

Perancangan dan Realisasi Sistem Pengisian Baterai 12 Volt 45 Ah pada Pembangkit Listrik Tenaga Piko hidro di UPI Bandung

WILDAN BUDIMAN, NASRUN HARIYANTO, SYAHRIAL

Jurusan Teknik Elektro – Institut Teknologi Nasional (Itenas) Bandung

Email: wildanbudiman18890@gmail.com

ABSTRAK

Aliran air sungai yang berada di UPI Bandung, telah dimanfaatkan untuk pembangkit piko hidro. Pembangkit tersebut menghasilkan daya 100 Watt dan digunakan untuk sistem penerangan dengan menggunakan lampu pijar atau lampu hemat energi. Pada penelitian ini telah dicoba memanfaatkan listrik tersebut untuk sistem pengisian baterai, dimana dirancang dan direalisasikan suatu alat untuk mengisi baterai dengan tegangan charging 14,2 Volt dan arus pengisian maksimal 4,5 Ampere yang bersumber dari pembangkit piko hidro. Metode pengisian yang digunakan adalah metode pengisian lambat, yaitu suatu pengisian baterai dengan memberikan arus pengisian 1/10 dari kapasitas baterai, sehingga memperpanjang usia baterai. Perancangan yang dihasilkan yaitu battery charger yang terdiri dari rangkaian penyearah arus, IC regulator tegangan LM338 dan rangkaian komparator IC LM741 sebagai pemutus arus pengisian. Jenis baterai yang digunakan adalah Lead Acid dengan tegangan 12 Volt dan kapasitas 45 Ah yang digunakan untuk penerangan ruangan menggunakan lampu LED (Light Emiting Diode) 12 Volt. Lama pengisian baterai Lead Acid 45 Ah adalah 12 Jam dengan tegangan awal 11,7 Volt, kemudian berhenti di 12,8 Volt dan arus pengisian menurun dari 3,9 Ampere menjadi 0,3 Ampere, sedangkan lama pembebanan 12 jam dengan tegangan awal 12,1 Volt dan 11 Volt tegangan saat kapasitas baterai telah kosong untuk arus beban 3 Ampere.

Kata kunci : Battery Charger, Regulator, Komparator, Piko hidro, Lampu LED.

ABSTRACT

The water flow from the river which was in UPI Bandung, has been used for piko hidro power plant. The plant produced 100 Watts of power and used for lighting system using bulb lamp or fluorescent lamp. In this study it has been tested to utilize that electricity for the battery charging system, where designed and realized a device to charge the battery with a charging voltage of 14.2 Volts and 4.5 Amperes maximum charging current which sourced from piko hidro power plant. The charging method was used a slow charging, which was the battery charging with providing charging current one tenth of the battery capacity, so it can extend the battery life. The designing of battery charger consisted of a rectifier, IC LM338 as a voltage regulator and IC LM741 comparator circuit as a circuit breaker charging. The type of used batteries was Lead Acid with 12 Volts voltage and 45 Ah capacity used for an indoor lighting using LED (Light Emiting Diode) lamp 12 Volt. The time of charge for Lead Acid batteries for 45 Ah were 12 hours with the initial voltage of 11.7 volts, then it stopped at 12.8 Volts and the charging current decreased from 3.9 to 0.3 Amperes, while the time of discharge were 12 hours with the initial voltage of 12.1 Volts, and 11 volts voltage when the battery capacity was empty for the load current of 3 Amperes.

Keywords: Battery Charger, Regulator, Comparator, Pico hydro, LED Lamp.

1. PENDAHULUAN

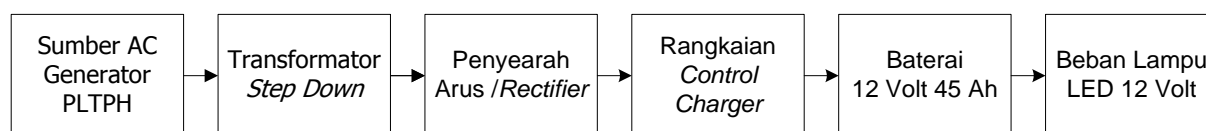
Pikohidro adalah pembangkit listrik tenaga air yang mempunyai daya dari ratusan *Watt* sampai 5 kW sehingga hanya dapat digunakan untuk penerangan dengan beban langsung menggunakan lampu pijar atau lampu hemat energi. Terdapat lokasi yang dapat dijadikan tempat suatu pembangkit listrik tenaga pikohidro berupa saluran irigasi atau sungai kecil yang berlokasi di daerah Setiabudhi tepatnya di FPTK UPI Bandung. Lokasi sungai tersebut memiliki potensi aliran air yang cukup besar dan relatif stabil (*Nugraha, 2013*).

