

# APLIKASI KONVERTER JENIS *PUSH-PULL* DENGAN RELAI PEMUTUS OTOMATIS SEBAGAI PENGISI AKUMULATOR

Agustinus Danu N<sup>\*)</sup>, Mochammad Facta, and Agung Nugroho

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro  
Jl. Prof. Sudharto, Tembalang, Semarang, Indonesia

<sup>\*)</sup>*Email : Nalendradanu@gmail.com*

## Abstrak

Akumulator merupakan sumber energi alternatif yang penting dalam media penyimpanan energi. Seringkali akumulator digunakan sebagai energi cadangan karena sumber energi tersebut tidak dapat mensuplai daya secara terus menerus. Oleh karena itu dibutuhkan alat pengisi akumulator dengan cara mengaliri arus listrik. Pengisian dihentikan ketika tegangan akumulator telah yang ditandai dengan tercapainya tegangan maksimum pada tegangan terminal akumulator. Apabila akumulator telah mencapai tegangan maksimumnya tetapi pengisian tetap dilakukan maka terjadi pemanasan yang akan memperpendek umurnya. Pada umumnya, alat pengisi akumulator menggunakan penyearah dengan center tap, akan tetapi tegangan keluaran yang dihasilkan tidak sesuai dengan tegangan pengisian akumulator. Pada penelitian ini, rangkaian push pull converter dengan kontrol umpan balik tegangan berbasis IC SG3525A diusulkan untuk ditelaah lebih lanjut. Selain itu, rangkaian konverter dilengkapi dengan relai pemutus otomatis untuk menghindari overcharge. Hasil pada penelitian ini, arus pengisian ketika akumulator dalam kondisi state of charge 10% yaitu sebesar 0,25 ampere. Dengan kondisi ini maka waktu yang dibutuhkan akumulator hingga penuh yaitu selama 41 jam. Pada pengujian dari kondisi tanpa beban ke kondisi berbeban, blok kontrol mengeluarkan respon berupa perubahan duty cycle dari setting awal 31,06 % ke 47,73 %, sehingga tegangan pengisian tetap lebih besar dari tegangan terminal akumulator.

*Kata kunci: Akumulator, konverter dorong tarik, relai, IC SG3525A*

## Abstract

Accumulator is an alternative energy source and it is important for energy storage. The accumulator is often to be employed as reverse energy due to the electrical energy for accumulator can't flow endlessly. There is a need for an accumulator charger, charging process must be stopped as the voltage on accumulator reach the maximum threshold. If an accumulator reaches its maximum voltage and it keeps being charged, the accumulator temperature will increase which can affect battery life. In general, accumulator charger uses transformer with center tapped rectifier, but its output voltage is not suitable for charge voltage. At this research, push pull converter circuit with voltage control feedback bases on IC SG3525A was proposed. An additional auto cut off relay to avoid overcharge was put into circuit. The experiment result show that the charging current at state of charge 10 % is 0,25 ampere. At this condition, accumulator needs 41 hours for fully charged. Testing carried out from no load to loaded showed that there is duty cycle change from 31,06 % to 47,73 %, and it causes charge voltage become bigger than accumulator voltage.

*Keyword : Accumulator, Push pull converter, relay, IC SG3525A*

## 1. Pendahuluan

Sumber energi terbarukan merupakan energi yang tak akan habis, bersih, dan dapat digunakan secara desentralisasi. Selain itu juga, energi terbarukan juga memiliki keuntungan, yaitu secara cuma-cuma dapat diambil dari alam dan dapat diintergrasikan dengan jenis-jenis sumber energi terbarukan lain. Salah satu masalah yang timbul dengan penggunaan energi terbarukan adalah media untuk menyimpan energi tersebut karena tidak

terus menerus energi dari sumber terbarukan energi saat malam hari sehingga dibutuhkan media penyimpanan energi yang menyimpan energi yang dihasilkan selama siang hari dan dapat menggunakan pada malam hari.

Salah satu media penyimpanan energi adalah baterai. Penyimpanan dan konversi energi akan menjadi sangat terkait dengan perkembangan energi terbarukan. Penggunaan baterai sebagai media penyimpanan energi

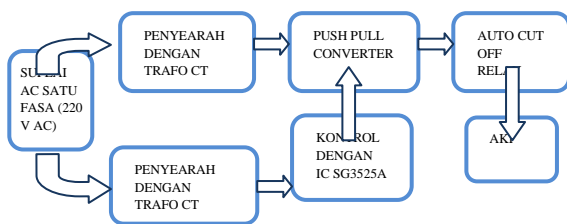
diharapkan dapat menjadi teknologi yang sangat penting dalam perkembangan energi terbarukan.

