

Sistem Rangkaian *Automatic Transfer Switch* Sumber Listrik PLN dan PLTS untuk Membackup Beban 350 Watt

Muhammad Suyanto¹, Subandi², Prasetyono Eko P³, Grahadiasto A.S⁴

^{1,2,3,4}Teknik Elektro Institut Sains & Teknologi AKPRIND Jogjakarta

Jl. Kalisahak No. 28, Balapan, Jogjakarta, Indonesia

Email : myanto@akprind.ac.id

Abstrak : Sistem Rangkaian Automatic Transfer Switch(ATS), digunakan untuk membackup beban listrik sebesar 350 watt dengan tujuan sebagai uji coba kemampuan saklar yang dirangkai dari kontaktor magnet dan dilengkapi dengan timer. Adapun sumber tenaga digunakan dari jaringan Perusahaan Listrik Negara(PLN) dan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS). Mengingat wilayah Indonesia mempunyai intensitas sinar matahari yang berlimpah, dan jaringan listrik negara yang stabilitas penyalurannya sangat baik. Oleh karena itu dalam ujicoba, digunakan dua sumber listrik dari PLN dan listrik cadangan menggunakan PLTS. Sistem PLTS menggunakan baterai sebagai media penyimpan energi listrik dan dilengkapi inverter untuk mengubah tegangan DC menjadi AC. Sedangkan untuk pemindah sumber PLN ke sumber PLTS, dilakukan secara otomatis menggunakan rangkaian ATS. Pengujian dilakukan secara parsial dan keseluruhan. Uji parsial dimaksudkan untuk mendapatkan data masing-masing kerja komponen yang dirangkai, sedangkan uji keseluruhan untuk mendapatkan data kemampuan dari sistem ATS, apakah sudah sesuai dengan yang diharapkan. Dalam pengujian PLTS sebagai sumber backup dari daya terpasang, memiliki efisiensi yang cukup baik. Baterai yang digunakan (12V/100Ah) dapat mensuplai beban bervariasi sebesar 350 Watt dan diuji sebanyak 13 kali pengujian, selama 553 menit. Sedangkan secara teori seharusnya baterai mampu bertahan selama 588 menit, sehingga diperoleh nilai persentase error sebesar -6,12%, disebabkan rugi-rugi yang terdapat pada rangkaian.

Kata kunci: *ATS, Inverter, Baterai, PLN, PLTS*

1. PENDAHULUAN

PLN (Perusahaan Listrik Negara) merupakan satu-satunya penyedia jasa yang berhubungan dengan penjualan tenaga listrik di Indonesia (Purwantoro, S., 2014). 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 memadamkan 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 (Pembangkit Listrik Tenaga Surya) PLTS (Muhammad Suyanto, dkk.,2017).

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 kWh/m² per hari atau setara dengan 112.000 GWp energi surya di seluruh wilayah Indonesia, namun yang sudah dimanfaatkan baru sekitar 10 MWp (Hamdi, S., 2014).

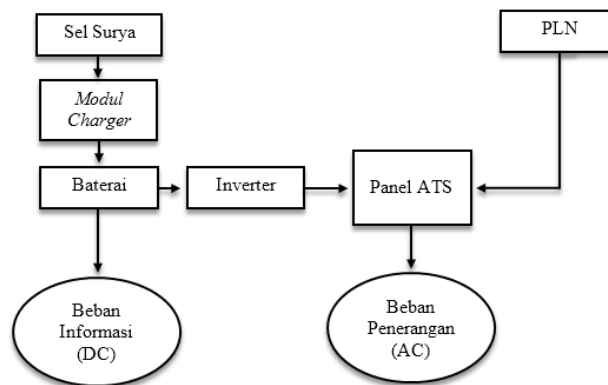
Pemindahan daya PLN-pembangkit listrik cadangan secara konvensional dilakukan dengan memindahkan tuas saklar, hal ini tentu masih dibutuhkan operator yang mengerti pengoperasian sistem tersebut. Pengoperasian oleh manusia memiliki banyak kelemahan, salah satunya keberadaan operator tidak selalu siaga

saat terjadi pemadaman listrik PLN. Untuk itu, perlu adanya suatu mekanisme yang dapat menggantikan kerja manual oleh manusia menjadi otomatis.

Berkaitan dengan masalah tersebut, 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.

2. METODE PENELITIAN

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.



