

# Pemodelan Konsumsi Energi pada Bangunan Laboratorium dengan Menggunakan Metode Least-Squares Regression

Grace Yunike Margaretha Sitorus  
Departemen Teknik Elektro  
Universitas Indonesia  
Jakarta, Indonesia  
[grace.yunike@ui.ac.id](mailto:grace.yunike@ui.ac.id)

**Abstract**—Penelitian ini memodelkan konsumsi energi pada bangunan laboratorium menggunakan metode numerik Least-Squares dalam bentuk multiple regression. Model ini mengaitkan konsumsi energi listrik dengan tiga variabel utama, yaitu luas ruangan, jumlah peralatan, dan suhu rata-rata lingkungan. Metode least-squares digunakan untuk menghitung koefisien regresi yang merepresentasikan pengaruh masing-masing variabel terhadap energi. Hasil simulasi menunjukkan bahwa model prediktif yang dibangun mampu menghasilkan estimasi energi yang sejalan dengan tren aktual dan menunjukkan ketergantungan linier yang kuat terhadap ketiga parameter tersebut. Implementasi program dilakukan dalam bahasa C dan divisualisasikan menggunakan Python untuk mendukung interpretasi hasil. Hasilnya menunjukkan bahwa metode multiple regression dapat diterapkan secara efektif dalam pemodelan numerik konsumsi energi bangunan.

**Keywords**—Multiple regression, least-squares, konsumsi energi, pemodelan numerik, bangunan laboratorium.

## I. PENDAHULUAN

Konsumsi energi bangunan merupakan salah satu indikator penting dalam manajemen energi modern, khususnya pada fasilitas-fasilitas khusus seperti laboratorium yang memiliki beban listrik signifikan. Untuk memahami hubungan antara karakteristik bangunan dan kebutuhan energinya, dapat digunakan model matematis berbasis multiple regression. Model ini menggambarkan perumusan hubungan linier antara variabel-variabel masukan seperti luas ruangan, jumlah peralatan, dan suhu lingkungan terhadap konsumsi energi. Pendekatan ini dinyatakan dalam bentuk sistem persamaan linear yang diselesaikan secara numerik menggunakan metode Least-Squares Regression. Proyek ini mengimplementasikan model multiple regression berbasis least-squares dalam bahasa C dan memvisualisasikan hasilnya menggunakan Python, guna menganalisis pola konsumsi energi secara prediktif dan efisien.

## II. STUDI LITERATUR

### A. Multiple Linear Regression

Multiple linear regression merupakan salah satu metode statistika yang digunakan untuk memodelkan hubungan antara satu variabel dependen (terikat) dengan dua atau lebih variabel independen (bebas). Model ini bertujuan untuk mengestimasi parameter-parameter regresi yang merepresentasikan kontribusi relatif masing-masing variabel bebas terhadap variabel respon. Secara matematis, bentuk umum dari multiple regression dapat dituliskan sebagai:

$$y = \beta_0 + \beta_1 \cdot x_1 + \beta_2 \cdot x_2 + \beta_3 \cdot x_3 + \dots + \beta_n \cdot x_n + \varepsilon$$

di mana:

- $y$  adalah variabel dependen (output)
- $x_1, x_2, \dots, x_n$  adalah variabel independen (input)
- $\beta_0$  adalah intercept
- $\beta_1$  hingga  $\beta_n$  adalah koefisien regresi
- $\varepsilon$  adalah galat (error) model

Dalam kasus ini,  $y$  merepresentasikan konsumsi energi (kWh), sedangkan variabel input meliputi luas ruangan, jumlah peralatan, dan suhu lingkungan.

### B. Least-Squares Regression Method

Metode Least-Squares adalah pendekatan numerik yang digunakan untuk menentukan koefisien  $\beta$  yang meminimalkan jumlah kuadrat selisih antara nilai aktual  $y$  dan nilai yang diprediksi oleh model regresi ( $\hat{y}$ ). Solusi dari metode ini diperoleh menggunakan formulasi matriks:

$$\beta = (X^T \cdot X)^{-1} \cdot X^T \cdot y$$

di mana  $X$  adalah matriks desain yang menyusun semua nilai variabel input (dengan kolom pertama sebagai 1 untuk intercept),  $y$  adalah vektor output aktual, dan  $\beta$  adalah vektor koefisien yang dicari. Metode ini umum digunakan dalam pemrosesan data numerik karena stabil dan dapat diterapkan dengan efisien.