Energi listrik yang ada didalam baterai tidak bisa dipakai secara terus menerus dikarenakan baterai tersebut memiliki kapasitas. Oleh karena itu dibutuhkan alat pengisi baterai untuk mengisi muatan baterai hingga penuh. Dipasaran alat pengisi baterai yang banyak dijual hanya mampu untuk mengisi satu jenis baterai saja, semisal baterai 12 volt saja atau 6 volt saja. Selain itu kebanyakan alat tersebut tidak memiliki indikator sehingga apabila proses pengisian sudah selesai kita tidak dapat mengetahuinya. Tentu saja hal ini akan mengakibatkan kerugian baik pada penyedia jasa pengisian baterai maupun konsumen.

Pada prinsipnya pengisian muatan baterai adalah dengan cara mengaliri baterai dengan arus listrik secara terus menerus. Pengisian dihentikan ketika tegangan baterai telah sampai pada tegangan maksimumnya (muatan penuh). Jika baterai telah mencapai tegangan maksimumnya tetapi tetap dilakukan pengisian maka akan menimbulkan kerugian yaitu pemborosan energi listrik serta akan terjadi pemanasan berlebihan pada baterai yang akan memperpendek umurnya. Oleh karena itu perlu dirancang pemutus relay secara otomatis ketika pengisian baterai sudah penuh.

## 2. Metode

Perancangan pada penelitian ini tersusun dari dua blok utama. Blok pertama adalah blok rangkaian kontrol pemucuan yang terdiri atas suplai AC, rangkaian penyearah DC, dan rangkaian pemucuan IC SG3525A. Blok yang kedua adalah blok rangkaian daya yang terdiri atas suplai AC, penyearah DC, rangkaian konverter, rangkaian *auto cut off relay*, dan akumulator. Gambar 1 adalah diagram blok perancangan secara keseluruhan.



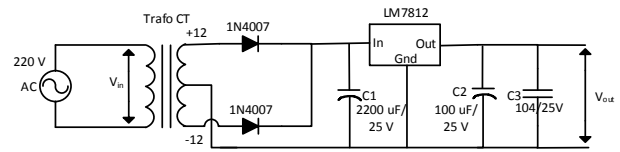
Gambar 1 Blok diagram perancangan alat

### 2.1 Perancangan Blok Rangkaian Kontrol Pemucuan

#### 2.1.1 Rangkaian Penyearah Gelombang Penuh Satu Fasa dengan Trafo Center Tap

Rangkaian penyearah ini berguna untuk mensuplai tegangan masukan IC SG3525A sebesar 12 Vdc. Gambar

2 adalah gambar rangkaian penyearah gelombang penuh satu fasa dengan trafo *center tap*

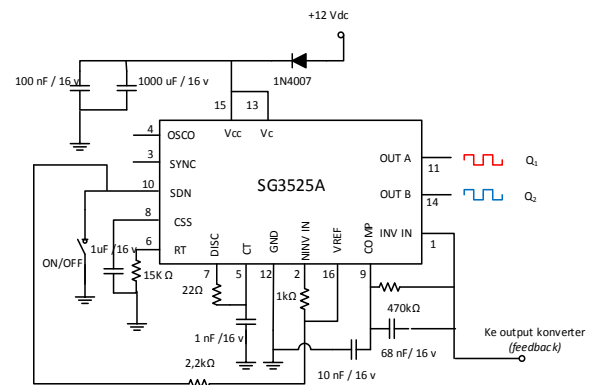


Gambar 2 Rangkaian penyearah gelombang penuh satu fasa dengan trafo *center tap*

Rangkaian ini menggunakan sumber 12 Vac yang disearahkan menggunakan 2 dioda 1N4007 menjadi 16,97 V. Tegangan tersebut kemudian difilter menggunakan kapasitor 2200 uF/25 V dan 100 uF/25V. Untuk menstabilkan menjadi 15 Vdc digunakan regulator LM7812.

#### 2.1.2 Rangkaian kontrol ICSG3525A

Rangkaian kontrol ini berguna untuk memicu gate pada MOSFET konverter. Gambar 3 adalah perancangan rangkaian kontrol IC SG3525A.



Gambar 3 Rangkaian kontrol IC SG3525A

Frekuensi pada IC ini ditentukan oleh nilai kapasitor dan resistor. Kapasitor ( $C_T$ ) terhubung diantara pin 5 dan ground, sedangkan resistor terhubung antara pin 6 dan ground. Resistor antara pin 5 dan 7 ( $R_D$ ) menentukan *deadtime*. Untuk mencari frekuensi digunakan persamaan berikut:

$$f = \frac{1}{CT (0.7 R_T + 3R_D)}$$

Nilai resistansi yang kecil  $R_D$  (antara pin 5 dan 7) akan memberikan *deadtime* yang kecil. Dengan nilai  $R_D = 22 \Omega$ ,  $C_T = 1nF$  dan  $R_T = 15 k\Omega$ , maka frekuensi osilator menjadi

$$f = \frac{1}{10^{-9} [(0.7 \times 15000) + (3 \times 22)]}$$

Jadi frekuensi osilator menjadi 94,6 kHz sedangkan frekuensi *switching* nya adalah  $0,5 \times 94,6 \text{ kHz} = 47,3 \text{ kHz}$

