

## RANCANGAN TEKNIS DAN IMPLEMENTASI SISTEM PEMBANGKIT LISTRIK HIBRIDA PV-DIESEL DI SULAWESI

Siswa Trihadi

Balai Besar Teknologi Energi - BPPT, PUSPIPTEK, Cisauk-Tangerang 15314, Indonesia.

### Abstrak

Indonesia adalah negara kepulauan yang terdiri dari ribuan pulau. Situasi geografis ini menyebabkan banyak daerah terisolir. Pengadaan listrik pada daerah daerah terisolir ini mengalami kendala dalam pengadaan dan jaringan distribusi. Pada umumnya, pelistrikan daerah terisolir menggunakan pembangkit listrik tenaga diesel (PLTD) yang pengadaannya dilakukan oleh PT.PLN. Kapasitas diesel generator biasanya ditentukan berdasarkan beban maksimumnya meskipun itu hanya pada sebagian kecil waktu operasinya. Oleh sebab itu diesel generator menjadi kurang efisien pada sebagian besar waktu operasi dimana beban tidak maksimum sehingga tidak efisien dalam penggunaan bahan bakar. Disamping itu biaya pemeliharaan besar pada saat beban rendah. Pembangkit listrik hybrid Photovoltaic - Diesel (PLH PV-Diesel) diarahkan untuk mengatasi masalah ini. PLH PV-Diesel mengkombinasikan kelebihan dan kelemahan (biaya awal rendah tapi biaya operasi tinggi) diesel generator dengan kelemahan dan kelebihan sistem PV (biaya awal tinggi tapi biaya operasi rendah). Makalah ini menguraikan disain teknis suatu PLH PV-Diesel yang dipasang di Sulawesi Tengah dan Sulawesi Tenggara pada tahun 2000/2001.

**Kata Kunci:** Pembangkit Listrik Hybrid PV-Diesel (PLH PV-Diesel), Sel Surya, Baterai, Inverter, pemuatan listrik, sistim kontrol.

### Abstract

*Indonesia is an archipelago country that consists of thousands of islands. This condition leads to many remote areas. The provision of electricity for these remote areas faces problems in the procurement and distribution networks. Most remote areas in Indonesia are electrified using stand-alone diesel generator managed by State Electricity Corporation (PT PLN). The diesel generators usually designed to meet the predicted peak loads even though this peak load is only a small percentage of the operating time. Therefore, diesel generators that designed to meet the peak load run inefficiently for the rest of the operating time. Also poor in efficiency as fuel is considered and required more maintenance as the load is considered. Photovoltaic (PV) - Diesel hybrid systems is selected to solve these problems. This hybrid system combines the low initial cost but high operational cost of diesel generators with the high initial cost but low operational cost of PV generators. This paper describes the technical design and implementation of PV- Diesel hybrid systems installed in Central Sulawesi and South East Sulawesi in the year of 2000/2001.*

**Key words:** Hybrid PV-Diesel Power Plant, Photovoltaic (PV), Battery, Inverter, Charger, Controller

## 1. PENDAHULUAN

Salah satu faktor yang mengakibatkan tingginya biaya operasi dan pemeliharaan dari suatu sistem pembangkit listrik tenaga diesel (PLTD) yang saat ini banyak diterapkan di daerah perdesaan terpencil adalah tidak beroperasinya sistem PLTD tersebut secara optimal dan efektif. Salah satu penyebabnya adalah variasi pola beban yang sangat berbeda antara

beban puncak yang biasanya terjadi pada malam hari dengan beban dasar pada pagi dan siang hari. Dalam memenuhi kebutuhan beban tersebut, kapasitas sistem PLTD harus di desain untuk dapat memenuhi kebutuhan beban puncak sehingga pada waktu mencatu beban dasar sistem PLTD tersebut beroperasi dibawah batas ekonomisnya. Sistem pembangkit listrik hibrida PV-Diesel (PLH PV-Diesel) yaitu kombinasi antara dua atau lebih sumber energi yang dalam hal ini adalah gabungan antara sumber energi dari tenaga surya dan dari diesel dinilai mampu untuk mengatasi hal tersebut. Prinsip dasar sistem PLH PV-Diesel ini adalah dengan mengoperasikan sumber energi dari tenaga surya untuk memenuhi kebutuhan beban dasar melalui penggunaan sistem baterai dan inverter, dan mengoperasikan sumber energi dari diesel hanya pada saat beban puncak, dimana kelebihan energi dari diesel dapat digunakan untuk mengisi baterai. Kedua sumber energi tersebut dapat juga dioperasikan secara paralel jika dinilai beban melebihi kapasitas sumber energi dari tenaga surya melalui penggunaan sistem baterai dan inverter dan melebihi kapasitas sumber energi dari diesel. Tulisan ini akan membahas secara terperinci rancangan teknis dan implementasi sistem PLH PV-Diesel dengan mengambil studi kasus dari program 14 unit sistem PLH PV-Diesel yang sudah terpasang di Propinsi Sulawesi Tengah dan Sulawesi Tenggara. Program ini dikategorikan kedalam Program Penguatan Kompetensi dimana dana diperoleh dari Pinjaman Lunak (*soft loan*) Pemerintah Australia Tahun Anggaran 2000/2001.

