

# IMPLEMENTASI *AUTOMATIC TRANSFER SWITCH* PLN-PLTS SERTA ANALISIS KEMAMPUAN MAKSIMAL DALAM MEMBACKUP BEBAN

## IMPLEMENTATION OF *PLN-PLTS AUTOMATIC TRANSFER SWITCH WITH MAXIMUM CAPACITY ANALYSIS OF LOAD BACKUP*

Antonius Satya Grahadiasto<sup>1</sup>, Mujiman, S.T., M.T.<sup>2</sup>, Ir. Gatot Santoso, M.T.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Elektro Institut Sains & Teknologi AKPRIND Yogyakarta

<sup>2</sup>Dosen Jurusan Teknik Elektro Institut Sains & Teknologi AKPRIND Yogyakarta

<sup>3</sup>Dosen Jurusan Teknik Elektro Institut Sains & Teknologi AKPRIND Yogyakarta  
Kampus ISTA Jl. Kalisahak No. 28 Kompleks Balapan Yogyakarta

<sup>1</sup>[antoniussatya@gmail.com](mailto:antoniussatya@gmail.com)

---

---

### ABSTRAK

*PLN (Perusahaan Listrik Negara) sebagai satu-satunya penyedia tenaga listrik di Indonesia tidak selamanya kontinyu dalam menyalurkan listrik. Mengingat wilayah Indonesia sendiri mempunyai intensitas sinar matahari yang berlimpah, maka sebagai pelanggan listrik PLN dapat mengupayakan listrik cadangan menggunakan PLTS (Pembangkit Listrik Tenaga Surya). Sistem PLTS menggunakan baterai sebagai media penyimpan energi listrik dan inverter untuk mengubah tegangan DC menjadi AC. Selain itu diperlukan suatu mekanisme sebagai pemindah beban dari sumber PLN ke sumber PLTS. Sistem pemindah beban tersebut dapat dilakukan secara otomatis menggunakan ATS (Automatic Transfer Switch).*

*ATS yang dibangun menunjukkan hasil sesuai dengan yang dirancangkan. Sistem ini dapat dijalankan dengan dua mode, yaitu mode otomatis dan juga dapat dioperasikan secara manual. Dilakukan dua tahapan pengujian, uji parsial dan uji keseluruhan. Uji parsial dimaksudkan untuk mendapatkan data masing-masing kerja komponen penyusun, sedangkan uji keseluruhan untuk mendapatkan data keseluruhan sistem yang dibangun apakah sesuai dengan yang diharapkan.*

*Dalam pengujian, PLTS sebagai sumber cadangan untuk mensuplai lampu penerangan jalan memiliki efisiensi yang cukup baik. Baterai yang digunakan (12V/100Ah) dapat mensuplai 10 titik lampu berdaya total 117 Watt selama 552 menit. Sedangkan secara teori seharusnya baterai mampu bertahan selama 588 menit, sehingga diperoleh nilai persentase error sebesar -6,12%. Hal tersebut tentunya disebabkan oleh rugi-rugi yang terdapat pada rangkaian.*

*Kata kunci: automatic transfer switch, inverter, PLN, PLTS*

---

---

### ABSTRACT

*PLN (state electricity company) as the only provider that provide electricity in Indonesia isn't always available in distributing electricity. In Indonesia, we have high intensity of sunlight, then as PLN costumers we could make an effort to use PLTS (solar power plant) as backup. PLTS mechanism work using battery as electrical energy storage and inverter to convert DC voltage into AC. In addition, it required a load transfer mechanism from PLN source into PLTS source. System load transfer can be done automatically using an ATS (Automatic Transfer Switch).*

*The ATS that we built shows the results as planned. This system can be run in two modes, namely automatic mode and manual mode. We conducted two phases of testing, partial test and overall test. Partial test is intended to get data each component, while overall test to get the whole data system built if as expected.*

*In testing, PLTS as a backup source for supplying streetlight have fairly good efficiency. Battery (12v/100Ah) can supply 10 streetlight point in total 117 Watts of power for 552 minutes. While theoretically, the battery is supposed to be last for 588 minutes, so we found value of the percentage error -6,12%. It's happened due to the losses contained in the circuit.*

*Keywords: automatic transfer switch, inverter, PLN, PLTS*

## PENDAHULUAN

PLN (Perusahaan Listrik Negara) merupakan satu-satunya penyedia jasa yang berhubungan dengan penjualan tenaga listrik di Indonesia [1]. Hal ini tentu membawa dampak positif maupun negatif. Disatu sisi PLN dapat memberikan pelayanan listrik yang terbaik dengan harga terjangkau kepada pelanggan. Namun disisi lain saat PLN akan melakukan perawatan yang harus mematikan listrik, maka tidak terdapat sumber listrik lain yang menjadi cadangan (*backup*). Hal yang dapat dilakukan oleh pelanggan listrik PLN adalah dengan menyediakan sumber listrik mandiri, salah satunya dengan memanfaatkan energi surya atau PLTS (Pembangkit Listrik Tenaga Surya).