## 2.2 Perancangan Blok Rangkaian Daya

### 2.2.1 Sumber AC 1 Fasa

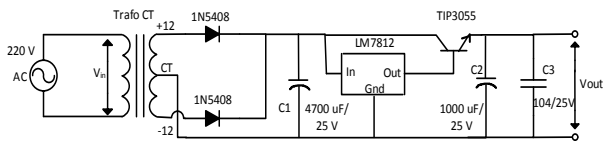
Suplai tegangan yang digunakan adalah tegangan AC 1 fasa yang berasal dari jala-jala PLN dengan tegangan 220 Vac dan frekuensi 50 Hz. Tegangan ini kemudian diturunkan menjadi 16,97Vac

### 2.2.2 Rangkaian Penyearah Gelombang Penuh Satu Fasa Tak Terkontrol dengan Trafo Center Tap

Suplai tegangan masukan konverter frekuensi tinggi didapat dengan menurunkan tegangan dengan sebuah trafo penurun tegangan, lalu diberi 2 buah diode 1N5408

### 2.4.2 Perancangan Penyearah Rangkaian Daya

Pada penyearah rangkaian daya digunakan dioda *fullbridge* yang diberi tapis kapasitor. Rangkaian ini ditunjukkan oleh Gambar 4

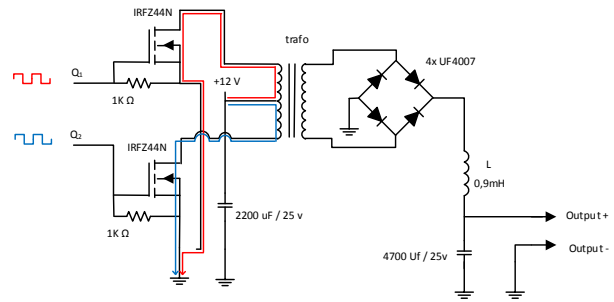


**Gambar 4 Rangkaian penyearah gelombang penuh satu fasa tak terkontrol dengan trafo center tap**

Penyearah ini menggunakan masukan 12 Vac yang kemudian disearahkan menggunakan 2 dioda 1N5408. Tegangan tersebut kemudian difilter dengan menggunakan kapasitor 4700 uF / 25V dan 1000 uF / 25 V untuk menghilangkan *ripple* sehingga menjadi DC murni.

### 2.2.1 Push-Pull Converter

*Push pull converter* merupakan gabungan dari dua buah *one switch forward converter* dengan masing masing saklar primer  $S_1$  dan  $S_2$  yang bekerja secara bergantian dengan perbedaan fasa  $180^\circ$  dengan rasio *duty* D yang sama, maka dari itu rasio *duty cycle* harus lebih kecil dari 0,5. Ketika  $S_1$  ON, dioda  $D_1$  akan aktif, dan menghantarkan arus melalui inductor L ke beban C dan  $R_L$ . Pada setengah periode berikutnya  $S_1$  OFF,  $S_2$  ON, sehingga dioda  $D_2$  ON dengan menghantarkan arus ke beban C dan  $R_L$  melalui inductor L



**Gambar 5 Rangkaian Push-Pull Converter**

Rincian komponen yang digunakan dalam blok ini adalah sebagai berikut

#### 1) Dioda

Dioda yang dipakai dalam penelitian ini adalah sebagai penyearah dengan menggunakan *full bridge*. Dioda yang digunakan untuk melakukan penyearahan harus menggunakan dioda *fast recovery rectifier*, mengingat tegangan keluaran memiliki frekuensi 46 kHz. Melihat kondisi diatas, maka dipilih dioda UF4007 sebagai komponen penyearah karena dioda ini memiliki kapasitas tegangan 1000 Volt dan arus 5 A, sehingga cukup untuk menyearahkan tegangan sebesar 15,7 V. Berdasarkan datasheet diketahui *forward* dan *reverse time recovery* dioda ini adalah 75 ns.

#### 2) Induktor

Dalam rangkaian filter ini, induktor yang digunakan adalah induktor dengan menggunakan batang ferit dan kawat *litz* dengan tembaga dilapisi email yang digulung. Persamaan berikut adalah persamaan untuk menentukan nilai induktansinya.

$$L = \frac{(1 - 2D)R}{4f}$$

$$L = \frac{(1 - (2 \times 0,47))3000}{4 \times 47000}$$

$$L = 0,9 \text{ mH}$$

Dimana:

L = nilai induktansi

D = *duty cycle* maksimal (0,47%)

R = resistansi (3000 ohm)

f = frekuensi (47.000 Hz)

#### 3) Kapasitor

Penentuan nilai kapasitor yang tepat sangat penting karena jika terlalu kecil, maka tegangan keluaran *push pull converter* akan memiliki *ripple* atau riak tegangan yang besar sehingga mengurangi kualitas tegangan keluarannya. Nilai kapasitor dapat ditentukan berdasarkan persamaan.