## **2. SISTEM PLTD DAN PROFIL BEBAN DAERAH PERDESAAN**

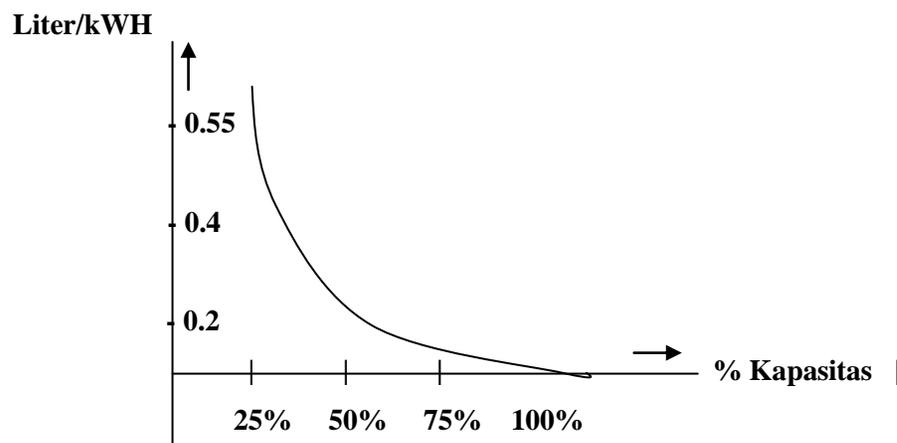
Sistem pembangkit listrik tenaga diesel (PLTD) saat ini paling banyak diterapkan di daerah perdesaan terpencil karena daya gunanya yang cukup tinggi. Kendala yang sering muncul pada sistem PLTD ini selain masalah pengadaan bahan bakar dikarenakan transportasi yang sulit, juga pada waktu menentukan kapasitas terpasangnya. Sistem PLTD yang banyak diterapkan di daerah perdesaan terpencil saat ini tidak dapat beroperasi secara optimal karena kapasitas terpasangnya yang terlalu besar jika dibandingkan dengan beban yang akan dicatu. Hal ini disebabkan oleh terlalu besarnya perbedaan antara beban dasar dan beban puncak yang harus dipenuhi oleh sistem PLTD tersebut, sehingga pada waktu beban dasar sistem PLTD beroperasi secara tidak efisien karena beban yang sangat rendah.

Apabila hal ini berlangsung terus menerus, maka akibatnya biaya pemakaian bahan bakar akan meningkat dan juga akan menurunkan kapasitas dan umur sistem PLTD tersebut. Hubungan ini ditampilkan oleh Siswa Trihadi (2000a) dalam Gambar 1. Pemakaian bahan bakar akan menjadi tidak efisien apabila sistem PLTD dioperasikan dibawah 30 % dari kapasitas terpasangnya. Berdasarkan data yang diperoleh, profil beban secara umum untuk daerah perdesaan terpencil ditampilkan pada Gambar 2. Sistem PLH PV-Diesel yang dalam hal ini adalah kombinasi antara sumber energi dari tenaga surya dan diesel dapat mengoptimalkan operasi sistem PLTD dan juga dapat mengurangi ketergantungan pada pengadaan bahan bakar dengan cara memanfaatkan potensi sumber energi dari tenaga

surya. Secara keseluruhan PLH PV-Diesel ini dimaksudkan untuk dapat meningkatkan keandalan teknis dari sistem pembangkit listrik untuk daerah perdesaan terpencil.

