

Optimasi Pembebanan pada Sistem Penerangan DC Pembangkit Listrik Tenaga Akumulator Gandeng Sebagai Sumber Energi Cadangan

Cekmas Cekdin^{1*}, Azwardi², ³Fadilah

^{1,3}Proram Studi Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Palembang
Jalan Jenderal A. Yani 13 Ulu, Palembang 30263

²Jurusan Teknik Komputer, Politeknik Negeri Sriwijaya Palembang
Jalan Srijaya Negara Bukit Besar, Palembang 30139

^{1*}cekmas_cekdin@yahoo.com,

²azwardi@polsri.ac.id

³diilaahfaa@gmail.com

Intisari — Sering terjadinya pemadaman listrik dari PLN akan berdampak pada aktivitas di rumah tangga atau perkantoran untuk penerangan. Pemanfaatan akumulator patut dipertimbangkan, karena penggunaan akumulator sebagai sumber energi belum dimanfaatkan secara optimal khususnya untuk pemenuhan kebutuhan energi pada lokasi dan untuk penggunaan tertentu, seperti pemanfaatan pada lokasi yang terisolasi. Agar Sistem Penerangan DC Pembangkit Listrik Tenaga Akumulator Gandeng Sebagai Sumber Energi Cadangan bekerja secara kontinyu atau dengan waktu yang lama, maka harus dibebani dengan beban yang optimal. Penelitian dilakukan dengan meningkatkan beban secara bertahap, yang gunanya untuk mengetahui pada beban berapa sehingga terjadi tegangan kritis di salah satu akumulator. Penelitian juga dilakukan tanpa menggunakan charger tambahan photovoltaik maupun menggunakan charger tambahan photovoltaik. Dari hasil penelitian ketika Sistem Penerangan DC Pembangkit Listrik Tenaga Akumulator Gandeng Sebagai Sumber Energi Cadangan tanpa menggunakan charger tambahan photovoltaik dibebani maksimum 160 Watt terjadi tegangan kritis di salah satu akumulator. Dan ketika Sistem Penerangan DC Pembangkit Listrik Tenaga Akumulator Gandeng Sebagai Sumber Energi Cadangan menggunakan charger tambahan photovoltaik dibebani maksimum 160 Watt atau lebih, tidak terjadi tegangan kritis yaitu 11,5 Volt di salah satu akumulator, artinya Sistem Penerangan DC Pembangkit Listrik Tenaga Akumulator Gandeng Sebagai Sumber Energi Cadangan bekerja terus.

Kata Kunci — akumulator gandeng, beban maksimum, tegangan kritis, optimal.

Abstract — Frequent power outages from PLN will have an impact on activities in household or offices for lighting. The utilization of accumulators is worth considering, because the use of accumulators as an energy source has not been utilized optimally, especially for the fulfillment of energy needs on site and for certain uses, such as utilization in isolated locations. In order for the DC lighting system of the accumulator power plant that is arranged parallel as a backup energy source to work continuously or for a long time, it must be loaded with optimal load. Research is done by increasing the load gradually, which is useful to find out at what load so that there is a critical voltage in one of the accumulators. Research was also conducted without using additional photovoltaic chargers or using additional photovoltaic chargers. From the results of research when the DC lighting system of the accumulator power plant is arranged parallel as a backup energy source without using an additional photovoltaic charger at a maximum load of 160 Watts there is a critical voltage in one of the accumulators. And when the DC lighting system of the Accumulator Power Plant is paralleled as a backup energy source using an additional photovoltaic charger at a maximum load of 160 Watts or more, there is no critical voltage of 11.5 Volts in one of the accumulators, meaning that the DC lighting system of the Accumulator Power Plant which is parallel stacked as a backup energy source works continuously.

Keywords — Accumulator, maximum load, critical voltage, optimal.

I. PENDAHULUAN

Sering terjadinya pemadaman listrik dari PLN akan berdampak pada aktivitas di rumah tangga atau perkantoran untuk penerangan. Ketergantungan manusia terhadap energi listrik sudah menjadi ciri utama pada era

modern sekarang ini. Sumber daya listrik dimana-mana ada dalam jumlah tak terbatas dan dapat mendorong mesin tanpa batubara, minyak atau bahan bakar lainnya. Hal ini dapat memanfaatkan energi alamiah yang dapat menghasilkan sumber daya listrik yang

murah, ramah lingkungan dan berkelanjutan. Untuk dapat mewujudkan persoalan kebutuhan sumber daya listrik yang murah, ramah lingkungan dan berkelanjutan ini dikembangkan inovasi baru yaitu berupa penggunaan akumulator secara maksimal.

Sebelumnya penggunaan akumulator ini adalah sebagai sumber energi yang digunakan dalam keadaan darurat dan terbatas dengan waktu pakai, yang dinamakan *Uninterruptible Power Supply* (UPS). Cara kerja alat ini belum cukup efektif dan tidak handal sehingga perlu ada inovasi baru yang bukan hanya untuk digunakan dalam keadaan darurat dan terbatas dengan waktu pakai saja [1]. Melalui penelitian ini akan disajikan dua Akumulator Gandeng Sebagai Sumber Daya Listrik Cadangan sebagai salah satu penyedia sumber energi utama penerangan yang dapat memberikan jalan keluar bila terjadi gangguan atau pemadaman dari sumber energi PLN.

Pemanfaatan akumulator patut dipertimbangkan, karena penggunaan akumulator sebagai sumber energi belum dimanfaatkan secara optimal khususnya untuk pemenuhan kebutuhan energi pada lokasi dan untuk penggunaan tertentu, seperti pemanfaatan pada lokasi yang terisolasi dan lain-lain. Energi yang dihasilkan akumulator berasal dari muatan listrik pada akumulator tersebut. Akumulator adalah komponen aktif yang mengubah dari muatan listrik menjadi energi listrik. Pada tahun-tahun terakhir ini akumulator telah banyak diteliti kembali sebagai sumber dalam hal penggunaan energi baik besar maupun kecil bergantung ukuran, daya dan material yang digunakan [2] [3].

Penggunaan akumulator secara maksimal yang dimaksud adalah dengan mengkreasi dua akumulator yang formasinya dibuat sedemikian rupa. Formasi dibuat adalah satu akumulator untuk melayani beban berupa lampu dc, dan satu akumulator yang lain *stand by*. Pada kedua masing-masing akumulator tersebut dipasang sensor tegangan. Sensor tegangan bekerja pada *setting low voltage* dan *high voltage*.

Ketika beban ditingkatkan, maka pada kondisi waktu tertentu akumulator melayani beban sebelumnya akan *stand by*.