Indonesia merupakan negara dengan letak geografis yang strategis berada di jalur khatulistiwa sehingga mempunyai intensitas sinar matahari yang berlimpah. Intensitas radiasi matahari untuk wilayah Indonesia sendiri rata-rata sekitar  $4,8 \text{ kWh/m}^2$  per hari atau setara dengan 112.000 GWp energi surya di seluruh wilayah Indonesia, namun yang sudah dimanfaatkan baru sekitar 10 MWp [2].

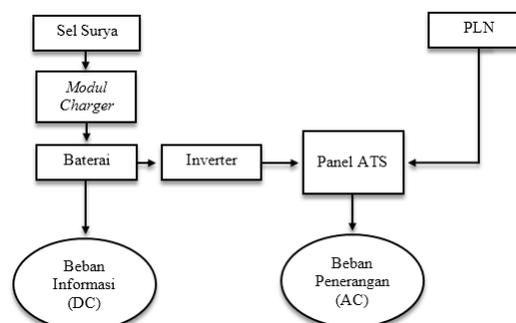
Pemindahan daya PLN-pembangkit listrik cadangan secara konvensional dilakukan dengan memindahkan tuas saklar, hal ini tentu masih dibutuhkan operator yang mengerti pengoperasian sistem tersebut. Pengoperasian oleh manusia memiliki banyak kelemahan, salah satunya keberadaan operator tidak selalu siaga saat terjadi pemadaman listrik PLN. Untuk itu, perlu adanya suatu mekanisme yang dapat menggantikan kerja manual oleh manusia menjadi otomatis.

Berkaitan dengan uraian diatas, maka penulis bermaksud untuk merancang dan mengimplementasikan ATS guna menggantikan peran operator dalam hal pemindahan daya secara aman dan efektif, serta menganalisis berapa kemampuan sistem PLTS tersebut dalam mem-*backup* beban PLN.

## METODE PERANCANGAN

Dalam perancangan akan dibangun sebuah sistem *backup* daya PLN dengan memanfaatkan energi matahari menggunakan sel surya. Sistem ini mampu bekerja secara otomatis memindahkan daya

dari PLN ke PLTS saat sumber PLN padam, sehingga kontinuitas penyaluran daya listrik ke beban dapat terus berlangsung. Parameter yang digunakan adalah terdapat atau tidak terdapatnya tegangan dari sumber PLN.

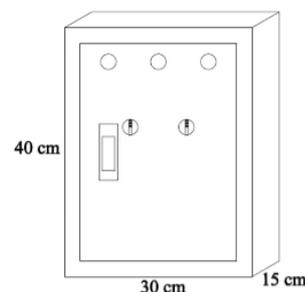


Gambar 2.1 Blok diagram sistem *backup* PLN

Blok diagram (Gb. 2.1) dibagi dalam dua bagian kerja. Bagian pertama pemanfaatan energi matahari sebagai sumber listrik DC menggunakan sel surya, proses penyimpanan ke dalam baterai, dan pembebanan berupa perangkat informasi. Bagian kedua pemanfaatan sumber listrik DC dalam baterai, mengubahnya menjadi listrik AC menggunakan inverter, kemudian mengkombinasikannya dengan listrik PLN untuk mensuplai beban berupa 10 titik lampu hemat energi (LHE) menggunakan sistem ATS. Bagian kedua inilah yang akan dibahas lebih lanjut dalam perancangan ini.

## Perancangan ATS

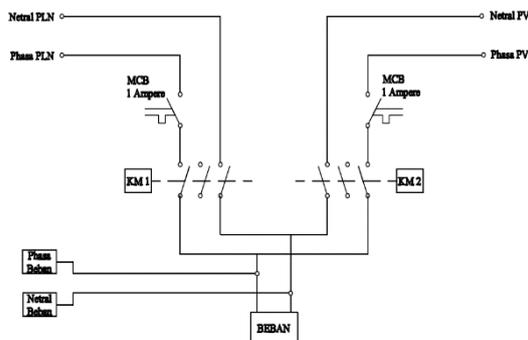
Boks yang digunakan terbuat dari bahan plat besi dengan dimensi panjang 30 cm, lebar 15 cm dan tinggi 40 cm. Terdiri dari boks utama untuk meletakkan komponen ATS meliputi *relay*, *timer*, kontaktor, dan peralatan proteksi. Kemudian pada sisi depan berupa pintu sebagai penutup boks serta tempat peralatan interaksi (*switch*) dan lampu indikator.



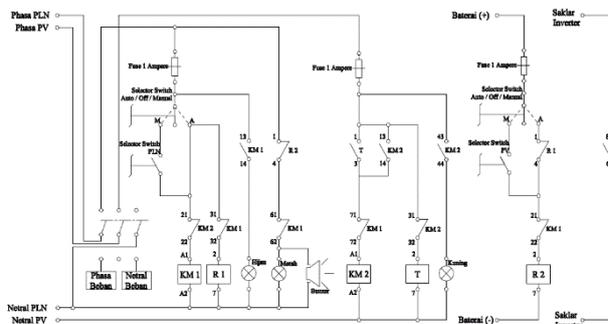
Gambar 2.2 Desain boks ATS

Pemasangan jalur kabel dilakukan dengan memperhatikan tata letak dari komponen yang akan dipasang baik di dalam boks utama maupun pada penutup boks. Pembuatan jalur kabel juga memperhatikan rangkaian sehingga memudahkan tahap perakitan selanjutnya dan tentunya juga menghemat penggunaan kabel itu sendiri

Terdapat dua jenis rangkaian dalam sistem ATS, rangkaian daya yang berfungsi menyalurkan daya dari sumber listrik ke beban, dan rangkaian kontrol yang berfungsi untuk mengatur kerja keseluruhan sistem. Rangkaian kontrol dibagi menjadi dua bagian, rangkaian kontrol sumber utama (PLN) yang mendapat sumber listrik dari PLN (220 Volt AC 50 Hz) dan rangkaian kontrol sumber cadangan (PLTS) bersumber dari keluaran inverter (220 Volt AC 50 Hz).