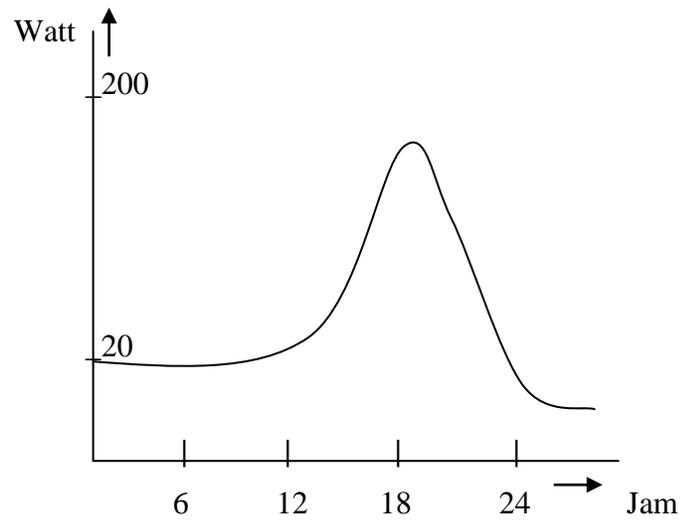
### 3. KONSEPTUAL DISAIN SISTEM PLH PV-DIESEL.

Sistem PLH PV-Diesel di disain untuk dapat mencatu beban melalui pemanfaatan secara optimal gabungan dari sumber energi dari tenaga surya yang biaya investasi masih tinggi tetapi biaya operasi rendah dengan sumber energi dari diesel yang biaya investasinya relatif rendah namun tinggi dalam biaya operasi. Sistem PLH PV-Diesel di disain untuk dapat beroperasi pada 3 (tiga) moda. Moda pertama yaitu pada saat beban rendah, dimana diesel tidak beroperasi dan beban dicatu oleh tenaga surya melalui sistem baterai dan inverter.. Sistem baterai digunakan untuk menyimpan energi listrik yang dihasilkan oleh tenaga surya atau diesel. Inverter yang dalam hal ini bersifat “bi-directional” berfungsi untuk merubah sumber energi listrik DC menjadi AC atau sebaliknya. Moda kedua, yaitu pada saat beban meningkat dimana sistem tenaga surya, baterai, dan inverter tidak mampu lagi mencatu beban, maka diesel beroperasi secara optimal dalam memenuhi kebutuhan beban dengan kelebihan energinya dipakai untuk mengisi baterai melalui inverter yang dalam hal ini berfungsi sebagai “rectifier” atau “charger”. Moda ketiga, yaitu apabila beban terus meningkat sehingga kapasitas inverter atau kapasitas diesel sudah tidak cukup untuk mencatu beban, maka diesel dan inverter dapat beroperasi secara paralel sehingga sistem PLH PV-Diesel beroperasi dengan kapasitas sebesar kapasitas diesel ditambah dengan kapasitas inverter. Pada ketiga moda tersebut sistem PLH PV-Diesel bekerja berdasarkan masukan yang diperoleh dari informasi mengenai level kapasitas baterai serta level peningkatan beban, sehingga berapa lama diesel beroperasi serta kapan diesel mulai beroperasi dapat disesuaikan dengan masukan tersebut. Gambar 3 menunjukkan konfigurasi sistem PLH PV-Diesel untuk ketiga moda diatas.



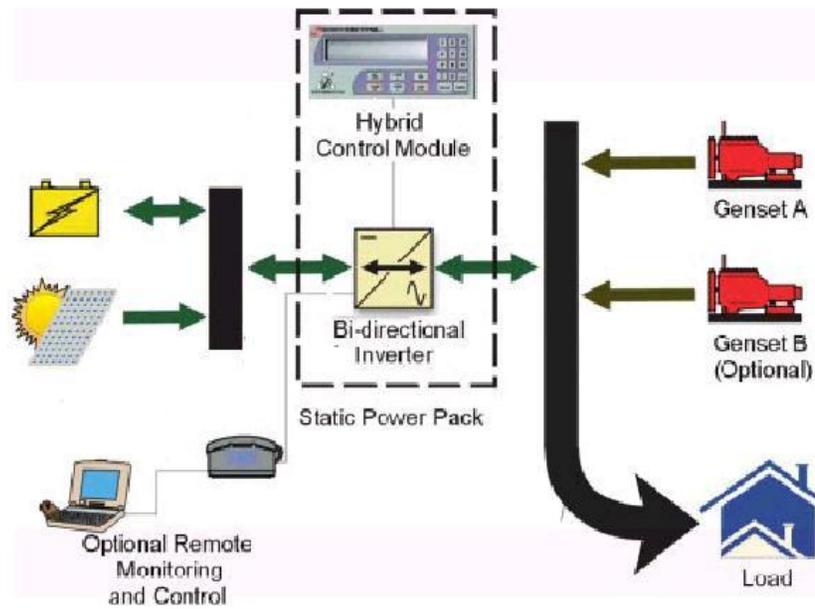
**Gambar 1. Pemakaian Bahan Bakar Sistem PLTD**

