8640
	Desember	12	24	288	8928
	Pertahun			3283.2	99835.2

Harga jual yang digunakan dalam proyeksi keuangan sebagai berikut.

Tabel 34 ; Data harga jual listrik ke jaringan per kWh

Harga Pokok Penjualan PLN (HPP) pd titik interkoneksi JTM di Seloliman	Rp 554,33 per kWh
Harga jual pada Jaringan Tegangan Menengah PLN (JTM) seseuai ketentuan Pemerintah	80% dari HPP
Harga jual kepada PLN berdasarkan HPP titik interkoneksi Jaringan Tegangan Menengah PLN (JTM)	Rp 443,46 per kWh

Snbr : PPLH-Seloliman & PLN Mojokerto

Perlu diketahui juga bahwa harga jual listrik ke PLTMH ke JTM – PLN merupakan kesepakatan dari kedua belah pihak dan dicantumkan dalam kontrak kerja. Untuk PLTMH I Kalimaron harga jual dalam kontrak Rp 335/kWh.

Dalam proyeksi diasumsikan bahwa harga tersebut akan terjadi peningkatan setiap tahunnya sebesar 3% terhadap harga tahun sebelumnya.

Sesuai dengan volume penjualan dimuka maka perkiraan pendapatan dari transaksi penjualan listrik baik kepada konsumen langsung mupun kepada PLN adalah sebagai berikut.

Tabel 35 ; Proyeksi Penjualan Listrik (Rp/tahun)

Moda lPenjualan	Unit (kWh/th)	Harga/unit (Rp/kWh)	Jumlah (Rp/th)
Penjualan ke JTM	<u>99835,2</u>	443,46	-
Pendapatan	-	-	44,272,917,79

Proyeksi Penjualan Listrik 10 Tahun Kedepan

Tabel 36 ; Proyeksi Penjualan Listrik 10 Tahun Kedepan

Periode	Jumlah Penjualan	
Tahun ke-1	Rp	44,272,917,79
Tahun ke-2	Rp	45,601,105,32
Tahun ke-3	Rp	46,969,138,48
Tahun ke-4	Rp	48,105,212,63
Tahun ke-5	Rp	49,548,369,01

Tahun ke-6	Rp	51,034,820,08
Tahun ke-7	Rp	52,565,864,68
Tahun ke-8	Rp	54,142,840,62
Tahun ke-9	Rp	55,767,125,22
Tahun ke-10	Rp	57,440,138,98

Sifat dari investasi dalam pembangkit listrik tenaga air adalah tahan lama dan sangat sedikit keterlibatan manusia, sehingga biaya sangat rendah. Biaya yang terjadi lebih diperuntukkan bagi pemeliharaan dan pengendalian. Pekerjaan yang akan dihadapi tidak terlalu kompleks dan tidak padat aktifitasnya.

Biaya-biaya tersebut adalah sebagai Tabel berikut.

Tabel 37 ; Kebutuhan Biaya Operasional per-Tahun

Item	Jumlah Satuan		Variabel	Harga Satuan		Jumlah	
Operator	1	Orang /bulan	12	Rp	150,000	Rp	1,800,000
Pemeliharaan	1	ls	1	Rp	2,000,000	Rp	2,000,000
Retribusi Daerah	1	ls	12	Rp	100,000	Rp	1,200,000
Penyusutan	1	ls	0,1	Rp	71,100,000	Rp	7,100,000
Jumlah						Rp	12,100,000

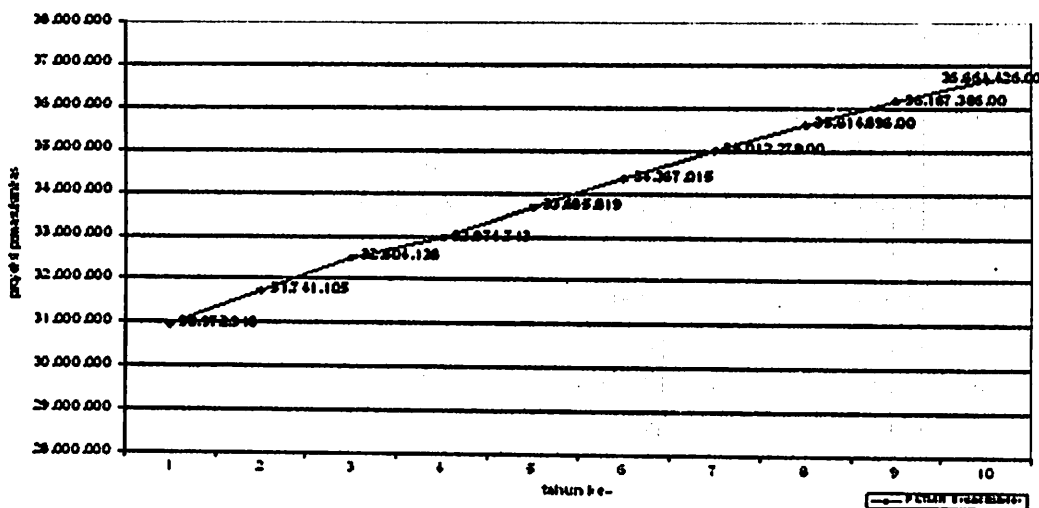
Terhadap biaya-biaya selain penyusutan dan bunga diperhitungkan terjadi kenaikan 10% setiap tahunnya. Proyeksi biaya dalam 10 tahun kedepan akan terlihat sebagai Tabel berikut.

Tabel 38; Kebutuhan Biaya Selama 10 Tahun

Periode	Biaya Opr. Pembangkitan	Penyusutan	Jumlah Biaya
Tahun-1	5,000,000	7,100.000	13,300,000
Tahun-2	5,500,000	7,100,000	13,860,000
Tahun-3	6,050,000	7,100,000	14,465,000
Tahun-4	6,655,000	7,100,000	15,130,500

Tahun-5	7,320,500	7,100,000	15,862,550
Tahun-6	8,052,550	7,100,000	16,667,805
Tahun-7	8,857,805	7,100,000	17,553,585.5
Tahun-8	9,743,585,5	7,100,000	18,527,944.05
Tahun-9	10,717,943,,85	7,100,000	19,599,738.235
Tahun-10	11,789,738.235	7,100,000	20,778,712.0585
			Rp.165,745,834.84

Grafik 4.4 ; proyeksi penjualan PLTMH *cascade* (kWh /10 tahun).



Proyeksi Keuangan

Dari perhitungan yang telah dilakukan dimuka maka diperoleh gambaran Proyeksi Arus Kas, Proyeksi Laba Rugi.

Arus Kas

Menggunakan asumsi maupun parameter lain yang diperkirakan sebagai mana diuraikan dimuka, maka proyeksi arus kas selama 10 tahun memperlihatkan hasil sebagai Tabel berikut.

Tabel 39 ; Proyeksi Arus Kas

Periode	Manfaat	Biaya Operasional	Manfaat terhadap biaya
Tahun-1	44,272,917,79	13,300,000	30,972,918
Tahun-2	45,601,105,32	13,860,000	31,741,105

Tahun-3	46,969,138,48	14,465,000	32,504,138
Tahun-4	48,105,212,63	15,130,500	32,974,713
Tahun-5	49,548,369,01	15,862,550	33,685,819
Tahun-6	51,034,820,08	16,667,805	34,367,015
Tahun-7	52,565,864,68	17,553,585.5	35,012,279.18
Tahun-8	54,142,840,62	18,527,944.05	35,614,896.57
Tahun-9	55,767,125,22	19,599,738.235	36,167,386.99
Tahun-10	57,440,138,98	20,778,712.0585	36,661,426.92
	Rp.505,447,532.8	Rp.165,745,834.84	Rp.339,701,697.97

Perhitungan diatas diporeleh dari asumsi sbb ;

Ket	nilai		keterangan
Biaya Investasi	investasi	Rp.220.800000,-	Berdasarkan data
	Interkoneksi	Rp.108.000000,-	
	Total = Rp.328.800000,-		
Proyeksi Pemasukan selama 10 th	Rp.505.447.532,8		(sudah termasuk bunga)
Biaya Operasional proyek	Rp.165.745.834,84		(sudah termasuk bunga)
Bunga pinjaman			Belum ditentukan
kenaikan pemasukan pertahun			3 %
kenaikan biaya operasional non penyusutan			10 %

Dari data hasil perhitungan diatas maka dapat dicari Ratio manfaat terhadap biaya ;

$$B/C = \frac{PW(\text{manfaat} - \text{proyek} - \text{yang} - \text{diusulkan})}{PW(\text{biaya} - \text{total} - \text{proyek} - \text{yang} - \text{diusulkan})} = \frac{PW(B)}{1 + PW(O \& M)}$$
$$= \frac{505.447.532,8}{494.545.834.84}$$

Ratio C / B = 1.02

BAB V

PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Dari uraian hasil perancangan dalam Skripsi ini, maka dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Dalam mencapai head (H) yang direncanakan untuk dapat menghasilkan daya (P) yang direncanakan sebesar ± 12 kW diperlukan pembuatan saluran tertutup dari bak penampungan tail race PLTM I dengan ketinggian (H) rencana ± 7 meter dengan debit $0,3 \text{ m}^3/\text{detik}$ dan turbin yang digunakan adalah turbin crossflow, sejenis dengan PLTMH I.
2. Pada sistem hidrologi, terjadi rugi-rugi pada saluran (belokan, sudut kemiringan penstock) yang menyebabkan kehilangan tinggi jatuh (head) sebesar $0,014 \text{ m}$ sehingga mengakibatkan kehilangan energi sebesar $176,29 \text{ kWh/bulan}$. Jika dirupiahkan sebesar Rp.78.177,563 /bln.
3. Dalam percobaan pengukuran generator tanpa beban diketahui apabila arus penguatannya (I_f) dinaikkan, maka tegangan akan bertambah besar, dan apabila arus penguatannya (I_f) diturunkan, maka tegangannya akan bertambah kecil hal ini dipengaruhi oleh fluks-fluks yang dihasilkan. Dalam percobaan pengukuran generator berbeban, diketahui bila beban bertambah besar maka V_r (voltage regulator) akan naik, dalam keadaan berbeban arus jangkar akan timbul putaran yang menyebabkan terjadinya reaksi jangkar, dengan bertambahnya baban maka arus jangkar akan semakin besar yang mengakibatkan tegangan (V) terminal turun, dalam keadaan berbeban arus jangkar akan mengalir dan mengakibatkan terjadinya reaksi jangkar yang bersifat reaktif, dengan bertambahnya beban maka arus jangkar akan menjadi besar pula sehingga rugi-rugi tegangan akan semakin besar.

4. Daya keluaran total dari PLTMH I dengan PLTMH konfigurasi *cascade* sebesar ± 37 kW.
5. Putaran turbin diperoleh 465,5 rpm dengan diameter turbin 220 mm.
6. Terdapat penambahan daya sebesar ± 12 kW dari perancangan PLTMH cascade ini , maka diperkirakan dapat menambah pemasukan kas daerah sebesar Rp.339.701.697,97 selama kurun waktu 10 Tahun.
7. Ratio cost-benefit sebesar 1,02.
8. Berdasarkan hasil analisa manfaat atas biaya pada bab sebelumnya ini , Pembangunan PLTMH cascade ini secara Ekonomis Layak untuk dijalankan.

5.2. Saran

1. Perancangan PLTMH secara *cascade* ini dapat diaplikasikan pada PLTMH yang sudah terpasang sebelumnya, dengan potensi geografis yang memiliki beda elevasi yang memungkinkan untuk diaplikasikannya sistem ini.
2. Dalam menganalisa aspek ekonomi-teknis proyek publik seperti perlu diperhatikan kiranya permasalahan yang terdapat di lapangan, diantaranya yakni ;
 - Tidak terdapat standar laba yang dapat digunakan sebagai ukuran dari efektivitas keuangan. Kebanyakan proyek publik dimaksudkan sebagai nirlaba.
 - Tingkat bunga yang wajar untuk mendiskonto manfaat-manfaat dan biaya-biaya suatu proyek publik sering kali menjadi pertimbangan utama.
 - Jelas, tingkat bunga yang lebih rendah sangat membantu proyek-proyek jangka panjang yang mempunyai manfaat sosial dan / atau keuangan utama masa depan, sedangkan tingkat bunga yang tinggi mendorong tinjauan jangka pendek yang disini keputusan terutama berdasarkan investasi awal dan manfaat yang bersifat segera.

Daftar Pustaka

1. Fitzgeralds A.E, Kingsley Charles Jr, Umans D.S, Achyanto Djoko, Ir.MSc.EE, “Mesin-mesin Listrik “, cetakan keempat, Penerbit Airlangga 1997.
2. Laymans, “guide book : how to develop a small hydro site “, ESHA, juni 1998.
3. Zuhail, “ dasar tenaga listrik “, penerbit ITB Bandung, 1991.
4. Deparmo Paul E. Sullivan & William, Bottadelli A James, Wicks M Elia, “ ekonomi teknik “, jilid 1, PT.Prenhallindo Jakarta, 1999.
5. Dietzel Fritz. :1980 “ Turbinen Pumpen und Verdichter “, Penerbit Erlangga.
6. Patty O.F. 1994: “ Tenaga Air “, Penerbit Erlangga.
7. <http://www.heksahydro.com/microhidro>
8. <http://www.energiterbarukan.net/mikrohidro>
9. http://www.fi.itb.ac.id/courses/fi1111/fluida-Dinamik/din_fluida.html :”Fluida Dinamika”.
10. Maher.Philip and Smith.Nigel. : “Pico Hydro for village Power”, UK department for international development.
11. Paguyuban Kali Maron. : 2003 “ Proposal Penerapan PSK tersebar Pembangkit Listrik tenaga mikrohidro desa Seloliman, kec.Trawas, Kab.Mojokerto, JAWA TIMUR “, Paguyuban PLTM Kalimaron.
12. Sahito. dan Sumaryono. :1987 ,Tugas Akhir “ design microhydro power didesa jambuwer, Sumber pucung MALANG “ Jurusan Teknik Sipil ITS- Surabaya.



Institut Teknologi Nasional Malang
Fakultas Teknologi Industri
Jurusan Teknik Elektro

**BERITA ACARA UJIAN SKRIPSI
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI**

1. Nama : Giri Wahyu Wiriasto
2. Nim : 00.12.124
3. Jurusan : Teknik Elektro
4. Konsentrasi : Teknik Energi Listrik (S-1)
5. Judul Skripsi : Perancangan PLTMH yang dikonfigurasi secara cascade dengan PLTMH di PPLH-Seloliman untuk meningkatkan daya keluaran

Dipertahankan dihadapan majelis panitia skripsi jenjang strata satu (S-1)
Pada :

Hari : Sabtu
Tanggal : 18 Maret 2006
Dengan Nilai : 79,3 (B+) *Sm*

Panitia Ujian Skripsi



Ir. Mochtar Asroni, MSME
Ketua

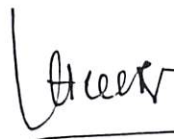


Ir. F. Yudi Limpraptono, MT
Sekretaris

Anggota Penguji



Ir. H. Soemarwanto
Penguji I



Ir. H. Choiri
Penguji II



Institut Teknologi Nasional Malang
Fakultas Teknologi Industri
Jurusan Teknik Elektro

LEMBAR BIMBINGAN SKRIPSI

1. Nama : Giri Wahyu Wiriasto
2. NIM : 00.12.124
3. Jurusan : Teknik Elektro
4. Konsentrasi : Teknik Energi Listrik (S-1)
5. Judul Skripsi : Perancangan PLTMH yang dikonfigurasi
secara cascade dengan PLTMH di PPLH-
Seloliman untuk meningkatkan daya keluaran
6. Tanggal Mengajukan Skripsi : 16 Agustus 2005
7. Tanggal Selesai Skripsi : 18 Maret 2006
8. Dosen Pembimbing : Ir.Sidik Noertjahjono,MT
9. Telah dievaluasi dengan nilai : 79,3 (B+) 

Malang, 27 Maret 2006

Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik elektro

Ir.F.Yudi Lampraptono,MT
NIP.Y. 103.965.00274

Disetujui,
Dosen Pembimbing

Ir.Sidik Noertjahjono,MT
NIP.P. 102.870.0167



INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO

FORMULIR BIMBINGAN SKRIPSI

Nama : GIRI WAHYU WIRIASTO

Nim : 00.12124

Masa Bimbingan : 16 Agustus 2005 – 16 Februari 2006

Judul Skripsi : PERANCANGAN PLTMH YANG
DIKONFIGURASI SECARA CASCADE DENGAN
PLTMH DI PPLH-SELOLIMAN UNTUK
MENINGKATKAN DAYA KELUARAN

No.	Tanggal	Uraian	Paraf Pembimbing
1.	20/8-2005	Konultasi, judul, pengumpulan data.	[Signature]
2.	29/8-2005	Studi Browsing ke lokasi & mencari referensi thd PTA Cascade.	[Signature]
3.	15/10-2005	Pemilihan jenis & turbin yg akan digunakan.	[Signature]
4.	22/11-2005	Bab IV Analisis Laba + Rugi & manfaat bagi lingkungan.	[Signature]
5.	10/12-2005	Bab V, turbin konjugasi yg berkaitan dgn analisis di Bab IV.	[Signature]
6.	21/12-2005	Bab VI, Perencanaan PLTM dgn sist. Cascade.	[Signature]
7.	6/01-2006	Bab VII, Hit Daya tot & BEP target dan gambar water turbin.	[Signature]
8.	12/02-2006	Bab II, Teori thd Turbin & generator & siklus hydan, debit andalan.	[Signature]
9.	23/02-2006	Bab II, dikumpulkan & Bab I & sistematika Pembahasan.	[Signature]
10.	27/02-2006	Acce Skripsi, persiapan ujian.	[Signature]

Malang, 2005

Dosen Pembimbing

[Signature]
Ir. Sidik Noertjahjono, MT
NIP. P 102 870 0167

Form.S-4b



Institut Teknologi Nasional Malang
Fakultas Teknologi Industri
Jurusan Teknik Elektro

PERSETUJUAN PERBAIKAN SKRIPSI

Dari Hasil Ujian Skripsi Jurusan T.Elektro jenjang Strata Satu (S-1) yang diselenggarakan pada :

Hari : Sabtu
Tanggal : 18 Maret 2006

Telah dilakukan perbaikan skripsi oleh :

Nama Mahasiswa : Giri Wahyu Wiriasto
NIM : 00.12.124
Jurusan : T.Elektro S-1
Judul Skripsi : Perancangan PLTMH yang dikonfigurasi secara cascade dengan PLTMH di PPLH-Seloliman untuk meningkatkan daya keluaran

Perbaikan meliputi :

No.	Materi Perbaikan	Ket (paraf)
1.	Sumber gambar	
2.	Data biaya pembangunan PLTMH harus yang baru	<i>JA</i>
3	Pekerjaan sipil harus diberi harga	<i>JA</i>

Ir.H.Soemarwanto
Penguji I

Diperiksa / disetujui,

Ir.H.Choiri
Penguji II

Mengetahui/menyetujui
Dosen Pembimbing

Ir.Sidik Noertjahjono, MT
NIP.P. 102.870.0167



INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO

Formulir Perbaikan Ujian Skripsi

Dalam pelaksanaan Ujian Skripsi Janjang Strata 1 Jurusan Teknik Elektro Konsentasi T. Energi Listrik / T. Elektronika, maka perlu adanya perbaikan skripsi untuk mahasiswa :

NAMA : *Chini Wahyu Winasto*
NIM : *00.12.124*
Perbaikan meliputi :

- data biaya harap yg baru
- pekerjaan sipil harap s. dari harga.

