

**MODELLING PEMBEBANAN PADA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA
AKUMULATOR 100 AH LUP TERTUTUP DENGAN KAPASITAS DAYA
MAKSIMUM 560 WATT**

Cekmas Cekdin^{1*}, Armin Sofijan²
^{1*}cekmas_ekdin@yahoo.com

Dosen Tetap Prodi Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Palembang¹
Dosen Tetap Prodi Teknik Elektro Universitas Sriwijaya²

ABSTRAK

Ketergantungan manusia terhadap energi listrik sudah menjadi ciri utama pada era modern sekarang ini. Salah satu sumber energi potensial dengan inovasi baru yaitu penggunaan sistem Pembangkit Listrik Tenaga Akumulator 100 Ah Lup Tertutup dengan Kapasitas Daya Maksimum 560 Watt. Hasil pengukuran yang diambil adalah data tegangan dan arus di akumulator, beban yang terpasang pada pengukuran adalah mulai 35 watt dinaikkan secara bertahap 35 Watt sampai 560 Watt. Dari hasil perhitungan korelasi dua peubah x_1 sebagai beban (Watt) dan x_2 sebagai arus yang mengalir dari akumulator (Amper), dan didapat model matematisnya $\hat{y}_i = 12,393 - 0,0027 + 0,0302$, merupakan model terbaik, yang dapat dibuat dalam memprediksikan pembebanan pada Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Akumulator 100 Ah Lup Tertutup dengan Kapasitas Daya Maksimum 560 Watt.

Kata Kunci : Modelling, Closed Loop, Loading

1. Pendahuluan

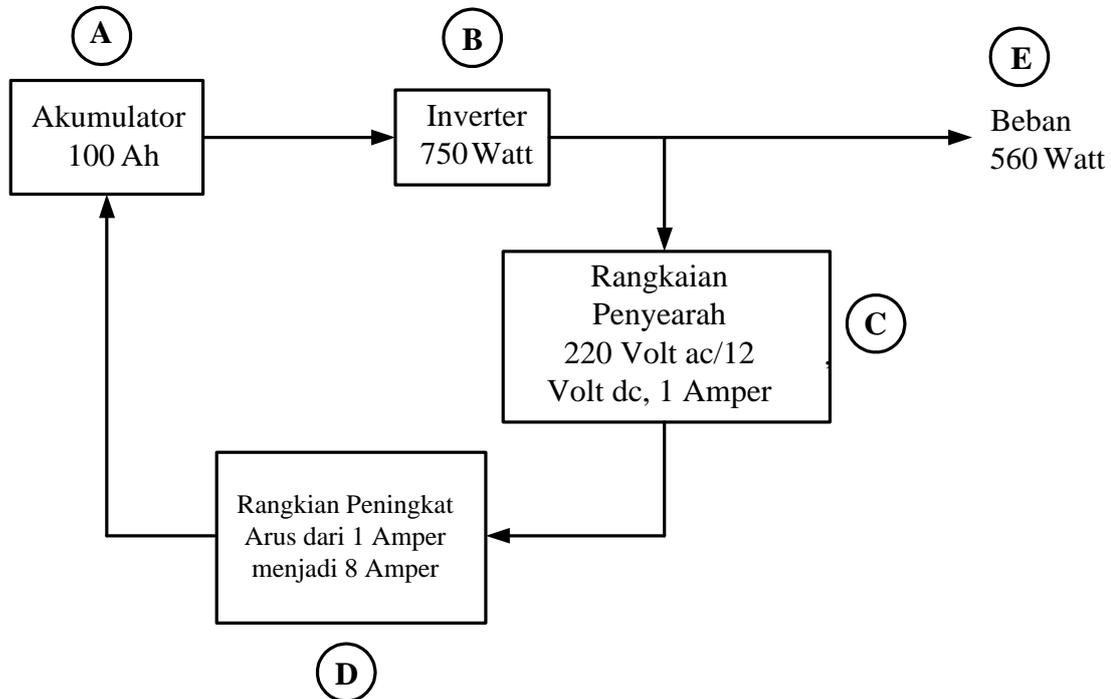
Ketergantungan manusia terhadap energi listrik sudah menjadi ciri utama pada era modern sekarang ini. Energi listrik yang dihasilkan saat ini, sebagian besar diperoleh dari energi primer seperti minyak bumi, gas alam, batubara yang tidak dapat diperbarui. Pemanfaatan energi fosil tersebut telah memberikan dampak negatif seperti polusi udara dan pencemaran global. Menurut Administrasi Informasi Energi (EIA), daya listrik yang dihasilkan oleh pabrik menggunakan gas alam meningkat setiap tahun sebesar 28 % pada 2014, 35 % pada tahun 2018 dan 36 % pada tahun 2019. Selanjutnya konsumsi dan produksi dunia terhadap bahan bakar cair meningkat dari 94 barrel juta per hari pada pertengahan tahun 2014 hingga 100 juta barrel pada pertengahan tahun 2018 yang menyebabkan biaya peningkatan energi. Untuk mengatasi pertumbuhan global konsumsi bahan bakar fosil yang cukup mahal dan berdampak pada polusi dunia maka muncul bentuk energi lain yang ramah lingkungan pada akhir dekade ini ^[1].