Gambar 2.3 Rangkaian daya ATS



Gambar 2.4 Rangkaian kontrol ATS

### Hasil Perancangan

Tata letak komponen diatur sedemikian rupa sehingga memudahkan saat proses *wiring*. Pada tutup boks terdapat tiga buah lampu indikator yang terletak dibagian atas dimaksudkan agar mudah terlihat. Dua buah *switch* terletak di bagian tengah untuk mempermudah jangkauan. Pada bagian dalam boks, tersusun komponen-komponen seperti peralatan proteksi yang terletak dibagian atas bersebelahan dengan *relay* dan *timer*. Kontaktor terletak pada bagian

tengah bersebelahan dengan *switch* utama dan pada bagian bawah terdapat konektor.

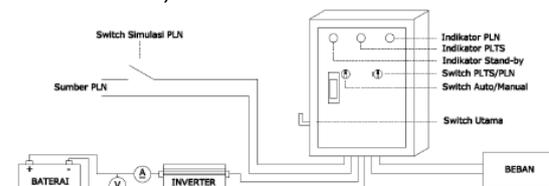


(a) (b)

Gambar 2.5 Boks ATS tampak sisi luar (a) dan tampak sisi dalam (b)

### Pengujian ATS

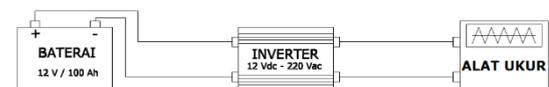
Pengujian ATS dilakukan dengan bantuan sebuah *switch* simulasi PLN (*switch* pemutus dan penyambung pada rangkaian sumber PLN).



Gambar 2.6 Rangkaian pengujian ATS

### Pengujian inverter

Pengujian dilakukan untuk mengetahui nilai tegangan, frekuensi dan bentuk gelombang *output* dari inverter. Pegujian tegangan dan frekuensi dilakukan dengan multi meter digital, sedangkan bentuk gelombang menggunakan oscilloscope.



Gambar 2.7 Rangkaian pengujian tegangan, frekuensi dan gelombang *output* inverter

Dari pengamatan menggunakan oscilloscope, nilai tegangan puncak ( $V_P$ ) dan tegangan efektif ( $V_{EFF}$ ) dapat diperoleh menggunakan rumus:

$$V_P = Div \times \frac{Volt}{Div} \times skala \quad (2.1)$$

$$V_{EFF} = \frac{V_P}{\sqrt{2}} \quad (2.2)$$

Untuk mendapatkan nilai frekuensi dapat diperoleh menggunakan rumus:

$$F = \frac{1}{T} \quad (2.3)$$

Kemudian juga dilakukan pengujian efisiensi inverter. Pengujian dilakukan untuk mengetahui seberapa besar efisiensi inverter yang tentunya berpengaruh terhadap kualitas dan lama waktu *backup*.



Gambar 2.8 Rangkaian pengujian inverter

Untuk memperoleh besar daya *input* ( $P_{in}$ ) dan daya *output* ( $P_{out}$ ) inverter dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$P_{in} = V_{in} \times I_{in} \quad (2.4)$$

$$P_{out} = V_{out} \times I_{out} \quad (2.5)$$

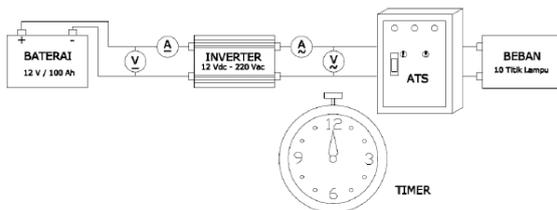
Setelah mendapatkan nilai ( $P_{in}$ ) dan ( $P_{out}$ ) selanjutnya dapat dihitung besar efisiensi inverter.

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \quad (2.6)$$

$$\eta \text{ rata - rata} = \frac{\sum \eta \text{ tiap beban}}{n \text{ beban}} \quad (2.7)$$

### Pengujian baterai

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui waktu daya tahan baterai dilakukan dengan cara membiarkan beban berupa *on* hingga *off* dengan sendirinya.