Malang, 18-3-ab

Chini

(*Chini*)



INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO

Formulir Perbaikan Ujian Skripsi

Dalam pelaksanaan Ujian Skripsi Janjang Strata 1 Jurusan Teknik Elektro Konsentasi T. Energi Listrik / T. Elektronika, maka perlu adanya perbaikan skripsi untuk mahasiswa :

NAMA : *Giri Wahyu Wirianto*
NIM : *00.12.124*
Perbaikan meliputi :

1. Gramatikan

Malang, *18* 03 - 2006

(*Soemarwanto*)

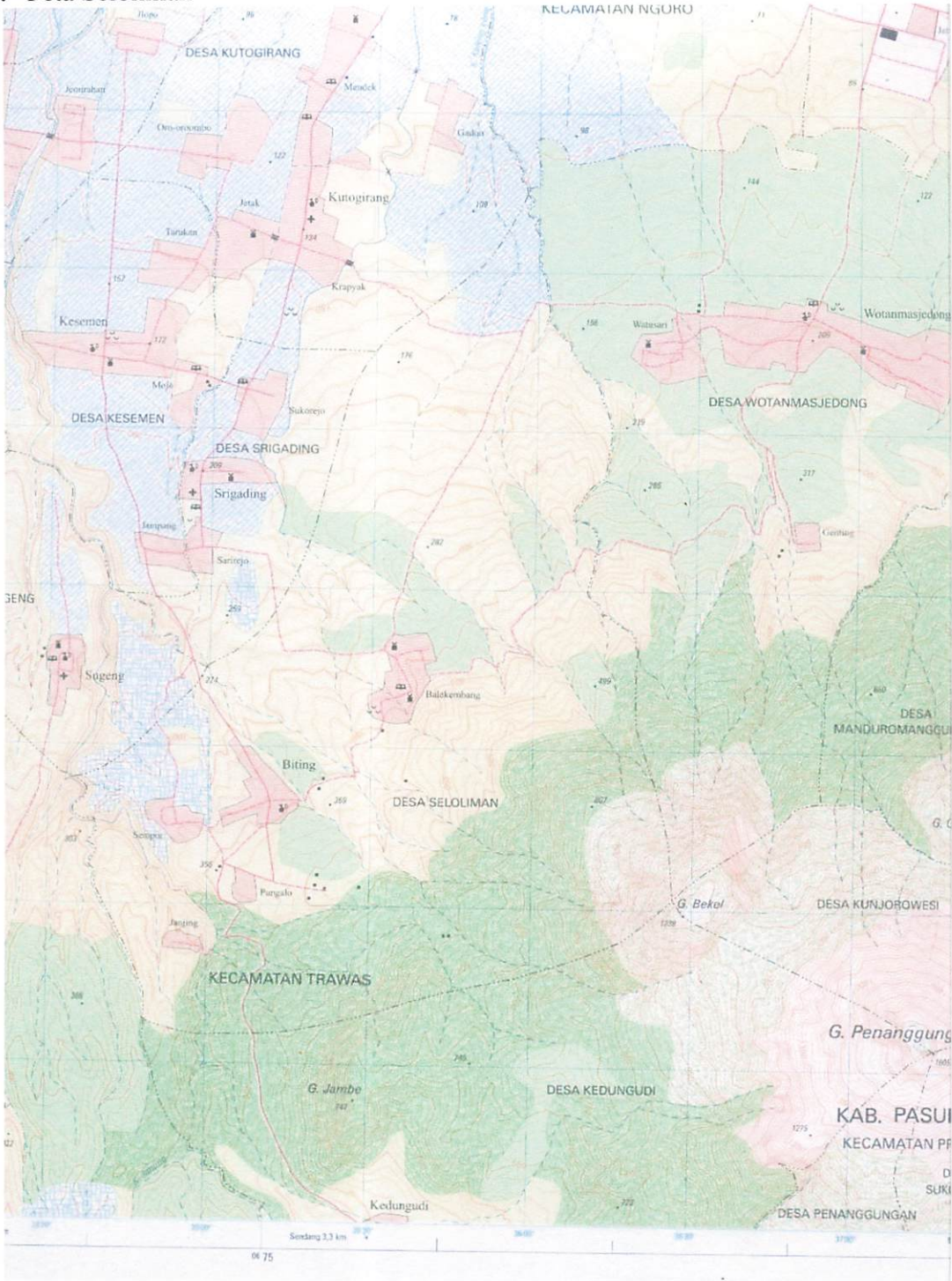
Lampiran A

(Peralatan Terpasang di PLMH I)

