

RANCANG BANGUN PROTOTIPE SISTEM BATTERY CHARGER DENGAN METODE PENGISIAN TIGA TAHAP DI PERUMDA AIR MINUM TIRTA SANJIWANI UNIT PRODUKSI BLANGSINGA

Made Galang Mangun Yasa¹, Cokorde Gede Indra Partha², I Wayan Arta Wijaya²

¹Mahasiswa Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Udayana

²Dosen Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Udayana

Jl. Raya Kampus Unud Jimbaran, Kec. Kuta Sel, Kabupaten Badung, Bali 80361

galangmyasa@gmail.com, cokindra@unud.ac.id, artawijaya@unud.ac.id

ABSTRAK

Generator set (genset) diperlukan di perusahaan yang beroperasi secara kontinu seperti di Perumda Air Minum Tirta Sanjiwani untuk menyuplai peralatan listrik ketika terjadi gangguan di suplai utama, oleh karena itu, genset harus selalu siap pakai yang salah satu caranya melalui pengisian baterai dengan metode yang tepat untuk menjaga kapasitas baterai agar selalu dalam kondisi penuh. Penelitian ini membahas terkait dengan prototipe sistem *battery charger* yang mengintegrasikan komponen mikrokontroler, sensor, aktuator, indikator, dan konverter agar mampu melakukan pengisian baterai dengan metode pengisian tiga tahap serta mampu melakukan respon preventif ketika terdeteksi tegangan di luar standar pengisian untuk meminimalkan risiko kerusakan baterai. Hasil pengujian menggunakan baterai berkapasitas 10 Ah ketika DOD sebesar 50% menunjukkan pengisian melalui tahap *bulk* berlangsung selama 6 jam 40 menit dengan besar arus pengisian diatur sebesar 0,7 A, tahap *absorption* berlangsung selama 1 jam 17 menit dengan besar tegangan pengisian diatur sebesar 14,7 V, dan tahap *float* diujikan selama 2 jam dengan tegangan pengisian diatur sebesar 13,65 V. Penelitian ini juga menyertakan dua opsi arus pengisian baterai untuk diimplementasikan pada mitra, sehingga diharapkan dapat memberikan solusi yang memadai.

Kata kunci : Generator Set, Baterai, Pengisian Tiga Tahap

ABSTRACT

Generator set (genset) is needed in companies that operate continuously such as at Perumda Air Minum Tirta Sanjiwani to supply electrical equipment when there is a disruption in the main supply, therefore, the generator set must always be ready to use, one way is through charging the battery with the right method to maintain battery capacity to always be in full condition. This research discusses related to the Battery Charger System Prototype which integrates microcontroller components, sensors, actuators, indicators, and converters to be able to charge the battery with a three-stage charging method and be able to perform a preventive response when a voltage outside the charging standard is detected to minimize the risk of battery damage. Test results using a 10 Ah capacity battery when the DOD is 50% show that charging through the Bulk Stage lasts for 6 hours 40 minutes with a charging current set at 0.7 A, the Absorption Stage lasts for 1 hour 17 minutes with a charging voltage set at 14.7 V, and the Float Stage is tested for 2 hours with a charging voltage set at 13.65 V. This research also includes two battery charging current options to be implemented to partners, so it is expected to provide adequate solutions.

Key Words : Generator Set, Battery, Three Stages Charging

1. PENDAHULUAN

Perusahaan Daerah Air Minum Tirta Sanjiwani merupakan perusahaan penyedia layanan air bersih di Kabupaten Gianyar, Bali yang salah satu unitnya yaitu Unit Produksi Blangsinga. Kontinuitas pelayanan air bersih tentu menjadi aspek keberhasilan perusahaan tersebut, oleh karena itu, Perumda Tirta Sanjiwani Unit Produksi Blangsinga menyediakan generator set berkapasitas 25 kW sebagai suplai listrik cadangan ketika terjadi gangguan di suplai utama yaitu PLN, sehingga pompa air dapat selalu beroperasi.

Kontinuitas penyaluran air dapat terputus walaupun sudah disediakan suplai listrik cadangan, hal ini dapat terjadi karena permasalahan di genset. Statistik menunjukkan salah satu permasalahan yang umum terjadi pada genset adalah genset gagal *start* akibat kegagalan pada baterai yaitu terhitung sebanyak 30% dari total kegagalan [1]. Kapasitas baterai menurun disebabkan oleh dua hal utama yaitu nilai pengosongan baterai yang terlalu besar dan metode pengisian baterai tidak tepat yang dapat menyebabkan baterai *overcharging* dan *undercharging* [2].

Sistem pengisian baterai dengan metode yang tepat dan dilengkapi dengan sistem pemutus otomatis ketika terdapat parameter pengisian baterai di luar standar diperlukan untuk mengatasi permasalahan tersebut. Metode Pengisian Tiga Tahap atau *Three Stages Charging* dapat menjaga baterai dalam kondisi penuh karena salah satu tahapannya yaitu tahap *float* akan melakukan pengisian secara terus menerus tanpa mengakibatkan baterai *overcharge*, sehingga baterai siap digunakan sewaktu-waktu [3].