Gambar 2.9 Rangkaian pengujian baterai

Secara teoritis waktu daya tahan baterai dapat dihitung dengan persamaan:

$$\text{Daya Baterai} = \text{Volt} \times \text{Kapasitas Ah} \quad (2.8)$$

$$\text{Daya Tahan} = \frac{\text{Daya Baterai} \times 60}{|\text{Daya Input Inverter}|} \quad (2.9)$$

Sedangkan perhitungan persentase *error* dapat dicari menggunakan persamaan:

$$\% \text{ error} = \frac{(\text{pengujian} - \text{teoritis})}{\text{teoritis}} \times 100\% \quad (2.10)$$

## ANALISIS DAN PEMBAHASAN

### Data ATS

#### 1. Mode otomatis

Tabel 3.1 Data ATS mode otomatis

Langkah	MC PLN	MC PV	Inverter	Lamp Merah + Buzzer	Lamp Kuning	Lamp Hijau	Kondisi Beban
1	0	0	0	1	0	0	0
2	1	0	0	0	0	1	1
Simulasi pemindahan beban dari sumber PLN ke sumber PLTS							
3	0	0	1	0	0	0	0
4	0	1	1	0	1	0	1
Simulasi pemindahan beban dari sumber PLTS ke sumber PLN							
5	1	0	0	0	0	1	1

Keterangan: 0 = tidak aktif, 1 = aktif

Langkah 1. Memposisikan *switch* utama pada ATS ON.

Langkah 2. Memindahkan *switch* otomatis - manual ke mode otomatis.

Langkah 3. Simulasi pemindahan beban dari sumber PLN ke PLTS.

Langkah 4. Setelah proses *starting* inverter.

Langkah 5. Simulasi pemindahan beban dari sumber PLTS ke PLN.

Data menunjukkan bahwa ATS berfungsi dengan baik pada operasi otomatis. Komponen rangkaian daya maupun kontrol ATS bekerja sesuai fungsinya. Jadi dapat disimpulkan *wiring* yang dikerjakan sesuai dengan gambar rancangan yang dibuat.

#### 2. Mode manual

Tabel 3.2 Data ATS mode manual

Langkah	MC PLN	MC PV	Inverter	Lamp Merah + Buzzer	Lamp Kuning	Lamp Hijau	Kondisi Beban
1	0	0	0	1	0	0	0
2	0	0	0	1	0	0	0
Simulasi pemindahan beban ke sumber PLN							
3	1	0	0	0	0	1	1
Simulasi pemindahan beban ke sumber PLTS							
4	0	0	1	0	0	0	0
5	0	1	1	0	1	0	1

Keterangan: 0 = tidak aktif, 1 = aktif

Langkah 1. Memposisikan *switch* utama pada ATS ON.

Langkah 2. Memindahkan *switch* otomatis - manual ke mode manual.

Langkah 3. Simulasi pemindahan beban ke sumber PLN.

Langkah 4. Simulasi pemindahan beban ke sumber PLTS.

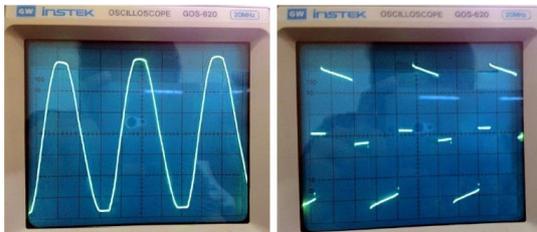
Langkah 5. Setelah proses *starting* inverter.

Data menunjukkan bahwa ATS berfungsi dengan baik pada operasi manual.

Komponen rangkaian daya maupun kontrol ATS juga dapat bekerja sesuai dengan fungsinya. *Wiring* yang dikerjakan telah sesuai dengan gambar rancangan. Kedua percobaan baik mode otomatis maupun mode manual secara keseluruhan berjalan sesuai dengan rancangan, sehingga ATS dinyatakan siap untuk dipasang pada sistem.

### Data Inverter

Pengukuran frekuensi dilakukan dengan menggunakan dua buah alat ukur, frekuensi meter digital (Krisbow KW 06-272) dan oscilloscope (Instek GOS-620). Terlihat bentuk gelombang seperti pada Gb. (3.1) dari layar oscilloscope untuk masing-masing sumber. Pada sumber PLN gelombang yang dihasilkan berbentuk gelombang sinus murni (*pure sine wave*), sedangkan pada sumber inverter gelombang yang dihasilkan berbentuk gelombang sinus termodifikasi (*modified sine wave*). Pada saat dilakukan pengamatan menggunakan oscilloscope, posisi skala vertical oscilloscope adalah 5 Volt / Div, dan skala horisontal adalah 5 mS / Div. Selain itu dikarenakan tegangan yang diukur lebih besar dari 100 Volt AC, maka untuk menjaga keamanan dari oscilloscope dilakukan penurunan tegangan dari 220 Volt AC menjadi 12 Volt AC menggunakan transformator *step-down* atau dengan skala 18,33 : 1.