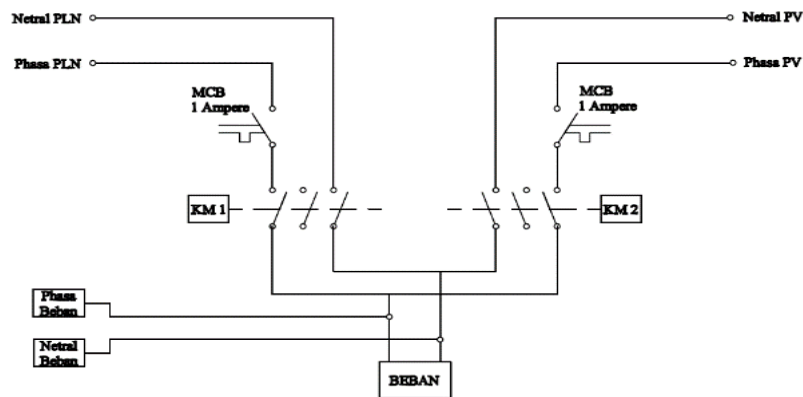
Gambar 1. Blok diagram sistem *backup* PLN

Blok diagram gambar 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.

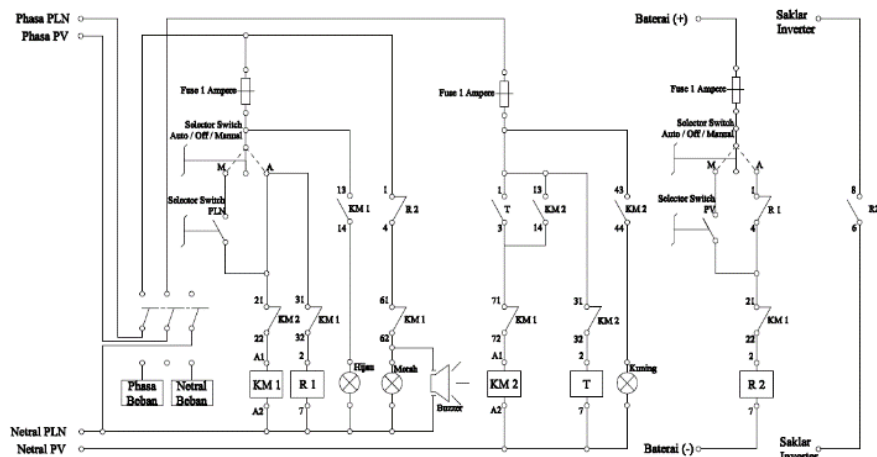
2.1 Perancangan ATS

Pemasangan jalur kabel dilakukan dengan memperhatikan tata letak dari komponen yang dipasang lihat gambar 2. 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 (Suryawan, M., 2012), 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).

Sistem Rangkaian *Automatic Transfer Switch* Sumber Listrik PLN dan PLTS untuk Membackup Beban 350 Watt



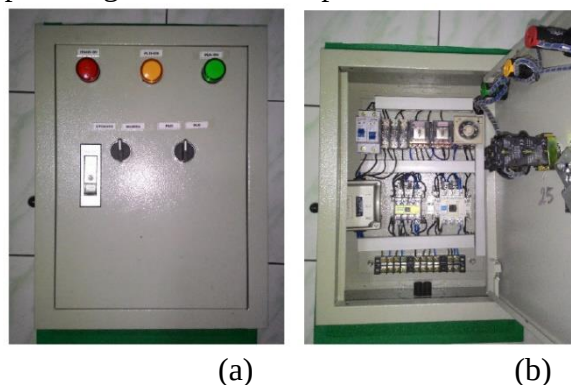
Gambar 2. Rangkaian daya ATS



Gambar 3. Rangkaian kontrol ATS

2.2 Hasil Perancangan

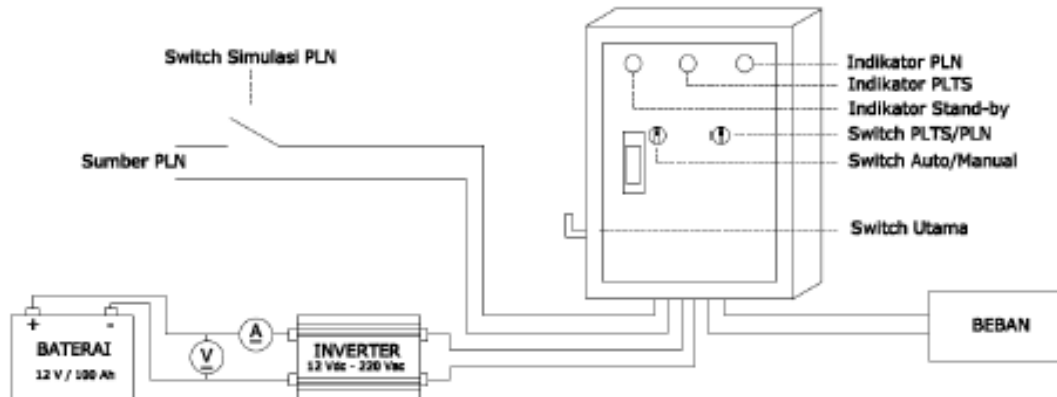
Tata letak komponen diatur sedemikian rupa sehingga memudahkan saat proses *wiring*. Pada tutup boks terdapat tiga buah lampu indikator yang terletak dibagian atas dimaksudkan agar mudah terlihat. Dua buah *switch* terletak di bagian tengah untuk mempermudah jangkauan. Pada bagian dalam boks, tersusun 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.