Akumulator yang satu lagi melayani beban dan men-charger akumulator yang *stand by*. Begitulah seterusnya sistem kerja dari Sistem Penerangan DC Pembangkit Listrik Tenaga Akumulator Gandeng Sebagai Energi Cadangan ini.

Bila beban terus ditingkatkan, akan terjadi tegangan kritis di salah satu akumulator maka Sistem Penerangan DC Pembangkit Listrik Tenaga Akumulator Gandeng Sebagai Energi Cadangan dihentikan, karena salah satu akumulator tidak mampu lagi untuk men-charger akumulator yang lain.

Agar Sistem Penerangan DC Pembangkit Listrik Tenaga Akumulator Gandeng Sebagai Sumber Energi Cadangan bekerja secara kontinyu atau dengan waktu yang lama, maka harus dibebani dengan beban yang optimal. Penelitian dilakukan dengan meningkatkan beban secara bertahap, yang gunanya untuk mengetahui pada beban berapa sehingga terjadi tegangan kritis disalah satu akumulator. Penelitian juga dilakukan ketika menggunakan charger tambahan photovoltaik maupun tanpa menggunakan charger tambahan photovoltaik.

Sistem Penerangan DC Pembangkit Listrik Tenaga Akumulator Gandeng Sebagai Sumber Energi Cadangan ini sangat cocok untuk sistem penerangan digunakan pada daerah terpencil yang belum ada sistem penerangannya. Sistem Penerangan DC Pembangkit Listrik Tenaga Akumulator Gandeng Sebagai Sumber Energi Cadangan ini bekerja hanya untuk melayani sistem penerangan DC.

II. METODE PENELITIAN

A. Studi Literatur

Dalam penelitian ini, disajikan *state of the art* dari penggunaan akumulator sebelumnya. Tulisan ini berbeda dari tulisan-tulisan lain dalam hal penggunaan akumulator. Sebelumnya penggunaan akumulator sebagai sumber energi yang digunakan dalam keadaan darurat dan terbatas dengan waktu pakai, yang dinamakan *Uninterruptible Power Supply* (UPS) [4]. Dari hasil penelitian ini adalah berupa Dua Akumulator Sebagai Sumber Daya Listrik Cadangan sebagai salah

satu penyedia sumber energi utama untuk penerangan lampu dc yang dapat memberikan jalan keluar untuk penerangan pada daerah terisolasi atau terpencil.

Akumulator atau *Storage Battery* [5] adalah sebuah sel atau elemen sekunder dan merupakan sumber arus listrik searah yang dapat mengubah energi kimia menjadi energi listrik. Akumulator termasuk elemen elektrokimia yang dapat mempengaruhi zat pereaksinya, sehingga disebut elemen sekunder. Kutub positif akumulator menggunakan lempeng oksida dan kutub negatifnya menggunakan lempeng timbal, sedangkan larutan elektrolitnya adalah larutan asam sulfat. Ketika akumulator dipakai, terjadi reaksi kimia yang mengakibatkan endapan pada anode (reduksi) dan katode (oksidasi). Akibatnya, dalam waktu tertentu antara anode dan katode tidak ada beda potensial, artinya akumulator menjadi kosong.

Agar akumulator dapat dipakai lagi, harus diisi (*charger*) dengan cara mengalirkan arus listrik kearah yang berlawanan dengan arus listrik yang dikeluarkan akumulator tersebut. Ketika akumulator diisi (*charger*) akan terjadi pengumpulan muatan listrik. Pengumpulan jumlah muatan listrik dinyatakan dalam *ampere* jam, yaitu yang disebut dengan tenaga akumulator. Pada kenyataannya, pemakaian akumulator tidak dapat mengeluarkan seluruh energi yang tersimpan akumulator itu. Oleh karenanya, akumulator mempunyai rendemen atau efisiensi.

Dalam hasil penelitian ini akumulator yang digunakan yaitu akumulator dengan sumber tegangan ± 12 Volt dc. Kemampuan akumulator mengeluarkan aliran arus listrik disebut kapasitas. Besar kapasitas arus listrik pada akumulator dinyatakan dalam *Ampere hour* (Ah). Sensor Tegangan adalah suatu peralatan listrik yang berfungsi menyambungkan (ON) atau memutuskan (OFF) tegangan dari suatu sumber daya listrik.