Prototipe sistem *battery charger* yang penulis bangun terdiri dari komponen sensor, aktuator, indikator, dan DC-DC *converter* dengan topologi *buck converter* yang terintegrasi dan dikontrol dengan mikrokontroler agar dapat melakukan pengisian baterai dengan Metode Pengisian Tiga Tahap. Sistem juga

dilengkapi dengan fitur pendeteksian gangguan seperti *undervoltage* dan *overvoltage*, sehingga dapat meminimalkan risiko kerusakan pada sistem dan baterai.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Baterai *Lead Acid*

Baterai *lead acid* atau aki merupakan media penyimpan energi listrik dengan elektroda berbahan timbal dan elektrolitnya berupa larutan asam sulfat [4]. Faktor operasional baterai *lead acid* antara lain:

(a) Kapasitas Baterai

Kapasitas baterai dapat dinyatakan dalam satuan Coulomb (C) dan Ampere-Hour (Ah). Ampere-Hour sebagai satuan yang umum digunakan didefinisikan sebagai besarnya arus konstan baterai yang mengalir dalam waktu pemakaian baterai [5].

(b) *State of Charge* (SOC)

SOC didefinisikan sebagai perbandingan antara kapasitas baterai yang tersisa terhadap kapasitas baterai keseluruhan. Salah satu pengukuran SOC baterai *lead acid* yaitu menggunakan metode pengukuran *Open Circuit Voltage* (OCV) atau tegangan terbuka baterai [6].

Tabel 1. Hubungan OCV dan SOC Baterai *Lead Acid* 12 V [2]

OCV Baterai (V)	SOC Baterai (%)
12,65	100
12,45	75
12,24	50
12,06	25
11,89	<i>Discharged</i>

(c) *Depth of Discharge* (DOD)

DOD baterai didefinisikan sebagai perbandingan kapasitas baterai yang digunakan terhadap kapasitas baterai seluruhnya. Secara matematis DOD dapat dirumuskan seperti yang ditunjukkan pada Rumus 1. berikut [7].

$$DOD = \left(\frac{I_D \times t_D}{C} \right) \times 100\% \quad (1)$$

Keterangan:

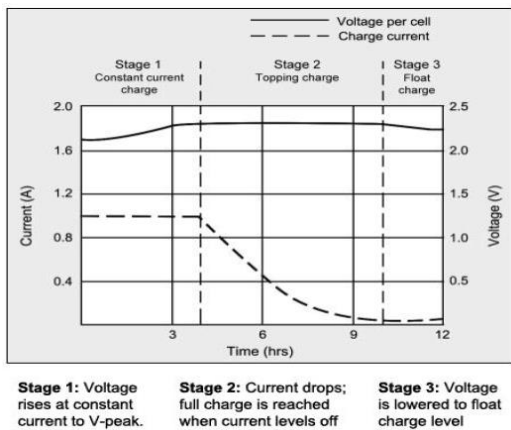
DOD = *Depth of Discharge* (%)

- I_D = Arus pengosongan (A)
- t_D = Waktu pengosongan (jam)
- C = Kapasitas baterai (Ah)

DOD baterai berhubungan dengan kesehatan baterai, yaitu semakin tinggi DOD, maka siklus hidup dari baterai akan menurun. Baterai *lead acid* berjenis SLI (*Starting, Lighting, Ignition*) memiliki besar DOD yang disarankan yaitu maksimum sebesar 50% [8].

2.2 Metode Pengisian Tiga Tahap

Grafik tegangan pengisian terhadap waktu dan grafik arus pengisian terhadap waktu metode pengisian ini ditunjukkan pada Gambar 1 berikut.



Gambar 1. Grafik Metode Pengisian Tiga Tahap [9]

Metode pengisian ini terbagi menjadi tiga tahapan yang secara terurut sebagai berikut:

(a) Tahap *Bulk*

Tahap *bulk* disebut juga dengan *constant current* karena pada tahap ini dilakukan pengisian arus konstan untuk mencegah *overcurrent* [10]. Tahap ini dimulai dari SOC 0% hingga 70% [9].

(b) Tahap *Absorption*

Tahap *absorption* disebut juga dengan *constant voltage* karena pada tahap ini dilakukan pengisian tegangan konstan untuk mencegah *overcharge* dan *overvoltage* baterai [10]. Tahap ini dimulai dari SOC 70% hingga 100% [9].

(c) Tahap *Float*

Tahap *float* merupakan tahapan pengisian baterai yang digunakan untuk menjaga baterai agar selalu berkapasitas penuh melalui pengisian tegangan konstan secara terus-menerus tanpa menyebabkan baterai *overcharge* [3].

Estimasi lamanya waktu pengisian baterai dirumuskan sesuai dengan Rumus 2 berikut [11].

$$t = \frac{C \times DOD}{I} \times F_p \quad (2)$$

Keterangan:

- t = Waktu pengisian (jam)
- C = Kapasitas baterai (Ah)
- DOD = *Depth of Discharge* (%)
- I = Arus pengisian (A)
- F_p = Faktor koreksi (1,2-1,5)

2.3 Pulse Width Modulation

Pulse Width Modulation (PWM) merupakan metode pengontrolan rangkaian elektronik dengan pemberian sinyal pulsa yang dikontrol melalui *duty cycle*. *Duty Cycle* merupakan persentase lama waktu sinyal menyala dalam rentang waktu tertentu [12].