Gambar 4. Boks ATS tampak sisi luar (a) dan tampak sisi dalam (b)

2.3 Pengujian ATS

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



Gambar 5. Rangkaian pengujian ATS

2.4 Pengujian inverter

Pengujian dilakukan untuk mengetahui nilai tegangan, frekuensi dan bentuk gelombang *output* dari inverter (Muhammad Suyanto., 2013). Pengujian tegangan dan frekuensi dilakukan dengan multi meter digital, sedangkan bentuk gelombang menggunakan oscilloscope. Dari pengamatan menggunakan oscilloscope, nilai tegangan puncak (V_P) dan tegangan efektif (V_{Eff}) dapat diperoleh menggunakan persamaan berikut:

$$V_P = Div \times \frac{Volt}{Div} \times skala \dots\dots\dots(1)$$

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

Untuk mendapatkan nilai frekuensi dapat diperoleh menggunakan rumus:

$$F = \frac{1}{T} \dots\dots\dots(3)$$

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

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

$$P_{in} = V_{in} \times I_{in} \dots\dots\dots(4)$$

$$P_{out} = V_{out} \times I_{out} \dots\dots\dots(5)$$

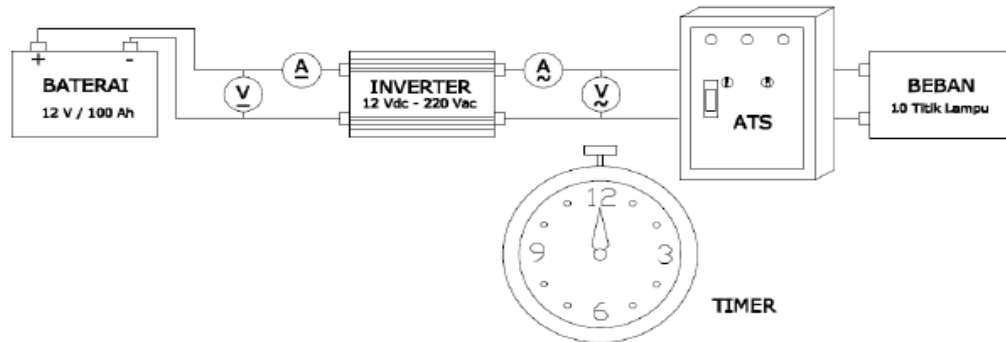
Setelah mendapatkan nilai (P_{in}) dan (P_{out}) selanjutnya dapat dihitung besar efisiensi inverter.

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100 \dots\dots\dots(6)$$

$$\eta \text{ rata - rata} = \frac{\sum \eta \text{ tiap beban}}{n \text{ beban}} \dots\dots\dots(7)$$

2.5 Pengujian baterai

Pengujian baterai, (Khusnul Hidayat* , dkk.,2021), dilakukan untuk mengetahui waktu daya tahan baterai dilakukan dengan cara membiarkan beban berupa *on* hingga *off* dengan sendirinya.



Gambar 6. Rangkaian pengujian baterai

Secara teoritis waktu daya tahan baterai dapat dihitung dengan persamaan:

$$\text{Daya Baterai} = \text{Volt} \times \text{Kapasitas Ah} \quad (8.)$$

$$\text{Daya Tahan} = \frac{\text{Daya Baterai} \times 60}{|\text{Daya Input Inverter}|} \quad (9.)$$

Sedangkan perhitungan persentase *error* dapat dicari menggunakan persamaan:

$$\% \text{ error} = \frac{(\text{pengujian-teoritis})}{\text{teoritis}} \times 100 \% \quad (10)$$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Pengujian ATS

3.1.1 Mode otomatis

Data hasil pengujian ATS memperlihatkan, bahwa ATS berfungsi dengan baik pada operasi otomatis seperti diperlihatkan pada table 1. Komponen rangkaian daya maupun kontrol ATS bekerja sesuai fungsinya. Jadi dapat disimpulkan *wiring* telah sesuai dengan gambar rancangan yang dibuat.

Tabel 1. Pengujian ATS mode otomatis

Langkah	MC PLN	MC PV	Inverter	Lampu Merah + Buzzer	Lampu Kuning	Lampu 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

Sistem Rangkaian *Automatic Transfer Switch* Sumber Listrik PLN dan PLTS untuk Membackup Beban 350 Watt

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.

3.1.2 Mode manual

Tabel 2. pengujian ATS mode manual

Langkah	MC PLN	MC PV	Inverter	Lampu Merah + Buzzer	Lampu Kuning	Lampu 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.