Pada penelitian ini telah dilakukan dengan cara lain yaitu menggunakan listrik dari pembangkit pikohidro untuk mengisi baterai, dan baterai tersebut dibebani dengan lampu LED (*Light Emitting Diode*) 12 Volt untuk penerangan ruangan. Rangkaian *charging* yang digunakan pada penelitian ini adalah rangkaian *power supply* untuk memberikan tegangan listrik pada baterai, rangkaian komparator dan *relay* sebagai rangkaian otomatis pemutus arus pengisian (*Texas Instruments, 2013*).

Permasalahan pada penelitian ini adalah bagaimana cara merancang sistem pengisian baterai secara otomatis dan dapat diaplikasikan pada pembangkit pikohidro. Tujuan dari penelitian ini adalah merancang alat pengisi baterai otomatis, dengan spesifikasi yang disesuaikan untuk pembangkit pikohidro, yaitu dengan mode operasi pengisian selama 12 Jam yang dilakukan pada siang hari dari pukul 06.00 WIB sampai dengan 18.00 WIB dan pembebanan dilakukan pada malam hari pukul 18.00 WIB sampai dengan pukul 06.00 WIB.

2. METODOLOGI PERANCANGAN

2.1. Blok Diagram Sistem Pengisian Baterai dari Pembangkit Pikohidro



Gambar 1. Blok diagram sistem pengisian baterai dari pembangkit pikohidro

Gambar 1 menunjukkan blok diagram dari sistem pengisian baterai, yang bersumber dari PLTPH. Listrik dari PLTPH masuk ke transformator *step down*, yang berfungsi untuk mengubah tegangan AC 220 Volt menjadi 18 Volt. Penyearah arus / *rectifier* berfungsi untuk menyearahkan arus AC dari transformator dengan menggunakan dioda *bridge* (*Rashid, 1999*).

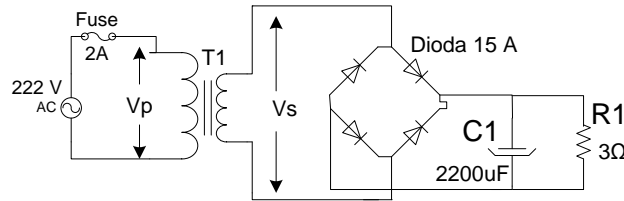
Tegangan keluaran dari rangkaian penyearah diteruskan ke rangkaian kontrol *battery charger* yang terdiri dari rangkaian regulator tegangan dengan menggunakan IC LM338 dan rangkaian komparator IC LM741 sebagai rangkaian otomatis pemutus arus pengisian. Baterai dengan tegangan 12 Volt 45 Ah, dihubungkan setelah rangkaian kontrol *charging*. Beban yang digunakan untuk pembebanan baterai adalah lampu LED kotak dengan tegangan 12 Volt 1,2 Watt (*Hariyanto, 2012*).

2.2. Rangkaian Penyearah Arus / Rectifier

Perancangan kapasitas *rectifier* harus disesuaikan dengan kapasitas baterai yang terpasang, setidaknya kapasitas arusnya harus mencukupi untuk pengisian baterai sesuai jenisnya yaitu baterai *Lead Acid* adalah $0,1C$ ($0,1 \times$ kapasitas) (*Andri, 2010*).

Media penyimpanan energi listrik pada PLTPH ini akan menggunakan baterai *Lead Acid* dengan kapasitas terpasang 45 Ah dan arus charger 4,5 Ampere, maka kapasitas penyearah yang digunakan adalah minimum 4,5 Ampere. *Dioda Bridge* dapat digunakan

dengan kapasitas yang lebih besar seperti 15 A, untuk mengurangi panas yang timbul (Rashid, 1999).



Gambar 2. Rangkaian penyearah gelombang penuh

Gambar 2 merupakan rangkaian penyearah gelombang penuh tipe jembatan. Perhitungan tegangan DC keluaran pada rangkaian tersebut dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

Tegangan *output* DC rata-rata penyearah gelombang penuh adalah :

$$V_{DC\ avg} = 0.636V_m \dots\dots\dots (1)$$

Tegangan *output* AC efektif penyearah gelombang penuh adalah :

$$V_{AC\ rms} = 0.707 V_m \dots\dots\dots (2)$$

Faktor *ripple* untuk penyearah gelombang penuh adalah :

$$r = \frac{V_{r-rms}}{V_{DC\ avg}} \times 100\% = \frac{0.308V_m}{0.636 V_m} \times 100\% = 48\%$$

Kapasitansi kapasitor yang digunakan untuk penyearah gelombang penuh adalah:

$$C = \frac{1}{V_r \cdot 2\sqrt{3} \cdot f \cdot R_L} \dots\dots\dots (3)$$

Perhitungan tegangan DC keluaran rangkaian penyearah gelombang penuh digunakan persamaan (1) dan (2).