$$C_{min} = \frac{(1-2D)V_0}{32V_r Lf^2}$$

$$C_{min} = \frac{(1-(2 \times 0,47)100)}{32 \times 1 \times 0,0009 (47000)^2}$$

$$C_{min} = 0,094 \text{ uF}$$

Dimana:

- C = nilai kapasitansi
- D = duty cycle maksimal (0,47%)
- L = 0,9 mH
- F = frekuensi (47.000 Hz)
- $V_r/V_0 = 1\%$

Nilai kapasitansi kapasitor sebesar 0,094 uF sulit ditemukan di pasaran, oleh karena itu digunakan nilai kapasitansi yang lebih besar. Maka dipilih nilai kapasitor yang lebih besar yaitu 4700 uF.

#### 4) Trafo

Untuk menghitung lilitan pada trafo digunakan perbandingan 1:N, dimana N adalah perbandingan pada sisi sekunder. Berikut adalah perhitungan perbandingan lilitan trafo

$$V_{out} = 2kN V_{in}$$

$$15 = 2 \times 0,47 \times N \times 11,4$$

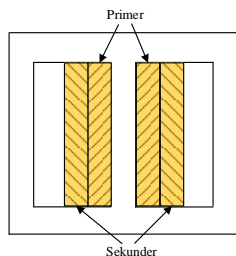
$$N = \frac{15}{10,7} = 1,4$$

Dimana :

- Vout : Tegangan keluaran konverter (15 V)
- K : duty cycle ( yang terukur maksimal 47 %)
- Vin : Tegangan masukan (yang terukur pada setelah penyearah sebesar 11,4 V )
- N : Perbandingan lilitan sisi sekunder

Pada hasil perhitungan menunjukkan bahwa perbandingan lilitan antara primer dan sekunder sebesar 1:1,4 ,sedangkan jumlah lilitan pada sisi primer trafo sebanyak 44 lilitan, jadi jumlah lilitan pada sisi sekunder sebesar  $1,4 \times 44 = 61,6 \approx 62$  lilitan

Gambar 6 menunjukkan ilustrasi perancangan trafo

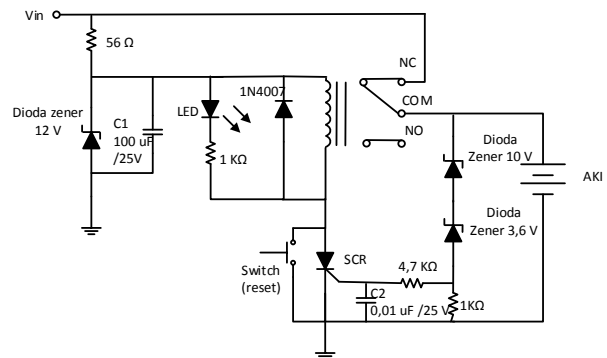


Gambar 6 Ilustrasi perancangan trafo dengan center tap

#### 2.2.4 Auto Cut Off Relay

Auto cut off relay merupakan relay pemutus secara otomatis ketika tegangan mencapai tegangan tertentu. Rangkaian ini terdiri dari relay, SCR, dioda zener, switch, kapasitor dan resistor.

Prinsip kerja dari rangkaian ini adalah dengan menggunakan relay 12 V sebagai pemutusnya. Sebelum relay ini dalam keadaan *normally open* maka dibutuhkan SCR untuk agar tidak ada arus listrik yang mengalir dari kumparan coil ke ground sebelum terjadi adanya pemicuan dari SCR. Ketika SCR diberi pemicuan, maka akan terjadi bias maju pada SCR sehingga arus listrik mengalir ke ground yang menyebabkan relay menjadi *normally open* dan LED akan menyala. Fungsi switch pada Gambar 7 adalah untuk mereset agar relay kembali dalam keadaan *normally closed*.



Gambar 7 Rangkaian auto cut off relay

Pengaturan batas maksimum tegangan diatur dengan menggunakan dioda zener. Dioda zener dipasang paralel dengan akumulator untuk memicu SCR ketika dioda zener melampaui tegangan tembusnya. Maka dari itu pada Gambar 7 diperlukan 2 dioda zener yang dipasang seri ( 10 V dan 3.6 V). Pemicuan SCR itu sendiri berasal dari dioda zener yang mana apabila tegangan pada akumulator melampaui 13.6 V maka akan terjadi *reverse bias* (bias balik) sehingga arus akan mengalir ke SCR.

#### 2.2.5 Akumulator

Akumulator bisa dikatakan penuh ketika mencapai tegangan 13,8 – 14,5 volt (tergantung dari jenis baterai dan kebutuhan sistem), berikut adalah tabel *state of charge* (kondisi pengisian akumulator).