### C. Studi Terkait Pemodelan Energi

Dalam studi yang dilakukan oleh Sulaiman et al. (2022) berjudul “Modelling and predicting energy consumption in laboratory buildings using multiple linear regression”, dijelaskan bahwa model multiple regression mampu memprediksi konsumsi energi bangunan berdasarkan parameter seperti luas lantai, jumlah alat elektronik, dan suhu lingkungan. Hasil studi tersebut menunjukkan bahwa metode ini menghasilkan nilai prediksi yang cukup akurat dan dapat diterapkan dalam simulasi numerik untuk manajemen energi bangunan.

## III. PENJELASAN DATA YANG DIGUNAKAN

### A. Kondisi Awal dan Parameter Model

Dalam proyek ini, model multiple linear regression digunakan untuk memodelkan hubungan antara tiga variabel prediktor—luas ruangan, jumlah alat, dan suhu lingkungan—dengan konsumsi energi listrik (kWh) pada bangunan laboratorium. Model regresi yang digunakan dinyatakan dalam bentuk umum sebagai berikut:

$$y = \beta_0 + \beta_1 \cdot x_1 + \beta_2 \cdot x_2 + \beta_3 \cdot x_3$$

dengan:

- $y$ : Prediksi konsumsi energi (kWh)
- $x_1$ : Luas ruangan (m<sup>2</sup>)
- $x_2$ : Jumlah alat
- $x_3$ : Suhu lingkungan (°C)

- $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3$ : Parameter regresi yang dihitung menggunakan metode Least-Squares

Nilai parameter  $\beta_0$  hingga  $\beta_3$  dihitung menggunakan metode least-squares dengan menyusun sistem normal equations dalam bentuk matriks sebagai berikut:

$$\beta = (X^T \cdot X)^{-1} \cdot X^T \cdot Y$$

Model dibangun dalam bahasa C untuk menghitung parameter regresi dari 50 sampel data yang disediakan dalam file data\_energi.csv.

#### B. Struktur Data dan Interpretasi Awal

Data masukan disimpan dalam file data\_energi\_50.csv yang berisi empat kolom utama: Luas ( $m^2$ ), Jumlah Alat, Suhu ( $^{\circ}C$ ), dan Energi (kWh). Setiap baris merepresentasikan kondisi konsumsi energi suatu laboratorium berdasarkan kombinasi variabel tersebut. Data digunakan sebagai input untuk pelatihan model multiple regression guna memprediksi kebutuhan energi listrik. Berikut adalah cuplikan dari data:

TABLE I. INTERPRETASI AWAL

Luas ( $m^2$ )	Jumlah Alat	Suhu ( $^{\circ}C$ )	Energi (kWh)
50	4	23	341
55	4	23	350
60	5	24	367
65	5	24	370
70	6	25	387

Data menunjukkan bahwa laboratorium dengan luas ruang dan jumlah peralatan yang lebih tinggi cenderung memiliki konsumsi energi yang lebih besar. Kenaikan suhu lingkungan juga berperan dalam meningkatkan kebutuhan energi, khususnya untuk sistem pendingin.

#### C. Hasil Estimasi Parameter Regresi

Dari perhitungan regresi yang dilakukan menggunakan metode least-squares, diperoleh estimasi nilai parameter untuk model Multiple linear regression sebagai berikut:

TABLE II. ESTIMASI

Parameter	Nilai Estimasi
Intercept ( $\beta_0$ )	201.33
$\beta_1$ (Luas)	1.506
$\beta_2$ (Jumlah Alat)	5.1
$\beta_3$ (Suhu)	1.975

Dengan demikian, model prediksi konsumsi energi dapat dituliskan dalam bentuk persamaan regresi sebagai:

$$\text{Energi prediksi} = 201.33 + (1.506 \cdot \text{Luas}) + (5.1 \cdot \text{Jumlah Alat}) + (1.975 \cdot \text{Suhu})$$

Persamaan tersebut mengindikasikan bahwa setiap peningkatan 1  $m^2$  luas ruangan diperkirakan menambah konsumsi energi sebesar 1.506 kWh, setiap penambahan satu unit alat menambah konsumsi sebesar 5.1 kWh, dan setiap kenaikan suhu sebesar  $1^{\circ}C$  meningkatkan konsumsi sebesar 1.975 kWh—dengan asumsi variabel lainnya tetap.