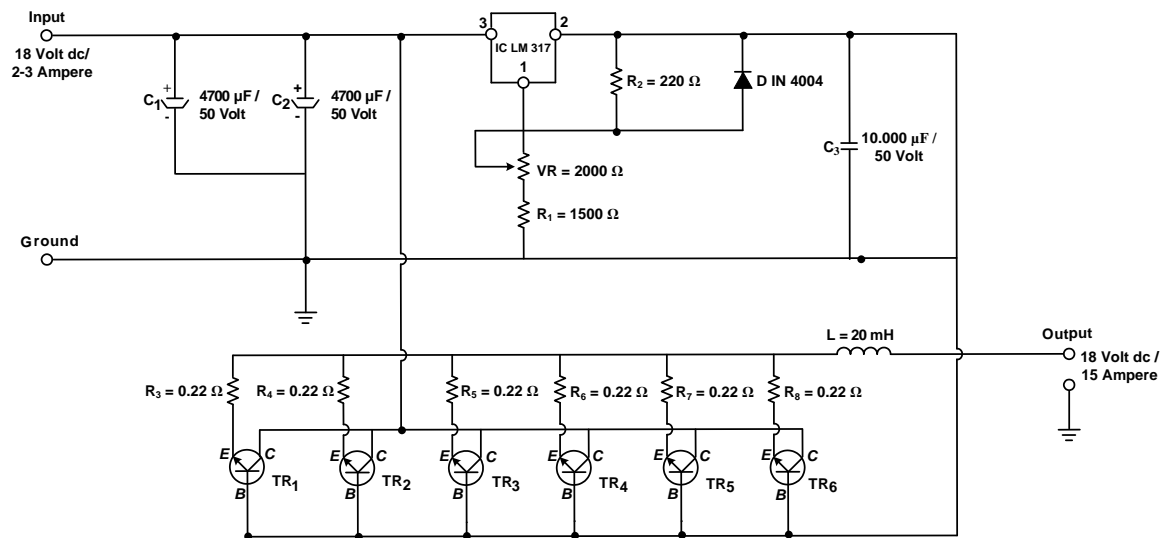
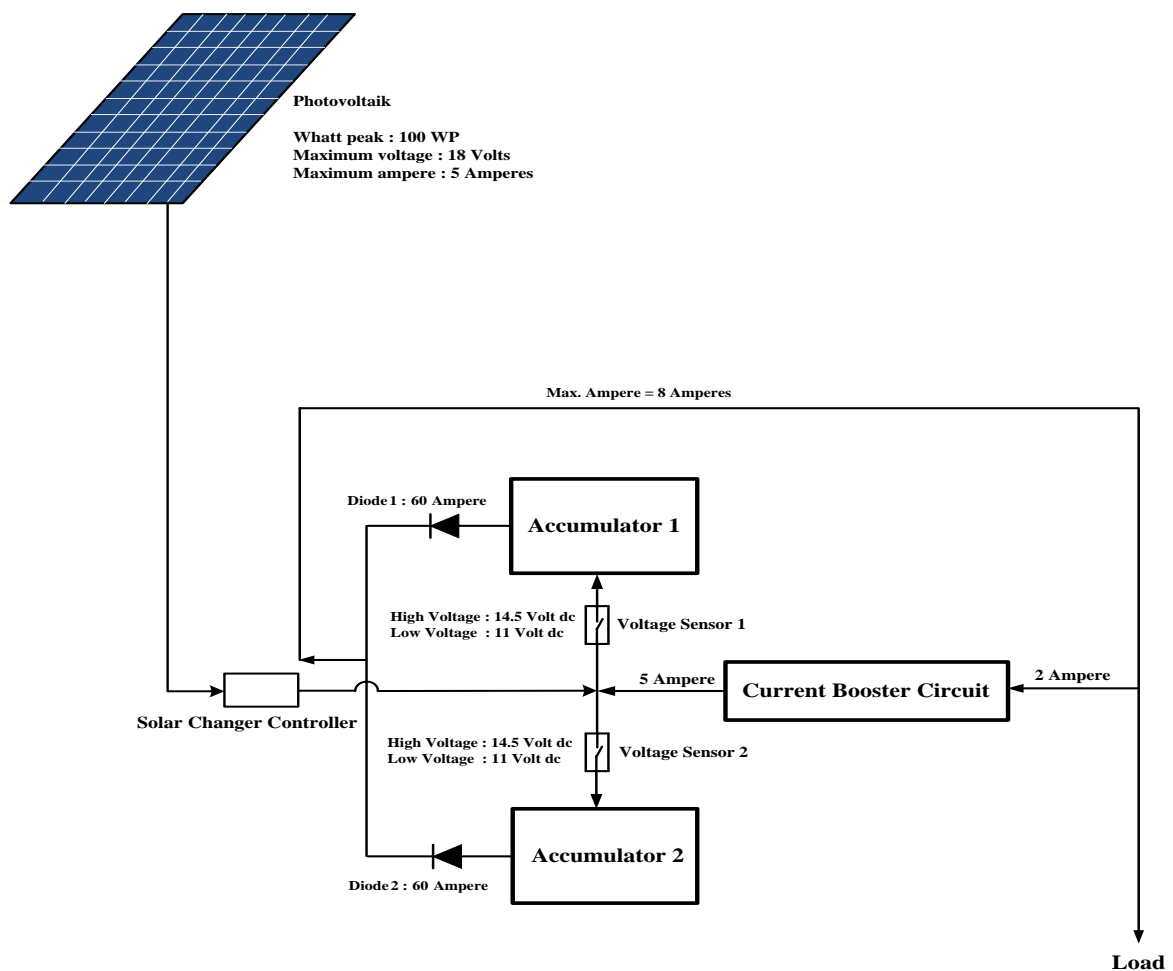
Rangkaian *Current Booster* adalah rangkaian yang berfungsi untuk meningkatkan arus masukan yang kecil

menjadi arus keluaran yang besar, dimana arus keluaran (I_{out}) dapat diatur sesuai dengan kebutuhan. Rangkaian ini menggunakan transistor penarik arus TIP 3055. Dimana transistor ini mempunyai kapasitas kemampuan maksimum arus sebesar 15 Amper dengan tegangan 18 Volt dc [6] didapat spesifikasi transistor TIP 3055. Rangkaian *Current Booster* ini untuk meningkatkan arus sampai 15 Amper dengan tegangan kerja 30 Volt dc. Cara kerja rangkaian *Current Booster* ini dapat dilihat seperti pada Gbr. 1 [7] [8].

Input/masukan dimulai dari pin 3 pada IC LM 317 sebagai regulator tegangan dan arus, tegangan dan arus masukan akan disaring/*filter* oleh kapasitor C_1 dan C_2 dengan kapasitas 4700 μF /50 Volt dc, dan dari pin 2 pada IC LM 317 dipasang R_2 yang berfungsi untuk menghindari arus balik (*reverse current*) ke pin 1 IC LM 317 dan dioda IN 4004 sebagai *switching* (pemutus dan penyambung), serta VR (*Variable Resistor*) yang berfungsi sebagai *men-setting* besar/kecilnya tegangan. Tegangan dan arus yang sudah diatur dari IC LM 317 akan *filter* kembali pada bagian *output*/keluaran rangkaian ini dengan menggunakan kapasitor elektrolit C_3 dengan kapasitas 10.000 μF /50 Volt dc. Arus dan tegangan yang sudah stabil yaitu arus 2-3 Amper dan tegangan sebesar 18 Volt dc, selanjutnya arus akan ditingkatkan oleh transistor TR_1 , TR_2 , TR_3 , TR_4 , TR_5 , dan TR_6 menjadi 15 Amper dengan tegangan 30 Volt dc. Arus ditingkatkan oleh kolektor (I_c) dan didapat spesifikasi transistor TIP 3055 [6] [8] [9] total semuanya 10 Amper, arus *base* (I_B) total semuanya adalah 8 Amper. Spesifikasi transistor TIP 3055 [6] dapat ditentukan jumlah transistor yang diperlukan yaitu terlebih dahulu tentukan daya yang dibutuhkan.

B. Akumulator Gandeng Sebagai Sumber Energi Cadangan

Aplikasi secara diagram blok dan prinsip kerja dari akumulator Gandeng Sebagai Sumber Energi Cadangan dapat dilihat seperti Gambar 2.

Gbr. 1 Rangkaian *Current Booster*.

Gbr.2 Akumulator Gandeng Sebagai Sumber Energi Cadangan.