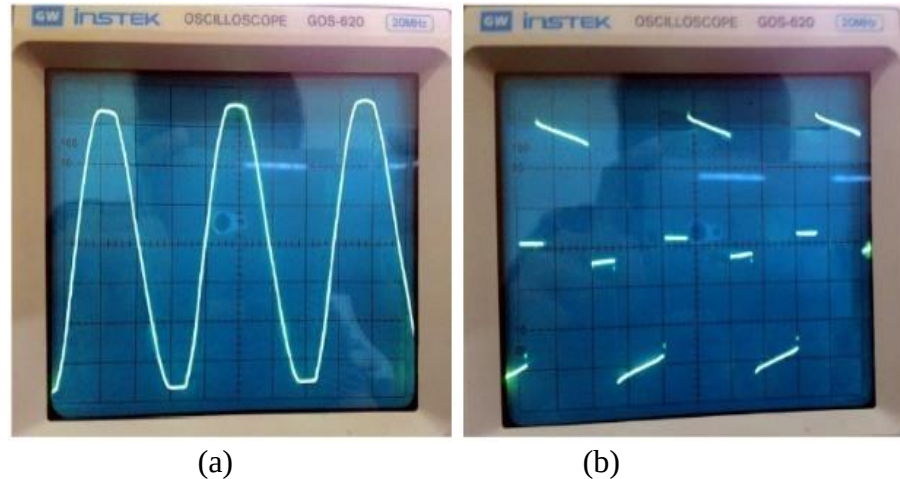
Langkah 5. Setelah proses *starting* inverter.

Pengujian ATS menunjukkan, bahwa ATS berfungsi dengan baik pada operasi manual. Komponen rangkaian daya maupun kontrol ATS juga dapat bekerja sesuai dengan fungsinya. *Wirring* 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.

3.2 Pengujian 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 Gambar 7a dan 7b. terlihat pada 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.

Sistem Rangkaian *Automatic Transfer Switch* Sumber Listrik PLN dan PLTS untuk Membackup Beban 350 Watt



Gambar 7. Bentuk gelombang (a) sumber PLN dan (b) sumber inverter

Tabel 3. Pengukuran (V, f sumber PLN dan inverter)

Sumber	Tegangan (Volt AC)			Frekuensi (Hz)	
	Multimeter	Oscilloscope V_P	V_{Eff}	Multimeter	Oscilloscope
PLN	228	321	227	50,78	50,63
Inverter	221	312	221	51,36	51,28

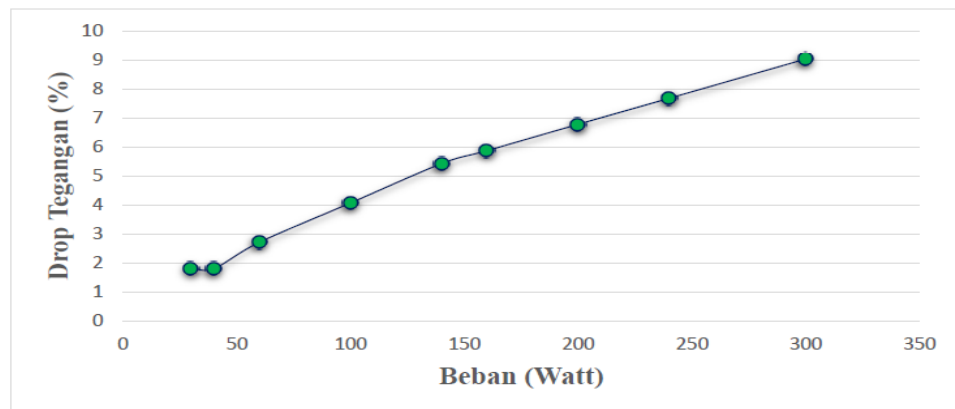
Terlihat pada table 3, jika dilihat dari bentuk gelombang sumber PLN terlihat puncak gelombang sebesar 3,5 Div dengan satu siklus gelombang (satu periode) sebesar 3,95 Div. Menggunakan Pers. (1), diperoleh nilai tegangan puncak sebesar 321 Volt AC. Setelah memperoleh nilai tegangan puncak, dapat dihitung nilai tegangan efektif menggunakan Pers. (2) dan didapatkan hasil sebesar 227 Volt AC. Kemudian menggunakan Pers. (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. (1), diperoleh nilai tegangan puncak sebesar 312 Volt AC. Setelah memperoleh nilai tegangan puncak, dapat dihitung nilai tegangan efektif menggunakan Pers. (2) dan didapatkan sebesar 221 Volt AC. Kemudian menggunakan Pers. (3) diperoleh nilai frekuensi sebesar 51,28 Hz.