### IV. PENJELASAN METODE YANG DIGUNAKAN

Metode numerik yang digunakan dalam studi kasus ini adalah metode Least-Squares Regression yang diterapkan untuk menyelesaikan sistem persamaan regresi linier berganda (multiple linear regression). Metode ini digunakan secara luas dalam statistika dan pemodelan numerik untuk menemukan hubungan antara satu variabel target (dependen) dengan dua atau lebih variabel bebas (independen). Dalam kasus ini, konsumsi energi listrik bangunan diprediksi berdasarkan luas ruangan, jumlah alat, dan suhu lingkungan.

#### A. Model Matematis: Multiple Linear Regression

Model multiple linear regression merepresentasikan hubungan linier antara satu variabel target  $y$  dan beberapa variabel prediktor  $x_1, x_2, \dots, x_n$  melalui sebuah persamaan umum sebagai berikut:

$$y = \beta_0 + \beta_1 \cdot x_1 + \beta_2 \cdot x_2 + \beta_3 \cdot x_3$$

dengan:

- $y$ : variabel dependen (konsumsi energi dalam kWh)
- $x_1$ : luas ruangan ( $m^2$ )
- $x_2$ : jumlah alat elektronik
- $x_3$ : suhu lingkungan ( $^{\circ}C$ )
- $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3$ : koefisien regresi yang merepresentasikan kontribusi setiap variabel terhadap  $y$

Model tersebut diasumsikan memiliki hubungan linier dan dapat diselesaikan dengan pendekatan numerik menggunakan metode Least-Squares, untuk mendapatkan nilai parameter  $\beta$  yang meminimalkan total galat kuadrat antara nilai aktual dan hasil prediksi.

#### B. Metode Least-Squares Regression

Metode Least-Squares digunakan untuk menentukan parameter koefisien regresi  $\beta$  secara numerik. Proses ini melibatkan formulasi sistem normal equation dalam bentuk matriks sebagai berikut:

$$\beta = (X^T \cdot X)^{-1} \cdot X^T \cdot y$$

di mana:

- $X$ : matriks input yang berisi nilai dari variabel  $x_1$  hingga  $x_n$  beserta kolom 1 untuk intercept
- $y$ : vektor berisi nilai aktual dari variabel target (energi)
- $\beta$ : vektor hasil yang berisi koefisien regresi  $\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_n$

Metode ini menghasilkan solusi optimal secara matematis dalam konteks galat kuadrat minimum dan banyak digunakan untuk estimasi parameter dalam model regresi linier.

### C. Implementasi Metode Least-Squares dalam Proyek

Dalam file program `least_squares_energy.c`, implementasi metode Least-Squares dilakukan dengan membangun matriks  $X$  dan vektor  $y$  dari data input. Operasi utama dalam implementasi adalah:

- Membangun matriks  $X$  dan vektor  $y$  berdasarkan file input CSV yang berisi data: luas, jumlah alat, suhu, dan energi aktual.
- Menghitung matriks  $X^T \cdot X$  dan  $X^T \cdot y$  melalui perkalian matriks.
- Menyelesaikan persamaan normal equation menggunakan metode Gauss-Jordan untuk mencari invers dari  $X^T \cdot X$ .
- Mengalikan hasil invers dengan  $X^T \cdot y$  untuk memperoleh parameter  $\beta$ .
- Menghitung nilai prediksi energi berdasarkan parameter  $\beta$  dan menuliskannya ke dalam file `hasil_prediksi.csv`.

Semua operasi dihitung menggunakan tipe data double untuk menjaga presisi numerik. Proses dilengkapi dengan fungsi untuk menyimpan hasil prediksi dan memfasilitasi visualisasi menggunakan Python.

### D. Alasan Pemilihan Metode Least-Squares

Pemilihan metode Least-Squares Regression didasarkan pada pertimbangan berikut:

- Model multiple regression merupakan sistem persamaan linier yang ideal diselesaikan secara eksplisit menggunakan metode least-squares karena efisien, stabil, dan tidak memerlukan proses iteratif atau turunan kompleks.
- Metode least-squares mampu mengakomodasi banyak variabel input dan tetap memberikan solusi optimal dalam konteks minimisasi galat kuadrat.
- Pemrosesan model dapat dilakukan secara numerik tanpa pendekatan trial-error atau metode optimasi lanjutan, menjadikannya sangat cocok untuk implementasi dalam program berbasis C.
- Metode ini umum digunakan dalam studi pemodelan energi dan telah terbukti akurat dalam studi sebelumnya seperti pada jurnal “Modelling and predicting energy consumption in laboratory buildings using multiple linear regression” oleh Sulaiman et al. (2022).