Sumber: Siswa Trihadi (2000a)



**Gambar 2. Profil Beban Daerah Perdesaan.**

Sumber: Siswa Trihadi (2000b)



**Gambar 3. Sistem PLH PV-Diesel Dengan Moda Pertama, Kedua dan Ketiga**

Sumber: Stephen J. Phillips (2000).

#### 4. RANCANGAN TEKNIS SISTEM PLH PV-DIESEL.

Tahap pertama yang dilakukan dalam merancang sistem PLH PV-Diesel ini adalah dengan melakukan perkiraan mengenai profil beban harian sehingga dapat ditentukan berapa jumlah energi yang terpakai dalam satu hari. Berdasarkan data dan informasi yang diperoleh, jumlah rumah yang ada untuk satu desa adalah ± 200 rumah, dengan pemakaian energi sebesar ± 250 Wh/rumah/hari. Berikut ini adalah perhitungan penentuan kapasitas terpasang dari setiap komponen sistem PLH PV-Diesel.

Jumlah energi yang dibutuhkan: 200 rumah × 250 Wh/rumah/hari = 50 kWh/hari  
 Fay Williams (1986); P.D.Maycock and E.N.Stirewalt (1985) menyatakan bahwa kontribusi sumber energi dari tenaga surya untuk memenuhi kebutuhan energi adalah sebesar 50 %, karenanya kapasitas sumber energi dari tenaga surya (S)dituliskan:

$$S = (50\% \times E) / (Q \times 1/A \times FR) \tag{1}$$

dimana: E = Jumlah energi yang dibutuhkan oleh sejumlah rumah = 50 kWh/hari

$$Q = \text{Insolasi} = 4,5 \text{ kWh/m}^2$$

$$A = \text{Standar Radiasi pada } 25^\circ \text{ C} = 1 \text{ kW/m}^2$$

$$FR = \text{Faktor Rugi Rugi "solar cell"} = 0,7$$

Diperoleh kapasitas sumber energi dari tenaga surya adalah ≈ 8 kWp

P.D.Maycock and E.N.Stirewalt (1985) menurunkan persamaam untuk menghitung kapasitas baterai (B):

$$B = [AD \times (E - 50\% \times E) \times 1000] / (DOD \times EB \times VB) \tag{2}$$

$$B = [2 \times (50 - 25 \text{ kWh}) \times 1000] / (0,8 \times 0,8 \times 120 \text{ V}) \approx 650 \text{ Ah}$$

dimana: AD = "Autonomous Day" = 2 Hari

DOD = "Depth of Discharge (DOD)" Baterai = 0,8

EB = Efisiensi Baterai = 0,8

VB = Tegangan Baterai = 120 V

Kapasitas diesel generator harus dirancang untuk mampu memenuhi kebutuhan beban puncak yang dalam sistem ini adalah sebesar ± 25 kW. Dengan mempertimbangkan "Power Factor" = 0,8 maka diperoleh Kapasitas Diesel = 25 / 0,8 ≈ 30 kVA

Berdasarkan teori dan informasi yang diperoleh dari pengalaman dalam menerapkan sistem PLH PV-Diesel, maka kapasitas inverter sebaiknya sama dengan kapasitas diesel, sehingga: Kapasitas Inverter ≈ 30 kVA. Dari hasil perhitungan tersebut diatas, maka penentuan kapasitas komponen sistem PLH PV-Diesel yang akan diterapkan untuk 14 Unit di Provinsi Sulawesi Tengah dan Sulawesi Tenggara adalah sesuai dengan Tabel 1 berikut ini:

**Tabel 1. Penentuan Kapasitas Komponen Sistem PLH PV-Diesel**  
(Sumber: Siswa Trihadi, 2000a)

Kapasitas PV	Kapasitas Baterai	Kapasitas Inverter	Kapasitas Diesel
8 kWp	650 Ah	30 kVA	30 kVA