Tabel 4. Pengujian Frekuensi inverter

No	Beban (Watt)	Input inverter (DC)		Output inverter (AC)			Frek. (Hz)	(% Drop tegangan)
		V_{in}	I_{in}	V_{in} (beban)	V_{out} (berbeban)	I_{out}		
1	Tanpa beban	13,24	0,52	221	-	-	51,36	-
2	Solder 30w	13,22	2,55	221	217	0,10	51,36	1,80
3	Lampu pijar 40w	13,22	4,00	221	217	0,16	51,36	1,80

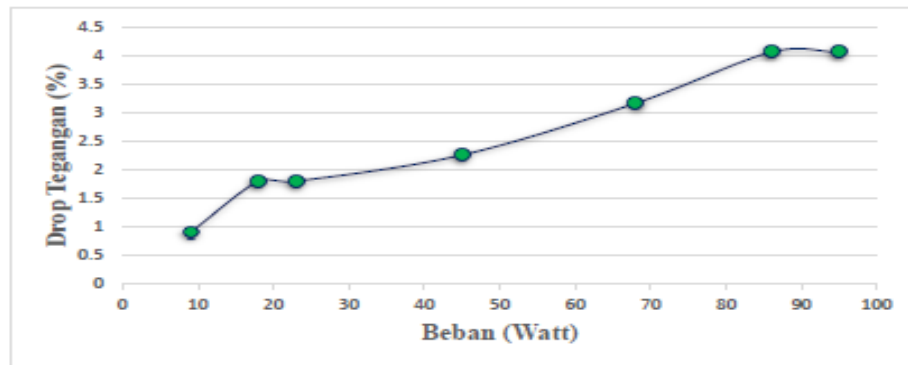
Sistem Rangkaian *Automatic Transfer Switch* Sumber Listrik PLN dan PLTS
untuk Membackup Beban 350 Watt

No	Beban (Watt)	Input inverter (DC)		Output inverter (AC)			Frek. (Hz)	(%) Drop tegangan
		V_{in}	I_{in}	V_{in} (beban)	V_{out} (berbeban)	I_{out}		
4	Lampu pijar 60w	13,21	5,77	221	215	0,2 5	51,36	2,71
5	Lampu pijar 100w	13,19	9,40	221	212	0,4 3	51,36	4,07
6	Lampu pijar 140w	13,17	12,84	221	209	0,6 1	51,36	5,43
7	Lampu pijar 160w	13,16	14,81	221	208	0,7 1	51,36	5,88
8	Lampu pijar 200w	13,15	18,10	221	206	0,8 8	51,36	6,79
9	Lampu pijar 240w	13,13	22,72	221	204	1,0 8	51,36	7,69
10	Setrika 300w	13,10	30,39	221	201	1,3 0	51,36	9,05



Gambar 8. Grafik *drop* tegangan inverter beban resistif

Dari table 4 dalam pengujian inverter dan gambar 8. grafik nilai *drop* tegangan inverter untuk beban resistif, 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 9. Grafik *drop* tegangan inverter beban LHE

Dari grafik nilai *drop* tegangan inverter untuk beban LHE gambar 9. 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%.

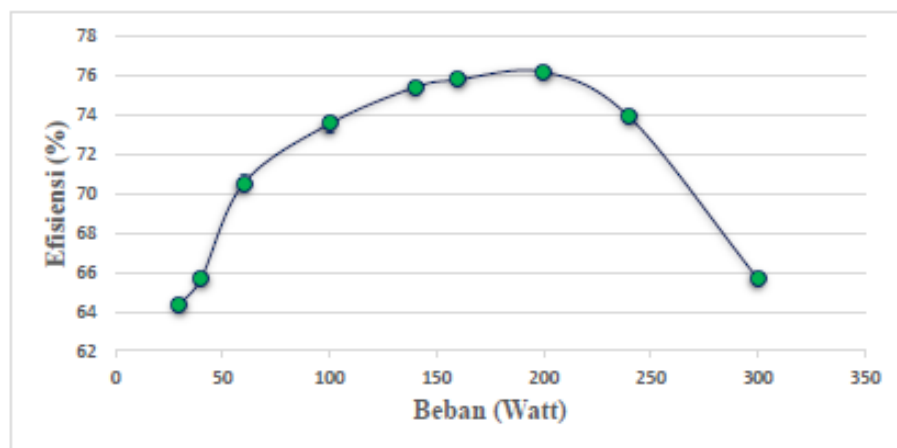
Kedua grafik gambar 8 dan gambar 9, memiliki karakteristik yang relatif sama, besar nilai *drop* tegangan berbanding sejajar dengan besar daya beban. *Drop* tegangan diakibatkan karena semakin besar daya yang dibebankan, semakin besar arus yang mengalir. Arus yang besar tentu berpengaruh terhadap rugi 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.