(a) (b)

Gambar 3.1 Bentuk gelombang Sumber PLN (a) dan sumber inverter (b)

Tabel 3.3 Data tegangan dan frekuensi sumber PLN dan sumber inverter

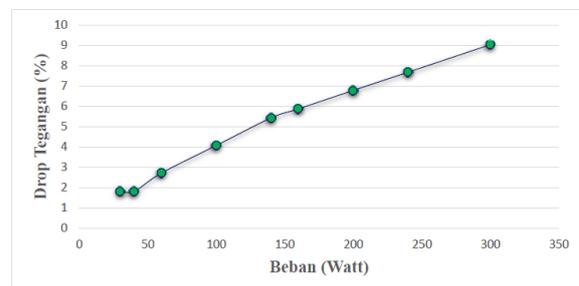
Sumber	Tegangan (Volt AC)			Frekuensi (Hz)	
	Multimeter	Oscilloscope		Multimeter	Oscilloscope
		V <sub>P</sub>	V <sub>Eff</sub>		
PLN	228	321	227	50,78	50,63
Inverter	221	312	221	51,36	51,28

Dari bentuk gelombang sumber PLN terlihat puncak gelombang sebesar 3,5 Div dengan satu siklus gelombang (satu periode) sebesar 3,95 Div. Menggunakan Pers. (2.1), diperoleh nilai tegangan puncak sebesar 321

Volt AC. Setelah memperoleh nilai tegangan puncak, dapat dihitung nilai tegangan efektif menggunakan Pers. (2.2) dan didapatkan hasil sebesar 227 Volt AC. Kemudian menggunakan Pers. (2.3) diperoleh nilai frekuensi sebesar 50,63 Hz. Sedangkan dari bentuk gelombang sumber inverter terlihat puncak gelombang sebesar 3,4 Div dengan satu periode sebesar 3,9 Div. Menggunakan Pers. (2.1) maka diperoleh nilai tegangan puncak sebesar 312 Volt AC. Setelah memperoleh nilai tegangan puncak, dapat dihitung nilai tegangan efektif menggunakan Pers. (2.2) dan didapatkan hasil sebesar 221 Volt AC. Kemudian menggunakan Pers. (2.3) diperoleh nilai frekuensi sebesar 51,28 Hz.

Tabel 3.4 Data inverter

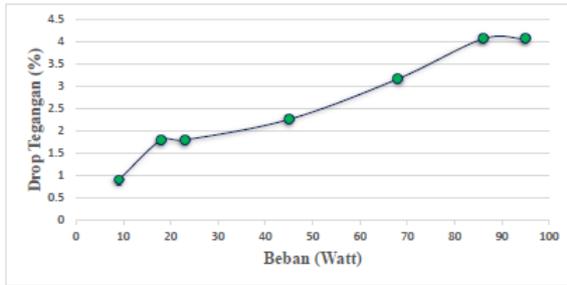
Beban (Watt)	Input inverter (DC)		Output inverter (AC)				Drop tegangan (%)
	V <sub>in</sub>	I <sub>in</sub>	V <sub>out</sub> (tanpa beban)	V <sub>out</sub> (dengan beban)	I <sub>out</sub>	Frek. (Hz)	
Tanpa beban	13,24	0,52	221	-	-	51,36	-
Solder 30w	13,22	2,55	221	217	0,10	51,36	1,80
Lampu pijar 40w	13,22	4,00	221	217	0,16	51,36	1,80
Lampu pijar 60w	13,21	5,77	221	215	0,25	51,36	2,71
Lampu pijar 100w	13,19	9,40	221	212	0,43	51,36	4,07
Lampu pijar 140w	13,17	12,84	221	209	0,61	51,36	5,43
Lampu pijar 160w	13,16	14,81	221	208	0,71	51,36	5,88
Lampu pijar 200w	13,15	18,10	221	206	0,88	51,36	6,79
Lampu pijar 240w	13,13	22,72	221	204	1,08	51,36	7,69
Setrika 300w	13,10	30,39	221	201	1,30	51,36	9,05
LHE 9w	13,24	1,08	221	219	0,03	51,36	0,90
LHE 18w	13,24	1,72	221	217	0,06	51,36	1,80
LHE 23w	13,24	2,14	221	217	0,08	51,36	1,80
LHE 45w	13,23	4,03	221	216	0,17	51,36	2,26
LHE 68w	13,21	5,93	221	214	0,27	51,36	3,17
LHE 86w	13,20	7,30	221	212	0,34	51,36	4,07
LHE 95w	13,19	8,19	221	212	0,39	51,36	4,07
Laptop 48w	13,22	4,87	221	213	0,22	51,36	3,62
Kipas angin 35w	13,22	4,91	221	212	0,17	51,36	4,07



Gambar 3.2 Grafik drop tegangan inverter beban resistif

Dari grafik nilai drop tegangan inverter untuk beban resistif (Gb. 3.2) diperoleh nilai drop tegangan berbeda pada setiap nilai beban. Saat dilakukan pembebanan berupa solder (30 Watt) dan lampu pijar (40 Watt)

didapat nilai *drop* tegangan sama yaitu 1,80% dari 221 Volt menjadi 217 Volt. Kemudian saat beban ditambahkan, nilai *drop* tegangan semakin besar hingga pada saat dibebani setrika listrik (300 Watt) didapat nilai *drop* tegangan tertinggi sebesar 9,05% dari 221 Volt menjadi 201 Volt. Dari data *drop* tegangan inverter beban resistif diperoleh nilai *drop* tegangan terendah sebesar 1,80% dan tertinggi sebesar 9,05%.