Salah satu sumber energi potensial dengan inovasi baru yaitu penggunaan Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Akumulator 100 Ah Lup Tertutup^[2] Dengan Kapasitas Daya Maksimum 560 Watt. Pemanfaatan Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Akumulator 100 Ah Loop Tertutup Dengan Kapasitas Daya Maksimum 560 Watt patut dipertimbangkan.

2. Metode Penelitian

2.1. Studi Literatur

Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Akumulator 100 Ah Lup Tertutup Dengan Kapasitas Daya Maksimum 560 Watt adalah seperti Gambar 1.

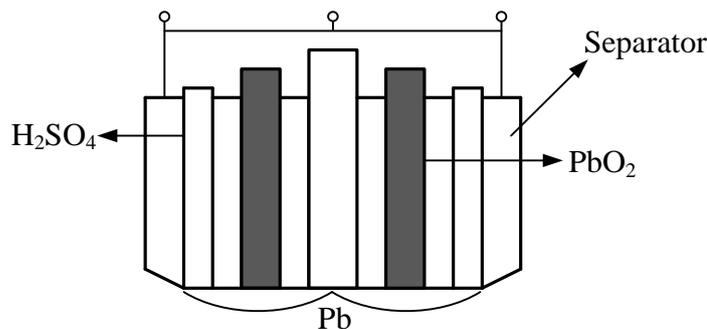


Gambar 1. Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Akumulator 100 Ah
Lup Tertutup Dengan Kapasitas Daya Maksimum 560 Watt.

Prinsip kerja Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Akumulator 100 Ah Loop Tertutup Dengan Kapasitas Daya Maksimum 560 Watt adalah dari akumulator dengan kapasitas 100 Ah/12 Volt dc mengalirkan arus ke inverter dengan kapasitas daya 750 Watt. Tegangan masuk pada inverter adalah 12 Volt dc dan keluarannya 220 Volt ac. Daya keluaran inverter ini dikirim ke beban dengan beban maksimum 560 Watt. Antara inverter dan beban dibuat suatu cabang, cabang ini dialiri arus 1 Amper dengan tegangan 220 Volt ac. Tegangan dari cabang ini akan diubah tegangannya dengan rangkaian penyearah menjadi tegangan keluaran 12 Volt dc dan arus 1 amper. Keluaran dari rangkaian penyearah adalah sebagai masukan rangkaian peningkatan arus. Arus yang masuk pada rangkaian penyearah akan ditingkatkan dari 1 Amper menjadi 8 Amper pada rangkaian peningkatan arus. Keluaran dari rangkaian peningkatan arus adalah sebagai charging akumulator.