Tabel 5. Pengujian efisiensi inverter

No	Beban (Watt)	Input inverter	Output inverter	Efisiensi (%)
		(DC) P_{in} (VA)	(AC) P_{out} (VA)	
1	Tanpa Beban	6,88	-	-
2	Solder 30w	33,71	21,70	64,37
3	Lampu pijar 40w	52,88	34,72	65,66
4	Lampu pijar 60w	76,22	53,75	70,52
5	Lampu pijar 100w	123,98	91,16	73,53
6	Lampu pijar 140w	169,10	127,49	75,39
7	Lampu pijar 160w	194,90	147,68	75,77

Sistem Rangkaian *Automatic Transfer Switch* Sumber Listrik PLN dan PLTS untuk Membackup Beban 350 Watt

No	Beban (Watt)	Input inverter (DC) P_{in} (VA)	Output inverter (AC) P_{out} (VA)	Efisiensi (%)
8	Lampu pijar 200w	238,01	181,28	76,16
9	Lampu pijar 240w	298,31	220,32	73,86
10	Setrika 300w	398,10	261,30	65,64



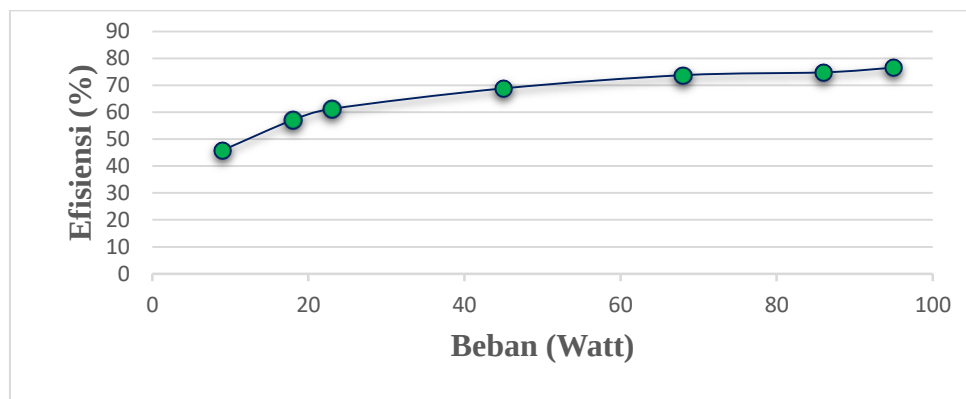
Gambar 10. Grafik efisiensi inverter beban resistif

Dari grafik gambar 10. Diperoleh efisiensi inverter beban resistif, diperoleh nilai efisiensi terendah sebesar 64,37% pada saat dibebani solder dengan daya 30 Watt. Saat daya ditambahkan sebesar 40 Watt, nilai efisiensi juga turut naik menjadi 65,66%. Begitu juga dengan beban dengan daya lebih besar (60, 100, 140, dan 160 Watt), nilai efisiensi juga semakin naik sampai pada nilai tertinggi sebesar 76,16% saat dibebani lampu dengan daya sebesar 200 Watt. Kemudian grafik akan mulai turun hingga pada saat dibebani setrika listrik dengan daya 300 Watt diperoleh nilai efisiensi sebesar 65,64%.

Tabel 6. Pengujian efisiensi inverter beban LHE

No	Beban (Watt)	Input inverter (DC) P_{in} (VA)	Output inverter (AC) P_{out} (VA)	Efisiensi (%)
1	Tanpa Beban	6,88	-	-
2	LHE 9w	14,30	6,57	45,94
3	LHE 18w	22,77	13,02	57,18
4	LHE 23w	28,33	17,36	61,28
5	LHE 45w	53,32	36,72	68,87
6	LHE 68w	78,33	57,78	73,76
7	LHE 86w	96,36	72,08	74,80
8	LHE 95w	108,03	82,68	76,53

No	Beban (Watt)	Input inverter	Output inverter	Efisiensi (%)
		(DC) P_{in} (VA)	(AC) P_{out} (VA)	
9	Laptop 48w	64,38	46,86	72,79
10	Kipas Angin 35w	64,91	36,04	55,52



Gambar 11. Grafik efisiensi inverter beban LHE

Dari grafik pengujian inverter beban LHE (Gambar 11) diperoleh nilai efisiensi terendah sebesar 45,94% pada saat dibebani lampu dengan daya 9 Watt. Saat daya ditambahkan sebesar 18 Watt, nilai efisiensi juga naik menjadi 57,18%. Begitu juga dengan beban dengan daya lebih besar (23, 45, 68, dan 86 Watt), nilai efisiensi juga akan turut naik sampai pada nilai tertinggi sebesar 76,53% saat dibebani lampu dengan daya 95 Watt.