Gambar 3.3 Grafik *drop* tegangan inverter beban LHE

Dari grafik nilai *drop* tegangan inverter untuk beban LHE (Gb. 3.3) juga diperoleh nilai *drop* tegangan berbeda pada setiap nilai beban. Saat dilakukan pembebanan LHE (9 Watt) didapat nilai *drop* tegangan sebesar 0,90% dari 221 Volt menjadi 219 Volt. Kemudian saat beban LHE ditambahkan didapatkan persentase nilai *drop* tegangan juga semakin besar hingga pada saat dibebani LHE (95 Watt) didapat nilai *drop* tegangan tertinggi sebesar 4,07% dari 221 Volt menjadi 212 Volt. Dari data *drop* tegangan beban LHE diperoleh nilai *drop* tegangan terendah sebesar 0,90% dan tertinggi sebesar 4,07%.

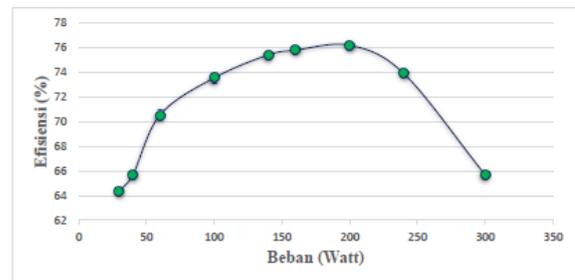
Kedua grafik (Gb. 3.2 dan Gb. 3.3) memiliki karakteristik yang relatif sama, besar nilai *drop* tegangan berbanding sejajar dengan besar daya beban. *Drop* tegangan diakibatkan karena semakin besar daya yang dibebankan, semakin besar arus yang mengalir. Arus yang besar tentu berpengaruh terhadap rugi tegangan, ditambah inverter tidak dilengkapi dengan sistem AVR (*Automatic Voltage Regulator*). Sehingga dapat disimpulkan bahwa semakin besar daya yang dibebankan pada inverter maka semakin besar nilai *drop* tegangannya.

Untuk menghitung efisiensi inverter didapat dari perbandingan antara daya *input* dengan daya *output*. Daya *input* dan daya *output* dapat dihitung menggunakan Pers. (2.4) dan Pers. (2.5), sedangkan nilai

efisiensi inverter dapat dihitung menggunakan Pers. (2.6).

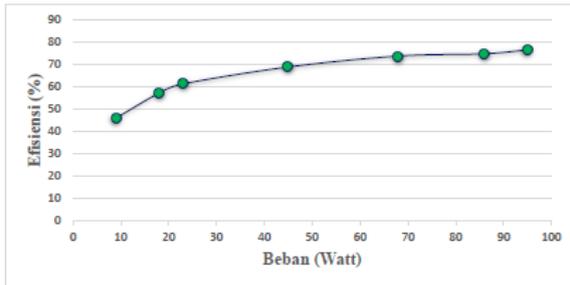
Tabel 3.5 Data efisiensi inverter

Beban (Watt)	Input inverter (DC)	Output inverter (AC)	Efisiensi (%)
	$P_m$ (VA)	$P_{out}$ (VA)	
Tanpa Beban	6,88	-	-
Solder 30w	33,71	21,70	64,37
Lampu pijar 40w	52,88	34,72	65,66
Lampu pijar 60w	76,22	53,75	70,52
Lampu pijar 100w	123,98	91,16	73,53
Lampu pijar 140w	169,10	127,49	75,39
Lampu pijar 160w	194,90	147,68	75,77
Lampu pijar 200w	238,01	181,28	76,16
Lampu pijar 240w	298,31	220,32	73,86
Setrika 300w	398,10	261,30	65,64
LHE 9w	14,30	6,57	45,94
LHE 18w	22,77	13,02	57,18
LHE 23w	28,33	17,36	61,28
LHE 45w	53,32	36,72	68,87
LHE 68w	78,33	57,78	73,76
LHE 86w	96,36	72,08	74,80
LHE 95w	108,03	82,68	76,53
Laptop 48w	64,38	46,86	72,79
Kipas Angin 35w	64,91	36,04	55,52



Gambar 3.4 Grafik efisiensi inverter beban resistif

Dari grafik efisiensi inverter untuk beban resistif (Gb. 3.4) diperoleh nilai efisiensi sebesar 64,37% pada saat dibebani solder (30 Watt). Saat daya ditambahkan, nilai efisiensi juga naik sampai pada nilai tertinggi sebesar 76,16% saat dibebani lampu (200 Watt). Kemudian grafik akan mulai turun hingga pada saat dibebani setrika listrik (300 Watt) diperoleh nilai efisiensi sebesar 65,64%.



Gambar 3.5 Grafik efisiensi inverter beban LHE

Dari grafik efisiensi inverter untuk beban LHE (Gb. 3.5) diperoleh nilai efisiensi terendah sebesar 47% pada saat dibebani lampu (9 Watt). Saat daya ditambahkan, nilai efisiensi juga naik sampai pada nilai tertinggi sebesar 76,53% saat dibebani lampu (95 Watt).

Kedua grafik (Gb. 3.4 dan Gb. 3.5) memiliki karakteristik yang relatif sama, nilai efisiensi naik seiring ditambahkan daya beban. Hingga batas tertentu didapat efisiensi maksimal. Selanjutnya jika daya terus ditambah, maka grafik akan turun yang menandakan nilai efisiensi yang turun. Dari data dapat dilihat bahwa efisiensi tertinggi sebesar 76,53% didapatkan saat membebani inverter dengan LHE (95 Watt). Hasil terburuk sebesar 45,94% didapatkan saat membebani inverter dengan LHE (9 Watt).