Tegangan maksimum (V_m) adalah :

$$V_m = V_{AC\ rms} \cdot \sqrt{2}$$

$$V_m = (17,1\ Volt - 1,4\ Volt\ (Voltage\ drop\ dioda\ bridge)) \times 1,42 = 22,3\ Volt$$

Tegangan DC rata-rata ($V_{DC\ avg}$) adalah :

$$V_{DC\ avg} = 0,636 V_m = 0,636 \times 22,3\ Volt = 14,2\ Volt$$

Arus DC (I_{DC}) adalah :

$$I_{DC} = \frac{0,636V_m}{R} = \frac{14,2\ Volt}{3,1\ Ohm} = 4,5\ Ampere$$

Tegangan AC rata-rata ($V_{AC\ rms}$) adalah :

$$V_{rms} = 0,707 V_m = 0,707 \times 22,3\ Volt = 15,7\ Volt$$

$$I_{rms} = 0,707 \frac{V_m}{R} = \frac{15,7\ Volt}{3,1\ Ohm} = 5\ Ampere$$

Daya keluaran adalah :

$$P_{out} = V_{DC} \times I_{DC}$$

$$= 14,2\ Volt \times 4,5\ Ampere = 63,9\ Watt$$

Perhitungan kapasitansi kapasitor penyearah gelombang penuh dengan menggunakan persamaan (3).

Faktor *ripple* penyearah gelombang penuh tipe jembatan adalah :

$$V_r = \frac{V_{r-rms}}{V_{DC\ avg}} \times 100\% = \frac{0.308V_m}{0.636 V_m} \times 100\%$$

$$V_r = \frac{0.308 \cdot 22,3\ Volt}{0.636 \cdot 22,3\ Volt} \times 100\% = 48 \%$$

Jadi didapat tegangan DC keluaran 14 Volt dan tegangan *ripple* 48% atau 0,48 Volt. Maka perhitungan kapasitansi kapasitor adalah :

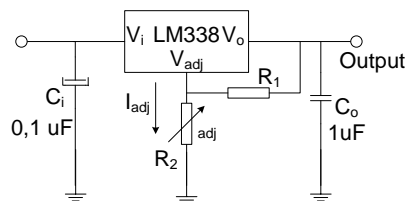
$$V_r = \frac{1}{2\sqrt{3} \cdot C \cdot f \cdot R_L} \cdot \frac{1}{R_L} = \frac{1}{2\sqrt{3} \cdot C \cdot f \cdot R_L}$$

$$C = \frac{1}{V_r \cdot 2\sqrt{3} \cdot f \cdot R_L} = \frac{1}{0,48 \cdot 2\sqrt{3} \cdot 96,9.3} = 2068 \mu F$$

Dikarenakan kapasitor 2068 μF tidak tersedia di pasaran, maka dapat diganti dengan 2200 μF .

2.3. Rangkaian *Control Charger*

Rangkaian kontrol charger terdiri dari IC LM338, yaitu regulator tegangan variabel 1,2 Volt – 30 Volt dengan arus maksimal 5 Ampere (*Texas Instruments, 2013*).

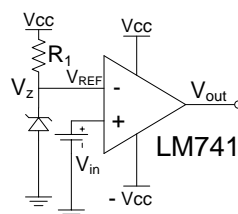


Gambar 3. Regulator tegangan dengan IC LM338

Gambar 3 merupakan rangkaian regulator LM338 dengan R_2 untuk mengatur besar tegangan keluaran dari rangkaian. Perhitungan tegangan keluaran dapat dirumuskan dengan persamaan (4).

$$V_{out} = 1.25 V \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) + I_{Adj} \cdot R_2 \dots\dots\dots (4)$$

Rangkaian otomatis pada sistem kontrol *charger*, menggunakan IC L741 sebagai komparator yang digunakan untuk mengaktifkan *relay* sebagai pemutus arus pengisian (*Buwono, 2010*).



Gambar 4. Rangkaian komparator dengan dioda zener

Gambar 4 menunjukkan rangkaian komparator IC LM741 dengan memakai dioda zener sebagai tegangan referensi.

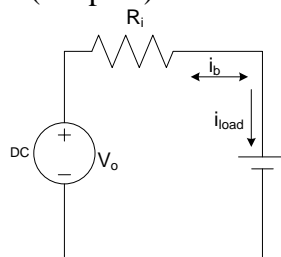
2.4. Baterai

Baterai yang digunakan terdiri dari sel-sel dengan setiap sel memiliki tegangan sebesar 2,1 V, artinya aki mobil dan aki motor yang memiliki tegangan 12 V terdiri dari 6 sel yang dipasang secara seri ($12,6 \text{ V} = 6 \times 2,1 \text{ V}$) (Andri, 2010).