Kedua gambar grafik (Gambar 10 dan Gambar 11) memiliki karakteristik bentuk grafik yang relatif sama, yaitu nilai efisiensi akan naik seiring dengan ditambahnya nilai daya pada beban. Hingga batas daya tertentu maka akan diperoleh nilai efisiensi maksimal. Selanjutnya jika daya beban terus ditambah, maka grafik akan mulai turun yang menandakan nilai efisiensi yang turun. Jadi dari data dapat dilihat bahwa efisiensi tertinggi sebesar 76,53% didapatkan dengan membebani inverter dengan LHE sebesar 95 Watt. Sedangkan untuk hasil terendah sebesar 45,94% didapatkan dengan membebani inverter dengan LHE sebesar 9 Watt.

Saat inverter dibebani dengan daya yang 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. Sedangkan pada saat dibebani kipas angin (beban induktif) juga hanya diperoleh efisiensi sebesar 55,52%. Nilai efisiensi 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).

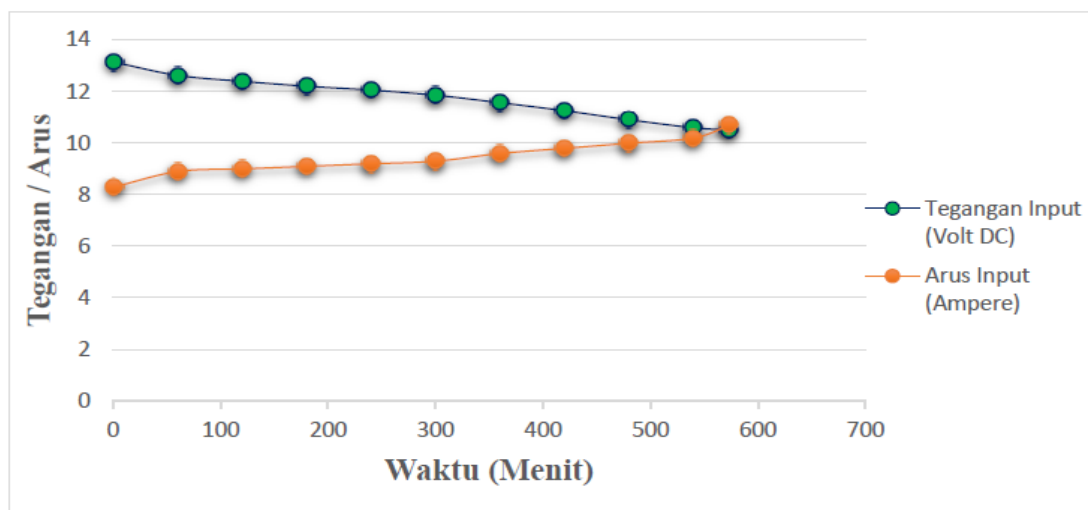
Efisiensi inverter tidak dapat mencapai angka sempurna sebesar 100%. Hal ini disebabkan bahwa terdapat rugi-rugi pada komponen dan bagian-bagian yang dilewati arus listrik. Selain untuk mengaktifkan setiap komponen yang terdapat pada inverter, energi yang hilang (*losses*) tersebut juga berubah menjadi energi panas, sehingga efisiensi inverter hanya dapat mendekati angka 100%. Dari total persentase efisiensi inverter pada setiap pembebanan, dapat dicari nilai rata-rata efisiensi menggunakan Persamaan 3.9 sehingga dari total keseluruhan pengujian efisiensi tiap beban diperoleh nilai efisiensi inverter sebesar 68,42%.

3.2 Pengujian Tegangan Output Baterai

Terlihat pada tabel 7 dan gambar 12 pengujian tegangan output baterai memperlihatkan grafik hubungan antara tegangan dan arus *input* inverter, pada kondisi awal dimana baterai masih dalam keadaan penuh dengan tegangan 13,71 volt, saat tanpa beban.

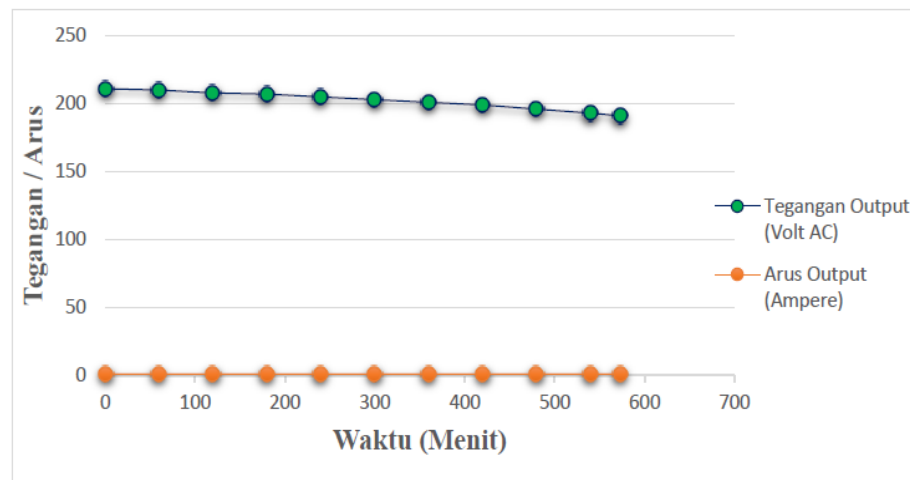
Tabel 7. Pengujian tegangan *output* baterai