## 5. IMPLEMENTASI SISTEM PLH PV-Diesel.

Seperti sistem pembangkit listrik lainnya, sistem PLH PV-Diesel yang terpasang di Provinsi Sulawesi Tengah dan Sulawesi Tenggara terdiri dari 3 subsistem yaitu:

- 1) Sistem Pembangkit yang terdiri dari 4 Komponen seperti pada Tabel 1,
- 2) Sistem Distribusi Tegangan Rendah 220 Volt yang terdiri dari Tiang Listrik, Kabel Listrik dan kelengkapan lainnya, serta
- 3) Instalasi Rumah yang terdiri dari Kabel Listrik, 3 buah Lampu Hemat Energi, 1 buah Stop Kontak, dan 1 unit Pembatas Daya dan Energi. Bagian ini harus dibayar dimuka (BADIKA) atau prabayar.

Yang termasuk BADIKA adalah peralatan listrik yang berfungsi untuk membatasi daya dan energi listrik yang dipakai oleh setiap pelanggan listrik sistem PLH PV-Diesel. Dalam sistem BADIKA yang berdasarkan prinsip prabayar, pelanggan listrik harus membeli sejumlah energi listrik dalam kWh sebelum listrik dirumah pelanggan tersebut dapat digunakan. Diharapkan dengan sistem prabayar ini pelanggan listrik dapat lebih mengetahui pola pemakaian listrik masing masing sehingga penghematan penggunaan energi listrik dapat dilakukan. Daftar lokasi penerapan sistem PLH PV-Diesel beserta tarif listriknya dapat dilihat pada Tabel 2 dan Tabel 3.

### 5.1 Managemen Pengelolaan Sistem PLH PV-Diesel

- UPT LSDE – BPPT (sekarang menjadi Balai Besar Teknologi Energi, disingkat B2TE-BPPT) menandatangani kontrak dengan koperasi setempat dalam rangka pengelolaan sistem PLH PV-Diesel untuk semua lokasi.
- Koperasi setempat berkewajiban mengelola, mengoperasikan dan memelihara sistem PLH PV-Diesel dengan pembiayaan yang didapat dari Biaya Energi.
- UPT LSDE – BPPT berkewajiban menyediakan penggantian Baterai dan pengadaan suku cadang lain yang akan ditentukan kemudian, serta monitoring dan perbaikan sistem kalau terjadi kerusakan. Pembiayaannya diambil dari Biaya Sambung dan Biaya Beban.
- Koperasi setempat akan menandatangani kontrak dengan pelanggan, dimana hak dan kewajiban masing masing akan ditetapkan kemudian.

- Koperasi setempat berkewajiban mengirimkan Biaya Sambung dan Biaya Beban kepada UPT LSDE – BPPT.

## 5.2 Analisa Ekonomis Sistem PLH PV-Diesel.

- Jumlah Rumah / Unit PLH PV-Diesel: ± 200
- Biaya Energi : ± Rp. 10000 / bulan
- Pendapatan dari Biaya Energi per Tahun:  $12 \times 200 \times \text{Rp. } 10000 = \text{Rp. } 24.000.000$
- Kebutuhan Energi 1 Tahun:  $200 \times 365 \times 250 \text{ Wh / hari} = 18250 \text{ kWh}$
- Kebutuhan Energi yang disuplai oleh Diesel :  $50 \% \times 18250 \text{ kWh} = 9125 \text{ kWh}$
- Effisiensi Diesel = ± 2,5 kWh / liter
- Harga BBM (Solar) : Rp. 2000 / liter
- Biaya Operasi (BBM) :  $9125 / 2,5 \times \text{Rp. } 2000 = \text{Rp. } 7.300.000$
- Biaya Pemeliharaan per Tahun ( Filter: Bahan Bakar, Oli, Udara, Ganti Oli, Ganti Suku Cadang Lain, Gaji Operator, Lain Lain): ± Rp. 10.000.000
- Selisih Biaya:  $\text{Rp. } 24.000.000 - \text{Rp. } 7.300.000 - \text{Rp. } 10.000.000 = \text{Rp. } 6.700.000$
- Tabel 2 dan Tabel 3 menunjukkan Daftar Lokasi dan Tarif Listrik Penerapan PLH PV-Diesel

**Tabel 2. Lokasi Penerapan Sistem PLH PV-Diesel**

Sumber: Siswa Trihadi (2000a).