2.4 Buck Converter

Buck converter merupakan salah satu topologi DC-DC *converter* yang menurunkan tegangan *input*. Desain *buck converter* yang benar perlu mempertimbangkan beberapa hal yaitu sebagai berikut [13]:

(a) Induktor

Induktor berfungsi untuk membatasi laju perubahan arus dalam kondisi saklar tertutup dan sebagai sumber ketika kondisi saklar terbuka. Pemilihan *rating* minimum induktor dirumuskan sebagai berikut.

$$L_{min} = \frac{V_{out} \times (V_{in} - V_{out})}{f_{sw} \times \Delta I_L \times V_{in}} \quad (3)$$

$$I_{max} = \frac{\Delta I_L}{2} + I_{out(max)} \quad (4)$$

Keterangan:

- L_{min} = Induktor minimal (H)
- V_{out} = Tegangan keluaran (V)
- V_{in} = Tegangan masukan (V)
- f_{sw} = Frekuensi *switching* (Hz)
- ΔI_L = Arus riak induktor (A)

I_{max} = Arus maksimum (A)
 $I_{out(max)}$ = Arus keluaran maksimum (A)

(b) Kapasitor
Rating minimal kapasitor pada *buck converter* dirumuskan sebagai berikut.

$$C_{out(min)} = \frac{\Delta I_L}{8 \times f_{sw} \times \Delta V_{out}} \quad (5)$$

Keterangan:

$C_{out(min)}$ = Kapasitor minimal (F)
 ΔI_L = Arus riak induktor (A)
 f_{sw} = Frekuensi *switching* (Hz)
 ΔV_{out} = Tegangan riak (V)

(c) MOSFET dan Diode
 Parameter yang harus dipertimbangkan dalam pemilihan MOSFET dan diode adalah *rating* tegangan dan arus yang harus lebih besar 20% dari kapasitas maksimum *buck converter*. MOSFET juga disarankan dengan besar $R_{ds(ON)}$ yang kecil untuk meminimalkan rugi-rugi sistem.

2.5 Arduino Uno R3

Mikrokontroler Arduino Uno menggunakan *chip* ATmega328P. *Board* ini terdiri dari berbagai macam pin sebagai media penghubung *board* dengan komponen perangkat eksternal seperti komponen sensor, aktuator, dan indikator [14].

2.6 Sensor Tegangan DC

Sensor tegangan DC bekerja dengan prinsip pembagi tegangan. Sensor ini terdiri dari dua resistor berkapasitas 30000 Ω dan 75000 Ω . Kapasitas pengukuran sensor ini adalah maksimum hingga 25 V [15].

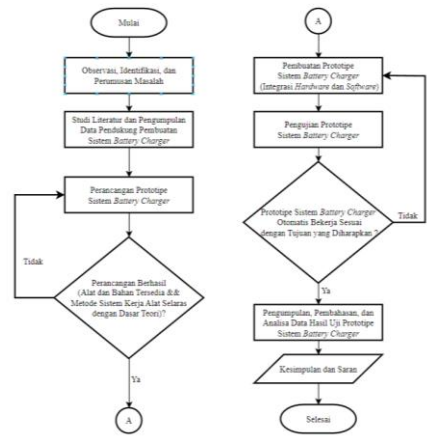
2.7 Sensor Arus ACS712-20A

Sensor ACS712 bekerja dengan prinsip *hall effect*, yaitu arus *input* akan dirubah oleh medan magnet, sehingga keluarannya berupa tegangan [16]. Sensor ini memiliki kapasitas pengukuran arus searah dari -20 A hingga 20 A.

3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan di Perumda Air Minum Tirta Sanjiwani Unit Produksi

Blangsinga dan Laboratorium Konversi Energi, Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik, Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran dengan waktu selama enam bulan. Penelitian dilakukan berdasarkan *flowchart* yang ditunjukkan Gambar 2 berikut.



Gambar 2. *Flowchart* Penelitian

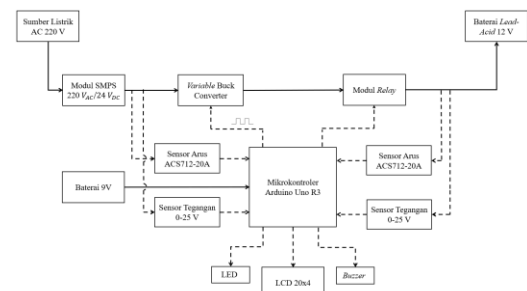
Langkah-langkah penelitian ini terbagi menjadi lima bagian utama yaitu:

1. Pengumpulan data keperluan spesifikasi sistem *battery charger*.
2. Persiapan alat dan bahan.
3. Perancangan dan pembuatan prototipe sistem *battery charger*.
4. Pengujian sistem *battery charger*.
5. Pengumpulan dan analisis data hasil uji sistem *battery charger*.

4. Hasil Dan Pembahasan

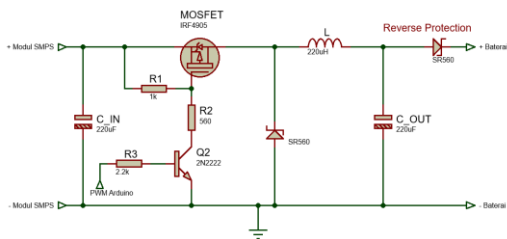
4.1 Rancangan Perangkat Keras

Rancangan perangkat keras sistem *battery charger* ditunjukkan pada Gambar 3 berikut.