## V. DISKUSI DAN ANALISA HASIL EXPERIMEN

Simulasi pemodelan konsumsi energi bangunan laboratorium telah dilakukan dengan menggunakan metode numerik Least-Squares Regression dalam bentuk multiple linear regression. Model dikembangkan dan diimplementasikan menggunakan bahasa pemrograman C, dengan perhitungan parameter regresi yang melibatkan proses invers matriks menggunakan metode Gauss-Jordan.

Tujuan utama dari eksperimen ini adalah untuk membangun model prediksi konsumsi energi berdasarkan tiga variabel masukan: luas ruangan, jumlah alat, dan suhu lingkungan. Setelah diperoleh parameter regresi dari data

pelatihan, model digunakan untuk menghitung estimasi konsumsi energi pada berbagai kombinasi input.

Untuk mendukung interpretasi hasil, data prediksi dibandingkan secara langsung dengan data aktual, serta dianalisis menggunakan visualisasi grafik. Proses visualisasi dilakukan dalam Python dengan bantuan pustaka Matplotlib dan Seaborn.

### A. Evaluasi Model Regresi

Setelah dilakukan estimasi parameter menggunakan metode Least-Squares Regression, model digunakan untuk memprediksi konsumsi energi listrik berdasarkan data uji. Berdasarkan hasil perhitungan program, model regresi yang terbentuk adalah sebagai berikut:

$$\text{Energi prediksi} = 201.33 + (1.506 \cdot \text{Luas}) + (5.1 \cdot \text{Jumlah Alat}) + (1.975 \cdot \text{Suhu})$$

Model ini diaplikasikan pada seluruh data sampel (50 observasi), dan hasil prediksi dibandingkan dengan nilai aktual yang tersedia dalam data. Hasilnya menunjukkan bahwa nilai prediksi mengikuti pola umum data aktual secara konsisten.

### B. Grafik Perbandingan Energi Aktual dan Prediksi

Figure 1 menunjukkan plot sebar antara konsumsi energi aktual dan hasil prediksi yang diperoleh dari model regresi. Garis diagonal  $y = x$  digunakan sebagai acuan ideal; titik-titik yang mendekati garis ini menandakan bahwa prediksi model cukup akurat terhadap data aktual.

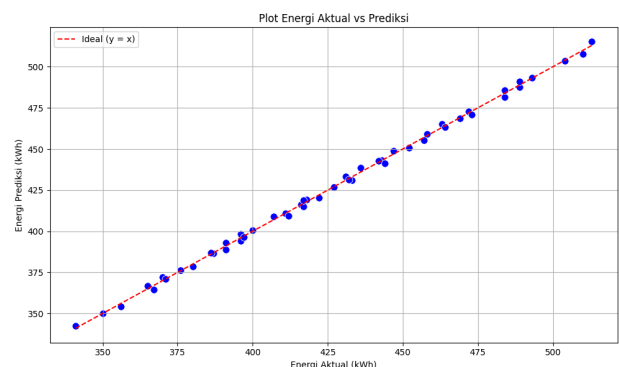


Fig. 1. Plot Energi Aktual vs Prediksi

Sebagian besar titik dalam plot berada dekat dengan garis ideal, yang menandakan bahwa model mampu merepresentasikan data dengan baik. Korelasi visual ini menunjukkan bahwa regresi linier berganda memberikan hasil yang stabil untuk kasus ini.

### C. Grafik Residual

Figure 2 menunjukkan residual atau selisih antara nilai energi aktual dan hasil prediksi, yang diplot terhadap indeks data. Sebaran residual yang acak di sekitar garis nol menunjukkan bahwa tidak terdapat pola bias sistematis dalam kesalahan prediksi.

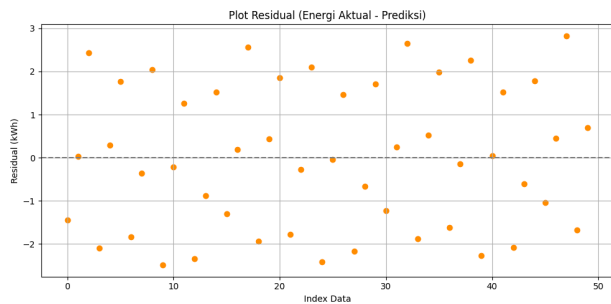


Fig. 2. Plot Residual (Energi Aktual – Prediksi)

Grafik ini memperkuat bahwa galat model bersifat simetris dan tidak menunjukkan ketergantungan terhadap variabel tertentu secara eksplisit.