Sebagai pembuktian untuk indikator suatu baterai penuh maka dibuat pemodelan rangkaian ekuivalen baterai seperti pada Gambar 5. Persamaan yang digunakan pada rangkaian tersebut adalah:

$$V_{bat} = V_0 - R_i i_b \dots\dots\dots (5)$$

- Dengan : V_{bat} = Tegangan baterai (Volt)
- V_0 = Tegangan internal baterai (Volt)
- R_i = Hambatan dalam (Ohm)
- i_b = Arus baterai (Ampere)



Gambar 5. Rangkaian ekuivalen baterai

Gambar 5 menunjukkan rangkaian ekuivalen dari baterai. Rangkaian tersebut terdiri dari tegangan sumber, hambatan dalam dari baterai, dan baterai. Dengan rangkaian tersebut, dapat diketahui berapa tegangan *charging* yang digunakan untuk mengisi baterai bermuatan kosong dengan tegangan 11 Volt, mengisi baterai sampai penuh dengan tegangan 12,8 Volt (Butterworth, 1998).

Apabila baterai akan diisi dengan muatan listrik, maka ditentukan terlebih dahulu tahanan dalam dari baterai. Tahanan dalam baterai dapat dicari dengan persamaan :

$$r_d = \frac{E-V}{I} \dots\dots\dots (6)$$

- Dengan: r_d = Hambatan dalam (Ohm)
- E = Sumber tegangan baterai (Volt)
- V = Tegangan luar (Volt)
- I = Arus listrik yang timbul dalam rangkaian (Ampere)

Perhitungan tahanan dalam baterai dapat dicari dengan persamaan (6)

$$r_d = \frac{E-V}{I} = \frac{12,8 \text{ Volt} - 11 \text{ Volt}}{4,6 \text{ Ampere}} = 0,3 \text{ Ohm}$$

Tegangan 12,8 Volt diambil dari tegangan spesifikasi pabrikan untuk baterai penuh dan 11 Volt diambil dari tegangan baterai kosong. Dengan demikian berapa tegangan *charging* yang diperlukan untuk mengisi baterai sampai penuh. Perhitungannya didapat dari penurunan persamaan (5).

$$\begin{aligned} V_0 &= V_{bat} + R_i i_b \\ &= 12,8 \text{ Volt} + (0,3 \text{ Ohm} \times 4,6 \text{ Ampere}) \\ &= 14,2 \text{ Volt} \end{aligned}$$

Jadi untuk tegangan baterai 12 Volt dengan tegangan penuh 12,8 Volt dibutuhkan tegangan *charging* sebesar 14,2 Volt.

2.5. Rangkaian Lampu LED (*Light Emitting Diode*) 12 Volt

Lampu LED dengan tegangan 12 Volt digunakan untuk pembebanan pada baterai setelah penuh. Perhitungan kebutuhan Ah setiap ruangan dengan menggunakan lampu LED 6 titik. Ruangan 1, enam titik lampu :

$$P_{lampu} = 1,2 \text{ Watt} \times 6 \text{ lampu} = 7,2 \text{ Watt}$$

Perhitungan Ah baterai ruangan 1

$$AH = \frac{E_r}{V_s} = \frac{7,2 \text{ Watt} \times 12 \text{ Jam}}{12 \text{ Volt}} = \frac{86,4 \text{ Wh}}{12 \text{ Volt}} = 7,2 \text{ Ah}$$

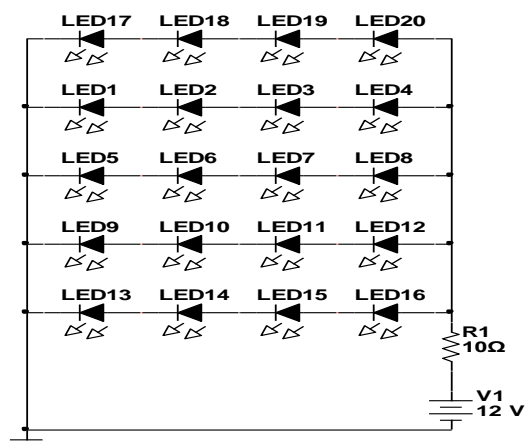
Besarnya DOD (*Deep Of Discharge*) dari baterai adalah 80 % maka Ah baterai dibagi dengan DOD.

$$Ah = \frac{7,2 \text{ Ah}}{0,8} = 9 \text{ Ah}$$

Dengan demikian kebutuhan baterai untuk ruangan 1 dengan penerangan menggunakan 6 titik lampu LED 1,2 Watt adalah 9 Ah. Sedangkan lampu tersebut digunakan untuk penerangan lima ruangan pada rumah, sehingga perhitungan kapasitas baterai yang digunakan adalah :

$$Ah \text{ baterai} = 9 \text{ Ah} \times 5 \text{ ruangan} = 45 \text{ Ah.}$$

Jadi kebutuhan *Ampere hour* baterai yang digunakan untuk penerangan lima ruangan adalah 45 Ah dengan tegangan baterai 12 Volt.