No	Waktu (menit)	Input inverter (DC)			Output inverter (AC)			Frek. (Hz)
		Tegangan (Volt)	Arus (Amp.)	Daya (VA)	Tegangan (Volt)	Arus (Amp.)	Daya (VA)	
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	-	-	-	-	-	-



Gambar 12. Grafik hubungan tegangan dan arus pada *input* inverter

Kemudian pada saat dibebani sebesar(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 13. Grafik hubungan tegangan dan arus pada *output* inverter

Pada tabel 7 dan gambar 13, memperlihatkan sisi *output* inverter 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.

4. KESIMPULAN

Hasil pengukuran dari pengambilan data serta analisis keseluruhan yang telah dilakukan, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Pengujian rangkaian ATS menggunakan suplai dari dua sumber listrik bertegangan AC, dengan sumber utama PLN (220 Volt AC frekuensi 50Hz) dan sumber kedua menggunakan PLTS, menggunakan Inverter (12 Volt DC to 220 Volt AC). Kedua sumber ini mampu bekerja secara bergantian, saat PLN mengalami pemadaman, maka PLTS-lah yang berperan mensuplai beban. Saat PLN hidup kembali, PLTS otomatis terputus dan kembali ke sumber PLN.
2. Efisiensi inverter sangatlah bergantung pada jenis beban yang terpasang. Dari hasil pengujian, diperoleh nilai rata-rata efisiensi sebesar 68,42%. Namun untuk

beban lampu LHE berdaya total 117 Watt, inverter ini memiliki nilai efisiensi yang cukup baik yaitu sebesar 89%.

3. Total nilai daya *input* inverter rata-rata 122,41 VA. Sedangkan pada bagian *output* sebesar 108,95 VA, dengan nilai efisiensi sebesar 89%. Sedangkan tegangan *input* sebesar 10,52 -13,71 Volt DC Volt DC dan tegangan *output* sebesar 191-211 Volt AC. Adapun baterai yang digunakan kapasitasnya 100 Ah memiliki kapasitas daya total sebesar 1200 Wh. Pengujian dilakukan selama 588 menit (9 jam 48 menit), namun hanya dapat mensuplai selama 552 menit (9 jam 12 menit). Maka persentase *error* sebesar 6,12%.

DAFTAR PUSTAKA

- Hamdi, S., 2014, Mengenal Lama Penyinaran Matahari Sebagai Salah Satu Parameter Klimatologi, Bandung: Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional.
- Khusnul Hidayat* , dkk.,2021, Strategi Pengisian Baterai pada Sistem Panel Surya *Standalone* Berbasis Kontrol PI *Multi-Loop*, E-ISSN 2549 – 1571, Vol. 13 No. 1,Jurnal Teknik Elektro, DOI: <https://doi.org/10.15294/jte.v13i1.29765>, pp25-32
- Muhammad Suyanto., 2013. Aplikasi Sistem Inverter 1 Fasa Dengan Kapasitas Beban 1200 Watt. Jurnal Teknologi Technoscientia 6(1). doi: <https://doi.org/10.34151/technoscientia.v6i1>, pp103-109
- Muhammad Suyanto, dkk.,2017, Micro-Solar Power Plant with Capacity of 900 Watt for Power Supply of Rural Village, ISSN: 2278-0181, Vol. 6 Issue 03, March-2017, DOI : 10.17577/IJERTV6IS030147,<https://www.ijert.org/micro-solar-power-plant-with-capacity-of-900-watt-for-power-supply-of-rural-village-information-system>.
- Purwantoro, S., 2014, Studi Tentang Pelayanan PT.PLN (Pelayanan Listrik Nasional) Tarakan Terhadap Pelanggan Di Kota Tarakan, Kalimantan Timur: Universitas Mulawarman.
- Stoyanov, Valentin B., dkk., 2017 “Sistem Pembangkit Listrik Alternative Menggunakan Panel Surya Untuk Penyiraman Kebun Salak Di Musim Kemarau ISBN : 979-26-0280-1.” *Journal of Aquaculture Management and Technology* 3(1):50–58.
- Suryawan, M., 2012, Perakitan Dan Pengujian Panel Automatic Transfer Switch (ATS) – Automatic Main Failure (AMF) Produksi PT. Berkas Manunggal Jaya, Semarang: Universitas Diponegoro.