LAMPIRAN

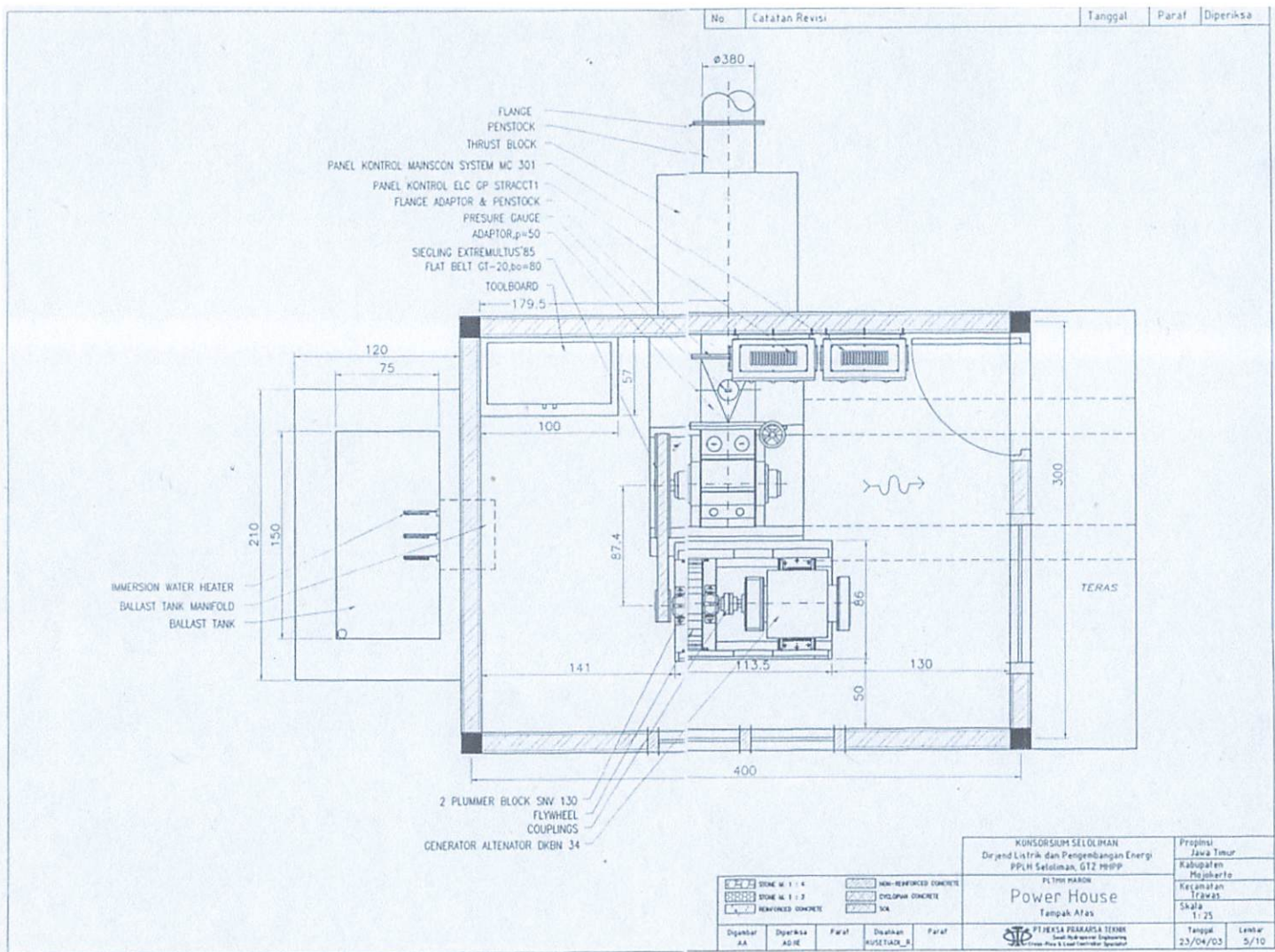
Data-data PLTMH I

1. Peta Seloliman



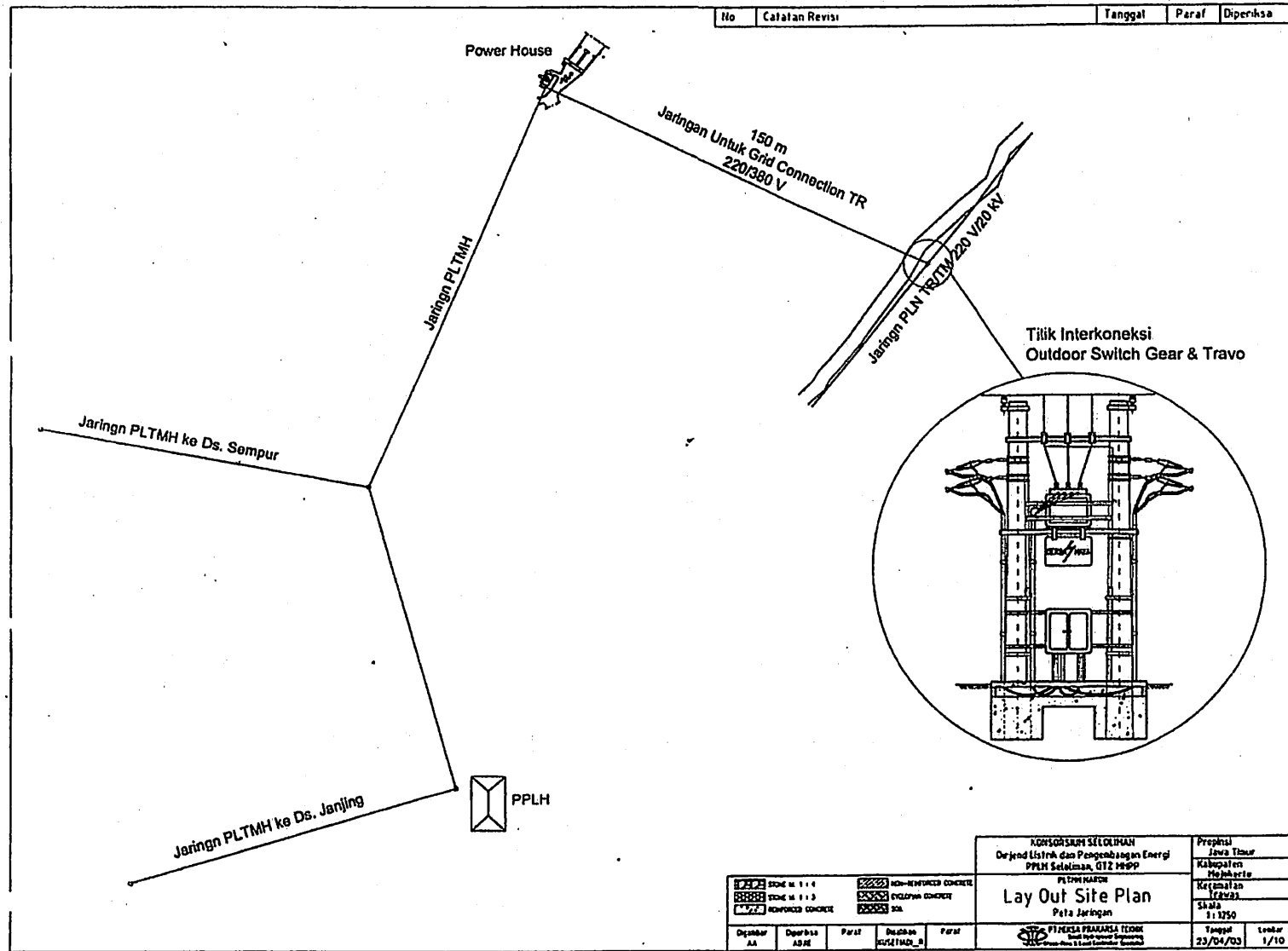
2. Power House

Skematik power house

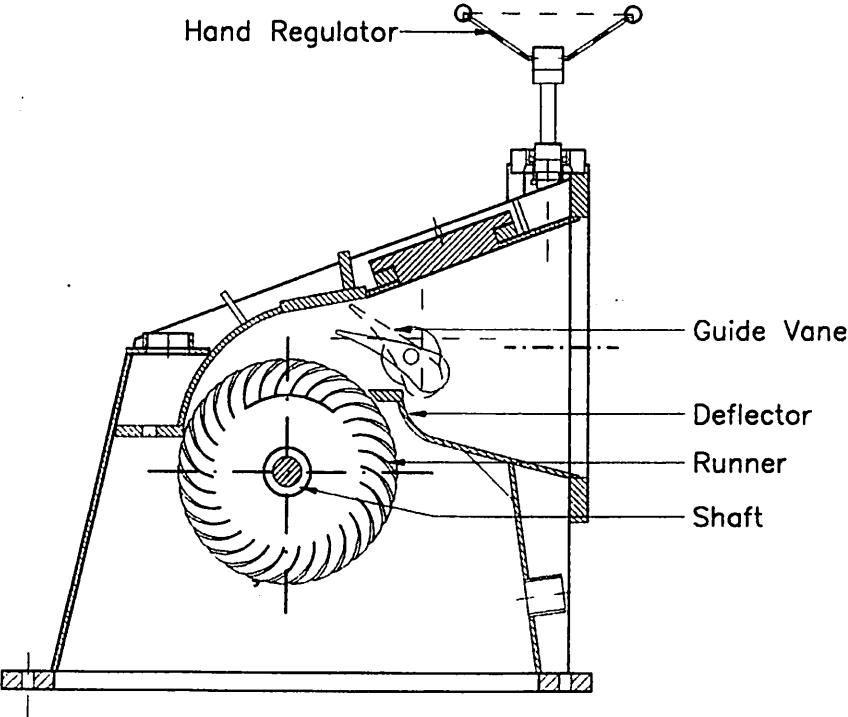


3. Site Plane Interkoneksi Ke JTM

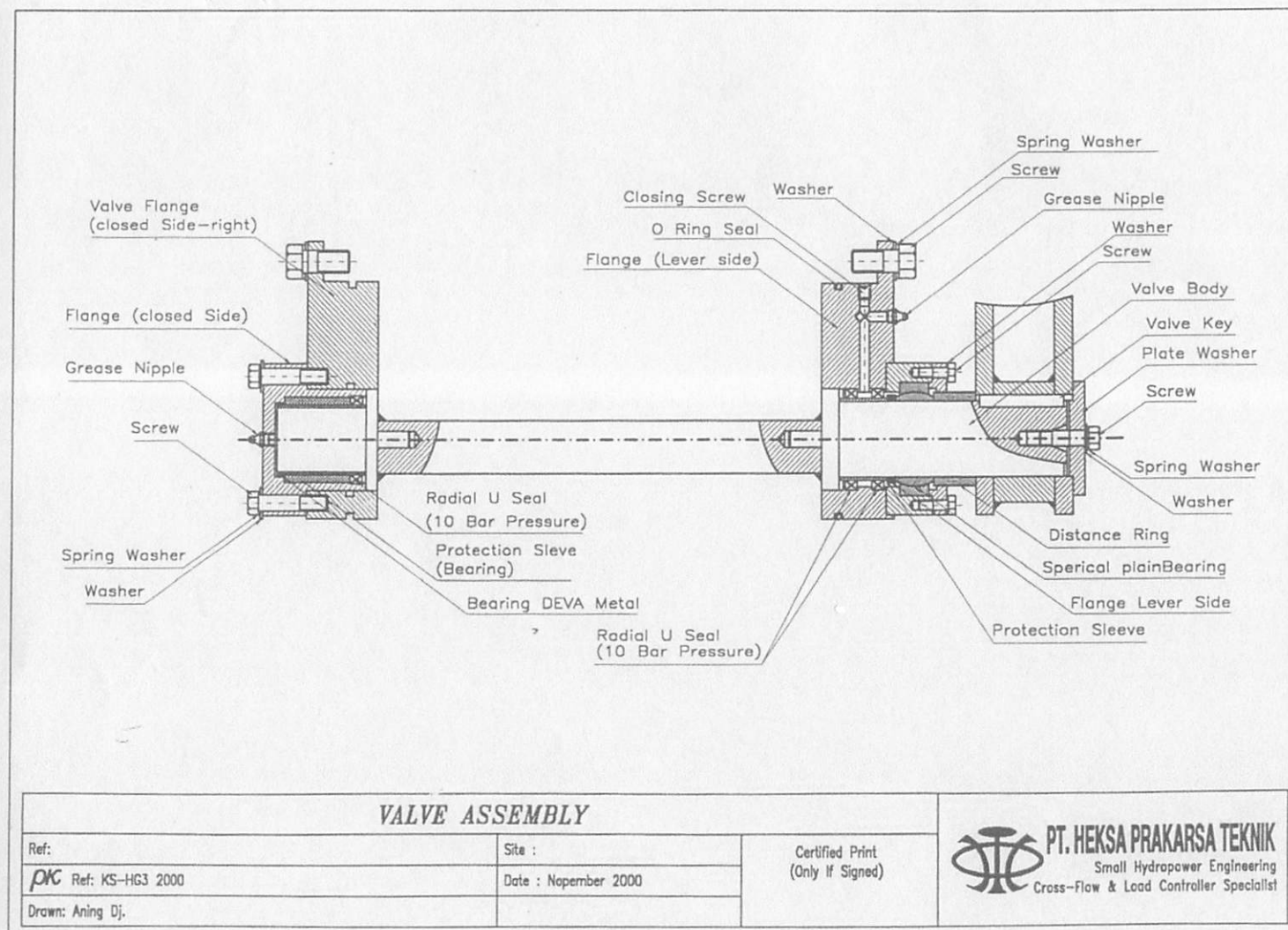
Layout interkoneksi ke JTM

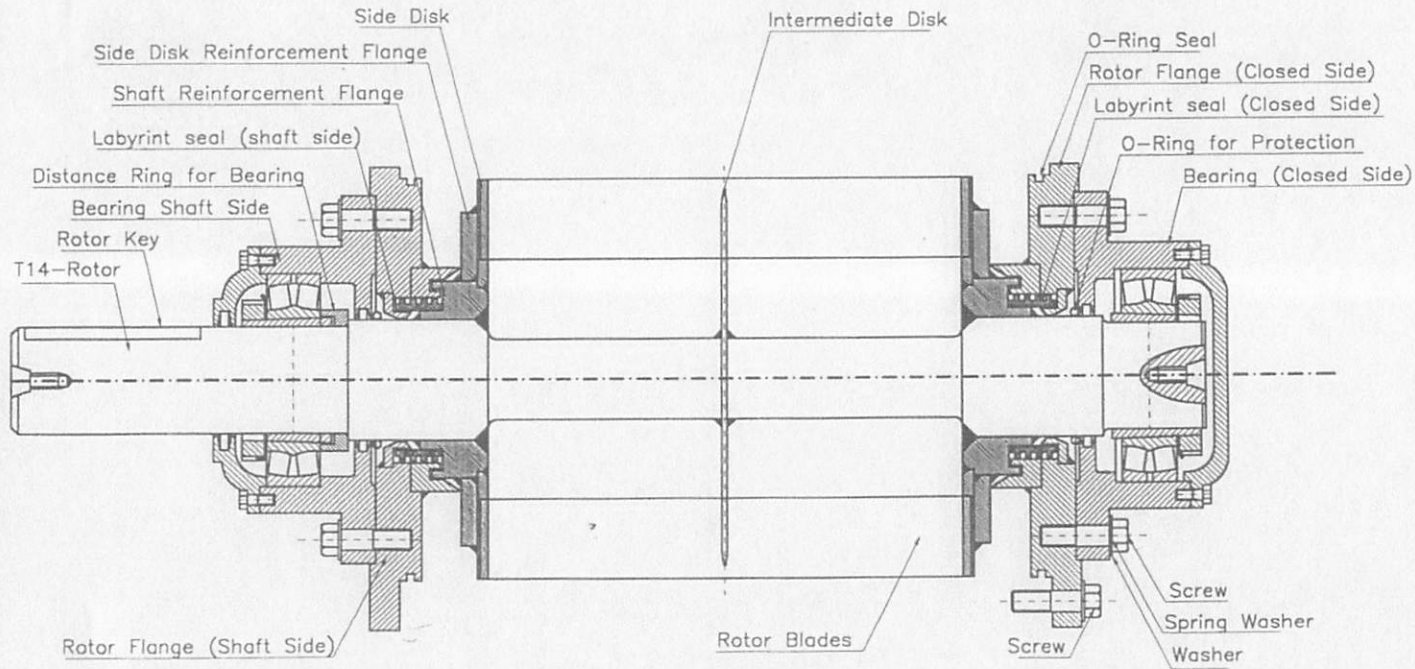


4. Turbin cross-flow (tampak samping)

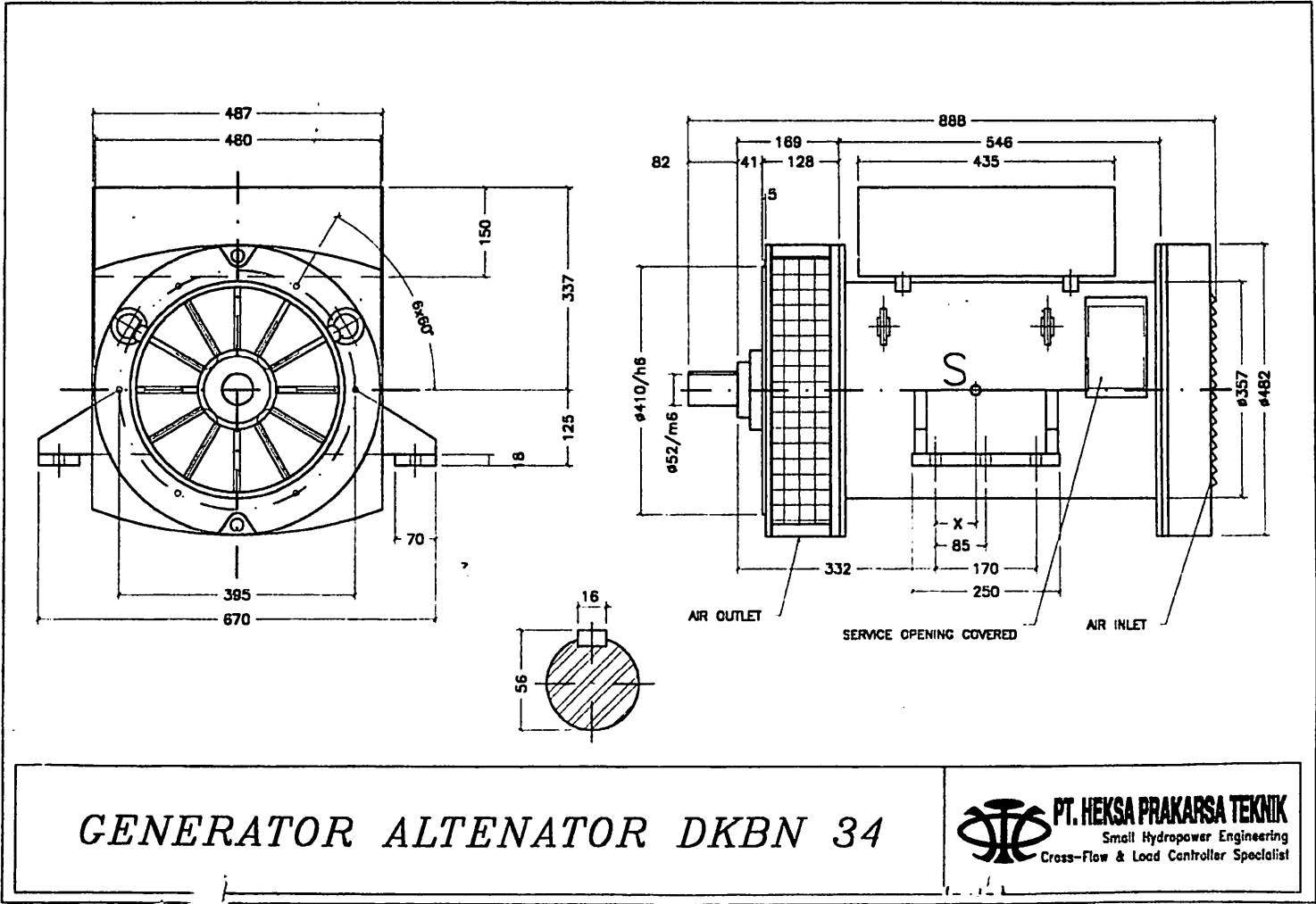


CROSS-FLOW TURBINE ENTEC T14 D300 B0 350 TAMPAK SAMPING			 PT. HEKSA PRAKARSA TEKNIK Small Hydropower Engineering Cross-Flow & Load Controller Specialist
Ref:	Site :	Certified Print (Only If Signed)	
 Ref: KS-HG3 2000	Date : Nopember 2000		
Drawn: Aning Dj.			

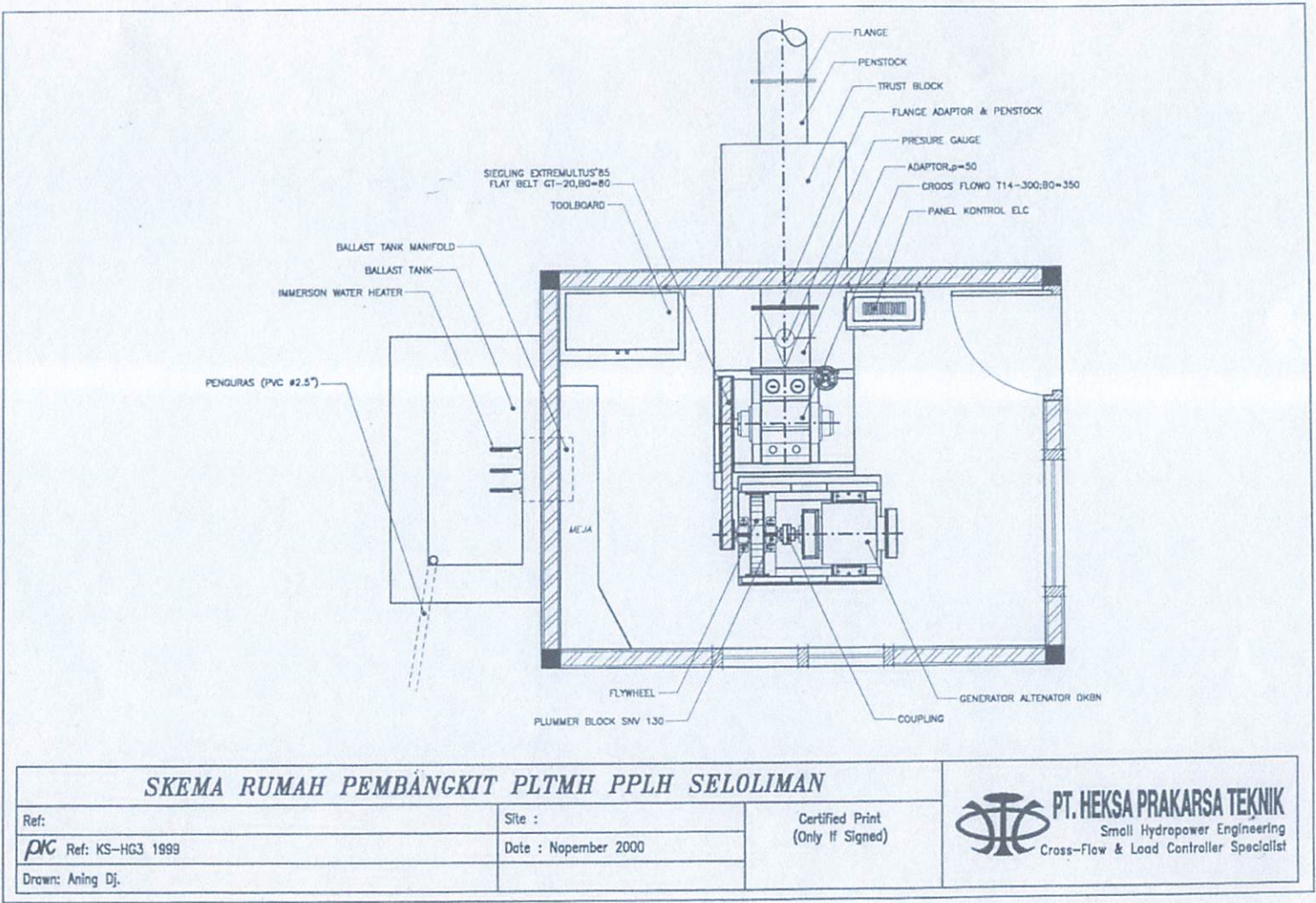




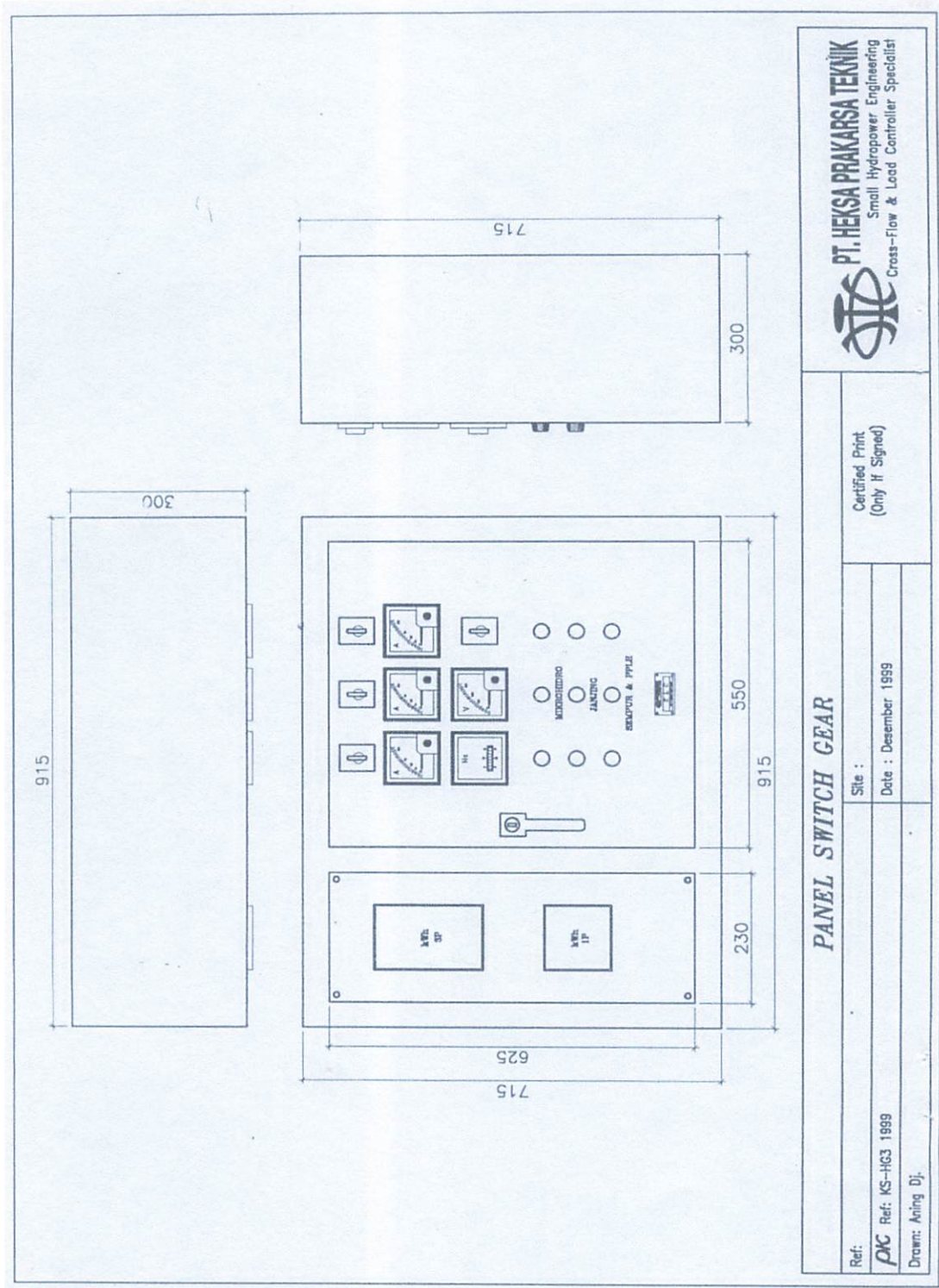
TURBINE ROTOR			
Ref:	Site :	Certified Print (Only If Signed)	 PT. HEKSA PRAKARSA TEKNIK Small Hydropower Engineering Cross-Flow & Load Controller Specialist
 Ref: KS-HG3 2000	Date : Nopember 2000		
Drawn: Aning Dj.			



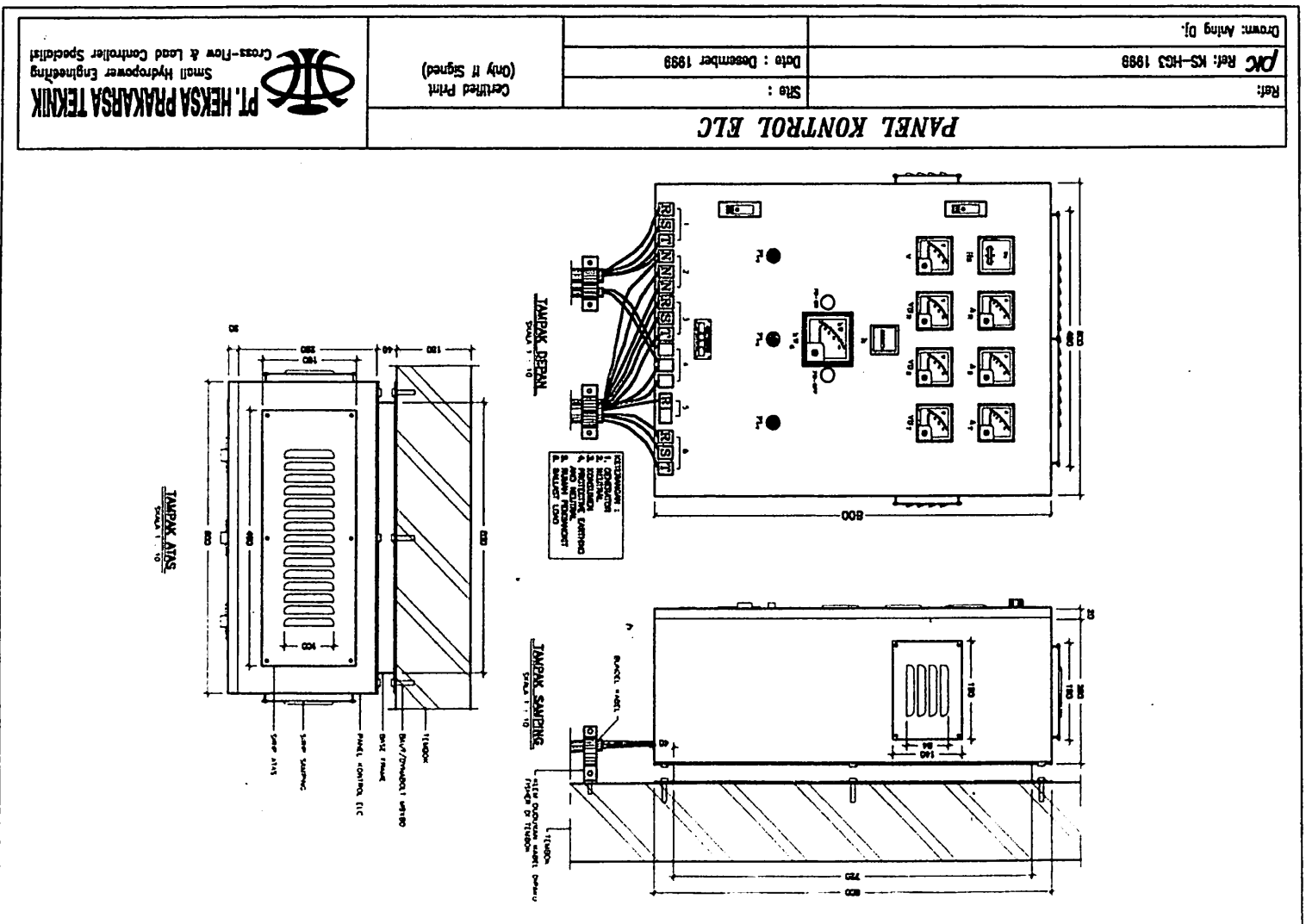
8. Skema Rumah Pembangkit PLTMH PPLH-Seloliman