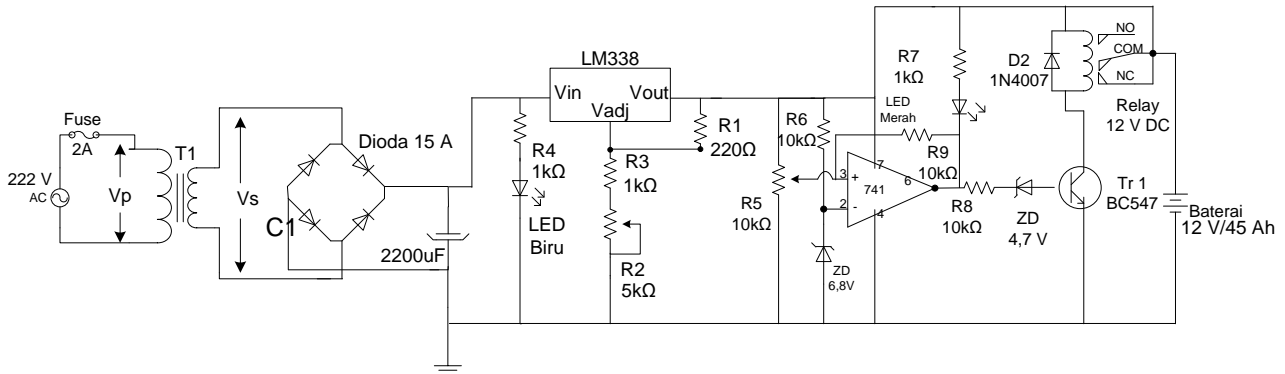
Gambar 6. Rangkaian lampu LED kotak 12 Volt

Gambar 6 merupakan rangkaian dari lampu LED kotak yang digunakan untuk penerangan. Rangkaian tersebut menggunakan 20 titik lampu LED dengan tegangan sumber 12 Volt dan menggunakan resistor sebagai tahanan sebesar 10 Ohm (*Hariyanto, 2012*).

3. HASIL PERANCANGAN DAN PEMBAHASAN

3.1. Rangkaian Hasil Perancangan

Rangkaian kontrol *charger* secara keseluruhan dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Rangkaian kontrol *charger* lengkap

Gambar 7 merupakan rangkaian kontrol *charger* dengan menggunakan IC LM338 sebagai regulator tegangan variabel dan IC LM741 sebagai komparator untuk mengaktifkan *relay*, yang digunakan sebagai pemutus arus pengisian.

Prinsip kerja dari rangkaian kontrol *charger* adalah :

1. Tegangan keluaran rangkaian penyearah adalah 22,3 Volt sebagai *input* untuk IC LM338. Tegangan 22,3 Volt masuk melewati R_4 1k Ohm dan menyalakan LED biru sebagai indikator rangkaian bekerja.
2. Nilai R_2 perlu diatur agar tegangan *output* rangkaian menjadi 14,2 Volt sebagai tegangan *charging* dengan persamaan (4).

$$V_{out} = 1,25 \text{ volt} \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right)$$

$$V_{out} = 1,25 \text{ volt} \left(1 + \frac{2279 \Omega}{220 \Omega} \right)$$

$$V_{out} = 14,2 \text{ Volt}$$

Tegangan 14,2 Volt diatur oleh rangkaian pembagi tegangan R_5 dan R_6 10k Ohm hingga mendapatkan tegangan masukan untuk kaki 3 IC LM741, kaki 2 IC LM741 yang berfungsi sebagai tegangan referensi yang menggunakan dioda zener 6,8 Volt sebagai pembangkit tegangan. Rangkaian IC LM741 sebagai komparator dengan prinsip kerja apabila *input* lebih besar dari tegangan referensi, maka *output* akan tinggi dan menarik *relay* dari posisi NC (*Normally Closed*) menjadi NO (*Normally Open*), lalu LED akan padam karena *output* komparator bernilai sama dengan V_{CC} dan menandakan baterai penuh. Proses *charging* dimulai apabila *input* tegangan komparator lebih kecil dari tegangan referensi, maka *output* akan bernilai 0 sehingga *relay* akan kembali seperti semula menjadi posisi NC dan proses *charging* dimulai ditandai dengan LED menyala.

3.2. Pengujian Rangkaian Regulator

Rangkaian regulator dengan menggunakan IC LM338 perlu dilakukan pengujian untuk mendapatkan tegangan *output* yang akan digunakan untuk *charging*. Tabel 1 merupakan hasil pengujian tegangan *output* rangkaian regulator.