Prinsip kerja Akumulator Gandeng Sebagai Sumber Energi Cadangan pada Gambar 4 di atas adalah dari Akumulator 1 mengeluarkan tegangan dan arus. Tegangan Akumulator 1 ini bekerja pada 11,5 Volt dc sampai 14,5 Volt dc. Akumulator 1 ini melayani beban lampu dc. Bila pada Akumulator 1 dengan tegangan 11,5 Volt dc maka Voltage Sensor 1 akan “OFF” dan Voltage Sensor 2 akan “ON”. Akumulator 2 akan bekerja untuk melayani beban dan men-charger Akumulator 1 melalui Rangkaian *Current Booster*. Tegangan Akumulator 2 ini adalah sama dengan Akumulator 1 bekerja pada 11,5 Volt dc sampai 14,5 Volt dc melayani beban lampu dc. Bila pada Akumulator 2 dengan tegangan 11,5 Volt dc maka Voltage Sensor 2 akan “OFF” dan Voltage Sensor 1 akan “ON”. Akumulator 1 akan bekerja untuk melayani beban dan men-charger Akumulator 2 melalui Rangkaian *Current Booster*. Begitulah seterusnya sistem kerja dari Pembangkit Listrik Tenaga Akumulator Gandeng Sebagai Sumber Energi Cadangan ini. Disamping itu pada Sistem Penerangan DC Pembangkit Listrik Tenaga Akumulator Gandeng Sebagai Sumber Energi Cadangan ini dipasang photovoltaik sebagai charger bantu.

Pada Rangkaian *Current Booster* ini diset arus masuk rata-rata di atas 2 Amper dan keluar rata-rata di atas 5 Amper, dan dari Photovoltaik arus untuk men-charger Akumulator 1 atau Akumulator 2 adalah diambil data dari jam 09.00 sampai jam 17.30 yang besar arusnya rata-rata 2 Amper. Total rata-rata arus untuk men-charger Akumulator 1 atau Akumulator 2 adalah 7 Amper. Agar Sistem Penerangan DC Pembangkit Listrik Tenaga Akumulator Gandeng Sebagai Sumber Energi Cadangan ini bekerja secara kontinyu harus dibebani yang optimal. Maksud optimal disini adalah arus yang keluar dan yang masuk untuk charger adalah sama atau paling tidak arus yang masuk untuk charger lebih besar dari yang keluar pada Akumulator.

C. Regresi Linier Dengan Dua Peubah

Umumnya persoalan penelitin yang menggunakan analisis regresi linier adalah memerlukan lebih dari satu peubah bebas.

Cukup rumit dalam menentukan model matematisnya [10]. Model matematis ini kegunaannya untuk mempredisikan respons atas kejadian yang akan datang [11]. Pandanglah model matematis dari analisis regresi dengan dua peubah bebas, misalkan x_1 dan x_2 sebagai berikut

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 x_{i1} + \beta_2 x_{i2} + \varepsilon_i \quad (1)$$

Anggapan yang diambil dalam model ini adalah bahwa x_1 dan x_2 tidak mempunyai distribusi sedangkan ε_i berdistribusi $N(0, \sigma^2)$. Sekarang akan menaksir dari β_0 , β_1 , dan β_2 yang dinyatakan dengan b_0 , b_1 , dan b_2 . Dari metode kuadrat terkecil dalam menaksir harga β_0 , β_1 , dan β_2 tersebut dapat diperoleh dengan meminimalkan bentuk kuadrat

$$J = \sum_{i=1}^n \varepsilon_i^2 = \sum_{i=1}^n (y_i - \beta_0 - \beta_1 x_{i1} - \beta_2 x_{i2})^2 \quad (2)$$

Minimum ini diperoleh dengan mencari turunan J terhadap β_0 , β_1 , dan β_2 kemudian menyamakan tiap turunan tersebut dengan nol. Dalam perhitungan berikut β_0 , β_1 , dan β_2 langsung diganti dengan menaksir b_0 , b_1 , dan b_2 . Dari hasil turunan terhadap β_0 , β_1 , β_2 dengan menyederhanakan dan mengganti koefisien regresi dalam taksirannya adalah

$$\begin{aligned} nb_0 + b_1 \sum x_{i1} + b_2 \sum x_{i2} &= \sum y_i \\ b_0 \sum x_{i1} + b_1 \sum x_{i1}^2 + b_2 \sum x_{i1} x_{i2} &= \sum y_i x_{i1} \\ b_0 \sum x_{i2} + b_1 \sum x_{i1} x_{i2} + b_2 \sum x_{i2}^2 &= \sum y_i x_{i2} \end{aligned} \quad (3)$$

Kalau disusun dalam bentuk matriks maka Persamaan (3) berbentuk

$$\mathbf{X}'\mathbf{X}\mathbf{b} = \mathbf{X}'\mathbf{Y} \quad (4)$$

dengan

$$\mathbf{Y} = \begin{pmatrix} y_1 \\ y_2 \\ y_3 \\ \vdots \\ y_n \end{pmatrix}, \quad \mathbf{X} = \begin{pmatrix} 1 & x_{11} & x_{12} \\ 1 & x_{21} & x_{22} \\ 1 & x_{31} & x_{32} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ 1 & x_{n1} & x_{n2} \end{pmatrix}, \quad \mathbf{b} = \begin{pmatrix} b_0 \\ b_1 \\ b_2 \end{pmatrix}$$

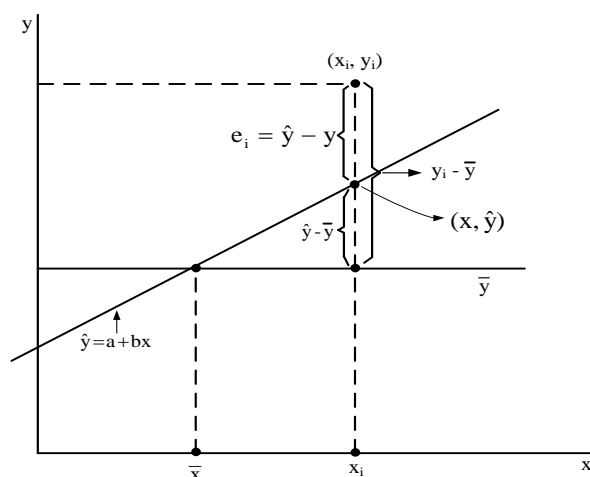
$$\mathbf{X}'\mathbf{X} = \begin{pmatrix} n & \sum x_{i1} & \sum x_{i2} \\ \sum x_{i1} & \sum x_{i1}^2 & \sum x_{i1}x_{i2} \\ \sum x_{i2} & \sum x_{i1}x_{i2} & \sum x_{i2}^2 \end{pmatrix},$$

$$\mathbf{X}'\mathbf{Y} = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & \cdots & 1 \\ x_{11} & x_{21} & x_{31} & \cdots & x_{n1} \\ x_{12} & x_{22} & x_{32} & \cdots & x_{n2} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} y_1 \\ y_2 \\ y_3 \\ \vdots \\ y_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \sum y_i \\ \sum x_{i1}y_i \\ \sum x_{i2}y_i \end{pmatrix}.$$

$$\mathbf{b} = (\mathbf{X}'\mathbf{X})^{-1} \mathbf{X}'\mathbf{Y} \quad (5)$$

D. Koefisien Korelasi R^2

Setelah menaksir persamaan regresi dari data, masalah berikutnya yang dihadapi adalah menilai buruknya kecocokan model regresi yang digunakan dengan data. Sebelum melangkah lebih jauh, perlu disadari bahwa ketergantungan model yang digunakan atas metode kuadrat terkecil. Untuk memudahkan pemahaman lihat Gbr. 3.