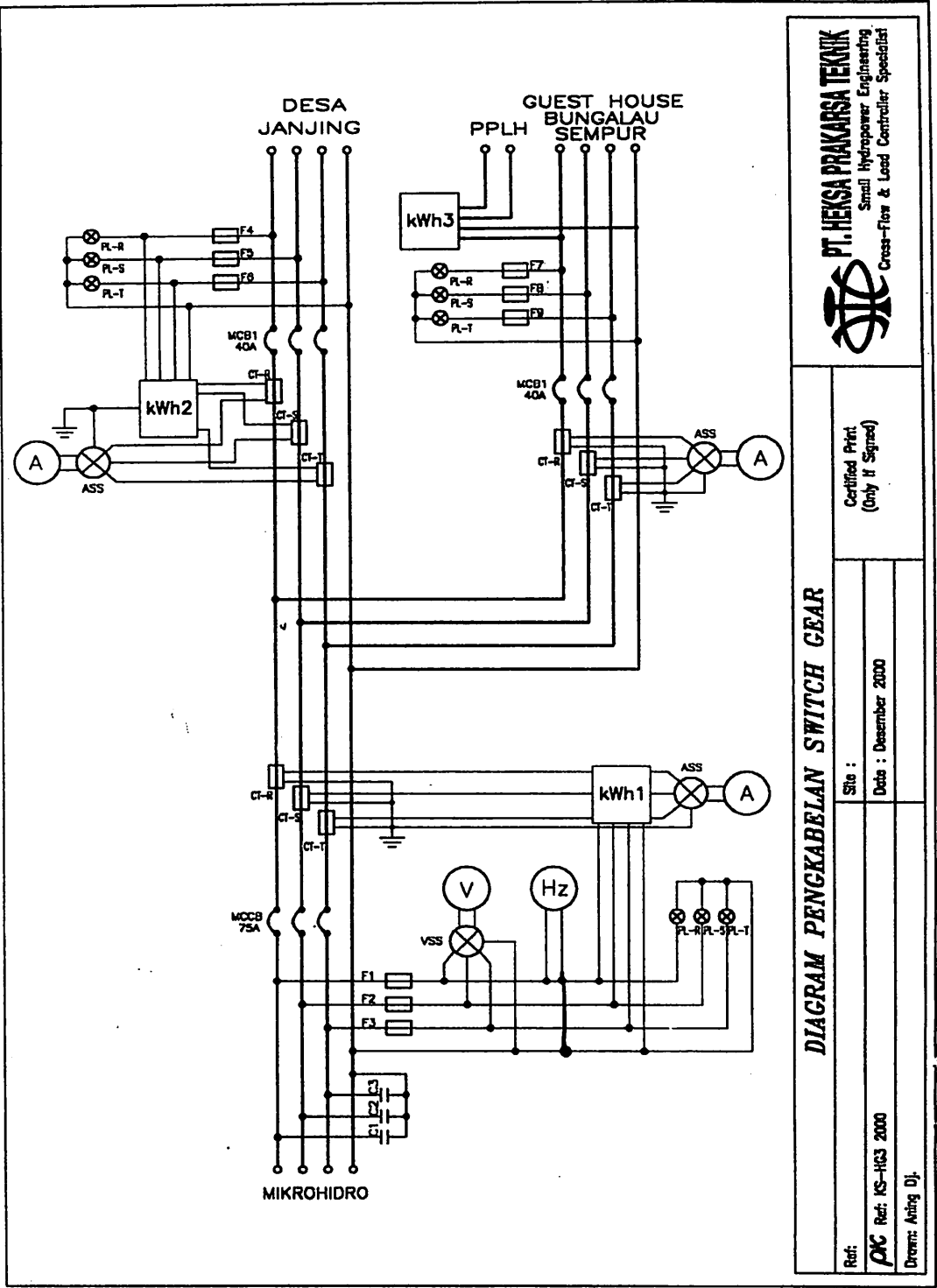
9. Panel Switch Gear



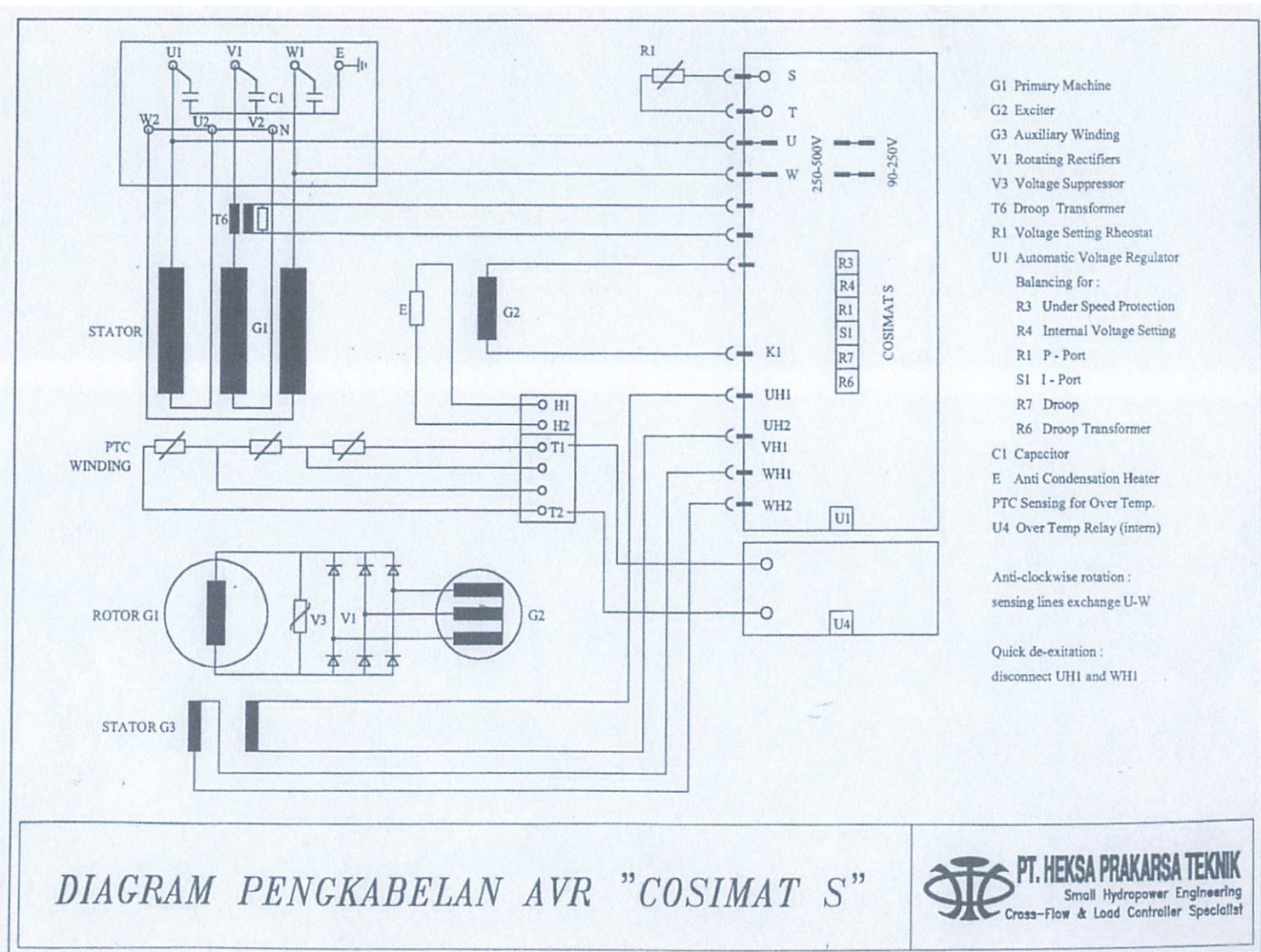
10. Panel Kontrol ELC



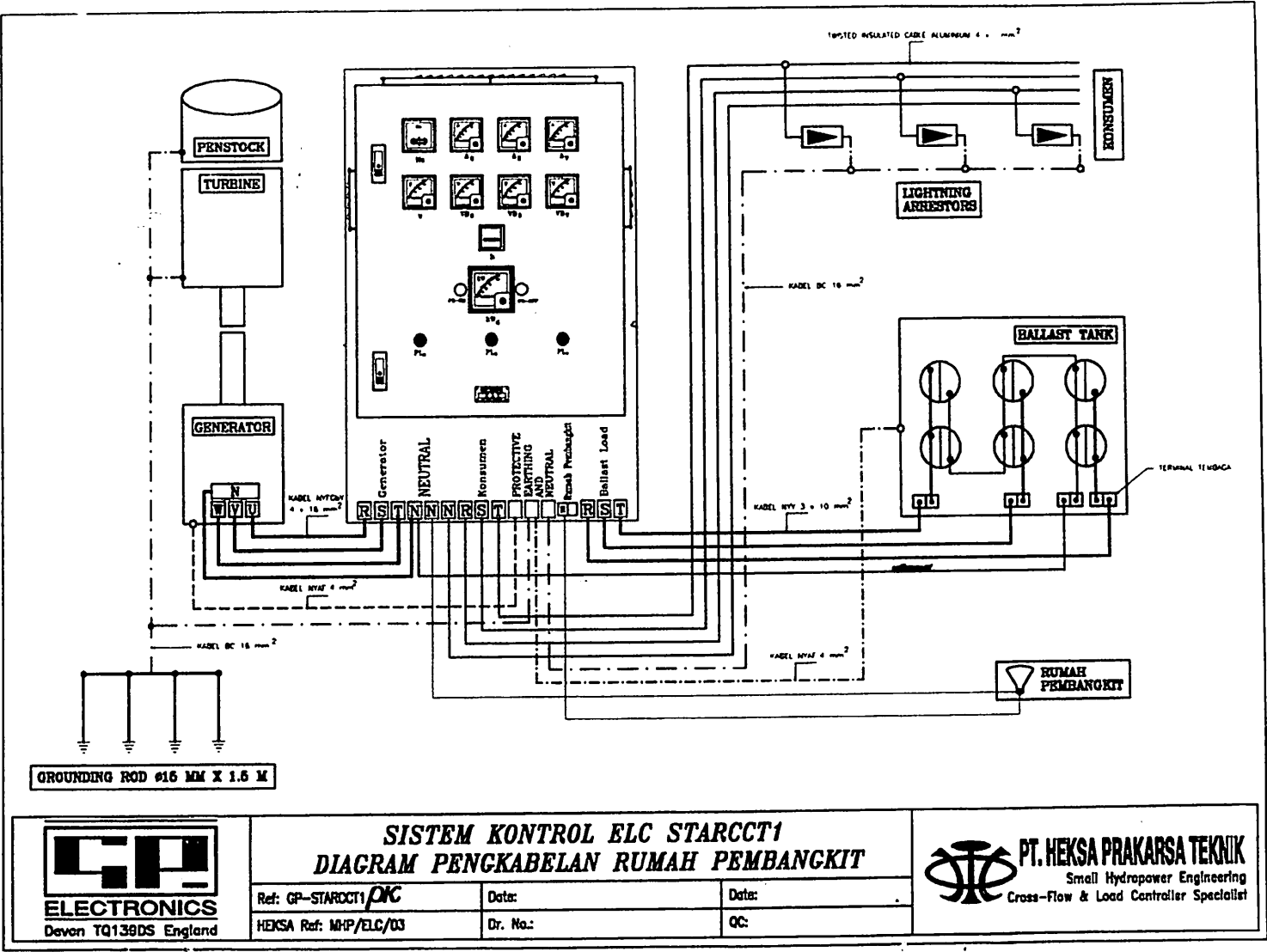
11. Diagram Pengkabean Switch Gear



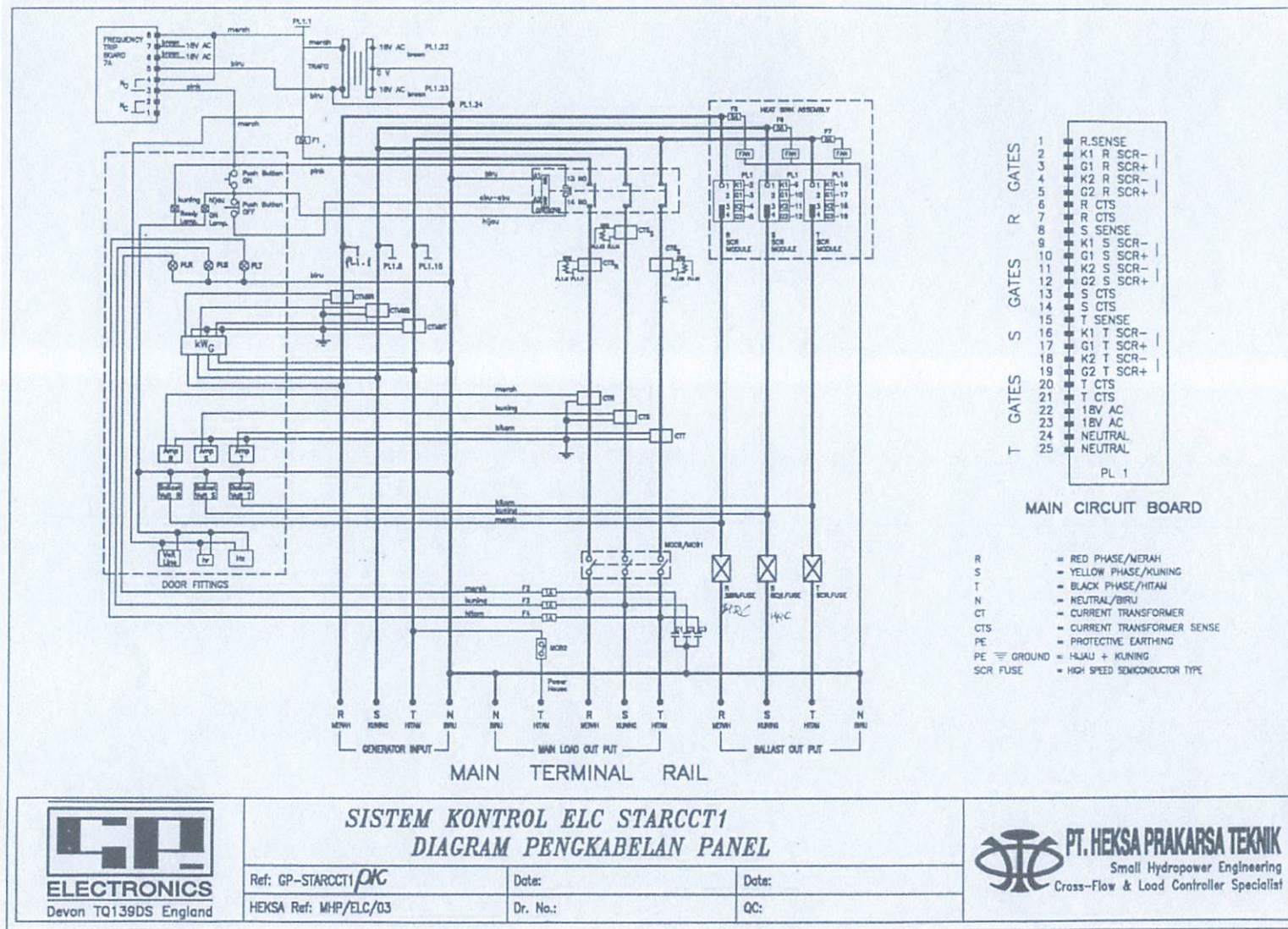
12. Diagram Pengkabelan AVR



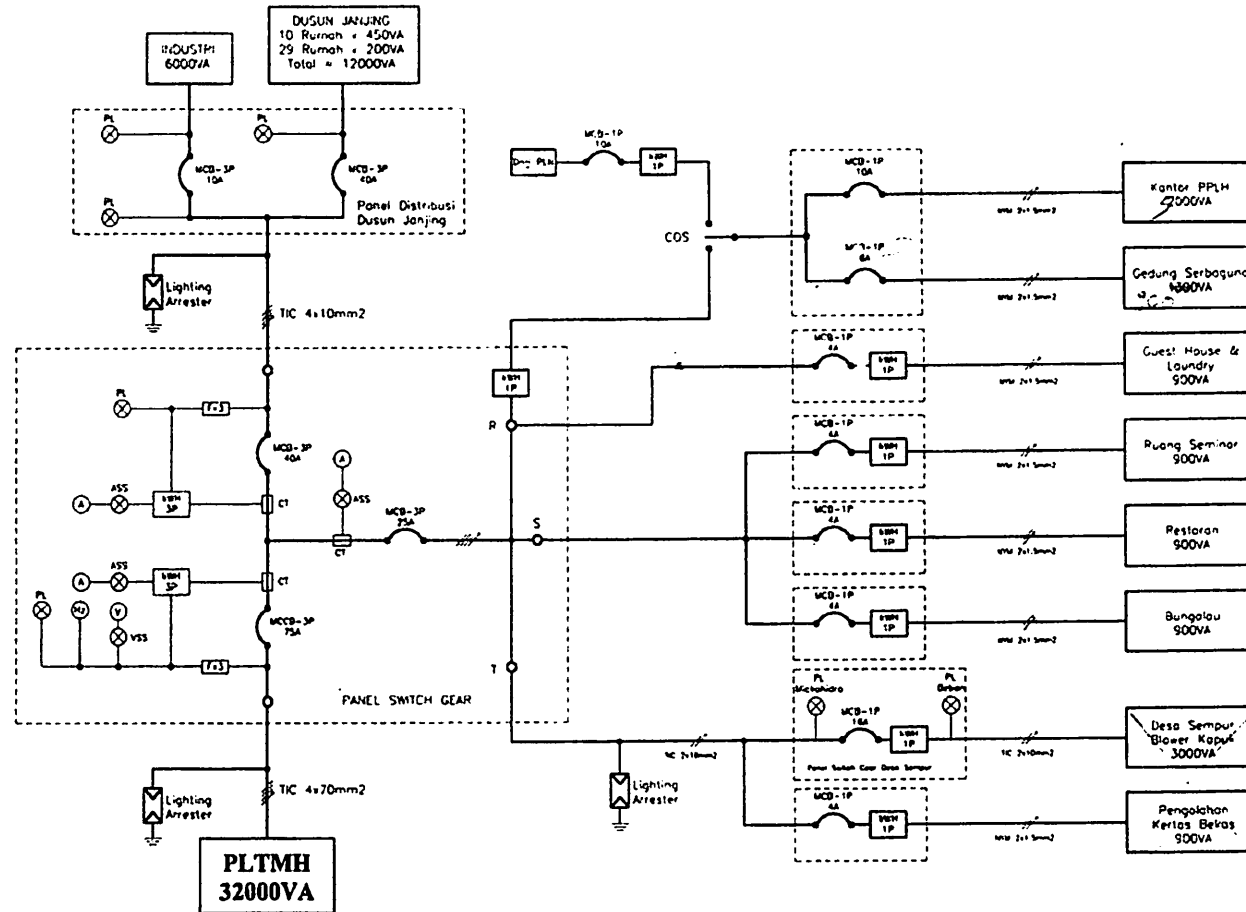
13. Diagram Pengkabelan Rumah Pembangkit (Sistem Kontrol ELC)



14. Diagram Pengkabelan Panel (Sistem Kontrol ELC)

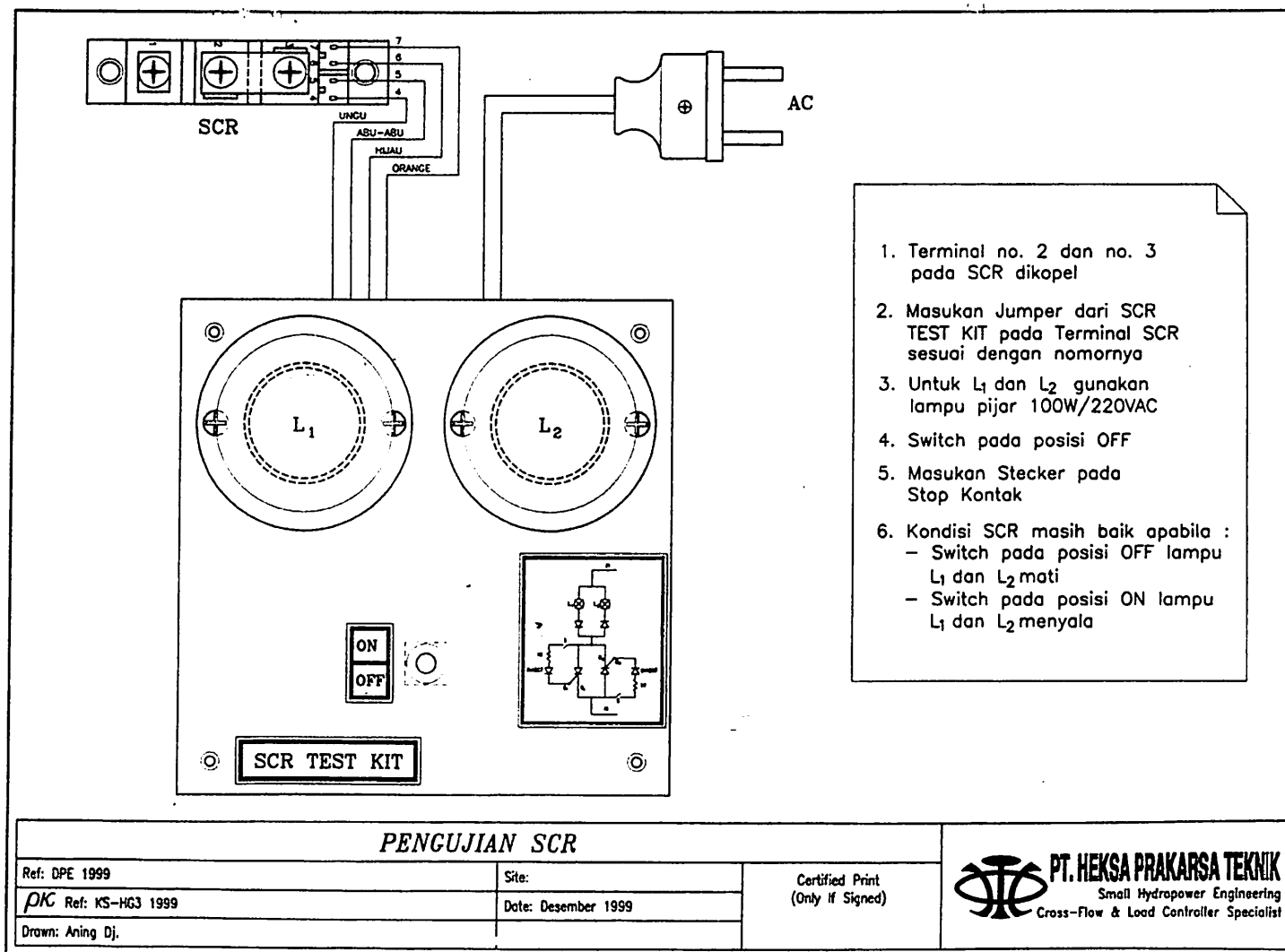


15. Single Line Diagram Switch Gear dan Konsumen



SINGLE LINES DIAGRAM SWITCH GEAR & KONSUMEN

Ref:	Site :	Certified Print (Only If Signed)	 PT. HEKSA PRAKARSA TEKNIK Small Hydropower Engineering Cross-Flow & Load Controller Specialist
<i>PAC</i> Ref: KS-HG3 2000	Date : Desember 2000		



PENGUJIAN SCR

Ref: DPE 1999

Site:

Certified Print
(Only if Signed)

PK Ref: KS-HG3 1999

Date: Desember 1999

Drawn: Aning Dj.