Tabel 1. Pengujian *setting* resistor variabel untuk tegangan *output* rangkaian regulator

No	Resistor Variabel (Ohm)	R_1 Output IC LM338 (Ohm)	V_{ref} IC LM338 (Volt)	Tegangan Output IC LM338 (Volt)
1	1000	220	1,25	6,9
2	1100	220	1,25	7,5
3	1200	220	1,25	8,1
4	1300	220	1,25	8,6
5	1400	220	1,25	9,2
6	1500	220	1,25	9,8
7	1600	220	1,25	10,3
8	1700	220	1,25	10,9
9	1800	220	1,25	11,5
10	1900	220	1,25	12,0
11	2000	220	1,25	12,6
12	2100	220	1,25	13,2
13	2200	220	1,25	13,8
14	2300	220	1,25	14,3
15	2400	220	1,25	14,9

Berdasarkan Tabel 1 tersebut pengujian *setting* minimum resistor variabel untuk tegangan *output* regulator dimulai dengan resistor 1k Ohm dan tegangan yang dihasilkan adalah 6,9 Volt, sedangkan batas maksimum *setting* resistor di 2,4k Ohm dan tegangan yang dihasilkan adalah 14,9 Volt. *Setting* resistor untuk *charging* dengan tegangan 14,2 Volt berada diantara 2,2k Ohm dan 2,3k Ohm.

3.3. Pengujian Rangkaian *Charger*

Pada pengujian rangkaian *charger* ini ada dua pengujian yang akan dilakukan, yaitu pengujian pengisian baterai dan pengujian pembebanan baterai.

1. Pengujian pengisian baterai

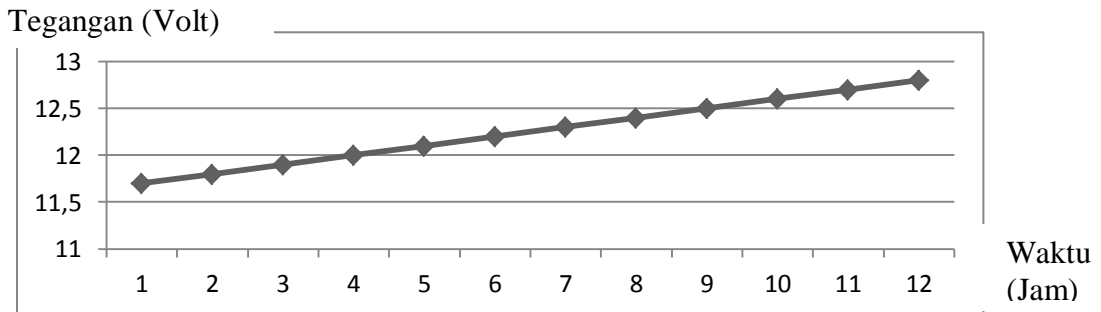
Pengujian pengisian baterai dilakukan untuk memperoleh data, berapa lama sistem pengisian yang dilakukan dengan menggunakan baterai 12 Volt 45 Ah. Pertama-tama *charging* dinyalakan, atur tegangan di 14,2 Volt untuk tegangan pengisian baterai penuh 12,8 Volt, kemudian hubungkan dengan baterai.

Tabel 2. Pengujian pengisian baterai

No	Tegangan (Volt)	Arus (Ampere)	Daya (Watt)	Waktu (Jam)	Ah yang terisi
1	11,7	3,9	45,63	1	3,9
2	11,8	3,7	43,66	2	7,4
3	11,9	3,4	40,46	3	10,2
4	12	3,1	37,2	4	12,4
5	12,1	2,6	31,46	5	13
6	12,2	2,3	28,06	6	13,8
7	12,3	2	24,6	7	14
8	12,4	1,7	21,08	8	13,6
9	12,5	1,4	17,5	9	12,6
10	12,6	1,1	13,86	10	11
11	12,7	0,6	7,62	11	6,6
12	12,8	0,3	3,84	12	3,6

Berdasarkan Tabel 2 pengisian baterai terjadi pada tegangan 11,7 Volt pada jam pertama dan setelah 12 jam berikutnya berhenti di 12,8 Volt dengan arus pengisian maksimum 3,9 Ampere.

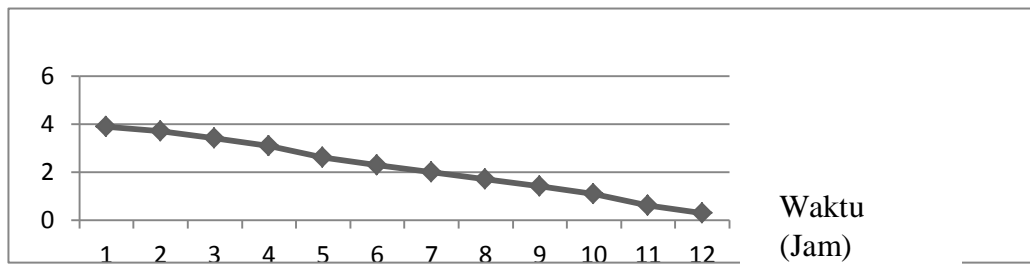
Grafik pengisian baterai berdasarkan Tabel 2 dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Grafik tegangan terhadap waktu dari pengisian baterai

Penjelasan mengenai Gambar 8 yaitu selama proses pengisian, seiring dengan waktu tegangan naik dari 11,7 Volt menjadi 12,8 Volt. Sesuai dengan *setting* tegangan *charging* 14,2 Volt, maka *relay* akan bekerja memutuskan arus pengisian pada tegangan 12,8 Volt.