Saat inverter dibebani dengan daya kecil didapatkan efisiensi rendah, dikarenakan untuk mengaktifkan inverter sendiri membutuhkan daya sebesar 6,88 Watt. Tentu tidak berimbang ketika inverter hanya dibebani dengan daya kecil. Sebagai contoh saat dibebani lampu 9 Watt hanya diperoleh efisiensi sebesar 45,94%. Begitu juga saat dibebani dengan daya yang terlalu besar maka efisiensi inverter juga turun, hal ini disebabkan karena kemampuan inverter memiliki batas daya tertentu. Sehingga saat dibebani lebih maka akan timbul panas yang berlebihan pada komponennya yang mengakibatkan rendahnya efisiensi. Pada saat dibebani kipas angin (beban induktif) diperoleh efisiensi sebesar 55,52%. Nilai tersebut disebabkan karena bentuk gelombang inverter yang tidak murni sinus, sedangkan motor penggerak kipas angin akan lebih efektif dan efisien saat disuplai dengan tegangan sinus murni (sumber PLN).

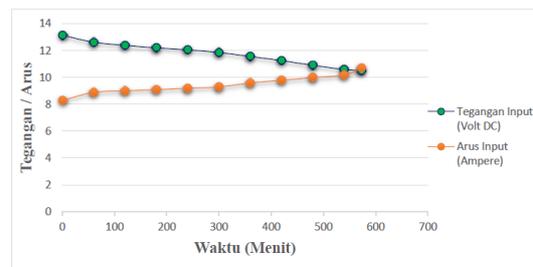
Efisiensi inverter tidak dapat mencapai angka sempurna (100%), karena terdapat rugi-rugi pada komponen dan bagian-bagian yang dilewati arus listrik. Selain untuk mengaktifkan setiap komponen yang

terdapat pada inverter, energi yang hilang (*losses*) tersebut berubah menjadi energi panas, sehingga efisiensi inverter hanya dapat mendekati angka 100%. Dari total persentase efisiensi inverter pada setiap pembebanan, dapat dihitung rata-rata efisiensi menggunakan Pers. (2.7) sehingga dari total keseluruhan pengujian efisiensi tiap beban diperoleh nilai efisiensi sebesar 68,42%.

### Data Daya Output Baterai

Tabel 3.6 Data daya output baterai

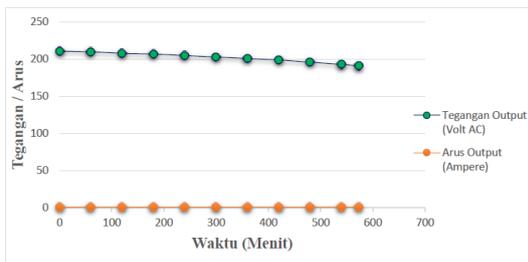
No	Waktu (menit)	Input inverter (DC)			Output inverter (AC)			
		Tegangan (Volt)	Arus (Amp.)	Daya (VA)	Tegangan (Volt)	Arus (Amp.)	Daya (VA)	Frek. (Hz)
1	0	13,71	-	-	Belum dibebani			
2	1	13,14	8,3	109,0	211	0,47	99,1	51,36
3	60	12,63	8,9	112,4	210	0,47	98,7	51,36
4	120	12,40	9,0	111,6	208	0,47	97,7	51,36
5	180	12,21	9,1	111,1	207	0,48	99,3	51,36
6	240	12,06	9,2	110,9	205	0,48	98,4	51,36
7	300	11,86	9,3	110,2	203	0,49	99,4	51,36
8	360	11,57	9,6	111,0	201	0,49	98,4	51,36
9	420	11,26	9,8	110,3	199	0,49	97,5	51,36
10	480	10,91	10,0	109,1	196	0,50	98,0	51,36
11	540	10,60	10,2	108,1	193	0,50	96,5	51,36
12	552	10,52	10,7	22,5	191	0,51	19,4	51,36
13	553	10,51	-	-	-	-	-	-
Total daya		1126,2 Volt Ampere			1002,4 Volt Ampere			
Rara-rata Daya		122,41 Volt Ampere			108,95 Volt Ampere			



Gambar 3.6 Grafik hubungan tegangan dan arus pada input inverter

Dari grafik hubungan antara tegangan dan arus *input* inverter (Gb. 3.6), pada kondisi awal dimana baterai masih dalam keadaan penuh dengan tegangan 13,71 saat beban belum tersambung. Kemudian pada saat mulai dibebani dengan 10 titik lampu (117 Watt), tegangan baterai *drop* menjadi 13,14 Volt dengan arus yang mengalir sebesar 8,3 Ampere pada menit pertama. Kemudian pada pengukuran kedua yaitu pada menit ke-60 tegangan turun menjadi 12,63 Volt disebabkan karena kapasitas

baterai semakin berkurang, sedangkan arusnya mengalami kenaikan menjadi 8,9 Ampere. Sesuai dengan rumus  $P = V \times I$ , dimana semakin besar nilai tegangan (V) maka semakin kecil nilai arusnya (I) dan sebaliknya. Demikian juga terjadi pada menit-menit berikutnya hingga pada menit ke-552 tercatat tegangan 10,52 Volt dengan arus yang mengalir sebesar 10,7 Ampere. Beban otomatis terputus dari baterai ketika tegangan dibawah 10.5 Volt yang bertujuan untuk melindungi baterai agar sel-selnya tidak mengalami kerusakan.