Tabel 1 Battery state of charge (kondisi tegangan sesuai kapasitas baterai)

State-of-Charge (%)	Specific Gravity	Tegangan Terbuka $V_{oc}$ (V)	Tegangan Saat Charging ( $V_b$ )
100	1.265	12.86	13.8 - 14.7
90	1.250	12.60	-
80	1.235	12.52	-
70	1.225	12.44	-
60	1.210	12.36	12.5 - 13.0
50	1.190	12.28	-
40	1.175	12.20	11.4 - 11.7
30	1.160	12.10	-
20	1.145	12.00	11.1 - 11.2
10	1.130	11.85	< 11.0
0	1.120	11.70	-

Akumulator yang digunakan pada penelitian ini adalah aki basah jenis GS GM5Z-3B, 12 V dan kapasitas 5 Ah. Aki ini terdiri dari 6 sel. Satu sel nya memiliki 7 pelat dan setiap selnya memiliki tegangan 2 V. Aki ini memiliki panjang 120 mm, lebar 60 mm, dan tinggi 130 mm. Aki ini dipilih karena sudah umum digunakan oleh masyarakat dan banyak beredar dipasaran. Aki basah ini juga lebih tahan pada suhu yang tinggi dibandingkan dengan aki kering yang menggunakan gel, serta perawatannya yang mudah dengan memeriksa ketinggian air aki secara berkala.



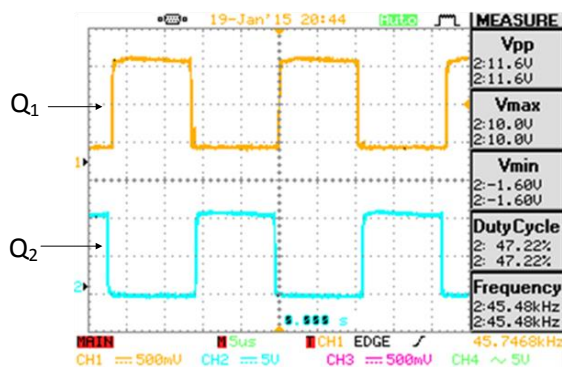
Gambar 8 Akumulator basah GS GM5Z-3B (12V/5Ah)

### 3. Hasil dan analisa

Pengujian yang dilakukan meliputi pengujian rangkaian penyusun perangkat keras, juga pengujian terhadap sistem keseluruhan.

#### 3.1 Pengujian Gelombang Rangkaian Kontrol Pemicuan

Gelombang keluaran hasil pengujian rangkaian kontrol IC SG3525A dapat dilihat pada Gambar 9.

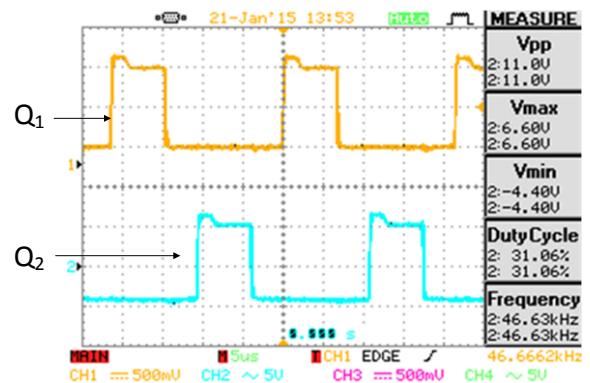


Gambar 9 Gelombang keluaran IC SG3525A

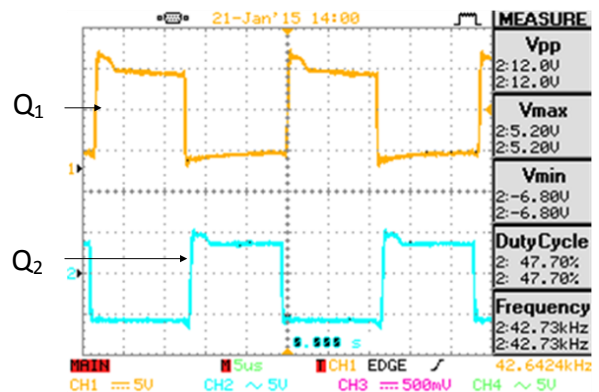
Terlihat pada Gambar 9 nilai frekuensi dan amplitudo gelombang keluaran IC SG3525A adalah 45,48 kHz dan 10 Volt. Terjadi penurunan amplitudo sebesar 2 volt pada gelombang keluaran IC SG3525A. Gelombang kotak ini memiliki *duty cycle* sebesar 47,22 %. Sesuai dengan yang tertera pada *datasheet*, IC SG3525A memiliki maksimum *duty cycle* maksimum yang dapat dihasilkan sebesar 50 %.