Gbr.3 Memudahkan pemahaman mencari koefisien korelasi R^2 .

Dari Gambar 3 perhatikan persamaan berikut

$$(y_i - \bar{y}) \equiv (\hat{y}_i - \bar{y}) + (y_i - \hat{y}_i)$$

\uparrow Variasi (penyimpangan total) \uparrow akibat regresi \uparrow Sisa, bagian yang tidak diterangkan oleh regresi

Bila ruas kiri dan kanan dikuadratkan dan kemudian dijumlahkan maka diperoleh

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 &\equiv \sum_{i=1}^n \{(\hat{y}_i - \bar{y}) + (y_i - \hat{y}_i)\}^2 \\ &= \sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - \bar{y})^2 + \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 + 2 \sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - \bar{y})(y_i - \hat{y}_i) \end{aligned} \quad (6)$$

Bagian ketiga ruas kanan dibuat sama dengan nol, karenanya

$$\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 = \sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - \bar{y})^2 + \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 \quad (7)$$

bila tidak menimbulkan keraguan penulisan $i = 1$ dan n pada Σ ini dihilangkan, maka

$$\sum (y_i - \bar{y})^2 = \sum (\hat{y}_i - \bar{y})^2 + \sum (y_i - \hat{y}_i)^2 \quad (8)$$

Persamaan (8) merupakan persamaan dasar dalam analisis regresi dan analisis variansi, ruas kiri disebut jumlah kuadrat total (JKT). Bagian pertama ruas kanan disebut jumlah kuadrat regresi (JKR), dan ini adalah variasi respons di sekitar harga rata-ratanya (\bar{y}).

Tidak sulit membuktikannya bahwa $\bar{\hat{y}}$, yaitu rata-rata \hat{y}_i , sama dengan rata-rata y_i . Bagian kedua ruas kanan disebut jumlah kuadrat galat (sisa) dan disingkat JKS. Bagian ini mengukur sisa dari variasi total (JKT) yang tidak dapat diterangkan oleh x , atau bagian yang sifatnya acak. Dengan demikian Persamaan (8) dapat ditulis sebagai

$$\text{JKT} = \text{JKR} + \text{JKS}$$

Variasi Total = Variasi karena Regresi + Variasi karena Sisa.

JKT dijadikan pembanding untuk menentukan besar kecilnya JKR atau JKS. Definisikan

$$R^2 = \frac{\sum (\hat{y}_i - \bar{y})^2}{\sum (y_i - \bar{y})^2} = \frac{\text{JKR}}{\text{JKT}} \quad (9)$$

R^2 disebut koefisien korelasi dua peubah atau koefisien penentu (determinasi). Karenanya $0 \leq \text{JKR} \leq \text{JKT}$, maka tentunya $0 \leq R^2 \leq 1$. $R^2 = 0$ bila $\text{JKR} = 0$, atau $\text{JKS} = \text{JKT}$, dan $R^2 = 1$ bila $\text{JKR} = \text{JKT}$, $\text{JKS} = 0$. $\text{JKR} = 0$ bila $\hat{y}_i = \bar{y}$ untuk setiap i , y_i tidak tergantung atau dipengaruhi oleh x_i . Dengan kata lain, pengetahuan mengenai x_i sama sekali tidak menolong dalam memprediksikan harga y_i (lihat Gbr. 4(a)). Sebaliknya, jika $\text{JKR} = \text{JKT}$ maka $y_i = \hat{y}_i$ untuk setiap titik data. Jadi setiap prediksi y_i tepat sekali, sama sekali tidak ada yang meleset (lihat Gbr. 4(b)). Jadi R^2 dapat

mengukur kecocokan data dengan model. Makin dekat R^2 dengan 1 makin baik kecocokan data dengan model, dan sebaliknya, makin dekat R^2 dengan 0 makin jelek kecocokan tersebut. R^2 biasanya dinyatakan dalam persen yang sering digunakan orang.

E. Tabel Analisis Variansi

Untuk menentukan apakah pengaruh suatu peubah bebas x besar atau kecil terhadap respons y memerlukan pembandingan yang baku, yang tidak dipengaruhi oleh baik buruknya model yang digunakan. Pembandingan baku tersebut adalah penaksir tak bias dari σ^2 , variansi ε . Umumnya σ^2 tidaklah diketahui, jadi harus ditaksir. Penaksir σ^2 yang tidak bias dapat diperoleh dari jumlah kuadrat sisa, yaitu $JKS/(n-2)$, disebut **rataan kuadrat sisa**. Bilangan $n-2$ disebut **derajat**

Hanya b yang merupakan informasi bebas dalam bentuk ini karena $\sum (x_i - \bar{x})^2$ bukan peubah acak. Jadi hanya ada satu informasi yang perlu ditaksir dalam JKR, karena dk JKR adalah 1. Derajat kebebasan JKS sedikit lebih sulit menghitungnya secara langsung. Cara yang paling mudah adalah dengan mengambil selisih dk JKT dengan dk JKR, jadi dk JKS = $(n-1) - 1 = n - 2$. Perhatikan bahwa ada 2 parameter dalam model linier sederhana yang digunakan. Secara umum, bila p menyatakan banyaknya parameter dalam model maka dk JKS adalah $n - p$, sedangkan dk JKR adalah $p - 1$, dan dk JKT tetap $n - 1$. Tabel 1 memperlihatkan bentuk umum tabel analisis variansi untuk regresi linier sederhana. Lajur keempat memberikan jumlah kuadrat dibagi dengan derajat kebebasannya, untuk Regresi dan Sisa. Tidak dituliskan jumlahnya di bawah pada baris Total, karena hal itu tidak berlaku untuk JKT.