Gambar 3. Blok Diagram Perangkat Keras Sistem *Battery Charger*

Pengisian baterai bersumber dari listrik AC satu fase PLN bertegangan 220 V, lalu diturunkan dan disearahkan menggunakan modul SMPS dengan keluaran berupa tegangan DC 24 V. Besar tegangan DC tersebut akan diturunkan menggunakan *variable buck converter* agar sesuai dengan tegangan pengisian baterai metode pengisian tiga tahap. Sistem dilengkapi juga dengan sensor tegangan dan sensor arus yang berada di *input* dan *output buck converter* sebagai *input* sistem. Komponen indikator (LED dan *buzzer*) dan *monitoring* (LCD) digunakan untuk mempermudah operator dalam melakukan pemantauan sistem.



Gambar 4. Rangkaian Rancangan Variable Buck Converter

Pemilihan komponen *buck converter* disesuaikan dengan pertimbangan teoritis, parameter yang dibutuhkan, yaitu antara lain:

1. $V_{in} = 24 V$
2. $V_{out} = 14 V$
3. $I_{out(max)} = 5 A$
4. $f_{sw} = 31,37255 \text{ kHz}$

Parameter-parameter di atas digunakan sebagai dasar pemilihan komponen, yaitu sebagai berikut:

(a) Perhitungan Induktor

$$L = \frac{V_{out} \times (V_{in} - V_{out})}{\Delta I_L \times f_{sw} \times V_{in}}$$

$$\Delta I_L = 0,3 \times I_{out(max)}$$

$$L = \frac{14 V \cdot (24 - 14)V}{(0,3 \times 5 A) \times 31372,55 \text{ Hz} \times 24 V}$$

$$L \approx 0,00012395 H = 123,95 \mu H$$

$$I_{max} = \frac{1,5 A}{2} + 5 A$$

$$I_{max} = 0,75 A + 5 A = 5,75 A$$

(b) Perhitungan Kapasitor

$$C_{out} = \frac{\Delta I}{8 \times f_{sw} \times \Delta V_{out}}$$

$$\Delta V_{out} = 20 mV$$

$$C_{out} = \frac{1,5 A}{8 \times 31372,55 \text{ Hz} \times 0,02 V}$$

$$C_{out} \approx 0,00029882 F = 298,82 \mu F$$

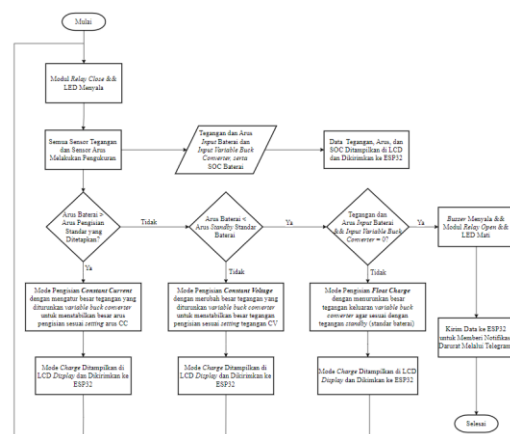
(c) Pemilihan MOSFET dan Diode

Rating tegangan dan arus MOSFET dan diode harus lebih besar 20% dari spesifikasi maksimum *buck converter*, oleh karena itu *rating* tegangan harus lebih besar dari 30 V dan *rating* arus harus lebih besar dari 6 A. MOSFET yang dipilih adalah IRF4905 dengan *rating* tegangan maksimum *drain source* sebesar 55 V, *rating* arus *drain* sebesar 74 A, dan tahanan *drain-source* sebesar 0,02 Ω.

Diode yang digunakan berjenis *schottky* karena karakteristiknya memiliki rugi-rugi daya kecil dan *recovery time* yang cepat [17]. Diode ini ditambahkan juga di *output buck converter* sebagai *reverse protection*. Diode *schottky* yang digunakan bertipe SR560 dengan *rating* tegangan bias baik sebesar 60 V dan arus bias maju sebesar 5 A.

4.2 Rancangan Perangkat Lunak

Sistem kerja Prototipe sistem *battery charger* yang dirancang sesuai dengan *flowchart* di Gambar 5 berikut.



Gambar 5. Flowchart Battery Charger

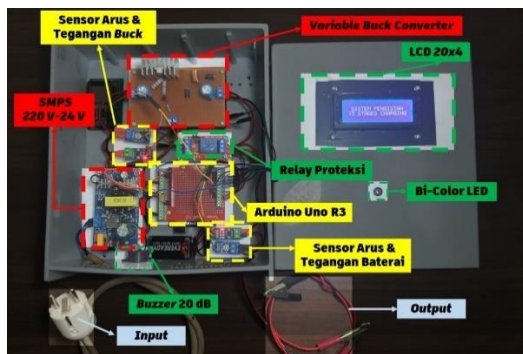
Sistem dalam keadaan *default* akan menutup saklar relai dan menyalakan LED berwarna hijau. Semua sensor akan melakukan pengukuran, dari hasil pengukuran tersebut data akan dikalkulasi untuk mendapatkan SOC dan daya sistem.

Data pengukuran digunakan juga untuk algoritma pengisian sistem yaitu tahap *bulk* ketika arus baterai lebih besar dari arus pengisian standar. Tahap kedua yaitu *absorption* ketika kondisi arus baterai kurang dari arus pengisian standar dan lebih besar dari arus *standby* yang sudah ditetapkan terpenuhi. Tahap pengisian terakhir yaitu tahap *float* terjadi ketika arus baterai kurang dari arus *standby* yang sudah ditetapkan.

Sistem juga mampu mendeteksi ketika terjadi gangguan yaitu ketika tegangan *input* dan *output* di luar batas yang sudah ditetapkan. Kondisi gangguan akan membuka saklar relai, menyalakan LED berwarna merah, dan menyalakan *buzzer* sebagai indikator.