#### 3.2 Respon Output Blok Kontrol terhadap Perubahan Tegangan Feedback

Rangkaian *push pull converter* pada penelitian ini dirancang untuk dapat dioperasikan pada mode *closed loop*. Pada pin 1 dan pin 2 IC SG3525A merupakan input ke *error amplifier* atau komparator untuk membandingkan *inverting input* dan *non inverting input*. Ketika tegangan pada *inverting input* (pin 1) lebih besar daripada tegangan *non inverting input* (pin 2) maka *duty cycle* meningkat. Sedangkan apabila tegangan pada *non inverting input* (pin 2) lebih besar daripada tegangan *inverting input* (pin 1), *duty cycle* akan menurun.



Gambar 10 Bentuk gelombang sebelum keadaan berbeban



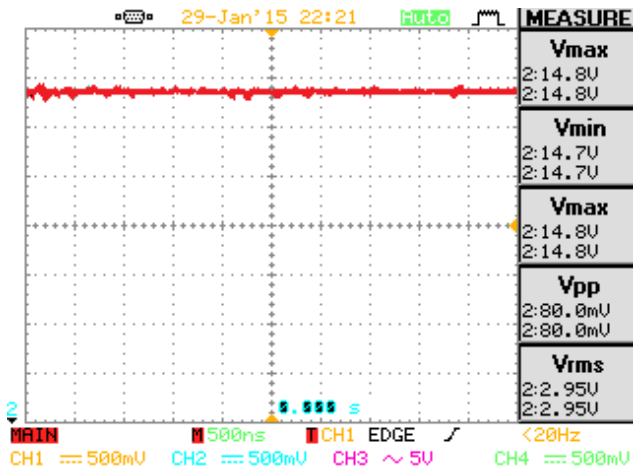
Gambar 11 Bentuk gelombang setelah dipasangkan beban

Pengujian respon *output* rangkaian kontrol terhadap perubahan tegangan *feedback* ditunjukkan dengan mengatur *duty cycle* sebelum tersambung dengan beban. Pada Gambar 10. merupakan gambar gelombang dengan *duty cycle* 31,06 % dalam kondisi tanpa beban yang diatur dengan menggunakan potensio, sedangkan Gambar 11 merupakan gambar gelombang ketika rangkaian keseluruhan disambung ke akumulator. Gambar gelombang menunjukkan bentuk sinyal PWM setelah *duty cycle* dinaikkan oleh IC SG3525A sebesar 47,70 %.

Sehingga hal ini dapat dikatakan bahwa respon rangkaian kontrol terhadap perubahan tegangan *feedback* telah sesuai dengan perancangan awal.

### 3.3 Pengujian Gelombang Rangkaian *Push-pull Converter*

Gelombang keluaran hasil pengujian ditunjukkan pada Gambar 12



Gambar 12 Gelombang keluaran rangkaian *push pull converter*

Pada Gambar 12 menunjukkan amplitude tegangan sebesar 14,8 V. Tegangan ini cukup untuk tegangan pengisian akumulator, ditambah dengan pengaturan *duty cycle* sehingga bisa mencapai tegangan 14V.

### 3.4 Pengujian Rangkaian *Auto Cut Off Relay*

Pengujian pada rangkaian ini dilakukan untuk mengetahui dan memastikan tegangan akan terputus ketika akumulator sudah terisi penuh agar tidak terjadi *over charge*. Pengujian ini menggunakan *power supply oltronix* yang dipasang pada sisi sumber. *Power supply* ini dapat diubah tegangannya dengan cara memutar potensio pada sisi tegangannya. Apabila potensio diputar ke kanan maka tegangannya akan semakin membesar. Sedangkan pada sisi output dipasangkan *multimeter* PC 100, untuk mengukur tegangannya sekaligus memastikan tegangan akan terputus ketika mencapai tegangan 14 V. Cara kerja pengujian ini dilakukan dari tegangan 0 volt lalu dinaikkan tegangan nya dan untuk setiap 1 volt di catat kondisi relaynya dalam keadaan *normally closed* atau *normally open*. Ketika relay dalam keadaan *normally open*, artinya tidak ada arus yang mengalir ke output.

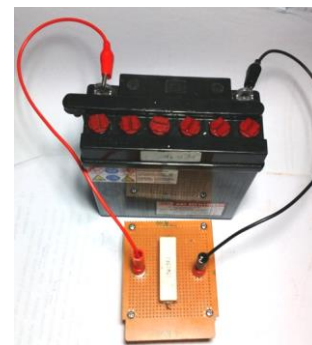
Pada Tabel 2 menunjukkan kondisi relay ketika menggunakan sumber dengan variabel tegangan tertentu.