III. HASIL DAN ANALISIS

A. Desain Alat

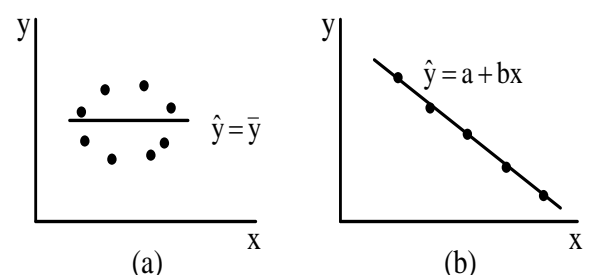
Bahan yang digunakan dalam buat alat ini adalah : satu buah resistor $R = 220 \Omega$, satu buah resistor $R = 1500 \Omega$, enam buah $R = 0,22 \Omega$, satu buah resistor variabel $VR = 2000 \Omega$, satu buah diode IN4004, 12 buah diode 10ED, enam buah transistor TR TIP 3055, satu buah IC LM 317, dua buah

kebebasan. Akan tetapi, rataan kuadrat sisa ini hanya akan menaksir σ^2 tanpa bias bila model yang digunakan tepat. Bila model yang digunakan keliru maka $JKS/(n-2)$ akan menaksir σ^2 sebagai penaksir dengan bias. Dengan kata lain, baiknya $JKS/(n-2)$ sebagai penaksir σ^2 tergantung pada tepatnya model yang dipakai. Jadi penggunaan rataan kuadrat sisa sebagai penaksir σ^2 selalu anggapan bahwa modelnya telah tepat. Tentunya, apakah anggapan ini beralasan atau tidak haruslah diperiksa pula kemudian, misalnya melalui pemeriksaan sisa.

$$JKR = \sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - \bar{y})^2 = b^2 \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \quad (10)$$

$$F = \frac{RKR}{RKS} = \frac{\sum (\hat{y}_i - \bar{y})^2 / 1}{\sum (y_i - \hat{y}_i)^2 / (n-2)} \quad (11)$$

Lajur terakhir memberikan harapan lajur keempat, yaitu harapan dari Rataan Kuadrat Regresi, $E(RKR)$, dan harapan dari Rataan Kuadrat Sisa, $E(RKS)$. Lajur ini memberikan dasar pengujian untuk β . Bila $\beta = 0$ maka $E(RKR)/E(RKS) = 1$, tetapi bila $\beta \neq 0$ maka $E(RKR)/E(RKS) > 1$, sebab $\beta^2 \sum (x_i - \bar{x})^2 > 0$. Dalam teori RKR/RKS mempunyai distribusi F dengan derajat kebebasan 1 dan $n - 2$, dapat didefinisikan uji statistik sebagai berikut.



Gbr.4 (a) R^2 terkecil, dan (b) R^2 terbesar

Kapasitor $C = 4700 \mu F/50 V$, satu buah kapasitor $C = 10.000 \mu F/50 V$, satu buah induktor $20 mH$, satu buah LED merah dan hijau, satu buah relay 5 pin 12 Volt dc, satu buah PCB, dua buah akumulator $70 Ah/12 Volt DC$, 20 buah lampu dc masing-masing $10 Watt/12 Volt dc$, 2 buah sensor tegangan dc dengan range kerja 5 sampai 30 Volt dc, 1 buah photovoltaic polycrystalline dengan panjang 100, lebar 40 cm dengan kapasitas

100 WP, tegangan maksimum 18 Volt dc dan arus maksimum 5 Amper, dan 1 buah solar changer controller 50 Amperes. Hasil rancangan Sistem Penerangan DC

Pembangkit Listrik Tenaga Akumulator Gandeng Sebagai Sumber Energi Cadangan ini seperti Gambar 5.

Tabel 1. Analisis variansi regresi sederhana.

Sumber variasi	JK	dk	RK	F
Regresi	$JKR = \sum (\hat{y}_i - \bar{y})^2$	1	$RKR = JKR/1$	RKR/RKS
Sisa	$JKS = \sum (y_i - \hat{y})^2$	n-2	$RKS = JKR/(n-2)$	
Total	$JKT = \sum (y_i - \bar{y})^2$	n-1		



Gbr.5 Hasil rancangan Sistem Penerangan DC Pembangkit Listrik Tenaga Akumulator Gandeng Sebagai Sumber Energi Cadangan.

B. Hasil Pengukuran

Sistem Penerangan DC Pembangkit Listrik Tenaga Akumulator Gandeng Sebagai Sumber Energi Cadangan dibebani dengan lampu dc dari 10 Watt sampai 160 Watt, ditingkatkan secara bertahap 10 Watt. Hasil pengukuran dari Sistem Penerangan DC Pembangkit Listrik Tenaga Akumulator Gandeng Sebagai Sumber Energi Cadangan dapat dilihat seperti pada Tabel 2 dan 3.

C. Analisis

Hasil pengukuran Sistem Penerangan DC Pembangkit Listrik Tenaga Akumulator Gandeng Sebagai Sumber Energi Cadangan seperti pada Tabel 2 dan Tabel 3 dengan peubah bebas beban (Watt) sebagai x_1 dan arus keluar dari rangkaian *current booster*

(Amper) sebagai x_2 , dan peubah tidak bebas y sebagai tegangan di akumulator. Hasil persamaan perhitungan optimasi tanpa menggunakan charger photovoltaik seperti Persamaan (12), yang dapat ditulis kembali.

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 x_{i1} + \beta_2 x_{i2} + \varepsilon_i \quad (12)$$

dengan β_0 , β_1 , dan β_2 adalah konstanta-konstanta model linier yang dicari, ε_i adalah *error* yang diabaikan dalam perhitungan. Sekarang ingin menaksir β_0 , β_1 , dan β_2 . Dari data Tabel 2 untuk persamaan perhitungan optimasinya tanpa menggunakan charger photovoltaik.