PT. HEKSA PRAKARSA TEKNIK

Small Hydropower Engineering
Cross-Flow & Load Controller Specialist

17. Daftar Komponen Utama Panel Switch Gear – 30 kW

DAFTAR KOMPONEN UTAMA PANEL SWITCH GEAR - 30 kW

[illegible]

DAFTAR KOMPONEN UTAMA PANEL SWITCH GEAR



PT. HEKSA PRAKARSA TEKNIK
Small Hydropower Engineering
Cross-Flow & Load Controller Specialist

18. Daftar Komponen Utama Panel Kontrol ELC

DAFTAR KOMPONEN UTAMA PANEL KONTROL ELC GP STARCCT1 - 25. kW			
No.	Kode	Keterangan	Jumlah
POWER ELECTRONIC			
1	M-C-B	Main Circuit Board, GP Electronic	1
2	F-T-B	Frequency Trip Board, FTB-7A/GP Electronic	1
3	SCR	Silicone Controlled Rectifier, EUPEC TT 31.....	3
4	HRC	Semiconductor Fuse, 20 LPT.....	3
5	HS	Heat Sink, 150x84x81mm	3
6	TR	Transformator, 220V/18V/GP Electronic	1
7	R _{RS,T}	Sensing Resistor, 2.2Ω/5W	3
8	RF _{RS,T}	Rotary Fan, San Ace 109S025/230V/50Hz/14W	3
9	C _{1,2,3}	Capacitor 0.47 μF / 250 V	3
METER, EKSITASI DAN SWITCH GEAR			
1	Hz	Frequency Meter, Otto SQ72, 47-53 Hz, 220V, 72 x 72 mm	1
2	V	Voltmeter, Otto, 0-300V, 72 x 72 mm	4
3	A	Ampere Meter, Otto, 0-100A, CT, 50/5 A, 72 x 72 mm	3
4	CTA	Current Transformer, 50/5 A (untuk Ampere Beban)	3
5	CTS	Current Transformer, 50/5 A (untuk sensing M-C-B)	3
6	h	Hour Meter, Muller BW 40, 230V, 50Hz, 7digits, 48 x 48 mm	1
7	PL	Pilot Lamp, Telemecanique XB2-EV443/4/5, 240V	3
8	PB-OFF	Push Button NC, Telemecanique XB2-BA42	1
9	PB-ON	Push Button NO, Telemecanique XB2-BA31	1
10	K	Contactora, Telemecanique, LC1 - 500/1.....	1
11	MCB-1	MCB, Merlin Gerin MS 100 N, 3P, 63 A	1
12	MCB-2	MCB, Merlin Gerin NC 45 A, 1P, 6 A	1
13	MCB-3	MCB, Merlin Gerin 1P, A	X
14	F-1	Fuse Holder SF-110, 250V + Fuse 5A	1
15	F-2/3/4/5/6/7	Fuse Holder SF-110, 250V + Fuse 1A	6
16	RL	Relay, Omron MK2P-1, 220 V / Coil 220 VAC	X
17	PL-ON	Pilot Lamp Hijau, 2W, 220V	1
18	PL-READY	Pilot Lamp Kuning/Merah, 2W, 220V	1
19	CTG	CT 50/5 A	3
20	FW	0.25 kW / 3P, CIRCUITR	1
DAFTAR KOMPONEN UTAMA PANEL KONTROL ELC GP STARCCT1			
		 PT. HEKSA PRAKARSA TEKNIK Small Hydropower Engineering Cross-Flow & Load Controller Specialist	

19. Pengenalan dan penanggulangan Gangguan Elektrikal

PENGENALAN DAN PENANGGULANGAN GANGGUAN ELEKTRIKAL			
No.	Jenis Gangguan dan Gejala	Kemungkinan Penyebabnya	Penanggulangan dan Perbaikan
ELC-1	SAAT DINYALAKAN LAMPU FUSE F-1/F-2/F-3/F-4/F-5 MENYALA.	1. Fuse gelas ada yang putus.	1. SEGERA MATIKAN PEMBANGKIT (MP). Ganti FUSE GLAS yang sesuai.
ELC-2	SAAT DINYALAKAN TIDAK KELUAR TEGANGAN: 1. V-PH tetap pada nol. 2. Suara generator terdengar lebih keras dari biasanya.	1. MCB AVR jatuh pada posisi OFF.	1. SEGERA MATIKAN PEMBANGKIT (MP). Cek dan teliti rangkaian AVR. Kembalikan MCB AVR pada posisi ON. Nyalakan kembali pembangkit.
		2. AVR rusak.	2. Ganti dengan AVR SX-421. Kesulitan, hubungi HEKSA.
		3. Jalur Generator ada yang konslet	3. Lakukan TEST OHM untuk masing-masing fasa dan fasa dengan netral di jalur Generator-Panel.
ELC-3	SAAT DINYALAKAN VB terlalu cepat mencapai angka 220 Volt mengikuti V-PH 1. Hz, kurang dari 50 Hz.	1. Ballast/HRC fuse, konslet/putus	SEGERA MATIKAN PEMBANGKIT (MP). Lakukan test OHM pada ballast/HRC fuse ganti yang rusak dengan yang baru. Kesulitan, hubungi HEKSA.
		2. SCR rusak	Test SCR dengan SCR Test Kit, Kesulitan Hubungi HEKSA.
ELC-4	SAAT DINYALAKAN KONTROL TIDAK BERFUNGSI 1. Hz, melebihi 53Hz 2. V-PH melebihi 230 V 3. VB tetap pada nol	1. MAIN CIRCUIT BOARD rusak atau terminal pada M-C-B no. 1-25 ada yang kendur.	SEGERA MATIKAN PEMBANGKIT (MP). 1. Cek dan kencangkan terminal pada M-C-B. Gagal. MP, hubungi HEKSA
		2. Trafo rusak /putus	Kurangi bukaan turbin, lakukan TEST VOLT pada pin no. 25 & 23 dan no. 25 & 22. Tegangan yang terbaca seharusnya 18 Volt (AC). Ganti Trafo yang sesuai. Kesulitan. MP, hubungi HEKSA.
ELC-5	SAAT DINYALAKAN kondisi normal lampu PL READY tidak menyala.	1. Lampu PL READY putus	1. SEGERA MATIKAN PEMBANGKIT (MP). Lakukan Test OHM pada lampu tsb. Ganti dengan lar:pu yang baru.
		2. Setting F-T-B berubah	2. Set ulang F-T-B. Kesulitan Hubungi HEKSA
ELC-6	SAAT DINYALAKAN kondisi normal lampu PL READY menyala, tetapi KONTAKTOR tidak mau dinyalakan	1. Kabel PUSH BUTTON kendur	1. MATIKAN PEMBANGKIT (MP). kencangkan kabel yang kendur.
		2. COIL KONTAKTOR rusak	2. MATIKAN PEMBANGKIT, pastikan dengan TEST OHM pada COIL, ganti COIL. Nyalakan Kembali Pembangkit
PENGENALAN & PENANGGULANGAN GANGGUAN ELEKTRIKAL		 PT. HEKSA PRAKARSA TEKNIK Small Hydropower Engineering Cross-Flow & Load Controller Specialist	

20. Pengenalan dan penanggulangan gangguan elektrikal

PENGENALAN DAN PENANGGULANGAN GANGGUAN ELEKTRIKAL			
ELC-7	SAAT DINYALAKAN, kontrol normal, kontaktor normal, saat MCB-1 dinyalakan kontaktor selalu lepas.	1. Beban konsumen terlalu banyak ada pencurian strom.	1. SEGERA MATIKAN PEMBANGKIT (MP), lakukan penertiban.
		2. DAYA TURBIN tidak maksimal.	2. LIHAT M-1.
ELC-8	SAAT DINYALAKAN, kontrol normal, kontaktor normal, saat MCB-1 dinyalakan MCB-1 selalu jatuh, kontaktor tidak lepas	KONSLET di jaringan.	SEGERA MATIKAN PEMBANGKIT (MP). Lakukan TEST OHM untuk masing-masing fasa dan fasa dengan netral di jaringan. Temukan letak konslet sebelum pembangkit dinyalakan kembali.
ELC-9	SAAT PEMBANGKIT SUDAH DINYALAKAN, konsumen PADAM, rumah pembangkit PADAM.	1. Terjadi OVER VOLTAGE MCB AVR jatuh pada posisi OFF, sirine berbunyi. TURBIN run away speed.	1. SEGERA MATIKAN PEMBANGKIT Tutup Katup Turbin/Pintu Air dengan SEGERA. ON kan kembali MCB AVR. Nyalakan kembali pembangkit.
		2. BALLAST KONSLET.	2. MATIKAN PEMBANGKIT, lakukan TEST OHM pada BALLAST, catat jumlah dan daya ballast yang konslet. Ganti ballast yang baru. Kesulitan, hubungi HEKSA.
ELC-10	SAAT PEMBANGKIT SUDAH DINYALAKAN, konsumen PADAM, rumah pembangkit TIDAK PADAM.	Lihat ELC-8.	Lihat ELC-8.
ELC-11	SAAT PEMBANGKIT SUDAH NYALA tegangan BALLAST tidak seimbang.	1. SCR mati sebelah.	1. MATIKAN PEMBANGKIT Check connection pada MCB pin no. 1-25, kencangkan konektor gate pada SCR. Test SCR dengan SCR test kit. Kesulitan hubungi HEKSA.
		2. Setting balance pada M-C-B berubah.	2. Set ulang balance M-C-B.
ELC-12	SAAT PEMBANGKIT SUDAH NYALA Sirine berbunyi.	1. RL rusak.	1. Ganti RL.
		2. Setting FREQ M-C-B berubah.	2. Setting ulang FREQ M-C-B.
		3. Turbin run away speed.	3. Matikan Pembangkit dengan segera.

PENGENALAN & PENANGGULANGAN GANGGUAN ELEKTRIKAL	PT. HEKSA PRAKARSA TEKNIK Small Hydropower Engineering Cross-Flow & Load Controller Specialist
--	--

UJI UNJUK KERJA KERJA

PLTMH KALIMARON SELOLIMAN-TRAWAS-MOJOKERTO (1 x 25 kW)

1. Pendahuuluan

PLTMH Kalimaron terletak di Dusun Janjing Desa Seloliman, Kecamatan Trawas yang berjarak $\pm$ 80 km kearah tenggara kota Mojokerto.

PLTMH Kalimaron terdiri dari 1 unit pembangkit dengan kapasitas daya keluaran sebesar 25 kW, telah beroperasi secara isolated sejak tahun 1994 dan awal tahun 2003 dilakukan perbaikan dengan mengganti turbin dan penyempurnaan system controlnya untuk dapat masuk kesistem jaringan PLN

Berdasarkan hal tersebut diatas, PLN JTK dalam hal ini Unit Inspeksi Teknik telah melakukan inspeksi dan Evaluasi hasil uji unjuk kerja PLTM Kalimaron.

2. Lingkup pekerjaan

Lingkup pekerjaan meliputi pengujian sebagai berikut :

2.1 Syncrhon Test.

2.2 Load Rejection Test.

2.3 Output Test.

2.4 Heat Run Test

3. Data teknik peralatan utama

3.1 Turbin Air.

Type	: CrossFlow T14-D300-bos350 horizontal shaft
Head	: 13,15 meter
Debit	: 0,3 m ³ /detik
Daya	: 25 kW
Putaran	: 500 rpm
Putaran lebih	: 900 rpm
Runner diameter	: 300 mm
Lebar runner	: 350 mm
Tahun	: 2000-1
Pembuat	: PT.HEKSA PRAKARSA TEKNIK

3.2 Speed Increaser

Type	: Pully system Plate belt
------	---------------------------

3.3 Generator.

Merek	: AVK
Type	: DKBN 34/40 – 4TS
No.Seri	: 521 940 45
Daya	: 450 kVA
Tegangan	: 400/231 V
Hubungan	: Y
Arus	: 57,7 A
Frekwensi	: 50 Hz
Cos θ	: 0,8
Phasa	: 3
Putaran	: 1500 rpm
Isolasi class	: F
Excitasi	
Tegangan	: 27 V
Arus	: 2,15 A
Tahun	: 1994

3.4 Panel Kontrol dan Proteksi

Panel Kontrol :
a. Electronic Load Control (ELC) Type : 3 P – 30 kW – 00-10 PT.HEKSA PRAKARSA TEKNIK
Perlengkapan Meter (Analog) - Volt meter - Ampere meter - Frekwensi meter - kW meter - Cos θ meter - Ballast meter
Panel Proteksi :
a. Mainscon System GP Electronic Devon England

Synchronizer mode
Type : MC-301 3P.GP.2003-1

- b. Gerator protection :
 - Over / Under voltage
 - Over / Under frequency
 - Reverse power
 - Over Current (CB)
- c. Grid Protection :
 - Mains Failure
 - Vector Jump
 - Over / Under voltage
 - Over / Under frequency

4. Referensi dan kriteria hasil uji

Referensi dan criteria hasil uji dalam melakukan evaluasi adalah sebagai berikut :

4.1 Standar terkait.

- IEC 41 Third Edition 1991-11 : Field acceptance tests to determine hydraulic performance of hydraulic turbines, storage pumps and pump-turbines.
- IEC 193A, 1972 : International code for model acceptance tests of hydraulic turbines.

4.2 Desain.

4.3 Uji Pabrik.

4.4 Buku Pedoman Operasi dan Pemeliharaan PLTM Kalimaron.

4.5 Kesepakatan bersama unit terkait.

5. Pelaksanaan Pekerjaan

- 5.1 Tempat : PLTM Kalimaron
- 5.2 Tanggal : 20 s/d 21 Oktober 2003
- 5.3 Pelaksana :

Kontraktor	: PT.HEKSA PRAKARSA TEKNIK	: M.Aji Subekti
Konsultan	: MHPP	: Mark Hayton
Tim Inspeksi	: PLN-JTK	: - Sriyanto, Supardjo
Disaksikan	: PLN APJ Mojokerto	: Rahmadi
	PLTM KALIMARON	: Suroso

6. Hasil Pengerjaan

Pengujian telah dilaksanakan sesuai dengan lingkup pekerjaan dan secara keseluruhan dengan hasil baik.

6.1 Uji Sinkron

Sinkron dilakukan pada tegangan rendah dengan system auto sinkron dan tidak bias manual telah dilaksanakan dengan hasil baik.

6.2 Uji pelepasan beban seketika

Uji pelepasan beban seketika dilakukan pada beban 10 kW dan beban 18 kW dengan hasil baik.

Item	Hasil uji No.		Nominal rated
	1	2	
Beban (kW)	10	18	25 kW
Δf (%)	6	4	50 Hz
ΔN Turbin (%)	4,5	2,9	500 rpm
ΔV (%)	9,7	4,2	400 V
Waktu kembali stabil (sec)	6	3	-

6.3 Uji Pembebanan

- Uji pembebanan (output) dilakukan dengan beban bertahap mulai dari beban 20 % s/d 100 % (maksimum load)
- Untuk keluaran daya maksimum hanya mencapai 24 kW dan hanya bertahan sesaat karena air di Dam kecil

Item	Hasil Uji	Keterangan
------	-----------	------------

			Kondisi maksimum
Daya Mak.	(kW)	24	-
Tekanan	(kg/cm ³)	1,25	1,5
Penstock	(mm)	145	160
Opening guide Vane	(%)	90	100

6.4 Uji keandalan

- Uji keandalan masuk system dengan beban ± 15 kW (sesuai dengan kemampuan air yang ada) dilakukan pengamatan semua parameter temperature mencapai jenuh (saturated) berhasil baik.

Item	Temperatur (° C)	Keterangan
Gen body	41	Hasil pengamatan selama 2 jam, tetapi unit masih terus beroperasi
Gen Bearing 1	40	
Gen bearing 2	-	
Turbin Bearing 1	31	
Turbin Bearing 2	30	
Fly whell bearing 1	41	
Fly whell bearing 2	40	

Hasil pengujian selengkapnya dapat dilihat pada lampiran 2 Data Hasil Uji.

7. Kesimpulan

- 7.1 Uji pembebanan maksimum hanya mencapai 24 kW dan dilakukan sesaat karena kondisi air kecil
- 7.2 Berdasarkan hasil evaluasi terhadap pengujian yang dilakukan dapat disimpulkan bahwa hasil uji jalan, uji sinkron, uji pembebanan, uji system control dan proteksi telah dilaksanakan dengan hasil baik dan secara teknis PLTM Kalimaron direkomendasikan laik untuk dioperasikan masuk ke jaringan system 20 kV.

8. Saran

- 8.1 Pengoperasian PLTM Kalimaron ini didesain tanpa ditunggu oleh operator, tetapi sebaiknya secara periodik tertentu harus dicek/dikontrol, karena lokasinya cukup jauh dari kampong dan kendaraan tidak bisa sampai di power house, maka bila terjadi gangguan listrik (listrik padam) petugas segera datang untuk mengecek karena bila gangguan itu disebabkan oleh belt penggerak putus turbin akan menjai over speed karena system pengaturan bukaan sudunya masih manual
- 8.2 Setiap bearing sebaiknya dipasang alat ukur untuk mendeteksi suhu.
- 8.3 Semua peralatan meter ukur sebaiknya dikalibrasi.

PERFORMANCE TEST PLTM KALIMARON
LOAD REJECTION TEST

Tanggal 20-10-2003

TEST NO		1	2
TIME (H – M)		16.50	17.00
REJECTION LOAD (Kw)		10	18
VOLTAGE	UNDER LOAD (V)	402	402
	MAXIMUM (V)	441	419
	TIME TO STABILIZED (Sec)	-	-
	Δ V (%)	9.7	4.2
CURRENT (A)		24	26.2
POWER FACTOR (%)		0.45	0.99
FREQUENCY	UNDER LOAD (Hz)	50	50
	MAXIMUM (Hz)	53	52
	TIME TO STABILIZED (Sec)	6	3
	Δ F (%)	6	4
UNIT SPEED	UNDER LOAD (rpm)	462	462
	MAXIMUM (rpm)	483	474
	TIME TO STABILIZED (Sec)	-	-
	Δ N (%)	4.5	2.9
PENSTOCK PRESSURE	UNDER LOAD (kg/cm ²)	1.4	1.4
	MAXIMUM (kg/cm ²)	-	-
	TIME TO STABILIZED (Sec)	-	-
	Δ P (%)	-	-
GUIDE VANE STROKE	UNDER LOAD (%)	30	54
	STABILIZED (mm)	-	-
	CLOSSING TIME (Sec)	-	-

FUNCTION TEST PROTECTION RELAY

ITEM TEST	RESULT	
	SET (%)	ACTUAL
1. Proteksi di system 380 V		
- Over Voltage Relay (27)	5	419 V
- Under Voltage Relay (27)	11.5	354 V
- Over Frequency Relay (81)	5.2	52.6 Hz
- Under Frequency Relay (81)	- 5	47.5 Hz
2. Proteksi di sisi Generator		
- Over Voltage Relay (27)	5	420 V
- Under Voltage Relay (27)	11.5	354 V
- Over Frequency Relay (81)	5.6	52.8 Hz
- Under Frequency Relay (81)	- 5	47.5 Hz
- Revers Frequency Relay (81)	6.6	1.66 kW

PERFORMANCE TEST PLTM KALIMARON

OUTPUT TEST

Tanggal 21-10-2003

Ambient temperature : 32 °C

TEST NO			1	2	3	4	5
TIME (H – M)			12.20	12.25	12.30	12.35	12.40
OUTPUT		DAMY LOAD (H – M)	5	10	15	20	24
		KONSUMEN (kW)	-	-	-	-	-
		SYSTEM (Kw)	-	-	-	-	-
VOLTAGE		R – S (V)	398	390	395	401	403
		R – T (V)	398	390	395	402	403
		S – T (V)	398	390	395	402	403
CURRENT	DAMY LOAD	R (A)	17	21.6	29.2	33.9	36.5
		S (A)	16.6	23.7	29	33.3	36.5
		T (A)	17	24	29	33.3	36.5
	KONSUMEN	R (A)					
		S (A)					
		T (A)					
	SYSTEM	R (A)					
		S (A)					
		T (A)					
FREQUENCY (Hz)			50	50	50	50	50
POWER FACTOR (%)			-	-	-	-	-
SERVOMOTOR STROKE		(mm)	37	55	79	100	145
		(%)	23	34	44	62	90
SPEED (rpm)			462	462	462.8	463	463
PENSTOCK PRESSURE (kg/cm ²)			1.5	1.5	1.4	12.5	12.5

PERFORMANCE TEST PLTM KALIMARON

HEAT RUN TEST

Tanggal : 21-10-2003

TEST NO			1	2	3	4	5
TIME (H – M)			12.45	13.15	13.45	14.15	14.30
OUTPUT		DAMY LOAD (H – M)	17.5	0	0	0	0
		KONSUMEN (kW)	-	0.4	1.1	1.4	0.92
		SYSTEM (kW)	-	4.0	13.4	16.0	15.5
VOLTAGE		R – S (V)	401	401	398	402	401
		R – T (V)	401	401	401	400	394
		S – T (V)	401	401	398	402	401
CURRENT	DAMY LOAD	R (A)	31.3	0	0	0	0
		S (A)	31.4	0	0	0	0
		T (A)	31.3	0	0	0	0
	KONSUMEN	R (A)	1.4	0.54	0.58	0.57	0.57
		S (A)	1.6	0.48	3.3	3.3	1.34
		T (A)	1.3	2.7	2.6	2.6	2.3
	SYSTEM	R (A)	-	29.3	27.4	2.8	2.4
		S (A)	-	28.5	25	26.5	23.3
		T (A)	-	29.3	27.8	27.2	23.5
FREQUENCY (Hz)			50	50	50	50	
POWER FACTOR (%)			0.75	0.75	0.72	0.85	0.95
SERVOMOTOR STROKE		(mm)	85	75	75	75	75
		(%)	53	47	47	47	47
SPEED (rpm)			1.42	1.1	1.4	1.4	1.4
PENSTOCK PRESSURE (kg/cm²)			463	463	463	463	463
TEMPERATURE	GEN.BODY (rpm)		40	42	42	41	41
	GEN.BEARING 1 (°C)		38	40	40	40	40
	GEN.BEARING 2 (°C)		-	-	-	-	-
	TURBINE BEARING 1(°C)		32	32	31	31	31
	TURBINE BEARING 2(°C)		31	31	31	30	30
	FLY WHELL BEARING 1 (°C)		40	41	41	41	41
	FLY WHELL BEARING 2 (°C)		39	40	40	40	40
	ROOM TEMP.(°C)		30	32	32	32	32

Lampiran B

(Proyeksi penjualan PLTMH I ke jala-jala PLN)