Tabel 2 Pengujian kondisi relay terhadap variabel tegangan

No	V <sub>out</sub>	Kondisi Relay
1	1 Volt	Normally closed
2	2 Volt	Normally closed
3	3 Volt	Normally closed
4	4 Volt	Normally closed
5	5 Volt	Normally closed
6	6 Volt	Normally closed
7	7 Volt	Normally closed
8	8 Volt	Normally closed
9	9 Volt	Normally closed
10	10 Volt	Normally closed
11	11 Volt	Normally closed
12	12 Volt	Normally closed
13	13 Volt	Normally closed
14	14 Volt	Normally open

### 3.5 Pengujian Pengosongan Baterai

Pada pengujian pengosongan baterai ini dimaksudkan untuk mengetahui seberapa besar daya tahan energi listrik mampu disimpan oleh baterai. Pengujian ini dilakukan dengan memberikan beban pada sebesar 15 ohm, 15 watt. Arus pengosongan sebesar 0,2 kapasitas akumulator. Untuk baterai 5 Ah, maka arus pengosongan sebesar 1 A.



Gambar 13 Foto pengujian pengosongan baterai

Setelah melakukan pengujian *discharging* baterai maka didapatkan data-data sebagai berikut:

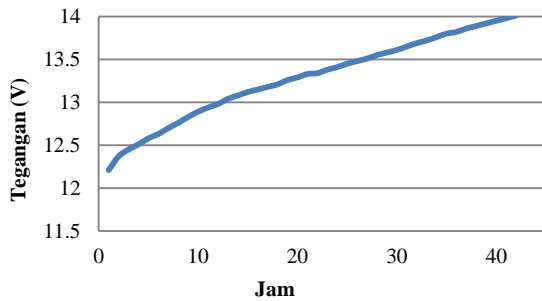
Tabel 3 Proses pengosongan baterai

No	Jam	Tegangan Baterai (V)	Arus (I)
1	11.00 (tanpa beban)	12,6	-
2	11.00 (berbeban)	12,18	0,86
3	12.00	11,84	0,84
4	13.00	11,66	0,83
5	14.00	11,05	0,84
6	Akhir (tanpa beban)	11,80	-

Pada Tabel 3 dapat dilihat kondisi tegangan akumulator sebelum dilakukan pengujian pengosongan akumulator, nilai SOC sebesar 90%. Nilai tegangan yang terukur pada voltmeter terlihat bahwa tegangan menurun seiring dengan berjalannya waktu pemakaian.

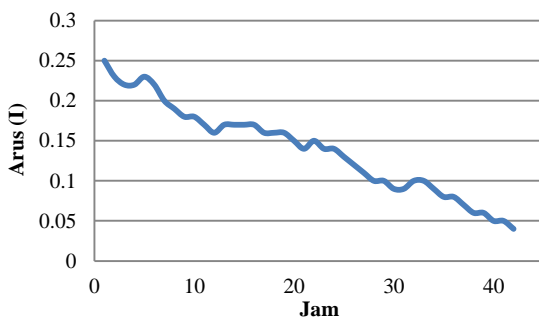
### 3.6 Pengujian Pengisian Baterai

Untuk pengujian ini yang dilakukan adalah pengujian *charging* (pengisian) baterai lead-acid 5A dengan spesifikasi tegangan *charge* 14 Volt. Keadaan baterai yang diisi pada kondisi SOC 10%. Indikator yang diukur pada pengujian ini adalah hubungan antara arus *charging*, tegangan baterai dan waktu pengisian pada baterai. Berikut ini merupakan grafik hasil pengujian *charging* baterai.



Gambar 14 Grafik tegangan baterai selama pengisian akumulator

Pada gambar 14 menunjukkan tegangan akan naik dari 12,21 V hingga mencapai tegangan 14V selama proses pengisian akumulator. Hal ini sudah sesuai dengan perancangan dimana akumulator penuh ketika mencapai tegangan 13,8 V – 14,7 V.



Gambar 15 Grafik arus pengisian baterai

Pada gambar 15 menunjukkan grafik arus pengisian akumulator dimana selama proses pengisian, arus akan turun secara perlahan sampai akumulator mencapai tegangan 14 V. Arus pengisian ini relatif kecil sehingga dibutuhkan waktu yang lama untuk mengisi akumulator, yaitu selama 41 jam.

### 3.7 Pengujian Efisiensi

Perhitungan efisiensi dapat dilakukan jika diketahui daya pada sisi input konverter, dan daya pada sisi output. Untuk itu dilakukan pengukuran pada kedua sisi tersebut. Pengukuran dilakukan saat baterai pada kondisi SOC 10%

Tabel 4 Perbandingan daya input dan output *push pull converter*

	Tegangan DC (V)	Arus (A)	Daya (W)
Masukan	12	0,35	4,2
Keluaran	12,21	0,25	3,05

Dengan mengetahui daya masukan dan daya keluaran, dapat dihitung nilai efisiensi dari alat ini.

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{3,05}{4,2} \times 100\%$$

$$\eta = 72,61\%$$

Berdasarkan perhitungan diatas, diketahui efisiensi alat ini ketika baterai dalam kondisi SOC 10%. Ketika dalam proses pengisian diketahui daya masukan pada rangkaian konverter adalah sebesar 4,2 watt, sedangkan pada keluarannya sebesar 3,05. Nilai efisiensi yang tidak mencapai 100% mengindikasikan bahwa pada rangkaian ini terdapat rugi daya. Rugi daya tersebut dapat disebabkan oleh rugi rugi akibat adanya resistansi dalam pada komponen elektronika yang digunakan.