Tabel 2. Data pengukuran pada hari Rabu, tanggal 1 Desember 2021 tanpa bantuan charger photovoltaik

No.	Jam	Beban (Watt)	Tegangan Akumulator (Volt) di :		Arus pada Rangkaian <i>Current Booster</i> (Amper)		Arus Beban (Amper)	Akumulator Charging	
					masuk	keluar			
			1	2				dari	ke
1	09.00	40	12,50	12,40	2,58	5,83	1,17	1	2
2	09.50		12,30	12,30	3,70	5,86	1,45	2	1
3	10.00	50	12,30	12,20	3,30	5,76	1,39	2	1
4	10.50		12,30	12,20	3,00	5,78	1,36	2	1
5	11.00	60	12,20	12,20	2,90	5,87	1,58	2	1
6	11.50		12,30	12,20	3,12	5,82	1,57	2	1
7	12.00	70	12,20	12,20	2,90	5,79	1,87	2	1
8	12.50		12,20	12,10	3,20	5,83	1,81	1	2
9	13.00	80	12,20	12,10	3,50	5,81	2,14	1	2
10	13.50		12,10	12,10	3,20	5,83	2,08	1	2
11	14.00	90	12,10	12,10	3,20	5,71	2,32	1	2
12	14.50		12,10	12,00	3,60	5,78	2,35	1	2
13	15.00	100	12,10	11,90	2,35	5,78	2,58	1	2
14	15.50		12,10	12,00	2,07	5,79	2,54	1	2
15	16.00	110	12,10	12,10	2,89	5,83	2,66	1	2
16	16.50		12,10	12,00	2,81	5,79	2,75	1	2
17	17.00	120	12,10	12,00	2,81	5,38	3,00	1	2
18	17.50		12,10	12,00	2,80	5,82	3,00	1	2
19	18.00	130	12,10	12,00	2,23	5,84	3,29	2	1
20	18.50		12,10	12,00	2,76	5,81	3,27	2	1
21	19.00	140	12,00	12,00	2,16	5,77	3,32	2	1
22	19.50		12,00	11,90	2,70	5,84	3,26	2	1
23	20.00	150	11,90	11,90	2,80	5,78	3,28	1	2
24	20.50		11,70	11,80	2,81	5,80	3,30	1	2
25	21.00	160	11,50	11,70	2,45	5,20	3,40	2	1
26	21.50		11,50	11,60	2,39	5,00	3,42	2	1

Catatan: angka warna merah pada Tabel 2 adalah digunakan data untuk perhitungan.

Tabel 3. Data pengukuran pada hari Kamis, tanggal 2 Desember 2021 pakai bantuan charger photovoltaik

No.	Jam	Beban (Watt)	Tegangan Akumulator (Volt) di :		Arus Pada Rangkaian <i>Current Booster</i> (Amper)		Arus di <i>Solar Charger Controller</i> (Amper)		Arus Beban (Amper)	Akumulator Charging	
					masuk	keluar	masuk	keluar			
			1	2						dari	ke
1	09.00	40	12,50	12,50	2,58	5,83	1,77	1,76	1,17	1	2
2	09.50		12,40	12,41	3,70	5,86	2,64	3,21	1,45	1	2
3	10.00	50	12,37	12,30	3,30	5,76	3,19	1,52	1,39	1	2
4	10.50		12,30	12,25	3,00	5,78	0,80	0,90	1,36	1	2
5	11.00	60	12,57	12,30	2,90	5,87	0,82	0,81	1,58	1	2
6	11.50		12,30	12,38	3,12	5,82	0,80	0,78	1,57	1	2
7	12.00	70	12,55	12,35	2,90	5,79	0,68	0,70	1,87	1	2
8	12.50		12,30	12,37	3,20	5,83	3,42	3,41	1,81	1	2
9	13.00	80	12,60	12,36	3,50	5,81	3,50	2,45	2,14	1	2
10	13.50		12,50	12,30	3,20	5,83	3,49	2,44	2,08	1	2
11	14.00	90	12,48	12,28	3,20	5,71	3,72	2,71	2,32	1	2
12	14.50		12,47	12,28	3,60	5,78	3,79	2,71	2,35	1	2
13	15.00	100	12,47	12,48	2,35	5,78	3,40	3,71	2,58	2	1
14	15.50		12,46	12,47	2,07	5,79	2,42	2,72	2,54	2	1
15	16.00	110	12,45	12,46	2,89	5,83	1,39	1,37	2,66	2	1
16	16.50		12,45	12,45	2,81	5,79	1,23	1,37	2,75	2	1
17	17.00	120	12,43	12,43	2,81	5,38	0,04	0,04	3,00	2	1
18	17.50		12,43	12,43	2,80	5,82	0,04	0,04	3,00	2	1

$$\begin{array}{c}
 \begin{array}{cc}
 x_1 & x_2 \\
 \downarrow & \downarrow
 \end{array} \\
 \mathbf{X} = \begin{bmatrix} 1 & 40 & 5,86 \\ 1 & 50 & 5,78 \\ 1 & 60 & 5,82 \\ 1 & 70 & 5,83 \\ 1 & 80 & 5,83 \\ 1 & 90 & 5,78 \\ 1 & 100 & 5,79 \\ 1 & 110 & 5,79 \\ 1 & 120 & 5,82 \\ 1 & 130 & 5,81 \\ 1 & 140 & 5,84 \\ 1 & 150 & 5,80 \\ 1 & 160 & 5,00 \end{bmatrix}, \quad \text{dan } \mathbf{Y} = \begin{bmatrix} 12,30 \\ 12,20 \\ 12,20 \\ 12,20 \\ 12,10 \\ 12,10 \\ 12,10 \\ 12,10 \\ 12,10 \\ 12,00 \\ 11,90 \\ 11,70 \\ 11,60 \end{bmatrix}
 \end{array}$$

$$\mathbf{X}'\mathbf{X} = \begin{pmatrix} 10 & 1.300 & 70 \\ 1.300 & 148.200 & 7.420 \\ 70 & 7.420 & 430 \end{pmatrix}$$

$$(\mathbf{X}'\mathbf{X})^{-1} = \begin{pmatrix} 76,9065 & -0,0406 & -12,6554 \\ -0,0406 & 0,0001 & 0,0058 \\ -12,6554 & 0,0058 & 2,0996 \end{pmatrix}$$

$$(\mathbf{X}'\mathbf{X})^{-1}\mathbf{X}'\mathbf{Y} = \begin{pmatrix} \beta_0 \\ \beta_1 \\ \beta_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 11,8028 \\ -0,0039 \\ 0,2838 \end{pmatrix}$$

Persamaan regresinya adalah

$$\hat{y}_i = 11,8028 - 0,0039x_1 + 0,2838x_2$$

Dari Tabel 2 dan persamaan regresi di atas dapat dibuat Tabel 4.

Tabel 4. Harga y_i dari Tabel 3, harga \hat{y}_i dan kelengkapan yang lain.