Proyeksi Penjualan
PSK Tersebar - Paguyuban Kali Maron (PKM), Seloliman

		Penjualan dan Pembelian									
		Tahun 1	Tahun 2	Tahun 3	Tahun 4	Tahun 5	Tahun 6	Tahun 7	Tahun 8	Tahun 9	Tahun 10
1	Januari	6,491,918	6,686,675	6,887,275	7,093,894	7,306,711	7,525,912	7,751,689	7,984,240	8,223,767	8,470,480
2	Februari	5,863,668	6,039,578	6,220,765	6,407,388	6,599,610	6,797,598	7,001,526	7,211,572	7,427,919	7,650,756
3	Maret	6,491,918	6,686,675	6,887,275	7,093,894	7,306,711	7,525,912	7,751,689	7,984,240	8,223,767	8,470,480
4	April	5,920,917	6,098,545	6,281,501	6,469,946	6,664,044	6,863,966	7,069,885	7,281,981	7,500,441	7,725,454
5	Mei	5,744,644	5,916,983	6,094,493	6,277,328	6,465,648	6,659,617	6,859,405	7,065,188	7,277,143	7,495,458
6	Juni	5,197,749	5,353,681	5,514,292	5,679,721	5,850,112	6,025,616	6,206,384	6,392,576	6,584,353	6,781,884
7	Juli	5,371,007	5,532,138	5,698,102	5,869,045	6,045,116	6,226,470	6,413,264	6,605,662	6,803,831	7,007,946
8	Agustus	5,744,644	5,916,983	6,094,493	6,277,328	6,465,648	6,659,617	6,859,405	7,065,188	7,277,143	7,495,458
9	September	5,920,917	6,098,545	6,281,501	6,469,946	6,664,044	6,863,966	7,069,885	7,281,981	7,500,441	7,725,454
10	Oktober	6,491,918	6,686,675	6,887,275	7,093,894	7,306,711	7,525,912	7,751,689	7,984,240	8,223,767	8,470,480
11	Nopember	6,282,501	6,470,976	6,665,105	6,865,058	7,071,010	7,283,141	7,501,635	7,726,684	7,958,484	8,197,239
12	Desember	6,491,918	6,686,675	6,887,275	7,093,894	7,306,711	7,525,912	7,751,689	7,984,240	8,223,767	8,470,480
Pertahun		72,013,718	74,174,129	76,399,353	78,691,334	81,052,074	83,483,636	85,988,145	88,567,790	91,224,823	93,961,568

Proyeksi Arus Kas
PSK Tersebar - Paguyuban Kali Maron (PKM), Seloliman

	Tahun-1	Tahun-2	Tahun-3	Tahun-4	Tahun-5	Tahun-6	Tahun-7	Tahun-8	Tahun-9	Tahun-10
	(Rp)	(Rp)	(Rp)	(Rp)	(Rp)	(Rp)	(Rp)	(Rp)	(Rp)	(Rp)
Arus Kas Masuk										
Penjualan	72,013,718	74,174,129	76,399,353	78,691,334	81,052,074	83,483,636	85,988,145	88,587,790	91,224,823	93,961,568
Loan	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Dana Bergulir	88,000,000	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Lainnya	<u>2,395,379</u>	<u>7,388,413</u>	<u>13,064,508</u>	<u>19,532,253</u>	<u>26,879,207</u>	<u>36,189,884</u>	<u>48,353,504</u>	<u>62,087,496</u>	<u>77,549,853</u>	<u>94,835,221</u>
Total	<u>162,409,097</u>	<u>81,562,542</u>	<u>89,463,861</u>	<u>98,223,587</u>	<u>107,931,281</u>	<u>119,673,500</u>	<u>134,341,649</u>	<u>150,655,286</u>	<u>168,774,676</u>	<u>188,896,789</u>
Arus Kas Keluar										
Investasi	88,000,000	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Operasional	13,471,333	16,165,600	17,782,160	19,560,376	21,516,414	23,668,055	26,034,860	28,638,347	31,502,181	34,652,399
Kredit	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Bunga	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Pokok	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Dana Bergulir	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Bunga	5,245,325	4,671,006	3,497,083	2,238,297	888,513	10,106	.	.	.	.
Pokok	<u>13,922,235</u>	<u>16,239,060</u>	<u>17,412,983</u>	<u>18,671,769</u>	<u>20,021,553</u>	<u>1,732,400</u>	.	.	.	.
Total	<u>120,638,894</u>	<u>37,075,666</u>	<u>38,692,226</u>	<u>40,470,442</u>	<u>42,428,479</u>	<u>25,410,560</u>	<u>26,034,860</u>	<u>28,638,347</u>	<u>31,502,181</u>	<u>34,652,399</u>
Surplus (defisit)	41,770,203	44,486,876	50,771,635	57,753,145	65,504,802	94,262,939	108,306,789	122,016,940	137,272,495	154,244,390
Saldo Kas Awal	.	41,770,203	86,257,080	137,028,715	194,781,880	260,286,662	354,549,602	462,856,391	584,873,330	722,145,825
Saldo Kas Akhir	<u>41,770,203</u>	<u>86,257,080</u>	<u>137,028,715</u>	<u>194,781,860</u>	<u>260,286,662</u>	<u>354,549,602</u>	<u>462,856,391</u>	<u>584,873,330</u>	<u>722,145,825</u>	<u>876,390,215</u>
Posisi										
Kredit	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Dana bergulir	74,077,765	57,838,705	40,425,721	21,753,952	1,732,400	0	0	0	0	0

Proyeksi Penjualan
PSK Tersebar - Paguyuban Kali Maron (PKM), Seloliman

Penjualan Langsung

	Tahun 1	Tahun 2	Tahun 3	Tahun 4	Tahun 5	Tahun 6	Tahun 7	Tahun 8	Tahun 9	Tahun 10
	Rp100	Rp103	Rp106	Rp109	Rp113	Rp116	Rp119	Rp122	Rp127	Rp130
1 Januari	417,725	430,257	443,164	456,459	470,153	484,258	498,785	513,749	529,162	545,036
2 Februari	377,300	388,619	400,278	412,286	424,654	437,394	450,516	464,031	477,952	492,291
3 Maret	417,725	430,257	443,164	456,459	470,153	484,258	498,785	513,749	529,162	545,036
4 April	404,250	416,378	428,869	441,735	454,987	468,637	482,696	497,177	512,092	527,455
5 Mei	417,725	430,257	443,164	456,459	470,153	484,258	498,785	513,749	529,162	545,036
6 Juni	404,250	416,378	428,869	441,735	454,987	468,637	482,696	497,177	512,092	527,455
7 Juli	417,725	430,257	443,164	456,459	470,153	484,258	498,785	513,749	529,162	545,036
8 Agustus	417,725	430,257	443,164	456,459	470,153	484,258	498,785	513,749	529,162	545,036
9 September	404,250	416,378	428,869	441,735	454,987	468,637	482,696	497,177	512,092	527,455
10 Oktober	417,725	430,257	443,164	456,459	470,153	484,258	498,785	513,749	529,162	545,036
11 Nopember	404,250	416,378	428,869	441,735	454,987	468,637	482,696	497,177	512,092	527,455
12 Desember	417,725	430,257	443,164	456,459	470,153	484,258	498,785	513,749	529,162	545,036
Pertahun	<u>4,918,375</u>	<u>5,065,926</u>	<u>5,217,904</u>	<u>5,374,441</u>	<u>5,535,674</u>	<u>5,701,745</u>	<u>5,872,797</u>	<u>6,048,981</u>	<u>6,230,450</u>	<u>6,417,364</u>

Proyeksi Penjualan
PSK Tersebar - Paguyuban Kali Maron (PKM), Seloliman

Penjualan ke Jaringan

	Tahun 1	Tahun 2	Tahun 3	Tahun 4	Tahun 5	Tahun 6	Tahun 7	Tahun 8	Tahun 9	Tahun 10
	Rp335	Rp345	Rp355	Rp366	Rp377	Rp388	Rp400	Rp412	Rp424	Rp437
1 Januari	6,074,193	6,256,418	6,444,111	6,637,434	6,836,557	7,041,654	7,252,904	7,470,491	7,694,606	7,925,444
2 Februari	5,486,368	5,650,959	5,820,487	5,995,102	6,174,955	6,360,204	6,551,010	6,747,540	6,949,966	7,158,465
3 Maret	6,074,193	6,256,418	6,444,111	6,637,434	6,836,557	7,041,654	7,252,904	7,470,491	7,694,606	7,925,444
4 April	5,516,667	5,682,167	5,852,632	6,028,211	6,209,057	6,395,329	6,587,189	6,784,805	6,988,349	7,197,999
5 Mei	5,326,919	5,486,727	5,651,328	5,820,868	5,995,494	6,175,359	6,360,620	6,551,439	6,747,982	6,950,421
6 Juni	4,793,499	4,937,304	5,085,423	5,237,986	5,395,125	5,556,979	5,723,688	5,895,399	6,072,261	6,254,429
7 Juli	4,953,282	5,101,881	5,254,937	5,412,585	5,574,963	5,742,212	5,914,478	6,091,912	6,274,670	6,462,910
8 Agustus	5,326,919	5,486,727	5,651,328	5,820,868	5,995,494	6,175,359	6,360,620	6,551,439	6,747,982	6,950,421
9 September	5,516,667	5,682,167	5,852,632	6,028,211	6,209,057	6,395,329	6,587,189	6,784,805	6,988,349	7,197,999
10 Oktober	6,074,193	6,256,418	6,444,111	6,637,434	6,836,557	7,041,654	7,252,904	7,470,491	7,694,606	7,925,444
11 Nopember	5,878,251	6,054,599	6,236,236	6,423,324	6,616,023	6,814,504	7,018,939	7,229,507	7,446,392	7,669,784
12 Desember	6,074,193	6,256,418	6,444,111	6,637,434	6,836,557	7,041,654	7,252,904	7,470,491	7,694,606	7,925,444
Pertahun	67,095,343	69,108,203	71,181,449	73,316,893	75,516,400	77,781,892	80,115,348	82,518,809	84,994,373	87,544,204

PSK Tersebar - Paguyuban Kali Maron (PKM), Seloliman

	Bln-0	Bln-1	Bln-2	Bln-3	Bln-4	Bln-5	Bln-6	Bln-7	Bln-8	Bln-9	Bln-10	Bln-11	Bln-12	Total
	(Rp)	(Rp)	(Rp)	(Rp)	(Rp)	(Rp)	(Rp)	(Rp)	(Rp)	(Rp)	(Rp)	(Rp)	(Rp)	(Rp)
Arus Kas Masuk														
Penjualan	-	6,491,918	5,863,688	6,491,918	5,920,917	5,744,644	5,197,749	5,371,007	5,744,644	5,920,917	6,491,918	6,282,501	6,491,918	72,013,718
Loan	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dana Bergulir	88,000,000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	88,000,000
Lainnya	-	-	64,919	94,533	130,726	161,571	190,961	215,177	241,367	271,555	303,608	342,094	376,668	2,395,379
Total	88,000,000	6,491,918	5,928,587	6,586,451	6,051,643	5,906,215	5,388,710	5,586,184	5,986,011	6,192,472	6,795,726	6,624,595	6,870,586	162,409,097
Arus Kas Keluar														
Investasi	88,000,000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	88,000,000
Operasional	-	-	1,224,667	1,224,667	1,224,667	1,224,667	1,224,667	1,224,667	1,224,667	1,224,667	1,224,667	1,224,667	1,224,667	13,471,333
Kredit	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Bunga	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pokok	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dana Bergulir	-	-	513,333	506,163	498,951	491,697	484,401	477,062	469,680	462,255	454,787	447,275	439,720	5,245,325
Bunga	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pokok	-	-	1,229,172	1,236,342	1,243,554	1,250,808	1,258,105	1,265,444	1,272,825	1,280,250	1,287,718	1,295,230	1,302,786	13,922,235
Total	88,000,000	-	2,967,172	2,967,172	2,967,172	2,967,172	2,967,172	2,967,172	2,967,172	2,967,172	2,967,172	2,967,172	2,967,172	120,638,694
Surplus (defisit)	-	6,491,918	2,961,415	3,619,279	3,084,471	2,939,043	2,421,538	2,619,012	3,018,639	3,225,300	3,626,554	3,657,423	3,903,413	41,770,203
Saldo Kas Awal	-	-	6,491,918	9,453,332	13,072,611	16,157,082	19,096,125	21,517,663	24,136,675	27,155,514	30,380,814	34,209,367	37,666,790	41,770,203
Saldo Kas Akhir	-	6,491,918	9,453,332	13,072,611	16,157,082	19,096,125	21,517,663	24,136,675	27,155,514	30,380,814	34,209,367	37,666,790	41,770,203	
Posisi														
Kredit	Rp -	Rp -	Rp -	Rp -	Rp -	Rp -	Rp -	Rp -	Rp -	Rp -	Rp -	Rp -	Rp -	
Dana bergulir	Rp 88,000,000	Rp 88,000,000	Rp 86,770,628	Rp 85,534,466	Rp 84,290,931	Rp 83,040,123	Rp 81,782,018	Rp 80,516,574	Rp 79,243,749	Rp 77,963,499	Rp 76,675,780	Rp 75,380,550	Rp 74,077,765	

Proyeksi Arus Kas Tahun 2
PSK Tersebar - Paguyuban Kali Maron (PKM), Seloliman

	Bln-1	Bln-2	Bln-3	Bln-4	Bln-5	Bln-6	Bln-7	Bln-8	Bln-9	Bln-10	Bln-11	Bln-12	Total
	(Rp)	(Rp)	(Rp)	(Rp)	(Rp)	(Rp)	(Rp)	(Rp)	(Rp)	(Rp)	(Rp)	(Rp)	(Rp)
Arus Kas Masuk													
Penjualan	6,686,675	6,039,578	6,686,675	6,098,545	5,916,983	5,353,681	5,532,138	5,916,983	6,098,545	6,686,675	6,470,976	6,686,675	74,174,129
Loan	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dana Bergulir	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Lainnya	417,702	457,849	491,827	532,817	568,234	602,190	630,852	661,588	696,475	733,529	776,835	818,416	7,388,413
Total	7,104,377	6,497,427	7,178,603	6,631,361	6,485,218	5,955,871	6,162,990	6,578,569	6,795,020	7,420,204	7,247,811	7,505,092	81,562,542
Arus Kas Keluar													
Investasi	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Operasional	1,347,133	1,347,133	1,347,133	1,347,133	1,347,133	1,347,133	1,347,133	1,347,133	1,347,133	1,347,133	1,347,133	1,347,133	16,165,600
Kredit	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Bunga	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pokok	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dana Bergulir	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Bunga	432,120	424,476	416,788	409,055	401,276	393,452	385,583	377,667	369,708	361,698	353,643	345,541	4,671,008
Pokok	1,310,385	1,318,029	1,325,718	1,333,451	1,341,229	1,349,053	1,356,923	1,364,838	1,372,800	1,380,808	1,388,862	1,396,964	16,239,060
Total	3,089,639	3,089,639	3,089,639	3,089,639	3,089,639	3,089,639	3,089,639	3,089,639	3,089,639	3,089,639	3,089,639	3,089,639	37,075,666
Surplus (defisit)	4,014,738	3,407,788	4,088,964	3,541,723	3,395,579	2,866,233	3,073,351	3,488,930	3,705,381	4,330,565	4,158,172	4,415,453	44,486,876
Saldo Kas Awal	41,770,203	45,784,942	49,192,730	53,281,694	56,823,416	60,218,995	63,085,228	66,158,579	69,647,509	73,352,890	77,683,455	81,841,627	86,257,060
Saldo Kas Akhir	45,784,942	49,192,730	53,281,694	56,823,416	60,218,995	63,085,228	66,158,579	69,647,509	73,352,890	77,683,455	81,841,627	86,257,060	
Posisi													
Kredit	Rp -	Rp -	Rp -	Rp -	Rp -	Rp -	Rp -	Rp -	Rp -	Rp -	Rp -	Rp -	
Dana bergulir	Rp 72,767,379	Rp 71,449,350	Rp 70,123,633	Rp 68,790,182	Rp 67,448,952	Rp 66,099,899	Rp 64,742,976	Rp 63,378,138	Rp 62,005,339	Rp 60,624,531	Rp 59,235,669	Rp 57,838,705	

Proyeksi Arus Kas Tahun 3
PSK Tersebar - Paguyuban Kali Maron (PKM), Seloliman

	Bln-1	Bln-2	Bln-3	Bln-4	Bln-5	Bln-6	Bln-7	Bln-8	Bln-9	Bln-10	Bln-11	Bln-12	Total
Arus Kas Masuk	(Rp)	(Rp)	(Rp)	(Rp)	(Rp)	(Rp)	(Rp)	(Rp)	(Rp)	(Rp)	(Rp)	(Rp)	(Rp)
Penjualan	6,887,275	6,220,765	6,887,275	6,281,501	6,094,493	5,514,292	5,698,102	6,094,493	6,281,501	6,887,275	6,665,105	6,887,275	78,399,353
Loan	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Dana Bergulir	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Lainnya	862,571	907,828	846,868	992,966	1,033,467	1,072,503	1,178,128	1,141,926	1,182,047	1,224,439	1,273,313	1,320,453	13,064,508
Total	7,749,846	7,128,591	7,834,144	7,274,467	7,127,960	6,586,795	6,804,229	7,236,419	7,463,548	8,111,715	7,938,418	8,207,729	89,463,861
Arus Kas Keluar													
Investasi	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Operasional	1,481,847	1,481,847	1,481,847	1,481,847	1,481,847	1,481,847	1,481,847	1,481,847	1,481,847	1,481,847	1,481,847	1,481,847	17,782,160
Kredit	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Bunga	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Pokok	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Dana Bergulir													
Bunga	337,392	329,196	320,952	312,659	304,318	295,929	287,491	279,003	270,466	261,879	253,242	244,555	3,497,063
Pokok	1,405,113	1,413,310	1,421,554	1,429,846	1,438,187	1,446,576	1,455,015	1,463,502	1,472,039	1,480,628	1,489,263	1,497,851	17,412,983
Total	3,224,352	3,224,352	3,224,352	3,224,352	3,224,352	3,224,352	3,224,352	3,224,352	3,224,352	3,224,352	3,224,352	3,224,352	38,692,226
Surplus (defisit)	4,525,494	3,904,239	4,609,791	4,050,115	3,903,608	3,362,443	3,579,877	4,012,067	4,239,196	4,887,362	4,714,066	4,983,377	50,771,635
Saldo Kas Awal	86,257,060	90,782,574	94,686,812	99,296,604	103,346,719	107,250,327	110,612,770	114,192,647	118,204,714	122,443,910	127,331,272	132,045,336	137,028,715
Saldo Kas Akhir	90,782,574	94,686,812	99,296,604	103,346,719	107,250,327	110,612,770	114,192,647	118,204,714	122,443,910	127,331,272	132,045,336	137,028,715	
Posisi													
Kredit	Rp .	Rp .	Rp .	Rp .	Rp .	Rp .	Rp .	Rp .	Rp .	Rp .	Rp .	Rp .	
Dana bergulir	Rp 56,433,592	Rp 55,020,282	Rp 53,598,728	Rp 52,168,882	Rp 50,730,695	Rp 49,284,119	Rp 47,829,104	Rp 46,365,601	Rp 44,893,562	Rp 43,412,936	Rp 41,923,872	Rp 40,425,721	