Provinsi	Desa/Pulau	Jumlah Rumah	Jumlah Unit PLH PV-Diesel
<b>Sulawesi Tengah</b>	Polanto Jaya	600	2
	Saloya	208	1
	Bou	229	1
	Samalili I & II	176	1
	Samalili III & IV	168	1
	<b>Sub Total</b>	<b>1381</b>	<b>6</b>
<b>Sulawesi Tenggara</b>	Saponda/Saponda	181	1
	Maginti/Maginti	219	1
	Kankunawi/ Maginti	220	1
	Santiri/Balu	225	1
	Banabungi/ Kadatua	354	2
	Masaloka + Batulamburi/ Masaloka	196 67	1
	Lora Daratan + Tambako	110 127	1
	<b>Sub Total</b>	<b>1699</b>	<b>8</b>
<b>T O T A L</b>	<b>3080</b>	<b>14</b>	

**Tabel 3. Tarif Listrik Sistem PLH PV-Diesel**  
 Sumber: Siswa Trihadi (2000a).

Jenis Biaya	Daya 50 Watt	Daya 100 Watt	Daya 200 Watt
-Sambung	Rp. 100.000	Rp. 200.000	Rp. 300.000
-Beban	Rp. 6500 /bulan	Rp. 7500/bulan	Rp. 8500/bulan
-Energi	- Rp. 1500/kWh (5 kWh pertama) - Rp. 1250/kWh (5 kWh kedua) - Rp. 1000/kWh (kWh berikutnya)	- Rp. 1500/kWh (5 kWh pertama) - Rp. 1250/kWh (5 kWh kedua) - Rp. 1000/kWh (kWh berikutnya)	- Rp. 1500/kWh (5 kWh pertama) - Rp. 1250/kWh (5 kWh kedua) - Rp. 1000/kWh (kWh berikutnya)

Contoh penerapan Sistem PLH PV-Diesel yaitu berupa Sistem Pembangkit dan Jaringannya, Siswa Trihadi (2000b) menampilkan nya pada Gambar 4 dan Gambar 5.



**Gambar 4. Pembangkit Sistem PLH PV-Diesel.**



**Gambar 5. Jaringan Tegangan Rendah**

## 6. KESIMPULAN

Dengan menerapkan sistem PLH PV-Diesel ini, sistem PLTD dapat dioperasikan secara lebih optimal dan efektif, sehingga dapat menurunkan biaya operasi & pemeliharaan serta dapat memperpanjang umur sistem PLTD selama  $\pm 10$  tahun. Dari rancangan sistem PLH PV-Diesel tersebut dapat disimpulkan bahwa penghematan bahan bakar minyak bisa lebih ditingkatkan dengan cara memperbesar kapasitas sumber energi dari tenaga surya dan/atau kapasitas baterai, sehingga jam operasi sistem PLTD bisa lebih dikurangi. Dalam menentukan lokasi yang tepat untuk menerapkan sistem PLH PV-Diesel ini, perlu dilakukan suatu survei untuk mendapatkan data yang lebih terperinci mengenai potensi sumber energi dari tenaga surya, profil beban, serta data lain yang diperlukan. Berdasarkan data tersebut akan dapat dirancang suatu sistem PLH PV-Diesel yang lebih tepat baik dari segi teknis maupun ekonomis. Dengan Manajemen Pengelolaan sistem PLH PV-Diesel yang baik, diharapkan sistem ini dapat beroperasi secara kontinyu dengan menggunakan secara optimal biaya yang didapat dari pelanggan sesuai yang telah direncanakan seperti terlihat dari perhitungan analisa ekonomis sistem PLH PV-Diesel.

## REFERENSI

- Fay Williams (1986), *"The Handbook of Photovoltaic Applications"*, The Fairmont Press Inc., Georgia, 1986.
- Paul D. Maycock and E.N. Stirewalt (1985), *A Guide to the Photovoltaic Revolution*, Rodale Press, Pensilvania, USA.
- Siswa Trihadi (2000a), *Technical Report on Sites Selection Survey for Eastern Indonesia Hybrid Energy Project I*, UPT LSDE - BPPT, Jakarta, Juli 2000
- Siswa Trihadi (2000b), *Technical Report on Sites Selection Survey for Eastern Indonesia Hybrid Energy Project II*, UPT LSDE - BPPT, Jakarta, Desember 2000.
- Stephen J. Phillips (2000), *Operation and Maintenance Manual of Three Phase Static Power Pack*, Advance Energy Systems Ltd., Australia, Januari 2000.