A. Akumulator

Akumulator adalah suatu alat yang mengubah energi kimia menjadi energi listrik^[3]. Konstruksi akumulator^[4] seperti pada Gambar 2



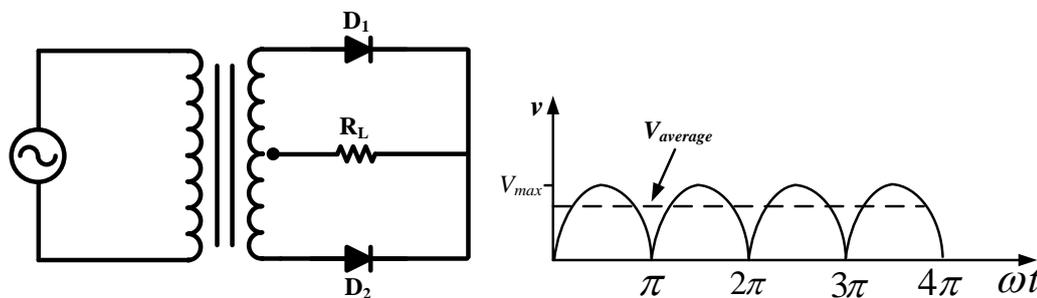
Gambar 2. Konstruksi akumulator.

B. Inverter

Inverter adalah suatu rangkaian yang mengubah tegangan dc menjadi tegangan ac^[5]. Tegangan diubah adalah dari 12 Volt dc menjadi 220 Volt ac^[6]. Disini kapasitas daya inverter yang digunakan adalah dengan kapasitas daya 750 Watt.

C. Rangkaian Penyearah

Rangkaian Penyearah adalah suatu rangkaian yang menyearahkan tegangan atau arus bolak-balik diubah menjadi tegangan atau arus searah^{[7],[8]}. Dalam paper ini rangkaian penyearah yang digunakan adalah rangkaian penyearah gelombang penuh (full wave rectifier) seperti pada Gambar 3

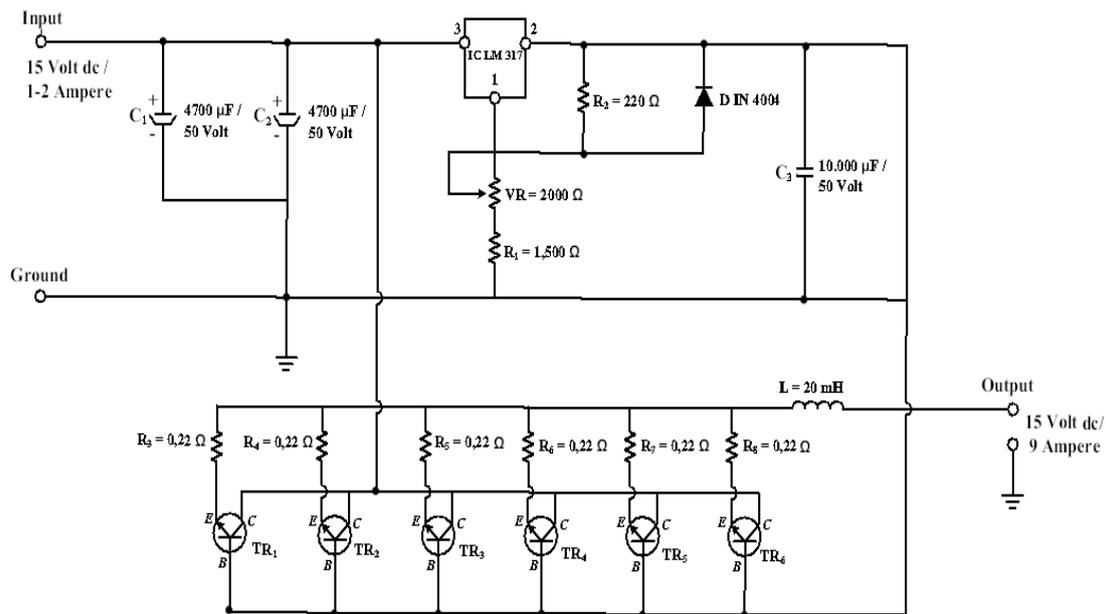


Gambar 3. (a) Rangkaian Penyearah Gelomng Penuh (b) Gelombang penuh

D. Rangkaian Peningkat Arus

Rangkaian Peningkatan Arus (*Current Booster*) adalah rangkaian yang berfungsi untuk menaikkan arus masukan yang kecil menjadi arus keluaran yang besar, dimana arus keluaran (I_{out}) dapat diatur sesuai dengan kebutuhan^[9]. Rangkaian ini menggunakan transistor penaik arus TIP 3055^[10]. Dimana transistor ini mempunyai kapasitas kemampuan maksimum arus sebesar 15 Amper dengan tegangan 60 Volt didapat spesifikasi transistor TIP 3055.