## 4. Kesimpulan

1. Rangkaian pengisi akumulator dengan *push-pull converter* telah dirancang, dibuat, dan dapat bekerja untuk menghasilkan tegangan keluaran sebesar 14 V dengan tegangan *input* 12 V DC yang memiliki frekuensi tetap sebesar 45,48 kHz. Nilai efisiensi rangkaian *push pull converter* ketika akumulator dalam kondisi SOC 10% yaitu sebesar 72,61%.
2. Pada pengujian rangkaian *auto cut off relay*, relai akan *normally open* ketika tegangan keluaran mencapai 14 volt yang ditandai dengan menyalnya LED merah pada rangkaian.
3. Pada pengujian respon *output* blok kontrol terhadap perubahan tegangan *feedback* menunjukkan perubahan *duty cycle* dari *setting* awal 31,06% ke 47,73% saat kondisi sebelum berbeban ke kondisi berbeban.
4. Pada pengujian pengosongan (*discharging*) akumulator dengan menggunakan beban sebesar 15 ohm 15 watt, arus rata-rata pengosongan sebesar 0,84 ampere dan tegangan pada akumulator turun hingga SOC 10% dalam waktu 3 jam

5. Pada pengujian pengisian akumulator menunjukkan tegangan selama pengisian berbanding terbalik dengan arus. Semakin besar tegangan pada baterai maka arus pengisian akan semakin kecil. Durasi waktu yang dibutuhkan untuk pengisian aki dari kondisi SOC 10% hingga penuh yaitu selama 41 jam. Semakin besar kuat arus yang diberikan saat melakukan pengisian, maka semakin cepat proses pengisian yang dilakukan.

## Referensi

- [1]. Putra, Hermawan Permana, *Studi Karakteristik Pelepasan Muatan Baterai Lead Acid Terhadap Variasi Beban RLC*, Depok, Universitas Indonesia, 2010.
- [2]. Yogopranoto, Demas and Bayuseno, A. P., Dr. Ir., M.Sc and Umardani, Yusuf, ST. MT (2012) *Daur Ulang Timbal (Pb) Dari Aki Bekas Dengan Menggunakan Metode Redoks*. Undergraduate thesis, Mechanical Engineering Departement, Faculty Engineering of Diponegoro University, 2012.
- [3]. Suryaningrat, Widodo, *Teknologi Aki*, Fisika UPI, Bandung, 2006.
- [4]. Daniel W. Hart, *Power Electronics*, Mc Graw Hill., New York, 2011.
- [5]. Luo, Fang Lin & Ye, Hong, *Power Electronics: Advanced Conversion Technologies*, Taylor and Francis Group, United States of America, 1973.
- [6]. ---, *Konsep Dasar Penyearah Gelombang (Rectifier)*, [elektronika-dasar.web.id](http://elektronika-dasar.web.id), Januari 2015.
- [7]. Rashid, M, *Power Electronics Circuit, Device, and Application 3<sup>rd</sup>*, Prentice-Hall International Inc., 2011
- [8]. Kim, Yong-Jun dan Mark G. Allen, *Integrated Solenoid-Type Inductors for High Frequency Applications and Their Characteristics*, Samsung Electronics CO.,Ltd, Suwon City, Korea, 1998
- [9]. Setiawan, Agus, *Disain Pembangkit Listrik Tenaga Pedal Sebagai Sumber Energi Alternatif Di Daerah Pedesaan*, Universitas Indonesia, 2009.
- [10]. Ika Wulandari, Triyas, *Rancang Bangun Sistem Penggerak Pintu Air Dengan Memanfaatkan Energi Alternatif Matahari*, Institut Teknologi Sepuluh November, 2010.
- [12]. Permana, Iman, *Pengenalan Teknologi Tenaga Surya*, Pusat pengembangan dan Pemberdayaan Pendidikan dan Tenaga Kependidikan (PPPPTK), Bandung 2008
- [13]. Romadhan, Alfian, "Pengisi Baterai 12 Volt dan 6 Volt Dengan Tampilan LCD Berbasis Mikrokontroler ATmega8", Jurusan Pendidikan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, UNY.
- [14]. Septayuda, Arie. *Perancangan Inverter Jenis Push-Pull Dan On/Off Battery Charger Regulator (BCR) Pada Aplikasi Fotovoltaik Sebagai Sumber Energi Untuk Pompa Air Atau Penerangan*, Universitas Diponegoro, 2009.
- [15]. Li, Ye-zi., Xiao-jin Yan & Gang Chen, "Design of Intelligent Accumulator Charger For Wind Power Generation System", Electronic Engineering Department, China, 2012.
- [16]. Helly, andri, "Rancang Bangun System Baattery Charging Automatic" Depok, Universitas Indonesia.