4.3 Hasil Perancangan Perangkat Keras Sistem Battery Charger

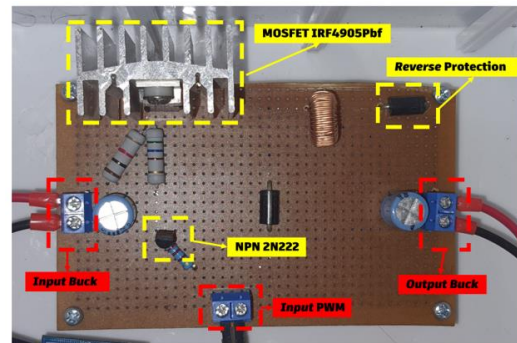
Perangkat keras prototipe sistem ditunjukkan pada Gambar 6 berikut.



Gambar 6. Realisasi Prototipe Sistem Battery Charger

Realisasi prototipe sistem *battery charger* yang dibangun sudah sesuai dengan rancangan pada Gambar 3 yaitu terdiri dari satu buah modul SMPS 220 V – 24 V DC, satu buah *variable buck converter*, dua buah sensor tegangan DC, dua buah sensor arus ACS712-20A, satu buah LCD I2C 20x4, satu buah bi-color

LED, satu buah *buzzer* 20 dB, dan satu buah Mikrokontroler Arduino Uno R3.



Gambar 7. Realisasi Buck Converter

Komponen *variable buck converter* yang dibangun tidak sama persis dengan rancangan, tetapi sudah mencukupi spesifikasi minimal dari perhitungan teoritis. Realisasi *variable buck converter* menggunakan satu buah induktor toroid 220 μH 6 A, dua buah kapasitor elektrolit 470 μF 50 V, satu buah MOSFET IRF4905, satu buah BJT 2N222, dua buah diode *schottky* SR560, dan tiga buah resistor yang masing-masing berkapasitas 2000 Ω 0,5 W, 1000 Ω 2 W, serta 560 Ω 2 W.

4.4 Hasil Perancangan Perangkat Lunak Sistem Battery Charger

Hasil perancangan perangkat lunak sistem dibagi menjadi tujuh bagian utama yaitu program pengukuran tegangan DC sensor, program pengukuran arus searah sensor, program algoritma pengisian baterai, program proteksi gangguan sistem, program informasi sistem, dan program *monitoring offline*.

4.5 Pengujian Unjuk Kerja Respon Sistem di Berbagai Kondisi

Pengujian ini dilakukan dengan memvariasikan tegangan *input* menggunakan modul XL4015 dan memvariasikan tegangan *output* menggunakan *adjustable power supply* agar dapat berada di dalam *threshold* (normal) dan di luar *threshold* (gangguan) yang sudah ditetapkan. Hasil pengujian ditunjukkan Tabel 2 berikut.

Tabel 2. Hasil Pengujian Respon Prototipe *Battery Charger* dalam Berbagai Kondisi

Besar Tegangan	Kondisi Sistem	Respon Sistem
$V_{in} < 15 V$ dan $12,24 V < V_{out} < 15 V$	a) <i>Input</i> Gangguan b) <i>Output</i> Normal	a) Saklar relai terbuka b) LED menyala berwarna merah c) <i>Buzzer</i> menyala setiap dua detik d) LCD menunjukkan kondisi gangguan <i>input</i>
$V_{in} < 15 V$ dan $V_{out} > 15 V$	a) <i>Input</i> Gangguan b) <i>Output</i> Gangguan	a) Saklar relai terbuka b) LED menyala berwarna merah c) <i>Buzzer</i> menyala setiap dua detik d) LCD menunjukkan kondisi gangguan <i>input</i> dan <i>output</i>
$V_{in} < 15 V$ dan $V_{out} < 12,24 V$	a) <i>Input</i> Gangguan b) <i>Output</i> Gangguan	a) Saklar relai terbuka b) LED menyala berwarna merah c) <i>Buzzer</i> menyala setiap dua detik d) LCD menunjukkan kondisi gangguan <i>input</i> dan <i>output</i>
$V_{in} > 15 V$ dan $V_{out} > 15 V$	a) <i>Input</i> Normal b) <i>Output</i> Gangguan	a) Saklar relai terbuka b) LED menyala berwarna merah c) <i>Buzzer</i> menyala setiap dua detik d) LCD menunjukkan kondisi gangguan <i>output</i>
$V_{in} > 15 V$ dan $V_{out} < 12,24 V$	a) <i>Input</i> Normal b) <i>Output</i> Gangguan	a) Saklar relai terbuka b) LED menyala berwarna merah c) <i>Buzzer</i> menyala setiap dua detik d) LCD menunjukkan kondisi gangguan <i>output</i>
$V_{in} > 15 V$ dan $12,24 V < V_{out} < 15 V$	a) <i>Input</i> Normal b) <i>Output</i> Normal	a) Saklar relai tertutup b) LED menyala berwarna hijau c) LCD menunjukkan data pengisian baterai

Hasil pengujian menunjukkan bahwa ketika kondisi gangguan, sistem merespon sesuai ditunjukkan Tabel 2 untuk mencegah baterai rusak karena bekerja di luar spesifikasi. Respon sistem ketika kondisi normal adalah akan melanjutkan pengisian baterai sesuai dengan metode pengisian tiga tahap.