Arus yang masuk pada Rangkaian *Current Booster* kecil berkisar antara 1 Amper sampai maksimum 2 Amper dengan tegangan 15 Volt dc dan ditingkatkan/dinaikkan berkisar 8 Amper sampai maksimum 9 Amper dengan tegangan kerja 15 Volt dc. Cara kerja rangkaian *Current Booster* ini dapat dilihat seperti pada Gambar 4 di bawah ini.



Gambar 4. The Circuit of Current Booster TIP 3055

Input/masukan dimulai dari pin 3 pada IC LM 317 sebagai regulator tegangan dan arus, tegangan dan arus masukan akan disaring/di-filter oleh kapasitor C_1 dan C_2 dengan kapasitas $4700 \mu\text{F}/50 \text{ Volt dc}$, 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 di-filter kembali pada bagian output/keluaran rangkaian ini dengan menggunakan kapasitor elektrolit C_3 dengan kapasitas $10.000 \mu\text{F}/50 \text{ Volt dc}$. Arus dan tegangan yang sudah stabil yaitu arus 1-2 Amper dan tegangan sebesar 15 Volt dc, selanjutnya arus akan dinaikkan oleh transistor TR₁, TR₂, TR₃, TR₄, TR₅, dan TR₆ menjadi 8-9 Amper dengan tegangan 15 Volt dc. Arus dinaikkan oleh kolektor (I_C) dan didapat spesifikasi transistor TIP 3055^[11] total semuanya 10 Amper, arus *base* (I_B) total semuanya adalah 8 Amper. Spesifikasi transistor TIP 3055^[12] dapat ditentukan jumlah transistor yang diperlukan yaitu terlebih dahulu tentukan daya yang dibutuhkan.

E. Beban

Beban yang digunakan adalah lampu ulir merk Philips dengan daya 35 Watt sebanyak 16 buah. Total maksimum beban adalah 560 Watt.

F. Regresi Linier Dengan Dua Peubah

Umumnya persoalan penelitian yang menggunakan analisis regresi linier adalah memerlukan lebih dari satu peubah bebas. Cukup rumit dalam menentukan model matematisnya^[13]. Model matematis ini kegunaannya untuk mempredisikan respons atas kejadian yang akan datang^[14]. 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 ^[15]

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

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 .

$$\begin{aligned} \frac{\partial J}{\partial \beta_0} &= -2 \sum (y_i - \beta_0 - \beta_1 x_{i1} - \beta_2 x_{i2}) = 0 \\ \frac{\partial J}{\partial \beta_1} &= -2 \sum (y_i - \beta_0 - \beta_1 x_{i1} - \beta_2 x_{i2}) x_{i1} = 0 \\ \frac{\partial J}{\partial \beta_2} &= -2 \sum (y_i - \beta_0 - \beta_1 x_{i1} - \beta_2 x_{i2}) x_{i2} = 0 \end{aligned} \quad (3)$$

dengan menyederhanakan dan mengganti koefisien regresi dalam taksirannya

$$\begin{aligned} nb_0 + b_1 \sum x_{i1} + b_2 \sum x_{i2} &= \sum y_i \\ b_0 \sum x_{i1} + b_1 \sum x_{i1}^2 + b_2 \sum x_{i1} x_{i2} &= \sum y_i x_{i1} \\ b_0 \sum x_{i2} + b_1 \sum x_{i1} x_{i2} + b_2 \sum x_{i2}^2 &= \sum y_i x_{i2} \end{aligned} \quad (4)$$