Beban (Watt)	n_i	y_i	$y_i - \bar{y}$	$(y_i - \bar{y})^2$	\hat{y}_i	$\hat{y}_i - \bar{y}$	$(\hat{y}_i - \bar{y})^2$
40	1	12,30	0,2538	0,0644	11,9360	0,2340	0,0548
50	2	12,20	0,1538	0,0237	11,8970	0,1950	0,0380
60	3	12,20	0,1538	0,0237	11,8580	0,1560	0,0243
70	4	12,20	0,1538	0,0237	11,8190	0,1170	0,0137
80	5	12,10	0,0538	0,0029	11,7800	0,0780	0,0061
90	6	12,10	0,0538	0,0029	11,7410	0,0390	0,0015
100	7	12,10	0,0538	0,0029	11,7020	0,0000	0,0000
110	8	12,10	0,0538	0,0029	11,6630	-0,0390	0,0015
120	9	12,10	0,0538	0,0029	11,6240	-0,0780	0,0061
130	10	12,00	-0,0462	0,0021	11,5850	-0,1170	0,0137
140	11	11,90	-0,1462	0,0214	11,5460	-0,1560	0,0243
150	12	11,70	-0,3462	0,1199	11,5070	-0,1950	0,0380
160	13	11,60	-0,4462	0,1991	11,4680	-0,2340	0,0548
$\bar{n}_i = 7$		$\bar{y} = 12,0462$	$\Sigma(y_i - \bar{y}) = 0,0006$	$\Sigma(y_i - \bar{y})^2 = 0,4925$	$\bar{\hat{y}}_i = 11,7020$	$\Sigma(\hat{y}_i - \bar{y}) \approx 0$	$\Sigma(\hat{y}_i - \bar{y})^2 = 0,2768$

Tabel analisis variansinya diberikan pada Tabel 5.

Tabel 5. Analisis variansi dari Tabel 4.

Sumber	JK	dK	RK	F
Regresi	0,277	1	0,277	11,08
Sisa	1,646	11	0,025	
Jumlah	0,493	12		

$$R^2 = \frac{JKR}{JKT} \times 100\% = \frac{0,277}{0,493} \times 100\% \approx 56\% \quad (13)$$

Dari segi R^2 ini jelas modelnya cukup sempurna, atau sudah merupakan model cukup baik yang dapat dibuat dalam memprediksi pembebanan pada Sistem Penerangan DC Pembangkit Listrik Tenaga Akumulator Gandeng Sebagai Sumber Energi Cadangan tanpa bantuan charger photovoltaik. Untuk persamaan perhitungan optimasi menggunakan charger photovoltaik tidak dilakukan, karena ketika dibebani sampai 120 Watt pada salah satu akumulator tidak mencapai tegangan kritis 11,50 Volt terlihat pada Tabel 3. Dan juga ketika beban akan ditingkatkan melampaui 120 Watt, arus dari charger photovoltaik tidak mampu lagi untuk charger akumulator yang saat itu jam 17.30.

IV. KESIMPULAN

Dari hasil perhitungan didapat model matematis pada Sistem Penerangan DC Pembangkit Listrik Tenaga Akumulator Gandeng Sebagai Sumber Energi Cadangan tanpa bantuan charger photovoltaik adalah.

$$\hat{y}_i = 11,8028 - 0,0039x_1 + 0,2838x_2 \quad (14)$$

yang digunakan untuk memperkirakan beban maksimum pada sistem, sehingga pada sistem tidak melampaui beban maksimum, agar pada akumulator 1 dan akumulator 2 dapat bekerja secara kontinyu atau paling tidak bekerja dalam waktu yang lama. Dengan menggunakan persamaan matematis ini, maka $x_1 = 160$ (**variabel beban, Watt**) dan $x_2 = 5$ (**variabel arus yang keluar dari rangkaian current booster, Amper**), maka tegangan di salah satu akumulator $\hat{y}_i = 11,4680$ Volt dapat dilihat pada Tabel 4. Jika sistem dibebani lebih dari **160 Watt**, maka lampu indikator tegangan keluaran salah satu akumulator warna kuning memberikan sinyal bahwa tegangan berada pada titik kritis. Persamaan perhitungan optimasi menggunakan charger photovoltaik tidak dilakukan, karena ketika dibebani sampai 120 Watt pada salah satu akumulator tidak mencapai tegangan kritis 11,50 Volt terlihat

pada Tabel 3. Dan juga ketika beban akan ditingkatkan melampaui 120 Watt, arus dari charger photovoltaik tidak mampu lagi untuk charger akumulator yang saat itu jam 17.30. Sistem Penerangan DC Pembangkit Listrik Tenaga Akumulator Gandeng Sebagai Sumber Energi Cadangan sangat cocok untuk pada daerah terisolasi yang belum ada penerangannya.

REFERENSI

- [1] Zheng Liu, Huihui Zou, Bo Zhang, Research on Accumulator Charging Model in UPS, Published by Atlantis Press, Proceedings of the 2017 6th International Conference on Energy, Environment and Sustainable Development (ICEESD 2017).
- [2] Jiankai Dong, Long Zhang, Yiqiang Jiang, A comparative study on system performances of multi-split air source heat pump with different energy accumulators and storage methods, *Energy & Buildings*, 2020.
- [3] Enejo Godwin Ameh, Daniel Oluwagbemiga Aina, Search for autochthonous plants as accumulators and translocators in a toxic metal-polluted coal mine soil in Okaba, Nigeria, *Scientific African* 10, 2020.
- [4] Zachary R. Harvey, Advanced light source-Upgrade accumulator-ring gas bremsstrahlung production, *Nuclear Inst. and Methods in Physics Research*, 2020.
- [5] Shubhani Aggarwal, Neeraj Kumar, Chapter Six - Accumulators, *Advances in Computers*, Volume 121, pages 123-128, 2021.
- [6] W. Foulsham, *Tower's International Transistor Selector*, 5th Edition, BPB Publications, 2008.
- [7] Peter K. Wu, Justin C. Biffinger, Lisa A. Fitzgerald, Bradley R. Ringeisen, A low power DC/DC booster circuit designed for microbial fuel cells, *Process Biochemistry*, Volume 47, pages 1620-1626, 2012.
- [8] Cekmas Cekdin, Zainuddin Nawawi, Muhammad Faizal, Improving Capacity Thermoelectric Generator Using Current Booster Circuit, *Jour of Adv Research in Dynamical & Control Systems*, Vol. 11, Special Issue-05, 2019.
- [9] Smrithi Radhakrishnan, Venugopal LV, Vanitha M, Hardware Implementation of Linear Current Booster for Solar Pumping Applications, *ARNP Journal of Engineering and Applied Sciences*, Volume 11(1), pages 1124-1126, 2016.
- [10] Xin Yan, Xiao Gang Su "Linear Regression Analysis, Theory and Computing", World Scientific, 2009.
- [11] Ronald E. Walpole, Raymond H. Myers, Sharon L. Myers, Keying Yee, "Probability And Statistics For Engineers And Scientists", 9th Edition, Pearson, 2016.