4.6 Pengujian Unjuk Kerja Sistem dalam Pengisian Baterai

Pengujian dilakukan menggunakan aki basah dengan spesifikasi $V = 12 V$ dan $C = 10 Ah$. Pengisian baterai dimulai dari *OCV* baterai sebesar 12,27 V atau setara dengan SOC sebesar 50% sesuai dengan Tabel 1. Hasil pengujian ditunjukkan sebagai berikut:

(a) Tahap *Bulk*

Arus pengisian diatur sebesar 0,7 A menyesuaikan dengan spesifikasi baterai. Hasil pengisian pada tahap ini ditunjukkan Tabel 3 berikut.

Tabel 3. Hasil Uji Tahap *Bulk*

Waktu	V_{out}	I_{out}
04:52 WITA	12,69 V	0,68 A
05:42 WITA	12,94 V	0,77 A
06:32 WITA	13,05 V	0,68 A
07:22 WITA	13,21 V	0,79 A
08:12 WITA	13,34 V	0,70 A
09:02 WITA	13,56 V	0,79 A
09:52 WITA	13,87 V	0,67 A
10:42 WITA	14,18 V	0,72 A
11:32 WITA	14,68 V	0,70 A

Hasil pengisian tahap ini berlangsung selama 6 jam 40 menit terhitung dari 04:52 WITA hingga 11:32 WITA. Tahap ini akan menjaga arus konstan sebesar 0,7 A, tetapi berdasarkan hasil pengujian pada beberapa waktu terdapat besar arus di luar *threshold* yaitu dengan selisih terbesar sebesar 0,09 A yaitu ketika arus pengisian sebesar 0,79 A. Pengisian pada tahap ini akan meningkatkan tegangan pengisian dari 12,69 V hingga 14,68 V.

(b) Tahap *Absorption*

Tegangan pengisian diatur sebesar 14,7 V menyesuaikan dengan spesifikasi baterai yaitu sebesar 2,4 V hingga 2,5 V tiap sel atau dalam rentang 14,4 V hingga 15 V tiap satu unit baterai. Hasil pengisian pada tahap ini ditunjukkan Tabel 4. berikut.

Tabel 4. Hasil Uji Tahap *Absorption*

Waktu	V_{out}	I_{out}
11:33 WITA	14,69 V	0,66 A
11:48 WITA	14,70 V	0,62 A
12:03 WITA	14,70 V	0,39 A
12:18 WITA	14,71 V	0,35 A
12:33 WITA	14,70 V	0,23 A
12:48 WITA	14,70 V	0,13 A

Hasil pengisian tahap ini berlangsung selama 1 jam 17 menit terhitung dari 11:33 WITA hingga 12:51 WITA. Tahap ini akan menjaga tegangan konstan sebesar 14,7 V, tetapi berdasarkan hasil pengujian pada beberapa waktu terdapat besar arus di luar *threshold* yaitu dengan selisih terbesar sebesar 0,01 V yaitu ketika tegangan pengisian sebesar 14,71 V dan 14,69 V. Pengisian pada tahap ini akan menurunkan arus pengisian dari 0,66 A hingga 0,13 A.

(c) Tahap *Float*

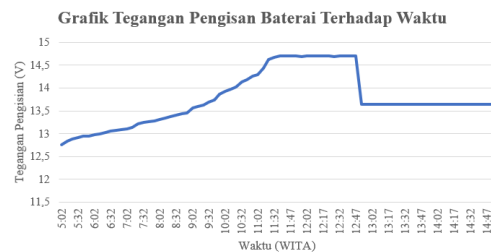
Tahapan ini diperlukan untuk menjaga baterai tetap penuh, tanpa mengakibatkan baterai *overcharge*. Tegangan pengisian *standby* diatur sebesar 13,65 V sesuai dengan spesifikasi baterai yaitu 2,275 V/cell atau sebesar 13,65 V untuk baterai 12 V yang terdiri dari 6 sel. Hasil pengujian pada tahap ini ditunjukkan Tabel 5 berikut.

Tabel 5. Hasil Uji Tahap *Float*

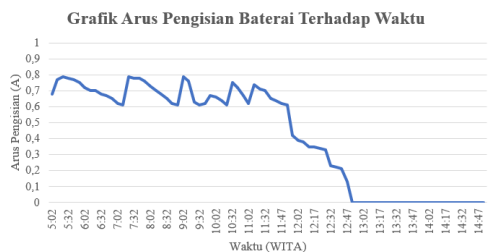
Waktu	V_{out}	I_{out}
12:52 WITA	13,65 V	0,00 A
13:07 WITA	13,65 V	0,00 A
13:22 WITA	13,65 V	0,00 A
13:37 WITA	13,65 V	0,00 A
13:52 WITA	13,65 V	0,00 A
14:07 WITA	13,65 V	0,00 A
14:22 WITA	13,65 V	0,00 A
14.37 WITA	13,65 V	0,00 A
14:52 WITA	13,65 V	0,00 A

Pengisian tahap ini diujikan selama 2 jam yaitu terhitung dari 12:52 WITA hingga 14:52 WITA. Hasil pengujian menunjukkan kesesuaian yaitu tegangan pengisian akan konstan sebesar 13,65 V dan arus pengisian akan sangat kecil (pada LCD terukur sebesar 0 A.)

Ketiga tahap di atas, jika digambarkan pada grafik pengisian yaitu grafik tegangan pengisian terhadap waktu dan grafik arus pengisian terhadap waktu ditunjukkan Gambar 8 dan Gambar 9 berikut.