Kalau disusun dalam bentuk matriks maka Persamaan (4) berbentuk

$$\mathbf{X}'\mathbf{X}\mathbf{b} = \mathbf{X}'\mathbf{Y} \quad (15)$$

dengan

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

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

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 &\equiv \sum_{i=1}^n \{(\hat{y}_i - \bar{y}) + (y_i - \hat{y}_i)\}^2 \\ &= \sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - \bar{y})^2 + \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 + 2 \sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - \bar{y})(y_i - \hat{y}_i) \end{aligned} \quad (8)$$

Bagian ketiga ruas kanan dibuat sama dengan nol, karenanya

$$\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 = \sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - \bar{y})^2 + \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 \quad (9)$$

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

$$\Sigma (y_i - \bar{y})^2 = \Sigma (\hat{y}_i - \bar{y})^2 + \Sigma (y_i - \hat{y}_i)^2 \quad (10)$$

Persamaan (10) merupakan **persamaan dasar** dalam analisis regresi dan analisis variansi, yang tidak lain hukum Pythagoras dalam segitiga siku-siku. Ruas kiri disebut **jumlah kuadrat total** (JKT) atau jumlah variasi total dan menyatakan jumlah penyimpangan y disekitar harga rata-ratanya. Penyebab perubahan (variasi) y di sekitar \bar{y} dapat dibagi atas dua bagian, pertama : karena pengaruh yang sifatnya berpola (sistematis) dan ini, menurut model yang digunakan karena x ; kedua : karena pengaruh yang sifatnya acak, karena ε (*error*). 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 (10) dapat ditulis sebagai

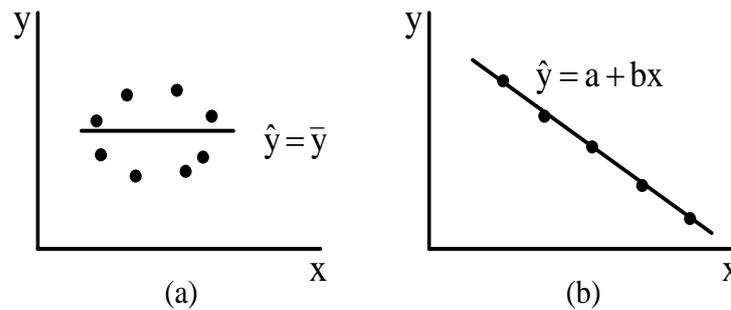
$$\text{JKT} = \text{JKR} + \text{JKS}$$

Variasi Total = Variasi karena Regresi + Variasi karena Sisa.

Bila JKR membesar maka JKS mengecil, dan sebaliknya, sedangkan jumlahnya JKT tetap. Jadi JKT dijadikan pembanding untuk menentukan besar kecilnya JKR atau JKS. Definisikan

$$R^2 = \frac{\Sigma (\hat{y}_i - \bar{y})^2}{\Sigma (y_i - \bar{y})^2} = \frac{\text{JKR}}{\text{JKT}} \quad (11)$$

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 . Ini berarti bahwa tidak peduli berapa harga x_i , taksiran y_i yaitu \hat{y}_i , selalu \bar{y} . Jadi 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 Gambar 6(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 Gambar 6(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.



Gambar 6. (a) R^2 terkecil, dan (b) R^2 terbesar.

F.2. Tabel Analisis Variansi

Untuk menentukan apakah pengaruh suatu peubah bebas x besar atau kecil terhadap respons y memerlukan pembanding yang baku, yang tidak dipengaruhi oleh baik buruknya model yang digunakan. Pembanding 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 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. Sekarang perhatikan

$$JKR = \sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - \bar{y})^2 = b^2 \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \quad (12)$$

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 tidak tergantung model, sehingga 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 . 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

$$F = \frac{RKR}{RKS} = \frac{\sum (\hat{y}_i - \bar{y})^2 / 1}{\sum (y_i - \hat{y}_i)^2 / (n - 2)} \quad (13)$$

Tabel 1. Analisis variansi regresi sederhana.