Proyeksi Arus Kas Tahun 4
PSK Tersebar - Paguyuban Kali Maron (PKM), Seloliman

	Bln-1	Bln-2	Bln-3	Bln-4	Bln-5	Bln-6	Bln-7	Bln-8	Bln-9	Bln-10	Bln-11	Bln-12	Total
	(Rp)	(Rp)	(Rp)	(Rp)	(Rp)	(Rp)	(Rp)	(Rp)	(Rp)	(Rp)	(Rp)	(Rp)	(Rp)
Arus Kas Masuk													
Penjualan	7,093,894	6,407,388	7,093,894	6,469,946	6,277,328	5,679,721	5,869,045	6,277,328	6,469,946	7,093,894	6,885,058	7,093,894	78,691,334
Loan	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dana Bergulir	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Lainnya	1,370,287	1,421,204	1,465,764	1,517,635	1,563,786	1,608,472	1,647,628	1,689,069	1,735,008	1,783,332	1,838,379	1,891,668	19,532,253
Total	8,464,181	7,828,591	8,559,658	7,987,581	7,841,114	7,288,192	7,516,873	7,966,397	8,204,954	8,877,226	8,703,438	8,985,562	68,223,587
Arus Kas Keluar													
Investasi	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Operasional	1,630,031	1,630,031	1,630,031	1,630,031	1,630,031	1,630,031	1,630,031	1,630,031	1,630,031	1,630,031	1,630,031	1,630,031	19,560,378
Kredit													
Bunga	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pokok	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dana Bergulir													
Bunga	235,817	227,028	218,187	209,298	200,352	191,356	182,308	173,208	164,052	154,845	145,583	136,268	2,238,297
Pokok	1,506,689	1,515,478	1,524,318	1,533,210	1,542,154	1,551,150	1,560,188	1,569,299	1,578,453	1,587,661	1,596,922	1,606,238	18,671,769
Total	3,372,537	3,372,537	3,372,537	3,372,537	3,372,537	3,372,537	3,372,537	3,372,537	3,372,537	3,372,537	3,372,537	3,372,537	40,470,442
Surplus (defisit)	5,091,644	4,456,055	5,187,121	4,615,044	4,468,577	3,915,655	4,144,136	4,593,860	4,832,417	5,504,689	5,330,901	5,613,045	57,753,145
Saldo Kas Awal	137,028,715	142,120,359	148,578,414	151,763,535	156,378,579	160,847,156	164,762,811	168,908,948	173,500,808	178,333,225	183,837,914	189,168,815	194,781,860
Saldo Kas Akhir	142,120,359	146,578,414	151,763,535	156,378,579	160,847,156	164,762,811	168,908,948	173,500,808	178,333,225	183,837,914	189,168,815	194,781,860	
Posisi													
Kredit	Rp -	Rp -	Rp -	Rp -	Rp -	Rp -	Rp -	Rp -	Rp -	Rp -	Rp -	Rp -	
Dana bergulir	Rp 38,919,033	Rp 37,403,555	Rp 35,879,237	Rp 34,346,027	Rp 32,803,873	Rp 31,252,724	Rp 29,692,526	Rp 28,123,227	Rp 26,544,773	Rp 24,957,113	Rp 23,360,190	Rp 21,753,952	

Proyeksi Arus Kas Tahun 5
PSK Tersebar - Paguyuban Kali Maron (PKM), Seloliman

	Bln-1	Bln-2	Bln-3	Bln-4	Bln-5	Bln-6	Bln-7	Bln-8	Bln-9	Bln-10	Bln-11	Bln-12	Total
	(Rp)	(Rp)	(Rp)	(Rp)	(Rp)	(Rp)	(Rp)	(Rp)	(Rp)	(Rp)	(Rp)	(Rp)	(Rp)
Arus Kas Masuk													
Penjualan	7,306,711	6,599,610	7,306,711	6,664,044	6,465,648	5,850,112	6,045,116	6,465,648	6,664,044	7,306,711	7,071,010	7,306,711	81,052,074
Loan	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dana Bergulir	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Lainnya	1,947,819	2,005,008	2,055,699	2,113,968	2,166,393	2,217,358	2,262,677	2,310,400	2,362,805	2,417,718	2,479,607	2,539,757	28,879,207
Total	9,254,529	8,604,618	9,362,410	8,778,012	8,632,040	8,067,470	8,307,793	8,776,047	9,026,849	9,724,428	9,550,617	9,846,468	107,931,281
Arus Kas Keluar													
Investasi	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Operasional	1,793,034	1,793,034	1,793,034	1,793,034	1,793,034	1,793,034	1,793,034	1,793,034	1,793,034	1,793,034	1,793,034	1,793,034	21,516,414
Kredit	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Bunga	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pokok	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dana Bergulir	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Bunga	126,898	117,474	107,994	98,460	88,869	79,223	69,521	59,762	49,946	40,072	30,142	20,153	888,513
Pokok	1,615,607	1,625,032	1,634,511	1,644,046	1,653,636	1,663,282	1,672,985	1,682,744	1,692,560	1,702,433	1,712,364	1,722,353	20,021,553
Total	3,535,540	3,535,540	3,535,540	3,535,540	3,535,540	3,535,540	3,535,540	3,535,540	3,535,540	3,535,540	3,535,540	3,535,540	42,426,479
Surplus (defisit)	5,718,989	5,069,078	5,826,870	5,242,472	5,096,500	4,531,930	4,772,253	5,240,507	5,491,309	6,188,888	6,015,077	6,310,928	65,504,802
Saldo Kas Awal	194,781,860	200,500,849	205,569,927	211,396,797	216,639,270	221,735,770	226,267,700	231,039,953	236,280,460	241,771,769	247,960,657	253,975,734	260,286,662
Saldo Kas Akhir	200,500,849	205,569,927	211,396,797	216,639,270	221,735,770	226,267,700	231,039,953	236,280,460	241,771,769	247,960,657	253,975,734	260,286,662	
Posisi													
Kredit	Rp -	Rp -	Rp -	Rp -	Rp -	Rp -	Rp -	Rp -	Rp -	Rp -	Rp -	Rp -	
Dana bergulir	Rp 20,138,345	Rp 18,513,313	Rp 16,878,802	Rp 15,234,756	Rp 13,581,120	Rp 11,917,838	Rp 10,244,853	Rp 8,562,109	Rp 6,869,550	Rp 5,167,117	Rp 3,454,753	Rp 1,732,400	

PSK Tersebar - Paguyuban Kali Maron (PKM), Seloliman

[illegible]

PSK Tersebar - Paguyuban Kali Maron (PKM), Seloliman

[illegible]

PSK Tersebar - Paguyuban Kali Maron (PKM), Seloliman

[illegible]

Proyeksi Arus Kas Tahun 9

[illegible]

Proyeksi Arus Kas Tahun 10

[illegible]

Proyeksi Laba Rugi
PSK Tersebar - Paguyuban Kali Maron (PKM), Seloliman

	Th-1	Th-2	Th-3	Th-4	Th-5	Th-6	Th-7	Th-8	Th-9	Th-10
Pendapatan										
Penjualan	72,013,718	74,174,129	76,399,353	78,691,334	81,052,074	83,483,636	85,988,145	88,567,790	91,224,823	93,961,568
Lainnya	2,395,379	7,388,413	13,064,508	19,532,253	26,879,207	36,189,864	48,353,504	62,087,496	77,549,853	94,935,221
	<u>Rp 74,409,097</u>	<u>81,562,542</u>	<u>89,463,861</u>	<u>98,223,587</u>	<u>107,931,281</u>	<u>119,673,500</u>	<u>134,341,649</u>	<u>150,655,286</u>	<u>168,774,676</u>	<u>188,896,789</u>
Biaya										
Biaya Opr Pembangkitan	13,471,333	16,165,600	17,782,160	19,560,376	21,516,414	23,668,055	26,034,860	28,638,347	31,502,181	34,652,399
Penyusutan	8,800,000	8,800,000	8,800,000	8,800,000	8,800,000	8,800,000	8,800,000	8,800,000	8,800,000	8,800,000
Bunga Kredit	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Bunga Dana Bergulir	5,245,325	4,671,006	3,497,083	2,238,297	888,513	10,106	-	-	-	-
	<u>27,516,658</u>	<u>29,636,606</u>	<u>30,079,243</u>	<u>30,598,673</u>	<u>31,204,927</u>	<u>32,478,161</u>	<u>34,834,860</u>	<u>37,438,347</u>	<u>40,302,181</u>	<u>43,452,399</u>
Laba (Rugi) Periodik	<u>46,892,439</u>	<u>51,925,937</u>	<u>59,384,618</u>	<u>67,624,914</u>	<u>76,726,355</u>	<u>87,195,339</u>	<u>99,506,789</u>	<u>113,216,940</u>	<u>128,472,495</u>	<u>145,444,390</u>
Laba (Rugi) Kumulatif	<u>46,892,439</u>	<u>98,818,375</u>	<u>158,202,994</u>	<u>225,827,908</u>	<u>302,554,262</u>	<u>389,749,602</u>	<u>489,256,391</u>	<u>602,473,330</u>	<u>730,945,825</u>	<u>876,390,215</u>

Proyeksi Laba Rugi Tahun1
PSK Tersebar - Paguyuban Kali Maron (PKM), Seloliman

	Bln-1	Bln-2	Bln-3	Bln-4	Bln-5	Bln-6	Bln-7	Bln-8	Bln-9	Bln-10	Bln-11	Bln-12	Total
	(Rp)	(Rp)	(Rp)	(Rp)	(Rp)	(Rp)	(Rp)	(Rp)	(Rp)	(Rp)	(Rp)	(Rp)	(Rp)
Pendapatan													
Penjualan	6,491,918	5,863,668	6,491,918	5,920,917	5,744,644	5,197,749	5,371,007	5,744,644	5,920,917	6,491,918	6,282,501	6,491,918	72,013,718
Lainnya	-	64,919	94,533	130,726	161,571	190,961	215,177	241,367	271,555	303,808	342,094	378,668	2,395,379
	<u>6,491,918</u>	<u>5,928,587</u>	<u>6,586,451</u>	<u>6,051,643</u>	<u>5,906,215</u>	<u>5,388,710</u>	<u>5,586,184</u>	<u>5,986,011</u>	<u>6,192,472</u>	<u>6,795,726</u>	<u>6,624,595</u>	<u>6,870,586</u>	<u>74,409,097</u>
Biaya													
Biaya Opr Pembangkitan	-	1,224,667	1,224,667	1,224,667	1,224,667	1,224,667	1,224,667	1,224,667	1,224,667	1,224,667	1,224,667	1,224,667	13,471,333
Penyusutan	733,333	733,333	733,333	733,333	733,333	733,333	733,333	733,333	733,333	733,333	733,333	733,333	8,800,000
Bunga Kredit	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Bunga Dana Bergulir	-	513,333	506,163	498,951	491,697	484,401	477,062	469,680	462,255	454,787	447,275	439,720	5,245,325
	<u>733,333</u>	<u>2,471,333</u>	<u>2,464,163</u>	<u>2,456,951</u>	<u>2,449,697</u>	<u>2,442,401</u>	<u>2,435,062</u>	<u>2,427,680</u>	<u>2,420,255</u>	<u>2,412,787</u>	<u>2,405,275</u>	<u>2,397,720</u>	<u>27,516,658</u>
Laba (Rugi) Berjalan	<u>5,758,584</u>	<u>3,457,253</u>	<u>4,122,288</u>	<u>3,594,692</u>	<u>3,456,518</u>	<u>2,946,310</u>	<u>3,151,122</u>	<u>3,558,331</u>	<u>3,772,217</u>	<u>4,382,939</u>	<u>4,219,319</u>	<u>4,472,866</u>	<u>46,892,439</u>
Laba (Rugi) periode lalu	-	5,758,584	9,215,838	13,338,126	16,932,818	20,389,335	23,335,645	26,486,767	30,045,098	33,817,315	38,200,254	42,419,573	
Laba (Rugi) Kumulatif	<u>5,758,584</u>	<u>9,215,838</u>	<u>13,338,126</u>	<u>16,932,818</u>	<u>20,389,335</u>	<u>23,335,645</u>	<u>26,486,767</u>	<u>30,045,098</u>	<u>33,817,315</u>	<u>38,200,254</u>	<u>42,419,573</u>	<u>46,892,439</u>	

Proyeksi Laba Rugi Tahun 2
PSK Tersebar - Paguyuban Kali Maron (PKM), Seloliman

	Bln-1	Bln-2	Bln-3	Bln-4	Bln-5	Bln-6	Bln-7	Bln-8	Bln-9	Bln-10	Bln-11	Bln-12	Total
	(Rp)	(Rp)	(Rp)	(Rp)	(Rp)	(Rp)	(Rp)	(Rp)	(Rp)	(Rp)	(Rp)	(Rp)	(Rp)
Pendapatan													
Penjualan	6,686,675	6,039,578	6,686,675	6,098,545	5,916,983	5,353,681	5,532,138	5,916,983	6,098,545	6,686,675	6,470,976	6,686,675	74,174,129
Lainnya	417,702	457,849	491,927	532,817	568,234	602,190	630,852	661,586	696,475	733,529	776,835	818,416	7,388,413
	<u>7,104,377</u>	<u>6,497,427</u>	<u>7,178,603</u>	<u>6,631,361</u>	<u>6,485,218</u>	<u>5,955,871</u>	<u>6,162,990</u>	<u>6,578,569</u>	<u>6,795,020</u>	<u>7,420,204</u>	<u>7,247,811</u>	<u>7,505,092</u>	<u>81,562,542</u>
Biaya													
Biaya Opr Pembangkitan	1,347,133	1,347,133	1,347,133	1,347,133	1,347,133	1,347,133	1,347,133	1,347,133	1,347,133	1,347,133	1,347,133	1,347,133	16,165,600
Penyusutan	733,333	733,333	733,333	733,333	733,333	733,333	733,333	733,333	733,333	733,333	733,333	733,333	8,800,000
Bunga Kredit	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Bunga Dana Bergulir	432,120	424,476	416,788	409,055	401,276	393,452	385,583	377,667	369,706	361,698	353,643	345,541	4,671,006
	<u>2,512,587</u>	<u>2,504,943</u>	<u>2,497,255</u>	<u>2,489,521</u>	<u>2,481,743</u>	<u>2,473,919</u>	<u>2,466,049</u>	<u>2,458,134</u>	<u>2,450,172</u>	<u>2,442,164</u>	<u>2,434,110</u>	<u>2,426,008</u>	<u>29,636,606</u>
Laba (Rugi) Berjalan	<u>4,591,790</u>	<u>3,992,484</u>	<u>4,681,348</u>	<u>4,141,840</u>	<u>4,003,475</u>	<u>3,481,953</u>	<u>3,696,940</u>	<u>4,120,435</u>	<u>4,344,847</u>	<u>4,978,040</u>	<u>4,813,701</u>	<u>5,079,083</u>	<u>51,925,937</u>
Laba (Rugi) Berjalan	<u>46,892,439</u>	<u>51,484,229</u>	<u>55,476,713</u>	<u>60,158,061</u>	<u>64,299,901</u>	<u>68,303,376</u>	<u>71,785,329</u>	<u>75,482,269</u>	<u>79,602,704</u>	<u>83,947,551</u>	<u>88,925,591</u>	<u>93,739,292</u>	
Laba (Rugi) Kumulatif	<u>51,484,229</u>	<u>55,476,713</u>	<u>60,158,061</u>	<u>64,299,901</u>	<u>68,303,376</u>	<u>71,785,329</u>	<u>75,482,269</u>	<u>79,602,704</u>	<u>83,947,551</u>	<u>88,925,591</u>	<u>93,739,292</u>	<u>98,818,375</u>	

Proyeksi Laba Rugi Tahun 3
PSK Tersebar - Paguyuban Kali Maron (PKM), Seloliman

	Bln-1	Bln-2	Bln-3	Bln-4	Bln-5	Bln-6	Bln-7	Bln-8	Bln-9	Bln-10	Bln-11	Bln-12	Total
	(Rp)	(Rp)	(Rp)	(Rp)	(Rp)	(Rp)	(Rp)	(Rp)	(Rp)	(Rp)	(Rp)	(Rp)	(Rp)
Pendapatan													
Penjualan	6,887,275	6,220,765	6,887,275	6,281,501	6,094,493	5,514,292	5,698,102	6,094,493	6,281,501	6,887,275	6,665,105	6,887,275	76,399,353
Lainnya	862,571	907,826	946,868	992,966	1,033,467	1,072,503	1,106,128	1,141,926	1,182,047	1,224,439	1,273,313	1,320,453	13,064,508
	<u>7,749,846</u>	<u>7,128,591</u>	<u>7,834,144</u>	<u>7,274,467</u>	<u>7,127,960</u>	<u>6,586,795</u>	<u>6,804,229</u>	<u>7,236,419</u>	<u>7,463,548</u>	<u>8,111,715</u>	<u>7,938,418</u>	<u>8,207,729</u>	<u>89,463,861</u>
Biaya													
Biaya Opr Pembangkitan	1,481,847	1,481,847	1,481,847	1,481,847	1,481,847	1,481,847	1,481,847	1,481,847	1,481,847	1,481,847	1,481,847	1,481,847	17,782,160
Penyusutan	733,333	733,333	733,333	733,333	733,333	733,333	733,333	733,333	733,333	733,333	733,333	733,333	8,800,000
Bunga Kredit	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Bunga Dana Bergulir	337,392	329,196	320,952	312,659	304,318	295,929	287,491	279,003	270,466	261,879	253,242	244,555	3,497,083
	<u>2,552,572</u>	<u>2,544,376</u>	<u>2,536,132</u>	<u>2,527,839</u>	<u>2,519,498</u>	<u>2,511,109</u>	<u>2,502,671</u>	<u>2,494,183</u>	<u>2,485,646</u>	<u>2,477,059</u>	<u>2,468,422</u>	<u>2,459,735</u>	<u>30,079,243</u>
Laba (Rugi) Berjalan	<u>5,197,274</u>	<u>4,584,215</u>	<u>5,298,012</u>	<u>4,746,628</u>	<u>4,608,462</u>	<u>4,075,686</u>	<u>4,301,559</u>	<u>4,742,236</u>	<u>4,977,902</u>	<u>5,634,655</u>	<u>5,469,996</u>	<u>5,747,994</u>	<u>59,384,618</u>
Laba (Rugi) Periode Lalu	<u>98,818,375</u>	<u>104,015,649</u>	<u>108,599,864</u>	<u>113,897,876</u>	<u>118,644,503</u>	<u>123,252,965</u>	<u>127,328,651</u>	<u>131,630,210</u>	<u>136,372,448</u>	<u>141,350,348</u>	<u>146,985,004</u>	<u>152,454,999</u>	
Laba (Rugi) Kumulatif	<u>104,015,649</u>	<u>108,599,864</u>	<u>113,897,876</u>	<u>118,644,503</u>	<u>123,252,965</u>	<u>127,328,651</u>	<u>131,630,210</u>	<u>136,372,448</u>	<u>141,350,348</u>	<u>146,985,004</u>	<u>152,454,999</u>	<u>158,202,994</u>	

Proyeksi Laba Rugi Tahun 4
PSK Tersebar - Paguyuban Kali Maron (PKM), Seloliman

	Bln-1	Bln-2	Bln-3	Bln-4	Bln-5	Bln-6	Bln-7	Bln-8	Bln-9	Bln-10	Bln-11	Bln-12	Total
	(Rp)	(Rp)	(Rp)	(Rp)	(Rp)	(Rp)	(Rp)	(Rp)	(Rp)	(Rp)	(Rp)	(Rp)	(Rp)
Pendapatan													
Penjualan	7,093,894	6,407,388	7,093,894	6,469,946	6,277,328	5,679,721	5,869,045	6,277,328	6,469,946	7,093,894	6,865,058	7,093,894	78,691,334
Lainnya	1,370,287	1,421,204	1,465,764	1,517,635	1,563,786	1,608,472	1,647,628	1,689,069	1,735,008	1,783,332	1,838,379	1,891,688	19,532,253
	<u>8,464,181</u>	<u>7,828,591</u>	<u>8,559,658</u>	<u>7,987,581</u>	<u>7,841,114</u>	<u>7,288,192</u>	<u>7,516,673</u>	<u>7,966,397</u>	<u>8,204,954</u>	<u>8,877,226</u>	<u>8,703,438</u>	<u>8,985,582</u>	<u>98,223,587</u>
Biaya													
Biaya Opr Pembangkitan	1,630,031	1,630,031	1,630,031	1,630,031	1,630,031	1,630,031	1,630,031	1,630,031	1,630,031	1,630,031	1,630,031	1,630,031	19,560,376
Penyusutan	733,333	733,333	733,333	733,333	733,333	733,333	733,333	733,333	733,333	733,333	733,333	733,333	8,800,000
Bunga Kredit	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Bunga Dana Bergulir	235,817	227,028	218,187	209,296	200,352	191,356	182,308	173,206	164,052	154,845	145,583	136,268	2,238,297
	<u>2,599,181</u>	<u>2,590,392</u>	<u>2,581,552</u>	<u>2,572,660</u>	<u>2,563,716</u>	<u>2,554,721</u>	<u>2,545,672</u>	<u>2,536,571</u>	<u>2,527,417</u>	<u>2,518,209</u>	<u>2,508,948</u>	<u>2,499,632</u>	<u>30,598,673</u>
Laba (Rugi) Berjalan	<u>5,865,000</u>	<u>5,238,199</u>	<u>5,978,106</u>	<u>5,414,921</u>	<u>5,277,397</u>	<u>4,733,472</u>	<u>4,971,001</u>	<u>5,429,826</u>	<u>5,677,537</u>	<u>6,359,017</u>	<u>6,194,490</u>	<u>6,485,949</u>	<u>67,624,914</u>
Laba (Rugi) Periode Lalu	<u>158,202,994</u>	<u>164,067,993</u>	<u>169,306,192</u>	<u>175,284,298</u>	<u>180,699,219</u>	<u>185,976,616</u>	<u>190,710,088</u>	<u>195,681,088</u>	<u>201,110,914</u>	<u>206,788,452</u>	<u>213,147,468</u>	<u>219,341,958</u>	<u>2,193,419,958</u>
Laba (Rugi) Kumulatif	<u>164,067,993</u>	<u>169,306,192</u>	<u>175,284,298</u>	<u>180,699,219</u>	<u>185,976,616</u>	<u>190,710,088</u>	<u>195,681,088</u>	<u>201,110,914</u>	<u>206,788,452</u>	<u>213,147,468</u>	<u>219,341,958</u>	<u>225,827,908</u>	