Gambar 3.7 Grafik hubungan tegangan dan arus pada *output* inverter

Pada sisi *output* inverter nilai tegangan pada menit pertama 211 Volt dengan arus 0,47 Ampere. Pada menit ke-60 tegangan turun menjadi 210 dengan arus 0,47 Ampere. Pada menit ke-180 terjadi kenaikan arus 0,01 Ampere dengan tegangan 207 Volt. Disini juga berlaku rumus  $P = V \times I$ , dimana setiap penurunan tegangan diikuti dengan kenaikan nilai arus. Pada menit berikutnya tegangan terus turun berbanding terbalik dengan nilai arusnya. Hingga pada menit terakhir sebelum inverter mati secara otomatis (menit ke-552) tercatat tegangan 191 Volt dengan arus sebesar 0,51 Ampere.

Total nilai daya *input* inverter adalah sebesar 1126,2 VA, dengan rata-rata daya yang mengalir 122,41 VA. Sedangkan pada bagian *output* sebesar 1002,4 VA dengan rata-rata 108,95 VA. Dari total daya *input* dan daya *output* inverter untuk beban LHE diperoleh nilai efisiensi inverter sebesar 89%. Untuk nilai tegangan *input* terendah sebesar 10,52 Volt DC dan tertinggi 13,71 Volt DC, sedangkan untuk tegangan *output* terendah sebesar 191 Volt AC dan tertinggi 211 Volt AC. Dalam spesifikasinya, lampu LHE memiliki range tegangan antara 170 hingga 240 Volt AC, sehingga nilai tegangan *output* inverter masih aman untuk digunakan.

Menggunakan Pers. (2.8), baterai dengan kapasitas 100 Ah memiliki kapasitas daya total sebesar 1200 Wh. Dengan

kapasitas daya total tersebut jika dihitung menggunakan Pers. (2.9), seharusnya baterai dapat mensuplai beban selama 588 menit (9 jam 48 menit). Sedangkan dari data daya *output* baterai (Tb. 3.6) didapatkan bahwa baterai hanya dapat mensuplai beban selama 552 menit (9 jam 12 menit). Maka persentase *error* dapat dihitung menggunakan Pers. (2.10) dan diperoleh hasil sebesar -6,12%. Persentase *error* tersebut disebabkan karena adanya rugi-rugi yang terdapat dalam rangkaian yang didalamnya termasuk efisiensi baterai, rugi-rugi penghantar, dan juga adanya kesalahan yang dilakukan dalam proses pengukuran.

## PENUTUP

### Kesimpulan

Bedasarkan hasil pengukuran dan uji coba pengambilan data serta analisis keseluruhan yang telah dilakukan, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Sistem ATS yang telah dibangun menggunakan dua sumber listrik bertegangan AC, sumber utama berasal dari PLN (220 Volt AC) dan sumber kedua menggunakan PLTS (12 Volt DC yang telah dikonversi menjadi 220 Volt AC menggunakan inverter). Kedua sumber ini mampu bekerja secara bergantian dimana saat PLN mengalami pemadaman, maka PLTS-lah yang berperan mensuplai beban. Saat PLN hidup kembali maka PLTS otomatis terputus dan menyambungkan kembali ke sumber PLN. *Output* dari ATS ini adalah beban dengan tegangan 220 Volt AC 50 Hz.
2. Nilai efisiensi inverter sangatlah bergantung terhadap jenis beban dan besar daya yang disambungkan. Dari pengujian yang dilakukan dengan berbagai jenis beban dan besar daya, diperoleh nilai rata-rata efisiensi sebesar 68,42%. Namun untuk mensuplai lampu penerangan jalan berupa LHE berdaya total 117 Watt, inverter ini memiliki nilai efisiensi yang cukup baik yaitu sebesar 89%.
3. Baterai yang digunakan berkapasitas 1200 Wh yang berarti mampu menggelontorkan daya sebesar 1200 Watt dalam waktu 1 jam. Secara teori dengan membebaskan 122,41 Watt pada baterai 1200 Wh seharusnya baterai dapat bertahan selama 588 menit. Namun dalam prakteknya hanya dapat bertahan selama 552 menit. Sehingga persentase *error* yang diperoleh dari pengujian

sebesar -6,12%, hal tersebut disebabkan karena adanya rugi-rugi yang terdapat dalam rangkaian.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Purwantoro, S., 2014, Studi Tentang Pelayanan PT.PLN (Pelayanan Listrik Nasional) Terhadap Pelanggan Di Kota Tarakan, Kalimantan Timur: Universitas Mulawarman.
- [2] Hamdi, S., 2014, *Mengenal Lama Penyinaran Matahari Sebagai Salah Satu Parameter Klimatologi*, Bandung: Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional.