

IMPLEMENTASI KALMAN FILTER UNTUK PREDIKSI PEMAKAIAN LISTRIK PADA KAMAR KOST DENGAN SMART ENERGY METER

(ELECTRICITY LOAD FORECASTING USING KALMAN FILTER IN BOARDING HOUSE WITH SMART ENERGY METER)

Dewi Humeira Amriah¹, Favian Dewanta², Muhammad Abdillah³

^{1,2} Universitas Telkom, Bandung

³ Universitas Pertamina

¹dewihumeira@student.telkomuniversity.ac.id,

²favian@365.telkomuniversity.ac.id@telkomuniversity.co.id,

³m.abdillah@universitaspertamina.ac.id

Abstrak

Listrik merupakan salah satu kebutuhan penting bagi manusia dalam menjalankan kehidupan sehari-hari. Penggunaan energi listrik berlebihan adalah salah satu permasalahan yang terdapat pada konsumen, karena tidak mengetahui berapa banyak daya yang terpakai pada beban listrik yang digunakan. Atas dasar pemikiran tersebut maka dibuat rancangan alat yang mampu memonitoring setiap beban listrik dan mampu mengestimasi pemakaian listrik dengan menggunakan Algoritma Kalman Filter.

Kalman Filter memiliki kemampuan untuk memprediksi suatu kondisi di masa yang akan datang dengan data terbatas. Sistem ini dirancang dengan memanfaatkan sensor PZEM-004T untuk pengambilan data besaran listrik dari beban seperti tegangan, arus, daya aktif, dan energi. Data yang diambil dari penelitian ini adalah beban elektronika pada pemakaian listrik kamar kost, beban listrik tersebut diambil per-15 menit selama 60 hari. Data tersebut dibagi menjadi dua yaitu 80% adalah data latih dan 20% adalah data uji. Dari setiap pengujian tersebut dievaluasi menggunakan persamaan RMSE, MSE, dan MAPE. Salah satu pengujian yaitu pada beban Kipas Angin dengan menggunakan RMSE mendapatkan persentase *error* sebesar 0.077% pada data latih dan 0.076% pada data uji. Selanjutnya menggunakan persamaan MSE, didapatkan 0.006% pada data latih dan 0.005% pada data uji. Pada pengujian menggunakan MAPE, pada data latih didapatkan sebesar 0.789% dan pada data uji sebesar 0.202%. Dari hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa hasil pengujian menggunakan metode prediksi Kalman Filter sangat baik dalam memprediksi pemakaian beban listrik.

Kata kunci : Energi Listrik, Prediksi, Kalman Filter, PZEM-004T

Abstract

Electricity is one of the important needs for humans in carrying out daily life. Electricity consumption in Indonesia continues to increase every year. Furthermore, exaggeration of the use of electrical energy is one of the problems which is faced by consumers since they do not control the use of electricity; besides, they do not know how much power which is used for each electrical load that is commonly used. On the basis of this thought, a research system was conducted in order to estimate electricity consumption by using the Kalman Filter Algorithm.

Kalman Filter has the ability to predict a condition in the future with limited data. This system is designed by using the PZEM-004T sensor for data collection of electrical quantities from loads; such as, voltage, current, active power, and energy. The data taken from this study were electronic loads on the electricity consumption of the boarding room. The electrical load was taken every 15 minutes for 60 days. The data was divided in the ratio 8:2 where 80% is training data while 20% was test data. From each of these tests, the accuracy values are obtained by using RMSE, MSE, and MAPE. Furthermore, one of the

tests is on the fan load by using RMSE in order to get an error percentage of 0.077% on the training data and 0.076% on the test data. Moreover, error percentage which is obtained by using the MSE equation reaches 0.006% on the training data and 0.005% on the test data. Meanwhile, error percentage which is obtained by using MAPE reaches 0.789% on the training data and 0.202% on the test data. From these results, it can be concluded that the test results using the Kalman Filter prediction method are very good at predicting the use of electrical loads.

Keywords: Electrical Energy, Prediction, Kalman Filter, PZEM-004T

1. Pendahuluan

Pada era perkembangan teknologi saat ini, penggunaan energi listrik merupakan unsur penting yang menunjang berbagai kegiatan dalam kehidupan masyarakat baik untuk industry, rumah tangga, Pendidikan, transportasi, penerangan, dan komunikasi[1]. Permasalahan yang sering ditemukan dalam penggunaan energi listrik yaitu pemborosan pemakaian yang dilakukan oleh pengguna, karena kurang memahami berapa pemakaian listrik di setiap harinya. Oleh karena itu agar mendapatkan estimasi pemakaian listrik dibulan selanjutnya, dilakukan prediksi agar dapat mengetahui berapa banyak penggunaan listrik disetiap bebannya.

Untuk memprediksi pemakaian listrik tersebut, terdapat banyak metode yang dapat digunakan diantaranya adalah metode *machine learning* dan metode statistika. Algoritma Kalman Filter adalah salah satu metode prediksi yang digunakan untuk memprediksi suatu kondisi berdasarkan data terbatas[2]. Dengan meneliti dan menganalisis daya listrik pada kamar kost setiap bulannya, dapat menghasilkan estimasi yang berguna untuk memprediksi daya listrik yang terpakai. Data yang digunakan dalam penelitian ini yaitu beban listrik pada alat elektronik kamar kost seperti lampu, kipas angin, *charger* hp, dan *charger* laptop yang diperoleh dari sensor PZEM-004T dan mendapatkan tegangan, arus, daya, energi, frekuensi, *power factor*. Setelah itu data yang sudah terbaca oleh sensor akan otomatis tersimpan di database dengan menggunakan *Microsoft SQL Server*.

Berbagai metode algoritma yang telah digunakan dan diuji untuk memprediksi dan juga *forecast* konsumsi listrik. Diantaranya menggunakan metode statistika yaitu ARIMA dan SARIMA [3],[4],[5], *Artifical Neural Network* [6],[7],[8],[9], *Support Vector Regression* [10],[11], dan Kalman Filter [12],[13],[14],[15]. Penelitian [3] membahas prediksi konsumsi listrik rumah berdasarkan pola penggunaan beban listrik dimana permasalahan yang dibahas adalah bagaimana cara memprediksi konsumsi listrik dengan menggunakan metode SARIMA. Hasil Penelitian tersebut dengan MSE (*Mean Square Error*) sebesar 0.0095081. Pada penelitian [10] menggunakan Algoritma *Support Vector Regression dan Fruit Fly* untuk memperkirakan konsumsi listrik bulanan. Hasilnya menunjukkan bahwa pendekatan yang diusulkan adalah pilihan yang layak untuk aplikasi peramalan konsumsi listrik sedangkan pada [11] yaitu menggunakan *Support Vector Regression* untuk prediksi konsumsi energi dengan menggunakan kumpulan data yang telah dibuat. Hasil menggunakan *Support Vector Regression* telah diperoleh keberhasilan 85,7% dan menjadi hasil terbaik yang diberikan. Peninjauan selanjutnya pada [12] yaitu menggunakan *Ensemble Kalman Filter* untuk meminimalkan varians dan meminimalkan kesalahan estimasi yang dihasilkan oleh pra-perkiraan. Penelitian selanjutnya [14] yaitu membahas bagaimana cara membangun aplikasi yang mampu mengestimasi penggunaan daya listrik sehingga mendapatkan estimasi daya listrik yang mendekati dengan keadaan sebenarnya. Dengan menggunakan metode algoritma Kalman Filter, dapat melakukan estimasi daya listrik secara optimal.

2. Dasar Teori

2.1 Prediksi

Prediksi adalah suatu proses memperkiraan suatu yang mungkin terjadi di masa yang akan datang berdasarkan informasi masa lalu dan sekarang yang dimiliki, supaya kesalahan dari selisih antara suatu yang terjadi dengan hasil perkiraan dapat diperkecil[16]. Jenis prediksi salah satunya adalah prediksi numerik, dimana definisi dari prediksi numerik adalah langkah yang dilakukan untuk memprediksi nilai kontinyu (berurutan) dari data input.

2.2 Kalman Filter

Kalman filter menggabungkan algoritma model dan pengukuran. Data pengukuran tersebut merupakan bagian penting dari Kalman filter karena data terakhir akan mengoreksi hasil prediksi

pengukuran selanjutnya, sehingga hasil estimasi selalu mendekati kondisi dari data terakhir. Kalman Filter adalah salah satu model penyaringan autoregressive, karena estimasi optimal kondisi saat ini dapat diperoleh dengan estimasi optimal dari sistem sebelumnya dan pengamatan sistem saat ini[17].

Persamaan Kalman Filter pada umumnya adalah

$$\hat{x}_k = K_k \cdot Z_k + (1 - K_k) \cdot \hat{x}_{k-1} \quad (1)$$

Dimana:

\hat{x}_k : Perkiraan saat ini

K_k : Kalman Gain

Z_k : Nilai yang terukur

\hat{x}_{k-1} : Perkiraan Sebelumnya

Nilai k akan selalu berubah seiring proses dari Kalman Filter.

Menentukan nilai awal Kalman Gain.

$$K_k = \frac{P_{k,k-1}}{P_{k,k-1} + r_k} \quad (2)$$

Dimana:

$P_{k,k-1}$: Ketidakpastian Estimasi

r_k : Ketidakpastian Pengukuran

Nilai Kalman Gain adalah angka antara 0 atau 1

$$0 \leq K_k \leq 1 \quad (3)$$

Tahap pertama yaitu menentukan model awal Kalman Filter. Dua persamaan Kalman Filter yang perlu diingat adalah

1. Model Dinamis (state transition model)

$$\hat{x}_k = A x_{k-1} + q_{k-1}, \quad q_{k-1} \sim N(0, Q) \quad (4)$$

2. Model Pengukuran (observation model)

$$y_k = H x_k + r_k, \quad r_k \sim N(0, R) \quad (5)$$

Dimana vector k adalah keadaan tersembunyi (hidden variable) dari sistem dan y adalah proses observasi. A dan H adalah matriks dengan bentuk yang sesuai dengan q dan r . Matriks kovarian noise berdefinisi positif q, r . Ketika ketidakpastian pengukuran sangat besar dan ketidakpastian estimasi sangat kecil maka Kalman Gain akan semakin mendekati nol. Sebaliknya jika ketidakpastian pengukuran sangat kecil dan ketidakpastian estimasi sangat besar maka nilai Kalman Gain mendekati satu. Selanjutnya ke proses Perkiraan Ketidakpastian pengukuran[18].

$$p_k = (1 - K_k) p_{k-1} \quad (6)$$

Dimana:

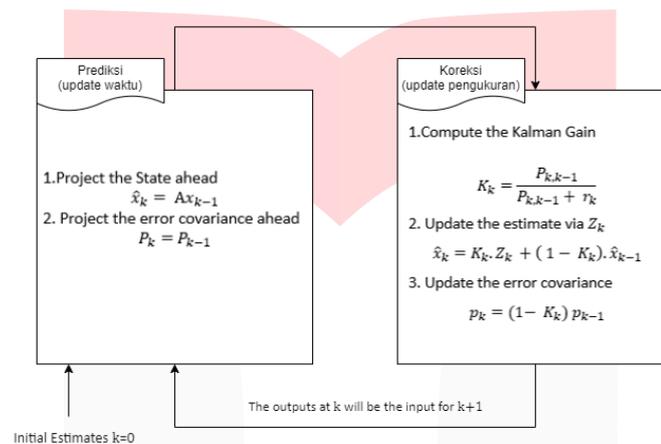
p_k : Estimasi Ketidakpastian Saat ini

K_k : Kalman Gain

$p_{k,k-1}$: Estimasi Ketidakpastian Sebelumnya

Persamaan (6) adalah proses memperbaharui estimasi ketidakpastian saat ini, biasanya disebut dengan Persamaan Pembaruan Kovarians. Ketidakpastian estimasi selalu semakin kecil disetiap iterasi filter karena $(1 - K_k) \leq 1$. Maka dari itu jika ketidakpastian saat pengukuran nilainya besar maka Kalman Gain akan rendah, konvergensi ketidakpastian estimasi akan lambat. Namun, jika ketidakpastian pengukuran kecil, maka Kalman Gain akan tinggi dan ketidakpastian estimasi akan cepat menuju nol[19].

Nantinya, proses iterasi akan menghasilkan fungsi tunggal yang memprediksi satu titik pada satu waktu dan kemudian mengulangi fungsi ini, dengan mempertimbangkan pertimbangan kesalahan standar dari nilai sebelumnya untuk diprediksi nilai-nilai masa depan[11]. Sistem estimasi pada Kalman Filter terbagi menjadi dua bagian, yaitu *update* dan *predict*. Bagian *predict* bekerja dengan sistem menggunakan hasil prediksi keadaan sistem pada waktu sebelumnya untuk memprediksi keadaan saat ini. Sedangkan pada bagian *update* data yang diperoleh pada saat sebelumnya digunakan untuk memprediksi hasil yang diperoleh pada saat keadaan sekarang[18].



Gambar 2.1 Proses Pada Kalman Filter

Untuk mendeteksi ketepatan dan akurasi hasil prediksi, ada beberapa kriteria pemilihan model dan beberapa model yang terbaik yang didasarkan pada nilai *error* nya yang paling kecil. Apabila *error* semakin besar maka peramalan yang dilakukan kurang akurat. Kriteria yang digunakan untuk memperoleh akurasi peramalan yang tinggi adalah dengan mengukur *Mean Square Error* (MSE), *Root Mean Square Error* (RMSE), dan *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE).

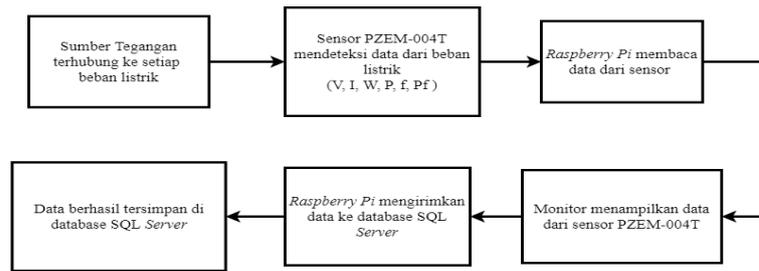
3. Pembahasan

3.1. Diagram Blok Sistem



Gambar 3. 1 Diagram Blok Sistem

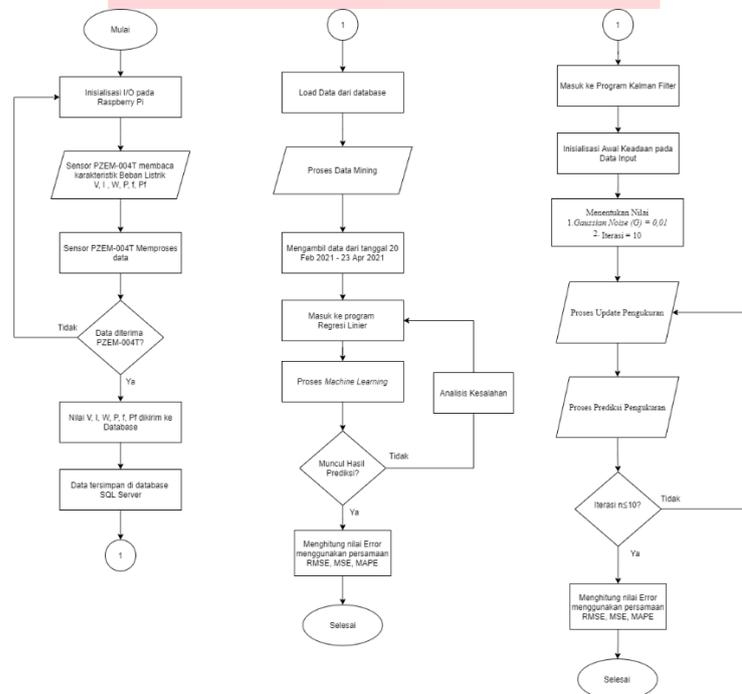
Pada Gambar Gambar 3. 1 menggambarkan cara kerja sistem secara umum dari prediksi konsumsi beban listrik pada kamar kost. Dalam diagram blok sistem diatas dijelaskan awalnya input dari beban listrik dari kamar kost yang berasal dari listrik AC 220 Volt langsung dideteksi oleh sensor PZEM-004T untuk mendapatkan nilai tegangan, daya, arus, energi, frekuensi, power factor. Setelah itu Raspberry Pi akan membaca data dari sensor dan memulai penyimpanan data ke database SQL Server. Setelah itu data yang tersimpan didatabase akan di analisis oleh program yang terdapat metode prediksi Kalman Filter dan Regresi Linier.



Gambar 3.2 Diagram Blok proses kerja sistem

Pada Gambar 3.2 dengan sumber listrik yang sudah terhubung ke setiap beban listrik akan langsung dideteksi oleh sensor PZEM-004T untuk mendapatkan tegangan, daya, arus, energi, frekuensi, dan *power factor*. Setelah itu *Raspberry Pi* akan membaca dari sensor dan kemudian data tersebut akan tampil di monitor. Setelah itu data akan otomatis tersimpan di database SQL server agar memudahkan saat menjadi data input program.

3.3 Flow Chart Keseluruhan sistem



Gambar 3.3 Proses Kerja Keseluruhan Sistem

Pada Gambar 3.3 menjelaskan mengenai alur kerja keseluruhan sistem pada penelitian yang akan dilakukan. Langkah awal sama seperti pada diagram blok sistem alat. Selanjutnya adalah proses pada sistem program yang telah dibuat. Tahap pertama yaitu dilakukan pengambilan data yang sudah tersimpan di data base. Data-data tersebut masih data murni yang dikirim dari sensor dan kemudian tersimpan di database. Proses ini konversi data yang awalnya berupa SQL data menjadi .csv agar memudahkan program untuk memproses data tersebut. Selanjutnya proses Data Mining, pada tahap ini dilakukan pembersihan data, data *selection*, *pre-processing* data, dan *processing* data. Hal tersebut agar data-data murni yang sebelumnya mempunyai noise akan dihilangkan noisennya sehingga menjadi data yang sudah siap untuk menjadi data input program. Selanjutnya pada program akan mengambil data dari tanggal 20 Februari hingga 23 April 2021 agar genap menjadi 60 hari atau 2 bulan pengambilan data. Setelah itu masuk ke proses regresi linier, pada tahap ini program akan mempelajari data-data input agar mendapatkan hasil prediksi. Setelah mendapatkan hasil prediksi nantinya akan menghitung *error* pada data yang sudah dibagi

menjadi data latih dan data uji. Proses pada program dengan menggunakan metode regresi linier telah selesai. Selanjutnya ke program dengan menggunakan metode Kalman Filter. Sama dengan metode regresi, kalman filter juga menggunakan data yang sama. Pada proses Kalman Filter bisa dilihat pada sub-bab 3.5. Pada Kalman Filter harus menentukan nilai awal untuk melakukan proses prediksi. Setelah itu masuk keproses Update Pengukuran pada tahap ini dilakukan menghitung kalman gain, memperkirakan keadaan saat ini, dan mengupdate ketidakpastian estimasi. Selanjutnya ketahap Prediksi, pada tahap prediksi yaitu menghitung status prediksi untuk iterasi selanjutnya dan juga eksplorasi ketidakpastian perkiraan. Setelah semua proses Kalman dan hasil prediksi telah didapatkan dan telah melakukan iterasi sebanyak yang di inginkan diawal, proses selanjutnya menghitung nilai *error* sama seperti regresi. Untuk melihat berhasil tidaknya program menggunakan Kalman Filter memakai persamaan RMSE, MSE, dan MAPE.

3.3 Pemilihan Algoritma Kalman Filter

Algoritma Kalman Filter adalah salah satu algoritma model prakira atau prediksi statistik yang dapat menggabungkan model estimasi dan update pada pengukuran. Data yang selalu terupdate menjadi bagian penting dalam perhitungan Kalman Filter, karena dari data tersebut akan terlihat semakin dekat dengan kondisi yang sebenarnya. Pada penelitian ini, algoritma Kalman Filter digunakan untuk memprediksi atau mengestimasi daya energi listrik yang digunakan pada kamar kost berdasarkan data pemakaian beban listrik dibulan sebelumnya. Kalman filter dapat melakukan proses prediksi dengan hanya menggunakan 1 parameter, dalam penelitian ini parameter yang dimaksud adalah energi dari setiap beban listrik.

3.3.1 Proses Analisis Prediksi Kalman Filter

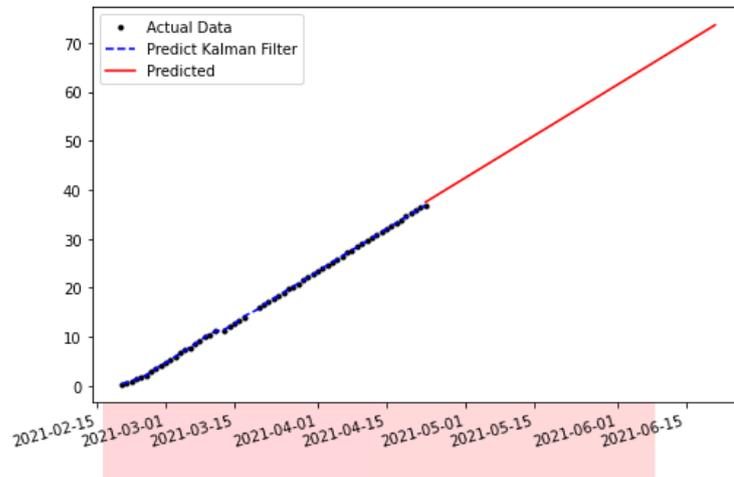
Proses terjadinya estimasi atau prediksi dengan algoritma Kalman Filter sebagai berikut:

- a. Menentukan nilai awal Kalman Gain dan *Gaussian Noise*, dimana nilai dari *gaussian noise* ditetapkan sebagai konstanta dan Kalman gain nilainya akan selalu berubah seiring dengan dilakukan proses iterasi atau perulangan.
- b. Program akan membaca banyaknya data energi listrik harian yang dimasukkan sebagai data input yang selanjutnya akan dihitung dan digunakan dalam proses prediksi. Dari proses ini, program juga akan mengetahui tanggal ukur awal dari energi listrik disetiap harinya hingga hari terakhir saat pengukuran.
- c. Setelah program berhasil membaca data input yang akan diproses oleh Kalman Filter, program juga akan membaca jumlah berapa hari yang akan di prediksi oleh Kalman Filter sesuai yang diinginkan, sebagai berhentinya proses estimasi.
- d. Selanjutnya program akan memulai proses prediksi menggunakan Kalman Filter dengan target prediksi pemakaian listrik pada bulan mei dan juni. Proses pertama yang dilakukan adalah membuat kerangka kerja Kalman filter dengan model dinamis (model transisi keadaan) dan model pengukuran (model observasi). Pada persamaan (3) dimana \hat{x} adalah variabel yang tersembunyi dari sistem sedangkan p adalah sebuah observasi dimana pada penelitian ini yaitu energy beban listrik. Pada tahap ini juga dilakukan proses *noise (gaussian noise)*, dimana mencari nilai priors kovarian error yang nantinya nilai tersebut akan digunakan untuk menghitung nilai Kalman Gain. Nilai yang dimasukkan untuk proses *noise* adalah 0.1 yang nantinya akan diolah diproses observasi model serta *noise*.
- e. Setelah itu data uji akan digunakan sebagai data acuan untuk memprediksi pemakaian energy listrik di hari dan bulan selanjutnya. Setelah berhasil memprediksi pada bulan pertama yaitu bulan mei, iterasi akan terus berlanjut hingga bulan terakhir sesuai yang diinginkan. Pada program, iterasi dimasukkan sebanyak 10 kali artinya akan terjadi 10 kali proses perulangan agar mendapatkan hasil prediksi yang mendekati dengan nilai aslinya.
- f. Selanjutnya jika sudah melakukan iterasi sebanyak 10 kali, maka program akan menampilkan hasil prediksi setiap harinya pada bulan mei dan juni. Sekaligus menampilkan grafik data latih dan data uji serta hasil prediksi oleh program.

3.3.2 Prediksi Pemakaian beban listrik menggunakan metode Kalman Filter

Pada percobaan ini menggunakan data input yang sama seperti data input pada metode Regresi Linier. Hanya saja pada metode Kalman Filter memakai 1 parameter saja yaitu energi. Pada dataset aslinya, data disetiap harinya berjumlah cukup banyak karena di sensor sudah diatur

menyimpan data per 15 menit, oleh karena itu untuk memudahkan program Kalman Filter memprediksi energi data tersebut dirata-rakan menjadi perhari. Dengan menggunakan proses Analisis diatas, dapat dimulainya prediksi dengan menggunakan Kalman Filter. Prediksi menggunakan metode Kalman Filter ini dapat memprediksi penggunaan setiap beban untuk 2 bulan kedepan. Hasil tersebut bisa dilihat pada **Gambar 3. 4**.



Gambar 3. 4 Hasil Prediksi Kalman Filter Beban Kipas Angin

Hasil prediksi Kalman Filter diperoleh dari program yang menggunakan dokumentasi *simdKalman* dimana program tersebut menggunakan model 1 dimensi Kalman Filter. Dalam tugas akhir ini hanya menggunakan 1 parameter saja yaitu energy, maka dari itu memilih *simdKalman* menjadi pilihan untuk memprediksi pemakaian beban listrik 2 bulan kedepannya[20].

3.3.4 Uji Akurasi Hasil Prediksi Metode Kalman Filter

Pada percobaan uji akurasi hasil prediksi ini, sistem akan menguji kemampuan prediksinya dengan menggunakan data latih dan data uji. Masing-masing data dari setiap beban akan di uji error data. Dari pengujian akurasi ini akan dilihat seberapa besar tingkat error yang didapatkan dari setiap data latih dan data uji yang diprediksi. Untuk melihat tingkat errornya, dapat menggunakan metode RMSE (*Root Mean Square Error*) dan MAPE (*Mean Absolute Percentage Error*).

Tabel 3. 1 Hasil Pengujian Prediksi Kalman Filter

Data Latih (<i>Train Data</i>)		Data Uji (<i>Test Data</i>)	
Data Charger Laptop		Data Charger Laptop	
RMSE	0.020	RMSE	1.074
MSE	0.001	MSE	1.154
MAPE	0.432	MAPE	5.030
Data Charger HP		Data Charger HP	
RMSE	0.004	RMSE	0.171
MSE	1.744	MSE	0.029
MAPE	1.087	MAPE	6.105
Data Kipas Angin		Data Kipas Angin	
RMSE	0.077	RMSE	0.076
MSE	0.006	MSE	0.005
MAPE	0.789	MAPE	0.202
Data Lampu		Data Lampu	
RMSE	0.027	RMSE	0.052
MSE	0.001	MSE	0.002
MAPE	0.510	MAPE	0.366

3.3.5 Perbandingan Prediksi dengan Metode Regresi Linier dan Kalman Filter

Perbandingan Hasil Prediksi ini dilakukan 3 metode, yaitu pengukuran menggunakan alat sensor (data aktual), metode regresi linier, dan metode Kalman Filter. Untuk membandingkan hasil prediksi tersebut menggunakan data dari tanggal 23 April hingga 30 April 2021 dimana sebanyak 8 hari. Dengan data tersebut dapat dibandingkan hasil prediksi dengan program dan hasil pengukuran menggunakan alat yang sudah dibuat sebelumnya.

Tabel 3. 2 Data Aktual

Date	Data Aktual			
	Energy			
	Charger Laptop	Charger Hp	Kipas Angin	Lampu
4/23/2021	19.01	2.81	37.09	12.97
4/24/2021	19.39	2.93	37.74	13.13
4/25/2021	19.75	2.93	38.50	13.34
4/26/2021	20.07	3.00	39.40	13.57
4/27/2021	20.41	3.04	40.18	13.78
4/28/2021	20.74	3.07	41.01	14.00
4/29/2021	21.07	3.13	41.80	14.21
4/30/2021	21.40	3.25	42.59	14.41

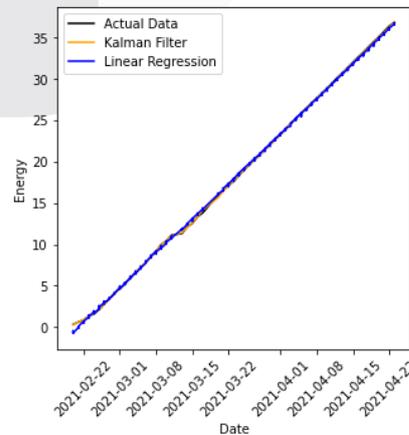
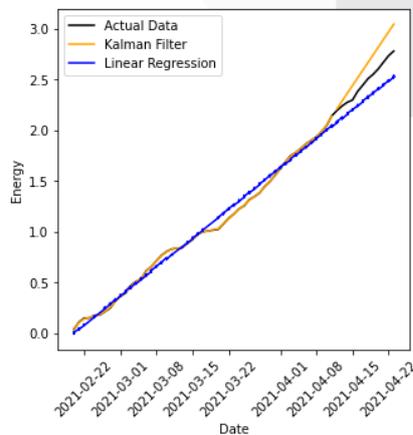
Tabel 3. 3 Data hasil Prediksi Regresi Linier