Gambar 8. Grafik Tegangan Pengisian Baterai Terhadap Waktu



Gambar 9. Grafik Arus Pengisian Baterai Terhadap Waktu

4.7 Perbandingan Prototipe dan Implementasi Riil

Kondisi riil genset Perumda Tirta Sanjiwani Unit Produksi Blangsinga

menggunakan aki basah dengan merek Yuasa 11F51/N-120 dengan tegangan nominal 12 V dan berkapasitas 120 Ah. Genset di mitra menggunakan *dynamo stater* dengan spesifikasi sebagai berikut:

- a. Model = QDJ1309-B/1
- b. Daya = 3 kW
- c. Tegangan = 12 V

Arus *starting* motor DC memiliki estimasi sebesar dua kali arus nominalnya [18], sehingga arus yang digunakan untuk *starting* genset mengacu dari spesifikasi di atas adalah sebagai berikut:

$$I_{starting} = 2 \times \frac{3000 W}{12 V} = 500 A$$

Perumda Tirta Sanjiwani melakukan pemeliharaan mingguan yang salah satunya adalah menyalakan genset selama 30 menit, oleh karena itu, dalam kondisi tidak ada gangguan, waktu genset mati dalam satu minggu adalah selama 167 jam 30 menit. Gangguan PLN dapat terjadi secara tiba-tiba dan dalam kurun waktu yang bervariasi. Kondisi ketika dalam satu minggu terjadi gangguan PLN sebanyak satu kali dan diperlukan waktu perbaikan selama empat jam, maka waktu genset mati dalam satu minggu selama 164 jam.

Starting genset akan berlangsung selama 5-30 sekon, maka untuk menyalakan genset dengan maksimal tiga kali percobaan *starting* akan sebagai berikut:

$$DOD = \frac{(3 \times 500 A \times 30 s / 3600 s)}{120 Ah} \times 100\%$$

$$DOD = 10,42 \%$$

Nilai DOD di atas sudah sesuai dengan besar DOD yang dianjurkan untuk baterai *flooded lead acid* yaitu di bawah 50% [8]. Kalkulasi waktu genset mati dan DOD di atas menunjukkan bahwa implementasi prototipe *battery charger* pada mitra perlu dilakukan pertimbangan.

(a) Pengisian Sesuai Spesifikasi Prototipe

Prototipe memiliki kemampuan untuk mengeluarkan arus dengan besar maksimal 5 A, sehingga estimasi waktu pengisian baterai sebagai berikut:

$$t = \frac{120 Ah \times 10,42\%}{5 A} \times 1,5$$

$$t = 3,75 \text{ jam atau selama 3 jam 45 menit}$$

Waktu tersebut dapat dikatakan cukup karena waktu pengisian tidak melebihi waktu genset *off* ketika kondisi tidak ada gangguan dan dalam kondisi gangguan selama empat jam.

(b) Pengisian Sesuai Spesifikasi Baterai

Standar arus pengisian sesuai spesifikasi baterai sebesar 0,1C atau sebesar $0,1 A \times 120 Ah$ yaitu 12 A. Estimasi waktu yang diperlukan jika perubahan hanya di peningkatan arus pengisian baterai yang dirubah menjadi 12 A, ditunjukkan sebagai berikut.

$$t = \frac{120 Ah \times 10,42\%}{12 A} \times 1,5$$

$$t = 1,56 \text{ jam atau selama 1 jam 34 menit}$$

Estimasi waktu pengisian baterai dengan peningkatan arus pengisian mampu mengurangi waktu pengisian baterai hingga 2 jam 11 menit. Peningkatan arus pengisian akan memiliki keuntungan waktu pengisian lebih cepat dan waktu *standby* baterai lebih lama, sehingga jika terjadi gangguan secara tiba-tiba dan waktu antar gangguan satu dengan lainnya yang singkat, maka kondisi baterai belum dapat *me-starter* genset dapat diminimalisir. Namun, dengan peningkatan *rating* arus pengisian memerlukan modifikasi di beberapa komponen prototipe, sehingga akan meningkatkan biaya produksi alat, perubahan komponen tersebut sebagai berikut:

A. Perubahan Komponen *Buck Converter*

Perubahan arus pengisian menjadi 12 ampere memerlukan perubahan di beberapa komponen *buck converter* yaitu sebagai berikut:

a. Pemilihan Induktor

$$L = \frac{14 V \cdot (24 - 14)V}{(0,3 \times 12 A) \times 31372,55 Hz \times 24 V}$$

$$L \approx 0,00005165 H = 51,65 \mu H$$

$$I_{max} = \frac{3,6 A}{2} + 12 A = 13,8 A$$

b. Pemilihan Kapasitor

$$C_{out} = \frac{3,6 A}{8 \times 31372,55 Hz \times 0,02 V}$$

$$C_{out} \approx 0,00071719 F = 717,79 \mu F$$

$$V_{cap(min)} = 120\%(V_{max}) = 28,8 V$$

c. Pemilihan Diode

Diode SR560 tidak dapat digunakan karena memiliki *rating forward current* sebesar 5 A, sehingga diperlukan diode dengan *rating current forward* yang lebih besar dari 20% arus keluaran *buck converter* maksimum yaitu diperlukan diode dengan *rating reverse voltage* minimal sebesar 28,8 V dan *forward current* minimal sebesar 14,4 A. Diode yang dapat digunakan adalah diode *schottky* 15SQ045 dengan *rating reverse voltage* sebesar 45 V dan *forward current* sebesar 15 A.