Proyeksi Laba Rugi Tahun 5
PSK Tersebar - Paguyuban Kali Maron (PKM), Scjoliman

	Bln-1	Bln-2	Bln-3	Bln-4	Bln-5	Bln-6	Bln-7	Bln-8	Bln-9	Bln-10	Bln-11	Bln-12	Total
	(Rp)	(Rp)	(Rp)	(Rp)	(Rp)	(Rp)	(Rp)	(Rp)	(Rp)	(Rp)	(Rp)	(Rp)	(Rp)
Pendapatan													
Penjualan	7,306,711	6,599,610	7,306,711	6,664,044	6,465,648	5,850,112	6,045,116	6,465,648	6,664,044	7,306,711	7,071,010	7,306,711	81,052,074
Lainnya	1,947,819	2,005,008	2,055,699	2,113,968	2,166,393	2,217,358	2,262,677	2,310,400	2,362,805	2,417,718	2,479,607	2,539,757	26,879,207
	<u>9,254,529</u>	<u>8,604,618</u>	<u>9,362,410</u>	<u>8,778,012</u>	<u>8,632,040</u>	<u>8,067,470</u>	<u>8,307,793</u>	<u>8,776,047</u>	<u>9,026,849</u>	<u>9,724,428</u>	<u>9,550,617</u>	<u>9,846,468</u>	<u>107,931,281</u>
Biaya													
Biaya Opr Pembangkitan	1,793,034	1,793,034	1,793,034	1,793,034	1,793,034	1,793,034	1,793,034	1,793,034	1,793,034	1,793,034	1,793,034	1,793,034	21,516,414
Penyusutan	733,333	733,333	733,333	733,333	733,333	733,333	733,333	733,333	733,333	733,333	733,333	733,333	8,800,000
Bunga Kredit	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Bunga Dana Bergulir	126,898	117,474	107,994	98,460	88,869	79,223	69,521	59,762	49,946	40,072	30,142	20,153	888,513
	<u>2,653,266</u>	<u>2,643,841</u>	<u>2,634,362</u>	<u>2,624,827</u>	<u>2,615,237</u>	<u>2,605,591</u>	<u>2,595,889</u>	<u>2,586,129</u>	<u>2,576,313</u>	<u>2,566,440</u>	<u>2,556,509</u>	<u>2,546,521</u>	<u>31,204,927</u>
Laba (Rugi) Berjalan	<u>6,601,263</u>	<u>5,960,777</u>	<u>6,728,048</u>	<u>6,153,185</u>	<u>6,016,803</u>	<u>5,461,879</u>	<u>5,711,905</u>	<u>6,189,918</u>	<u>6,450,535</u>	<u>7,157,888</u>	<u>6,994,107</u>	<u>7,299,947</u>	<u>76,726,355</u>
Laba (Rugi) Periode Lalu	<u>225,827,908</u>	<u>232,429,171</u>	<u>238,389,948</u>	<u>245,117,995</u>	<u>251,271,180</u>	<u>257,287,983</u>	<u>262,749,862</u>	<u>268,461,766</u>	<u>274,651,684</u>	<u>281,102,220</u>	<u>288,260,208</u>	<u>295,254,315</u>	
Laba (Rugi) Kumulatif	<u>232,429,171</u>	<u>238,389,948</u>	<u>245,117,995</u>	<u>251,271,180</u>	<u>257,287,983</u>	<u>262,749,862</u>	<u>268,461,766</u>	<u>274,651,684</u>	<u>281,102,220</u>	<u>288,260,208</u>	<u>295,254,315</u>	<u>302,554,262</u>	

Proyeksi Laba Rugi Tahun 6
PSK Tersebar - Paguyuban Kali Maron (PKM), Seloliman

	Bln-1	Bln-2	Bln-3	Bln-4	Bln-5	Bln-6	Bln-7	Bln-8	Bln-9	Bln-10	Bln-11	Bln-12	Total
	(Rp)	(Rp)	(Rp)	(Rp)	(Rp)	(Rp)	(Rp)	(Rp)	(Rp)	(Rp)	(Rp)	(Rp)	(Rp)
Pendapatan													
Penjualan	7,525,912	6,797,598	7,525,912	6,863,966	6,659,617	6,025,616	6,226,470	6,659,617	6,863,966	7,525,912	7,283,141	7,525,912	83,483,636
Lainnya	2,602,867	2,667,006	2,741,929	2,824,884	2,902,049	2,977,942	3,048,254	3,121,278	3,199,364	3,280,274	3,368,612	3,455,406	36,189,864
	<u>10,128,779</u>	<u>9,464,604</u>	<u>10,267,841</u>	<u>9,688,849</u>	<u>9,561,666</u>	<u>9,003,558</u>	<u>9,274,724</u>	<u>9,780,895</u>	<u>10,063,329</u>	<u>10,806,185</u>	<u>10,651,753</u>	<u>10,981,318</u>	<u>119,673,500</u>
Biaya													
Biaya Opr Pembangkitan	1,972,338	1,972,338	1,972,338	1,972,338	1,972,338	1,972,338	1,972,338	1,972,338	1,972,338	1,972,338	1,972,338	1,972,338	23,668,055
Penyusutan	733,333	733,333	733,333	733,333	733,333	733,333	733,333	733,333	733,333	733,333	733,333	733,333	8,800,000
Bunga Kredit	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Bunga Dana Bergulir	10,106	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10,106
	<u>2,715,777</u>	<u>2,705,671</u>	<u>2,705,671</u>	<u>2,705,671</u>	<u>2,705,671</u>	<u>2,705,671</u>	<u>2,705,671</u>	<u>2,705,671</u>	<u>2,705,671</u>	<u>2,705,671</u>	<u>2,705,671</u>	<u>2,705,671</u>	<u>32,478,161</u>
Laba (Rugi) Berjalan	<u>7,413,002</u>	<u>6,758,933</u>	<u>7,562,169</u>	<u>6,983,178</u>	<u>6,855,994</u>	<u>6,297,886</u>	<u>6,569,053</u>	<u>7,075,224</u>	<u>7,357,658</u>	<u>8,100,514</u>	<u>7,946,081</u>	<u>8,275,647</u>	<u>87,195,339</u>
Laba (Rugi) Periode Lalu	<u>302,554,262</u>	<u>309,967,264</u>	<u>316,726,197</u>	<u>324,288,366</u>	<u>331,271,544</u>	<u>338,127,538</u>	<u>344,425,425</u>	<u>350,994,477</u>	<u>358,069,701</u>	<u>365,427,359</u>	<u>373,527,873</u>	<u>381,473,955</u>	
Laba (Rugi) Kumulatif	<u>309,967,264</u>	<u>316,726,197</u>	<u>324,288,366</u>	<u>331,271,544</u>	<u>338,127,538</u>	<u>344,425,425</u>	<u>350,994,477</u>	<u>358,069,701</u>	<u>365,427,359</u>	<u>373,527,873</u>	<u>381,473,955</u>	<u>389,749,602</u>	

Proyeksi Laba Rugi Tahun 7
PSK Tersebar - Paguyuban Kali Maron (PKM), Seloliman

	Bln-1	Bln-2	Bln-3	Bln-4	Bln-5	Bln-6	Bln-7	Bln-8	Bln-9	Bln-10	Bln-11	Bln-12	Total
	(Rp)	(Rp)	(Rp)	(Rp)	(Rp)	(Rp)	(Rp)	(Rp)	(Rp)	(Rp)	(Rp)	(Rp)	(Rp)
Pendapatan													
Penjualan	7,751,689	7,001,526	7,751,689	7,069,885	6,859,405	6,206,384	6,413,264	6,859,405	7,069,885	7,751,689	7,501,635	7,751,689	85,988,145
Lainnya	3,545,496	3,636,772	3,721,459	3,814,495	3,901,643	3,987,558	4,067,802	4,150,917	4,239,324	4,330,721	4,429,849	4,527,468	48,353,504
	<u>11,297,185</u>	<u>10,638,298</u>	<u>11,473,149</u>	<u>10,884,380</u>	<u>10,761,049</u>	<u>10,193,942</u>	<u>10,481,065</u>	<u>11,010,322</u>	<u>11,309,209</u>	<u>12,082,410</u>	<u>11,931,484</u>	<u>12,279,157</u>	<u>134,341,649</u>
Biaya													
Biaya Opr Pembangkitan	2,169,572	2,169,572	2,169,572	2,169,572	2,169,572	2,169,572	2,169,572	2,169,572	2,169,572	2,169,572	2,169,572	2,169,572	26,034,860
Penyusutan	733,333	733,333	733,333	733,333	733,333	733,333	733,333	733,333	733,333	733,333	733,333	733,333	8,800,000
Bunga Kredit	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Bunga Dana Bergulir	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	<u>2,902,905</u>	<u>2,902,905</u>	<u>2,902,905</u>	<u>2,902,905</u>	<u>2,902,905</u>	<u>2,902,905</u>	<u>2,902,905</u>	<u>2,902,905</u>	<u>2,902,905</u>	<u>2,902,905</u>	<u>2,902,905</u>	<u>2,902,905</u>	<u>34,834,860</u>
Laba (Rugi) Berjalan	<u>8,394,280</u>	<u>7,735,393</u>	<u>8,570,244</u>	<u>7,981,475</u>	<u>7,858,144</u>	<u>7,291,037</u>	<u>7,578,160</u>	<u>8,107,417</u>	<u>8,406,304</u>	<u>9,179,505</u>	<u>9,028,579</u>	<u>9,376,252</u>	<u>99,506,789</u>
Laba (Rugi) Periode Lalu	<u>389,749,602</u>	<u>398,143,882</u>	<u>405,879,275</u>	<u>414,449,518</u>	<u>422,430,993</u>	<u>430,289,137</u>	<u>437,580,174</u>	<u>445,158,334</u>	<u>453,265,751</u>	<u>461,672,055</u>	<u>470,851,560</u>	<u>479,880,138</u>	
Laba (Rugi) Kumulatif	<u>398,143,882</u>	<u>405,879,275</u>	<u>414,449,518</u>	<u>422,430,993</u>	<u>430,289,137</u>	<u>437,580,174</u>	<u>445,158,334</u>	<u>453,265,751</u>	<u>461,672,055</u>	<u>470,851,560</u>	<u>479,880,138</u>	<u>489,256,391</u>	

Proyeksi Laba Rugi Tahun 8
PSK Tersebar - Paguyuban Kali Maron (PKM), Seloliman

	Bln-1	Bln-2	Bln-3	Bln-4	Bln-5	Bln-6	Bln-7	Bln-8	Bln-9	Bln-10	Bln-11	Bln-12	Total
	(Rp)	(Rp)	(Rp)	(Rp)	(Rp)	(Rp)	(Rp)	(Rp)	(Rp)	(Rp)	(Rp)	(Rp)	(Rp)
Pendapatan													
Penjualan	7,984,240	7,211,572	7,984,240	7,281,981	7,065,188	6,392,576	6,605,662	7,065,188	7,281,981	7,984,240	7,726,684	7,984,240	88,567,790
Lainnya	4,628,564	4,730,827	4,826,385	4,930,626	5,028,887	5,125,963	5,217,283	5,311,647	5,411,550	5,514,620	5,625,743	5,735,402	62,087,496
	<u>12,612,804</u>	<u>11,942,398</u>	<u>12,810,625</u>	<u>12,212,607</u>	<u>12,094,075</u>	<u>11,518,538</u>	<u>11,822,944</u>	<u>12,376,834</u>	<u>12,693,531</u>	<u>13,498,860</u>	<u>13,352,427</u>	<u>13,719,642</u>	<u>150,655,286</u>
Biaya													
Biaya Opr Pembangkitan	2,386,529	2,386,529	2,386,529	2,386,529	2,386,529	2,386,529	2,386,529	2,386,529	2,386,529	2,386,529	2,386,529	2,386,529	28,636,347
Penyusutan	733,333	733,333	733,333	733,333	733,333	733,333	733,333	733,333	733,333	733,333	733,333	733,333	8,800,000
Bunga Kredit	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Bunga Dana Bergulir	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	<u>3,119,862</u>	<u>3,119,862</u>	<u>3,119,862</u>	<u>3,119,862</u>	<u>3,119,862</u>	<u>3,119,862</u>	<u>3,119,862</u>	<u>3,119,862</u>	<u>3,119,862</u>	<u>3,119,862</u>	<u>3,119,862</u>	<u>3,119,862</u>	<u>37,438,347</u>
Laba (Rugi) Berjalan	<u>9,492,942</u>	<u>8,822,536</u>	<u>9,690,763</u>	<u>9,092,745</u>	<u>8,974,213</u>	<u>8,398,676</u>	<u>8,703,082</u>	<u>9,256,972</u>	<u>9,573,669</u>	<u>10,378,998</u>	<u>10,232,565</u>	<u>10,599,780</u>	<u>113,216,940</u>
Laba (Rugi) Periode Lalu	<u>489,256,391</u>	<u>498,749,332</u>	<u>507,571,868</u>	<u>517,262,631</u>	<u>526,355,376</u>	<u>535,329,589</u>	<u>543,728,265</u>	<u>552,431,347</u>	<u>561,688,319</u>	<u>571,261,988</u>	<u>581,640,985</u>	<u>591,873,550</u>	
Laba (Rugi) Kumulatif	<u>498,749,332</u>	<u>507,571,868</u>	<u>517,262,631</u>	<u>526,355,376</u>	<u>535,329,589</u>	<u>543,728,265</u>	<u>552,431,347</u>	<u>561,688,319</u>	<u>571,261,988</u>	<u>581,640,985</u>	<u>591,873,550</u>	<u>602,473,330</u>	

Proyeksi Laba Rugi Tahun 9
PSK Tersebar - Paguyuban Kali Maron (PKM), Seloliman

	Bln-1	Bln-2	Bln-3	Bln-4	Bln-5	Bln-6	Bln-7	Bln-8	Bln-9	Bln-10	Bln-11	Bln-12	Total
	(Rp)	(Rp)	(Rp)	(Rp)	(Rp)	(Rp)	(Rp)	(Rp)	(Rp)	(Rp)	(Rp)	(Rp)	(Rp)
Pendapatan													
Penjualan	8,223,767	7,427,919	8,223,767	7,500,441	7,277,143	6,584,353	6,803,831	7,277,143	7,500,441	8,223,767	7,958,484	8,223,767	91,224,823
Lainnya	5,848,733	5,563,206	6,070,866	6,187,560	6,298,189	6,407,690	6,511,359	6,618,259	6,730,961	6,847,023	6,971,479	7,094,527	77,549,853
	<u>14,072,500</u>	<u>13,391,125</u>	<u>14,294,633</u>	<u>13,688,001</u>	<u>13,575,332</u>	<u>12,992,043</u>	<u>13,315,190</u>	<u>13,895,402</u>	<u>14,231,402</u>	<u>15,070,790</u>	<u>14,929,964</u>	<u>15,318,294</u>	<u>168,774,676</u>
Biaya													
Biaya Opr Pembangkitan	2,625,182	2,625,182	2,625,182	2,625,182	2,625,182	2,625,182	2,625,182	2,625,182	2,625,182	2,625,182	2,625,182	2,625,182	31,502,181
Penyusutan	733,333	733,333	733,333	733,333	733,333	733,333	733,333	733,333	733,333	733,333	733,333	733,333	8,800,000
Bunga Kredit	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Bunga Dana Bergulir	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	<u>3,358,515</u>	<u>3,358,515</u>	<u>3,358,515</u>	<u>3,358,515</u>	<u>3,358,515</u>	<u>3,358,515</u>	<u>3,358,515</u>	<u>3,358,515</u>	<u>3,358,515</u>	<u>3,358,515</u>	<u>3,358,515</u>	<u>3,358,515</u>	<u>40,302,181</u>
Laba (Rugi) Berjalan	<u>10,713,985</u>	<u>10,032,610</u>	<u>10,936,118</u>	<u>10,329,486</u>	<u>10,216,817</u>	<u>9,633,528</u>	<u>9,956,675</u>	<u>10,536,887</u>	<u>10,872,886</u>	<u>11,712,275</u>	<u>11,571,449</u>	<u>11,959,779</u>	<u>128,472,495</u>
Laba (Rugi) Periode Lalu	<u>602,473,330</u>	<u>613,187,315</u>	<u>623,219,926</u>	<u>634,156,043</u>	<u>644,485,529</u>	<u>654,702,346</u>	<u>664,335,874</u>	<u>674,292,549</u>	<u>684,829,436</u>	<u>695,702,323</u>	<u>707,414,598</u>	<u>718,986,046</u>	
Laba (Rugi) Kumulatif	<u>613,187,315</u>	<u>623,219,926</u>	<u>634,156,043</u>	<u>644,485,529</u>	<u>654,702,346</u>	<u>664,335,874</u>	<u>674,292,549</u>	<u>684,829,436</u>	<u>695,702,323</u>	<u>707,414,598</u>	<u>718,986,046</u>	<u>730,945,625</u>	

Proyeksi Laba Rugi Tahun 10
PSK Tersebar - Paguyuban Kali Maron (PKM), Seloliman

	Bln-1	Bln-2	Bln-3	Bln-4	Bln-5	Bln-6	Bln-7	Bln-8	Bln-9	Bln-10	Bln-11	Bln-12	Total
	(Rp)	(Rp)	(Rp)	(Rp)	(Rp)	(Rp)	(Rp)	(Rp)	(Rp)	(Rp)	(Rp)	(Rp)	(Rp)
Pendapatan													
Penjualan	8,470,480	7,650,756	8,470,480	7,725,454	7,495,458	6,781,884	7,007,946	7,495,458	7,725,454	8,470,480	8,197,239	8,470,480	93,961,568
Lainnya	7,221,458	7,349,501	7,470,626	7,601,160	7,725,549	7,848,882	7,966,313	8,087,179	8,214,128	8,344,647	8,483,921	8,621,856	94,935,221
	<u>15,691,938</u>	<u>15,000,257</u>	<u>15,941,106</u>	<u>15,326,614</u>	<u>15,221,007</u>	<u>14,630,766</u>	<u>14,974,259</u>	<u>15,582,636</u>	<u>15,939,582</u>	<u>16,815,127</u>	<u>16,681,160</u>	<u>17,092,336</u>	<u>188,896,789</u>
Biaya													
Biaya Opr Pembangkitan	2,887,700	2,887,700	2,887,700	2,887,700	2,887,700	2,887,700	2,887,700	2,887,700	2,887,700	2,887,700	2,887,700	2,887,700	
Penyusutan	733,333	733,333	733,333	733,333	733,333	733,333	733,333	733,333	733,333	733,333	733,333	733,333	34,652,399
Bunga Kredit	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8,800,000
Bunga Dana Bergulir	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	<u>3,621,033</u>	<u>3,621,033</u>	<u>3,621,033</u>	<u>3,621,033</u>	<u>3,621,033</u>	<u>3,621,033</u>	<u>3,621,033</u>	<u>3,621,033</u>	<u>3,621,033</u>	<u>3,621,033</u>	<u>3,621,033</u>	<u>3,621,033</u>	
Laba (Rugi) Berjalan	<u>12,070,905</u>	<u>11,379,224</u>	<u>12,320,073</u>	<u>11,705,581</u>	<u>11,599,974</u>	<u>11,009,733</u>	<u>11,353,226</u>	<u>11,961,603</u>	<u>12,318,549</u>	<u>13,194,094</u>	<u>13,060,127</u>	<u>13,471,303</u>	<u>43,452,399</u>
Laba (Rugi) Periode Lalu	<u>730,945,825</u>	<u>743,016,731</u>	<u>754,395,954</u>	<u>766,716,027</u>	<u>778,421,608</u>	<u>790,021,582</u>	<u>801,031,314</u>	<u>812,384,541</u>	<u>824,346,144</u>	<u>836,664,692</u>	<u>849,858,786</u>	<u>862,918,913</u>	<u>145,444,390</u>
Laba (Rugi) Kumulatif	<u>743,016,731</u>	<u>754,395,954</u>	<u>766,716,027</u>	<u>778,421,608</u>	<u>790,021,582</u>	<u>801,031,314</u>	<u>812,384,541</u>	<u>824,346,144</u>	<u>836,664,692</u>	<u>849,858,786</u>	<u>862,918,913</u>	<u>876,350,215</u>	