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

3. HASIL PENGUKURAN DAN PEMBAHASAN

3.1. Hasil Pengukuran

Pengukuran pada Pembangkit Listrik Tenaga Akumulator 100 Ah Lup Tertutup Dengan Kapasitas Daya Maksimum 560Watt seperti Gambar 7 dan hasil pengukurannya seperti Tabel 2.



Gambar 7. Pengukuran pembebanan.

Tabel 2. Data hasil pengukuran.

No	Beban (Watt)	Arus Keluar dari Akumulator (Amper)	Tegangan di Akumulator (Volt)
1	35	2,36	12,43
2	70	3,71	12,28
3	105	4,81	12,22
4	140	6,09	12,19

5	175	7,51	12,17
6	210	8,62	12,12
7	245	9,91	12,06
8	280	11,30	11,97
9	315	12,52	11,90
10	350	13,55	11,82
11	385	15,09	11,77
12	420	17,70	11,72
13	455	18,69	11,70
14	490	20,13	11,67
15	525	21,17	11,65
16	560	22,62	11,62

3.2. Pembahasan

Dari Tabel 2 dibuat persamaan regresi dengan peubah bebas beban (Watt) sebagai x_1 dan arus keluar (Amper) sebagai x_2 , dan peubah tidak bebas y sebagai tegangan keluaran di akumulator pada Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Akumulator 100 Ah Lup Tertutup Dengan Kapasitas Daya Maksimum 600 Watt. Dari Persamaan (2) model linier dapat ditulis kembali dengan a dan b adalah konstanta-konstanta model linier yang dicari, ε_i adalah *error* yang diabaikan dalam perhitungan. Sekarang ingin menaksir a dan b dari data Tabel 2. Dari Tabel 2 diperoleh

$$\mathbf{X} = \begin{bmatrix} 1 & x_1 & x_2 \\ \downarrow & \downarrow & \downarrow \\ 1 & 35 & 2,36 \\ 1 & 70 & 3,71 \\ 1 & 105 & 4,81 \\ 1 & 140 & 6,09 \\ 1 & 175 & 7,51 \\ 1 & 210 & 8,62 \\ 1 & 245 & 9,91 \\ 1 & 280 & 11,30 \\ 1 & 315 & 12,52 \\ 1 & 350 & 13,55 \\ 1 & 385 & 15,09 \\ 1 & 420 & 17,70 \\ 1 & 455 & 18,69 \\ 1 & 490 & 20,13 \\ 1 & 525 & 21,17 \\ 1 & 560 & 22,62 \end{bmatrix}, \quad \text{and } \mathbf{Y} = \begin{bmatrix} 12,43 \\ 12,28 \\ 12,22 \\ 12,19 \\ 12,17 \\ 12,12 \\ 12,06 \\ 11,97 \\ 11,90 \\ 11,82 \\ 11,72 \\ 11,72 \\ 11,70 \\ 11,67 \\ 11,65 \\ 11,62 \end{bmatrix}$$

dengan bantuan bahasa pemrograman MATLAB didapat harga-harga :

$$\mathbf{X}'\mathbf{X} = \begin{pmatrix} 0 & 0,0048 & 0,0002 \\ 0,0048 & 1,8326 & 0,0745 \\ 0,0002 & 0,0745 & 0,0030 \end{pmatrix}$$

$$\mathbf{X}'\mathbf{Y} = \begin{pmatrix} 0,0191 \\ 5,6270 \\ 0,2316 \end{pmatrix}$$

$$(\mathbf{X}'\mathbf{X})^{-1} = \begin{pmatrix} 0,4550 & 0,0105 & -0,2864 \\ 0,0105 & 0,0007 & -0,0178 \\ -0,2864 & -0,0178 & 0,4556 \end{pmatrix}$$

dan

$$(\mathbf{X}'\mathbf{X})^{-1}\mathbf{X}'\mathbf{Y} = \begin{pmatrix} \beta_0 \\ \beta_1 \\ \beta_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 12,3928 \\ -0,0027 \\ 0,0302 \end{pmatrix}$$