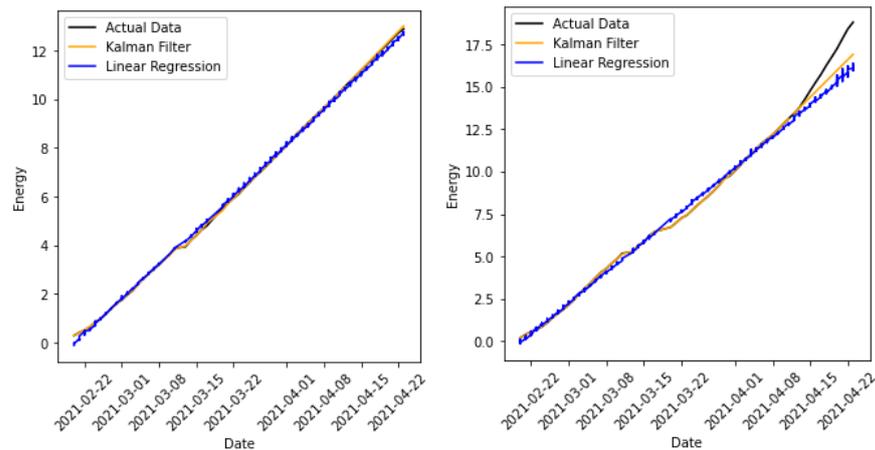
Date	Regresi Linier			
	Energy			
	Charger Laptop	Charger Hp	Kipas Angin	Lampu
4/23/2021	16.19	2.50	36.96	12.62
4/24/2021	16.16	2.54	38.26	12.57
4/25/2021	16.22	2.60	38.08	12.98
4/26/2021	16.66	2.66	38.55	13.4
4/27/2021	16.67	2.68	39.28	13.49
4/28/2021	17.25	2.72	40.19	14.9
4/29/2021	17.30	2.78	40.04	14.02
4/30/2021	17.60	2.8	40.36	14.06

Tabel 3. 4 Data hasil Prediksi Kalman Filter

Date	Kalman Filter			
	Energy			
	Charger Laptop	Charger Hp	Kipas Angin	Lampu
4/23/2021	17.22	3.12	37.46	13.23
4/24/2021	17.53	3.19	38.07	13.45
4/25/2021	17.85	3.27	38.68	13.68
4/26/2021	18.17	3.35	39.30	13.9
4/27/2021	18.48	3.42	39.91	14.13
4/28/2021	18.80	3.5	40.52	14.35
4/29/2021	19.11	3.57	41.14	15.58
4/30/2021	19.43	3.65	41.75	14.8

Dengan membandingkan hasil pengukuran diatas yaitu menggunakan alat sensor, program dengan metode Regresi Linier dan Program Menggunakan Kalman Filter dapat dilihat bahwa perbedaan dengan hasil prediksi menggunakan data dari sensor dan juga program dari *machine learning* tidak jauh berbeda.





Gambar 3. 4 Perbandingan hasil setiap Beban

Dengan melihat grafik pada setiap beban diatas dapat disimpulkan bahwa, hasil prediksi menggunakan Kalman Filter lebih baik dibandingkan regresi linier. Hal tersebut bisa dilihat dari grafik, dengan melihat data aktual prediksi menggunakan metode Kalman Filter lebih mendekati dengan data aktual dan juga hasil dari prediksi tersebut akan selalu naik mengikuti data-data yang sudah dilatih dan diuji sebelumnya. Data yang paling mendekati dengan data aktual adalah pada beban Kipas Angin. Dimana hasil prediksi tersebut menghasilkan nilai energi yang menyerupai data aktual. Dengan menguji akurasi menggunakan RMSE, hasil pada beban tersebut pada data latih sebesar 0.077% dan pada data train 0.076%.

4. Kesimpulan

Berdasarkan pengerjaan Tugas Akhir yang berjudul “Implementasi Kalman Filter untuk Prediksi Pemakaian Listrik Pada Kamar Kost Dengan Smart Energy Meter” maka penulis dapat menarik kesimpulan sebagai berikut.

1. Pada pengambilan data beban listrik selama 60 hari dengan menggunakan 4 perangkat elektronika dapat dilihat bahwa data tersebut mampu menjadi dataset atau data input program dalam memprediksi pemakaian beban listrik.
2. Hasil dari pengujian Prediksi pemakaian listrik pada kamar kost menggunakan Kalman Filter dengan evaluasi keakurasian menggunakan RMSE pada beban yang mendekati dengan data aktual adalah Kipas Angin dengan hasil pada data latih 0.077% dan pada data uji 0.076%. Selanjutnya pada beban Lampu sebesar 0.027% pada data latih dan 0.052% pada data uji. Pada beban *charger* hp didapatkan persentase error sebesar 0.004% pada data latih dan 0.171% pada data uji. Terakhir pada beban *charger* laptop, pada data latih didapatkan 0.020% tingkat akurasinya dan pada data uji sebesar 1.074%.
3. Hasil prediksi Kalman Filter lebih baik dan mendekati dengan data aktual dibandingkan Regresi Linier. Hal tersebut dapat dilihat pada hasil pengujian kedua metode menggunakan persamaan RMSE, MSE, dan MAPE.
4. Dari model runtun waktu yang digunakan untuk melakukan Prediksi Beban Listrik Kamar Kost, yakni menggunakan metode prediksi Kalman Filter dapat disimpulkan bahwa menghasilkan prediksi yang sangat mendekati dengan data aktual.
5. Berdasarkan hasil penelitian, maka metode Kalman Filter dapat menjadi variasi metode untuk melakukan prediksi beban listrik jangka pendek khususnya pada rumah ataupun kamar kost.