B. Perubahan Relai

Relai proteksi yang digunakan di prototipe sistem *battery charger* memiliki spesifikasi maksimum tegangan 30 V DC dan 10 A. *Rating* tegangan tersebut sudah sesuai jika digunakan untuk implementasi riil, tetapi karena perubahan arus pengisian menjadi 12 A, relai tersebut tidak dapat digunakan. Relai proteksi perlu memiliki spesifikasi minimal 20% dari spesifikasi arus maksimum atau minimal sebesar 14,4 A. Relai yang dapat digunakan adalah *solid state relay* 15 A.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan dari hasil rancang bangun dan pengujian prototipe sistem dapat disimpulkan:

1. Prototipe sistem *battery charger* dengan Metode 3 *Stages Charging* berhasil dibangun berdasarkan hasil pengujian pengisian aki basah 12 V berkapasitas 10 Ah melalui tahap *bulk* selama 6 jam 40 menit dengan besar arus pengisian diatur sebesar 0,7 A, tahap *absorption* selama 1 jam 17 menit dengan tegangan pengisian diatur sebesar 14,7 V, serta tahap *float* selama 2 jam dengan tegangan pengisian diatur sebesar 13,65 V. Prototipe sistem juga berhasil merespon dengan baik ketika terjadi gangguan seperti tegangan pengisian

baterai di luar batas standar pengisian, oleh karena itu berdasarkan hasil pengujian tersebut aki selalu terisi secara penuh dan berada dalam mode *standby*, sehingga dapat digunakan sewaktu-waktu.

2. Pengisian aki basah berkapasitas 120 Ah sesuai dengan kondisi riil di Perumda Air Minum Tirta Sanjiwani Unit Produksi Blangsinga dapat menggunakan dua opsi pengisian yaitu pengisian sesuai kapasitas prototipe dengan arus pengisian sebesar 5 A dan arus pengisian sesuai spesifikasi baterai dengan arus pengisian sebesar 12 A. Peningkatkan arus pengisian mempercepat waktu pengisian, tetapi perlu dilakukan penyesuaian komponen pada prototipe seperti peningkatan *rating* induktor, kapasitor, dan diode *buck converter*, serta peningkatan *rating* arus relai.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] P. Y. Du, J. Burnett, dan S. M. Chan, "Reliability of standby generators in Hong Kong buildings," *IEEE Transactions on Industry Applications*, vol. 39, no. 6, hal. 1592–1595, Nov. 2003.
- [2] Slobodan Petrovic, *Battery technology crash course: a concise introduction*, Cham, Switzerland: Springer, 2021.
- [3] Kirw Beard, T. B. Reddy, dan D. Linden, *Linden's handbook of batteries*, New York: Mcgraw-Hill, 2019.
- [4] D. Pavlov, *Lead-Acid Batteries: Science and Technology*, Elsevier, 2017.
- [5] A. F. Farizy dan D. A. Asfani, "Desain Sistem Monitoring State of Charge Baterai Pada Charging Station Mobil Listrik Berbasis Fuzzy Logic Dengan Mempertimbangkan Temperature," *Jurnal Teknik ITS*, vol. 5, no. 2, Oct. 2016.
- [6] D.J. Deepti dan V. Ramanarayanan, "State of charge of lead acid battery," *India International Conference on Power Electronic*. Chennai, India, hal. 89-93, Dec. 2006.

- [7] Jurgen Garche, C. K. Dyer, P. T. Moseley, Zempachi Ogumi, David, dan B. Scrosati, *Encyclopedia of Electrochemical Power Sources*. Newnes: Elsevier Science, 2013.
- [8] J. Jung, L. Zhang, and J. Zhang, *Lead-acid battery technologies: fundamentals, materials, and applications*. Boca Roca, FL: CRC Press, 2016.
- [9] "BU-403: Charging Lead Acid," Battery University, Feb. 16, 2011. <https://batteryuniversity.com/article/bu-403-charging-lead-acid>
- [10] A. C.-C. Hua dan B. Z.-W. Syue, "Charge and discharge characteristics of lead-acid battery and lifepo4 battery," *The 2010 International Power Electronics Conference -ECCE ASIA-*, Jun. 2010.
- [11] H. Andri, "Rancang Bangun System Battery Charging Automatic," Skripsi, Universitas Indonesia, 2010.
- [12] Sanjay Murmu, dan Mr.SSPM Sharma B, "Study and Design, Simulation of PWM based Buck converter for Low Power Application," *International Organization of Scientific Research*, Jul. 2015.
- [13] Hauke, B, *Basic Calculation of Buck Converter's Power Stage*. Texas Instrument, Dec. 2011.
- [14] J. Nussey, *Arduino for Dummies*. Hoboken: Nj Wiley, 2018.
- [15] Shenzhen Global Technology Co. Ltd, *Voltage Sensor Module*. Shenzhen: Shenzhen Global Technology Co. Ltd, 2015.
- [16] Valleman, *ACS712 Current Sensor 20A*, Gavere: Valleman
- [17] M. H. Rashid, *Power Electronics Handbook*. Elsevier Science, 2010.
- [18] A. Bhatnagar, P. Agarwal, K. Gandhi, L. Parchha, dan S. Kumar, "Electronic starter for DC motors," *IJRDO-Journal of Electrical and Electronic Engineering*, vol. 3, no. 3, Mar. 2017.