Persamaan regresinya adalah

$$\hat{y}_i = 12,3928 - 0,0027x_1 + 0,0302x_2$$

Dari Tabel 2 dan persamaan regresi di atas dapat dibuat Tabel 3

Tabel 3. Harga y_i dari Tabel 2, 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	$\hat{y}_i - \bar{y}$	$(\hat{y}_i - \bar{y})^2$
35	1	12,43	0,477	0,228	12,369	0,413	0,171
70	2	12,28	0,324	0,105	12,315	0,359	0,129
105	3	12,22	0,264	0,070	12,253	0,297	0,088
140	4	12,19	0,234	0,055	12,197	0,241	0,058
175	5	12,17	0,214	0,046	12,145	0,189	0,036
210	6	12,12	0,164	0,027	12,084	0,128	0,016
245	7	12,06	0,104	0,011	12,028	0,072	0,005
280	8	11,97	0,014	0,001	11,975	0,019	0,001
315	9	11,90	-0,056	0,003	11,917	-0,039	0,002
350	10	11,82	-0,136	0,019	11,853	-0,103	0,011
385	11	11,77	-0,186	0,035	11,805	-0,151	0,023
420	12	11,72	-0,236	0,056	11,789	-0,167	0,028
455	13	11,70	-0,256	0,066	11,724	-0,232	0,054
490	14	11,67	-0,286	0,082	11,672	-0,284	0,081
525	15	11,65	-0,306	0,094	11,609	-0,347	0,120
560	16	11,62	-0,336	0,113	11,557	-0,399	0,159
$\bar{n}_i = 8,50$	$\bar{y} = 11,956$	$\Sigma(y_i - \bar{y}) = -0,003$	$\Sigma(y_i - \bar{y})^2 = 1,011$	$\bar{\hat{y}}_i = 11,956$	$\Sigma(\hat{y}_i - \bar{y}) = -0,004$	$\Sigma(\hat{y}_i - \bar{y})^2 = 0,982$	

Dari Tabel 3 di atas dapat dibuat analisis sebagai berikut :

- Jumlah Kuadrat Regresi (JKR) = $\sum (\hat{y}_i - \bar{y})^2 = 0,982$
- Jumlah Kuadrat Sisa (JKS) = $\sum (y_i - \hat{y})^2 = JKT - JKR = 1,011 - 0,982 = 0,029$
- Jumlah Kuadrat Total (JKT) = $\sum (y_i - \bar{y})^2 = 1,011$
- $n-1 = 15$
- $n-2 = 14$
- Rataan Kuadrat Regresi (RKR) = $JKR/1 = 0,982/1 = 0,982$
- Rataan Kuadrat Sisa (RKS) = $JKR/(n-2) = 0,982/14 = 0,0701$
- $RKR/RKS = 0,982/0,0701 = 14,009$

Dari hasil uraian di atas dapat dibuat tabel analisis variansinya diberikan pada Tabel 4 di bawah ini.

Tabel 4. Analisis variansi.

Sumber Variasi	JK (Jumlah Kuadrat)	dK (Derajat Kebebasan)	RK (Rataan Kuadrat)	F
Regresi	0,982	1	0,982	14,009
Sisa	0,029	14	0,0701	
Jumlah	1,011	15		

$$R^2 = \frac{JKR}{JKT} \times 100\% = \frac{0,982}{1,011} \times 100\% = 97,13\% \approx 100\%$$

Dari segi R^2 ini jelas modelnya sempurna, atau sudah merupakan model terbaik yang dapat dibuat dalam memprediksi pembebanan pada sistem pada Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Akumulator 100 Ah Lup Tertutup Dengan Kapasitas Daya Maksimum 560 Watt.