REFERENSI

- [1] U. S. Hilda, “PENGARUH TAYANGAN IKLAN EARTH HOUR TENTANG PENGGUNAAN ENERGI DI TELEVISI TERHADAP PENGETAHUAN DAN SIKAP SISWA/I SMPN10 SAMARINDA,” vol. 3, 2015, [Online]. Available: <https://www.portal.fisip-unmul.ac.id/site/?p=3474>.
- [2] B. A. Tengger and R. Ropiudin, “Pemanfaatan Metode Kalman Filter Diskrit untuk Menduga Suhu Udara,” *Sq. J. Math. Math. Educ.*, vol. 1, no. 2, p. 127, 2019, doi: 10.21580/square.2019.1.2.4202.

- [3] D. A. Regina *et al.*, "PENGUNAAN BEBAN LISTRIK RUMAH BERDASARKAN POLA PENGUNAAN BEBAN LISTRIK."
- [4] F. satya Purnomo, "Penggunaan metode ARIMA untuk perkiraan konsumsi listrik jangka pendek," *J. Tek.*, p. 136, 2015.
- [5] S. E. Rumagit and A. SN, "Prediksi Pemakaian Listrik Kelompok Tarif Menggunakan Jaringan Syaraf Tiruan dan ARIMA," *IJCCS (Indonesian J. Comput. Cybern. Syst.*, vol. 7, no. 2, p. 189, 2013, doi: 10.22146/ijccs.3359.
- [6] K. Panklib, C. Prakasvudhisarn, and D. Khummongkol, "Electricity Consumption Forecasting in Thailand Using an Artificial Neural Network and Multiple Linear Regression," *Energy Sources, Part B Econ. Plan. Policy*, vol. 10, no. 4, pp. 427–434, 2015, doi: 10.1080/15567249.2011.559520.
- [7] M. Rahman, "Prediksi Pembayaran Tagihan Listrik Menggunakan Model Artificial Neural Network," *JUSTINDO (Jurnal Sist. dan Teknol. Inf. Indones.*, vol. 4, no. 1, p. 7, 2019, doi: 10.32528/justindo.v4i1.2417.
- [8] Y. C. Hu, "Electricity consumption prediction using a neural-network-based grey forecasting approach," *J. Oper. Res. Soc.*, vol. 68, no. 10, pp. 1259–1264, 2017, doi: 10.1057/s41274-016-0150-y.
- [9] K. Li, C. Hu, G. Liu, and W. Xue, "Building's electricity consumption prediction using optimized artificial neural networks and principal component analysis," *Energy Build.*, vol. 108, pp. 106–113, 2015, doi: 10.1016/j.enbuild.2015.09.002.
- [10] G. Cao and L. Wu, "Support vector regression with fruit fly optimization algorithm for seasonal electricity consumption forecasting," *Energy*, vol. 115, pp. 734–745, 2016, doi: 10.1016/j.energy.2016.09.065.
- [11] A. González-Briones, G. Hernandez, J. M. Corchado, S. Omatu, and M. S. Mohamad, "Machine Learning Models for Electricity Consumption Forecasting: A Review," *2nd Int. Conf. Comput. Appl. Inf. Secur. ICCAIS 2019*, 2019, doi: 10.1109/CAIS.2019.8769508.
- [12] E. K. Korir, J. Aduda, and T. Mageto, "Forecasting Electricity Prices Using Ensemble Kalman Filter," vol. 9, no. 1, pp. 27–45, 2020.
- [13] P. Ozoh, S. Abd-Rahman, and J. Labadin, "Predicting electricity consumption: A comparative analysis of the accuracy of various computational techniques," *2015 9th Int. Conf. IT Asia Transform. Big Data into Knowledge, CITA 2015 - Proc.*, no. August, 2015, doi: 10.1109/CITA.2015.7349819.
- [14] W. R. Danu, "MODEL ESTIMASI DAYA LISTRIK GEDUNG UNIVERSITAS PEMBANGUNAN NASIONAL 'VETERAN' JAKARTA MENGGUNAKAN METODE KALMAN FILTER," Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jakarta, 2015.
- [15] Z. Zheng, H. Chen, and X. Luo, "A Kalman filter-based bottom-up approach for household short-term load forecast," *Appl. Energy*, vol. 250, no. May, pp. 882–894, 2019, doi: 10.1016/j.apenergy.2019.05.102.
- [16] M. Kafil, "Penerapan Metode K-Nearest Neighbors Untuk Prediksi Penjualan Berbasis Web Pada Boutiq Dealove Bondowoso," *JATI (Jurnal Mhs. Tek. Inform.*, vol. 3, no. 2, pp. 59–66, 2019, doi: 10.36040/jati.v3i2.860.
- [17] X. Lai, T. Yang, Z. Wang, and P. Chen, "IoT implementation of Kalman Filter to improve accuracy of air quality monitoring and prediction," *Appl. Sci.*, vol. 9, no. 9, 2019, doi: 10.3390/app9091831.
- [18] L. Wang, S. X. Lv, and Y. R. Zeng, "Effective sparse adaboost method with ESN and FOA for industrial electricity consumption forecasting in China," *Energy*, vol. 155, pp. 1013–1031, 2018, doi: 10.1016/j.energy.2018.04.175.
- [19] A. Becker, "Kalman Filter," 2018. <https://www.kalmanfilter.net/default.aspx>.
- [20] Oseiskar, "simdKalman," 2019.