Arus (Ampere)



Gambar 9 Grafik arus terhadap waktu dari pengisian baterai

Gambar 9 menjelaskan mengenai grafik arus terhadap waktu dari pengisian baterai. Dapat terlihat bahwa arus akan menurun seiring dengan waktu, selama proses pengisian baterai dilakukan. Arus pengisian berada di 3,9 Ampere dan berhenti di 0,3 Ampere.

Lama pengisian baterai dapat dirumuskan dengan persamaan :

$$T_1 = (C / I) + \Phi_1 \dots\dots\dots (7)$$

Keterangan :

- I = Arus Pengisian (A)
- C = *Capacity* (Ah)
- T₁ = Waktu yang kita inginkan (*Hours*)
- Φ₁ = % *De-efisiensi* (20%)

Perhitungan lama pengisian dengan menggunakan persamaan (7) adalah :

$$\begin{aligned} T_1 &= (C / I) + \Phi_1 (\% \text{ De-efisiensi}) \\ &= (45 \text{ Ah} / 4,6 \text{ Ampere}) + 20\% \\ &= (9,7 \text{ h} + 1,9 \text{ h}) = 11,6 \text{ jam} \end{aligned}$$

Jadi lama pengisian baterai 12 Volt 45 Ah adalah 11,6 jam dengan mode operasi dari pukul 06.00 WIB sampai dengan pukul 18.00 WIB.

2. Pengujian pembebanan baterai

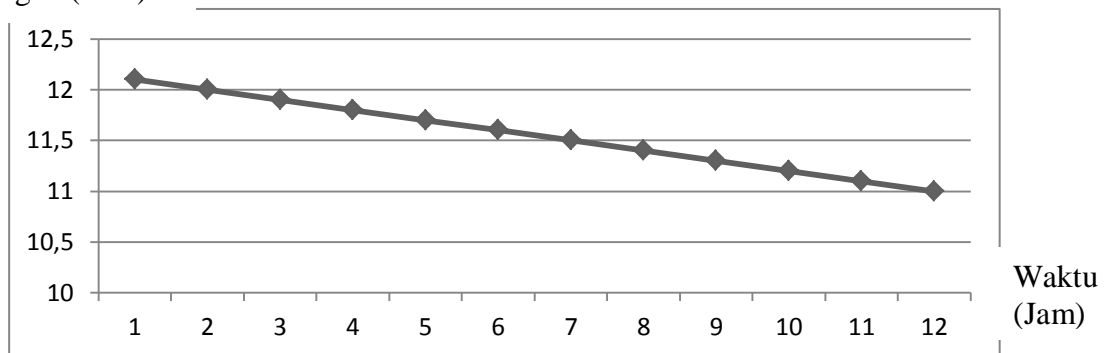
Pengujian pembebanan baterai bertujuan untuk mengetahui berapa lama proses pembebanan, mulai dari baterai penuh sampai baterai kosong. Pembebanan dilakukan dengan menggunakan lampu LED 12 Volt sebanyak 30 lampu dengan daya 36 Watt, dan arus pembebanan 3 Ampere.

Tabel 3. Pengujian pembebanan baterai

No	Tegangan (Volt)	Arus (Aampere)	Daya (Watt)	Waktu (Jam)	Ah yang terpakai
1	12,1	3,0	36	1	3
2	12	3,0	36	2	6
3	11,9	3,0	36	3	9
4	11,8	3,1	36	4	12
5	11,7	3,1	36	5	15
6	11,6	3,1	36	6	19
7	11,5	3,1	36	7	22
8	11,4	3,2	36	8	25
9	11,3	3,2	36	9	29
10	11,2	3,2	36	10	32
11	11,1	3,2	36	11	35
12	11	3,3	36	12	39

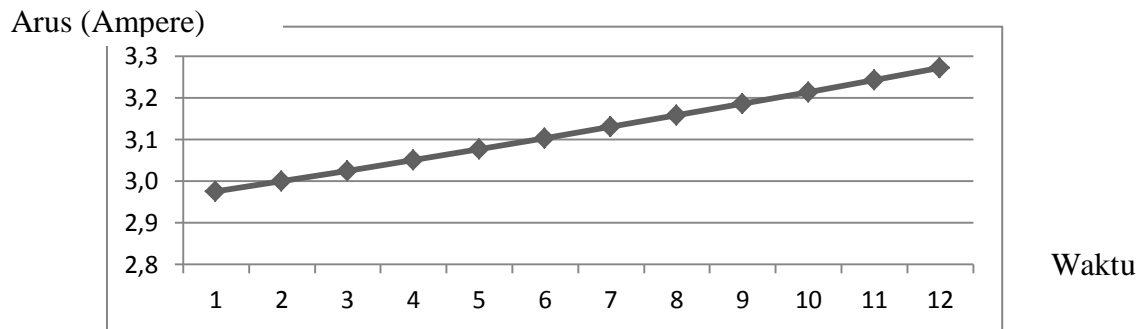
Berdasarkan Tabel 3 proses pengosongan baterai, tegangan awal turun dari 12,8 Volt menjadi 12,1 Volt pada jam pertama, dan setelah 12 jam berikutnya tegangan turun menjadi 11 Volt.