#### D. Grafik Suhu terhadap Prediksi Energi

Figure 3 memperlihatkan hubungan antara suhu lingkungan dengan hasil prediksi konsumsi energi. Terlihat bahwa terdapat kecenderungan peningkatan energi seiring dengan meningkatnya suhu, yang mengindikasikan peran suhu sebagai variabel signifikan dalam model regresi.

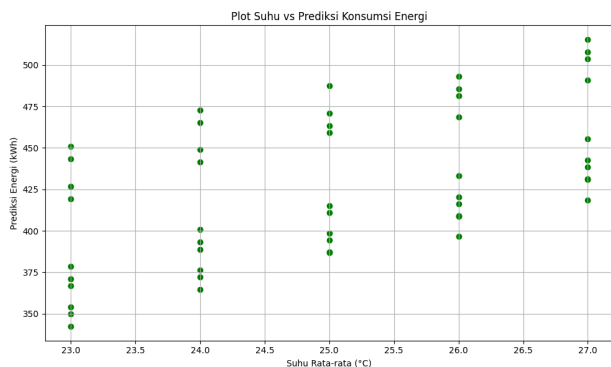


Fig. 3. Plot Suhu vs Prediksi Konsumsi Energi

Hasil ini selaras dengan intuisi bahwa semakin panas suhu ruangan, semakin tinggi kebutuhan pendinginan dan konsumsi energi totalnya.

## VI. KESIMPULAN

Proyek ini berhasil mengimplementasikan metode Least-Squares Regression untuk membangun model prediksi konsumsi energi listrik pada bangunan laboratorium berbasis tiga variabel utama: luas ruangan, jumlah alat, dan suhu lingkungan. Melalui pendekatan multiple linear regression, diperoleh model matematis yang mampu menggambarkan hubungan linier antara variabel-variabel tersebut terhadap konsumsi energi harian.

Hasil evaluasi menunjukkan bahwa model memberikan estimasi yang konsisten dan sejalan dengan tren data aktual. Visualisasi grafik prediksi, residual, dan pengaruh suhu terhadap energi memperkuat bahwa model regresi yang dibentuk memiliki performa yang baik dan sesuai secara logis.

Metode least-squares dipilih karena efisien secara komputasi, mudah diimplementasikan dalam bahasa C, serta memberikan solusi eksak dalam konteks regresi linier. Dengan demikian, pendekatan numerik ini dapat diandalkan dalam perancangan sistem prediksi konsumsi energi

berbasis data untuk mendukung efisiensi energi di lingkungan laboratorium.

LINK GITHUB

[https://github.com/graceyunike/ProyekUAS\\_Komnum](https://github.com/graceyunike/ProyekUAS_Komnum)

LINK YOUTUBE VIDEO DEMONSTRASI PROGRAM

<https://youtu.be/UeVvOuAc2Tg>

## REFERENCES

- [1] "View of Modelling and predicting energy consumption in laboratory buildings using multiple linear regression," Uad.ac.id, 2025. <https://journal.uad.ac.id/index.php/Konvergensi/article/view/21531/10683> (accessed Jun. 07, 2025).
- [2] Chapman, S. J., "Numerical Methods for Engineers and Scientists: Using MATLAB and C", 3rd ed. New York: McGraw-Hill, 2010.
- [3] Python Software Foundation, "Matplotlib Documentation." [Online]. Available: <https://matplotlib.org/stable/index.html> (accessed Jun. 07, 2025).
- [4] Steven C. Chapra and Raymond P. Canale, "Numerical Methods for Engineers," Sixth Edition, McGraw Hill Higher Education, 2010.
- [5] A. Payong, "Ridge Regression Part 2: Deep Dive," Digitalocean.com, May 08, 2025. <https://www.digitalocean.com/community/tutorials/ridge-regression-explained-part-2> (accessed Jun. 07, 2025).
- [6] "ML | Multiple Linear Regression using Python," GeeksforGeeks, Jan. 18, 2019. <https://www.geeksforgeeks.org/ml-multiple-linear-regression-using-python/> (accessed Jun. 07, 2025).