4. PENUTUP

Berdasarkan dari hasil penelitian yang dilakukan dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut : Dari hasil perhitungan didapat model matematis $\hat{y}_i = 12,3928 - 0,0027x_1 + 0,0302x_2$ untuk memperkirakan beban maksimum pada sistem, sehingga pada sistem tidak melampaui beban ini agar akumulator dapat bekerja secara kontinyu. Dengan menggunakan model matematis seperti pada No. 1 di atas, maka $x_1 = 455$ (variabel beban, Watt) dan $x_2 = 18,69$ (variabel arus, Amper), maka tegangan $\hat{y}_i = 11,724$ Volt.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Nesrine Jaziri, Ayda Boughamoura, Jens Muller, Brahim Mezghan, Fares Tounsi, and Mohammed Ismail, "A comprehensive review of Thermoelectric Generators: Technologies and common applications," *Energy Reports*, vol. 6, pp. 264-287, Dec. 2020, doi: 10.1016/j.egy.2019.12.011.
- [2] P.A. González-Gómez, M. Laporte-Azcué, M. Fernández-Torrijos, and D. Santana, "Hybrid storage solution steam-accumulator combined to concrete-block to save energy during startups of combined cycles," *Energy Conversion and Management*, vol. 253, Feb. 2022, doi: 10.1016/j.enconman.2021.115168.
- [3] Zhiwen Wang, Jinshun Wang, Haoyang Cen, David S.K. Ting, Rupp Carriveau, and Wei Xiong, "Large-eddy simulation of a full-scale underwater energy storage accumulator," *Ocean Engineering*, vol. 234, Aug. 2021, doi: 10.1016/j.oceaneng.2021.109184.
- [4] F.S Prabhakara, Robert L Smith Jr, and Ray P. Stratford, "Energy Conservation and Management," in *Industrial and Commercial Power Systems Handbook*, McGraw-Hill, 1995, pp. 17.1-17.27.
- [5] Yamit Lavi, and Jay Apt, "Using PV inverters for voltage support at night can lower grid costs," *Energy Reports*, pp. 6347-6354, Jan. 2022, doi: 10.1016/j.egy.2022.05.004.
- [6] Ramakant A. Gayakwad, "The Practical Op-Amp," in *Operational Amplifiers*, England, 3rd ed, Prentice-Hall International Editions, 1993, pp. 156-207.
- [7] D. Truccolo, S. Boscolo, D. Esseni, M. Midrio, and P. Palestri, "Modeling and optimization of graphene ballistic rectifiers," *Solid-State Electronics*, vol. 194, Aug. 2022, doi: 10.1016/j.sse.2022.108314.
- [8] Zuhail, Zhanggishan, "Rangkaian Elektronika," in *Prinsip Dasar Elektroteknik*, PT. Gramedia Pustaka Utama, 2004, pp. 107-277.
- [9] Mochamad Ashari, "Sistem Konverter DC ke DC" in *Desain Konverter Elektronika Daya*, Penerbit Informatika, 2021, pp. 121-136.
- [10] Robert F. Coughlin, and Frederick F. Driscoll, "Bias, Offset, and Drift" in *Operational Amplifier and Linear Integrated Circuits*, Prentice-Hall, 1982, pp. 190-209.
- [11] Peter K. Wu, Justin C. Biffinger, Lisa A. Fitzgerald, and Bradley R. Ringeisen, "A low power DC/DC booster circuit designed for microbial fuel cells," *Process Biochemistry*, vol. 47, Aug. 2012, pp. 1620-1626, doi: 10.1016/j.procbio.2011.06.003.
- [12] Tomoaki Kashiwao, Iman Izadgoshasb, Yee Yan Lim, and Mikio Deguchi, "Optimization of rectifier circuits for a vibration energy harvesting system using a macro-fiber composite piezoelectric element," *Microelectronics Journal*, vol. 54, Aug. 2016, pp. 109-115, doi: 10.1016/j.mejo.2016.05.013.
- [13] Syarifah Diana Permai, and Heruna Tanty, "Linear regression model using bayesian approach for energy performance of residential building," *Procedia Computer Science*, vol. 135, 2018, pp. 671-677, doi: 10.1016/j.procs.2018.08.219.
- [14] R K Sembiring, "Regresi linear sederhana," in *Analisis Regresi*, Edisi Kedua, Penerbit ITB Bandung, 2003, pp. 30-78.
- [15] Ronald E Walpole, and Raymond H Myres, "Regresi linear dan korelasi," in *Ilmu Peluang dan*

Statistika Untuk Insinyur dan Ilmuwan, Edisi Keempat, Penerbit ITB Bandung, 1995, pp. 604-675.