Tegangan (Volt)



Gambar 10. Grafik tegangan terhadap waktu dari pembebanan baterai

Penjelasan mengenai Gambar 10 yaitu selama proses pembebanan, seiring dengan waktu tegangan turun dari 12,1 Volt menjadi 11 Volt setelah 12 jam.



Gambar 11. Grafik arus terhadap waktu dari pembebanan baterai

Penjelasan mengenai Gambar 11 yaitu arus akan sedikit naik, tegangan baterai mulai turun, dikarenakan daya pada lampu tidak berubah.

Perhitungan lama pembebanan pada aki bisa didapat dari persamaan berikut :

$$T = (C / I) - \Phi \dots\dots\dots(8)$$

Keterangan :

- T = Waktu Pemakaian (*Hours*)
- C = *Capacity* (Ampere hour)
- I = Arus (Ampere)
- Φ = Waktu *De-efisiensi* (3 *Hours*)

Perhitungan lama pembebanan dengan menggunakan persamaan (8) adalah :

$$\begin{aligned} T &= (C / I) - \Phi \text{ (Waktu De-efisiensi)} \\ &= (45 \text{ Ah} / 3 \text{ Ampere}) - 3 \text{ hours} \\ &= 15 \text{ h} - 3 \text{ h} = 12 \text{ jam} \end{aligned}$$

Jadi lama pembebanan baterai 12 Volt 45 Ah adalah 12 jam dengan mode operasi dari pukul 18.00 WIB sampai dengan pukul 06.00 WIB.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan perancangan dan pengujian yang telah dilakukan, maka dapat diambil kesimpulan :

1. Alat pengisi baterai yang sudah dirancang menghasilkan tegangan *output* 14,2 Volt dengan arus pengisian maksimal 4,5 Ampere.
2. Berdasarkan Tabel 2, pengisian baterai terjadi pada tegangan 11,7 Volt pada jam pertama, dan setelah 12 jam berikutnya berhenti di 12,8 Volt. Arus pengisian 3,9 Ampere, kemudian menurun menjadi 0,3 Ampere. Mode operasi pengisian dilakukan pada pukul 06.00 WIB sampai dengan 18.00 WIB. Berdasarkan Tabel 3 proses pengosongan baterai, tegangan awal turun dari 12,8 Volt menjadi 12,1 Volt pada jam pertama, dan setelah 12 jam berikutnya tegangan turun menjadi 11 Volt. Arus naik dari 3 Ampere menjadi 3,3 Ampere dikarenakan daya pada lampu tidak berubah. Mode operasi pembebanan dilakukan pada pukul 18.00 WIB sampai dengan 06.00 WIB.
3. Lama pengisian baterai adalah 11,6 jam dengan arus pengisian 3,9 Ampere, dan lama pembebanan adalah 12 jam dengan arus pembebanan 3 Ampere.

DAFTAR RUJUKAN

- M. Rashid H. (1999). *Elektronika Daya Jilid 1*, edisi Bahasa Indonesia, (diterjemahkan oleh : Ir. Ary Prihatmanto MS.). Jakarta. PT Prenhallindo.
- Butterworth, Heinemann. (1998). *Rechargeable Batteries Applications Handbook*. Washington. *Gates Energy Product*.
- Buwono, Montario Chandra. (2010). "*Rancang Bangun Sistem Pengendali Pengisian Arus Sel Surya dengan Rekonfigurasi Seri-Paralel*". Skripsi Jurusan Teknik Elektro. Depok. Universitas Indonesia.
- Andri, Helly.(2010). "*Rancang Bangun System Battery Charging Automatic*". Skripsi Jurusan Teknik Elektro. Depok. Universitas Indonesia.
- Nugraha, Ihfazh Nurdin Eka. (2013). "*Penerapan dan Analisis Pembangkit Listrik Tenaga Pikohidro dengan Turbin Propeller Open Flume TC 60 dan Generator Sinkron Satu Fasa 100 VA di UPI Bandung*". Tugas Akhir Jurusan Teknik Elektro. Bandung. Itenas.
- Hariyanto, Nasrun. (2012). Perancangan dan Aplikasi Pembangkit Listrik Hybrid Energi Surya dan Energi Biogas di Kampung Haur Gembong Kab. Sumedang. *Jurnal Sains Materi Indonesia*.
- Texas Instruments*. (2013). *LM138/LM338 5 Amp Adjustable Regulators*. Texas. *Texas Instruments Incorporated*.