

Penerapan Kalman Filter Pada Pembacaan Sensor Loadcell Berbasis PLC Siemens S7-1200

Jefry Setyo Fambudi¹, Mat Syai'in², Ryan Yudha Adhitya³

e-mail: jefryfambudi@student.ppns.ac.id, matt.syaiin@ppns.ac.id, ryanyudhaadhitya@ppns.ac.id

Program Studi Teknik Otomasi, Jurusan Teknik Kelistrikan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Jalan Teknik Kimia, Keputih, Sukolilo, Surabaya, Indonesia

Informasi Artikel

Riwayat Artikel

Diterima 26 Agustus 2024

Direvisi 24 September 2024

Diterbitkan 30 September 2024

Kata kunci:

Filter Sinyal
Kalman Filter
Sensor Loadcell
Sistem Penimbangan

Keywords:

Filter Signal
Kalman Filter
Loadcell Sensor
Weighing System

ABSTRAK

Peran sensor *loadcell* sangat penting dalam sistem penimbangan untuk mendapatkan informasi massa yang sesuai. Banyaknya permintaan sistem penimbang yang presisi saat ini dikembangan sistem penimbangan yang mampu bekerja secara otomatis dalam menimbang dengan hasil yang konsisten dan stabil. Kelemahan dari sensor *loadcell* adalah sistem pembacaan yang memiliki *noise* dan dinilai kurang stabil sehingga hasil penimbangan kurang akurat dan jauh dari nilai *set point* yang diterapkan. Kelemahan tersebut dapat diminimalisir menggunakan filter sinyal yaitu Kalman Filter. Berdasarkan observasi yang telah dilakukan dengan menerapkan rumus Kalman Filter mampu menimalkan *noise* secara optimal menggunakan perbandingan nilai $Q = 1$ dan $R = 10000$ yang mampu memberikan hasil filter yang lebih halus dan stabil. penerapan Kalman Filter pada PLC Siemens S7-1200 dengan nilai perbandingan Q dan R yang sama dapat memberikan hasil yang optimal dengan nilai rata-rata *error* hasil penimbangan antara menggunakan Kalman Filter dan tanpa menggunakan filter memiliki selisih sebesar 0,10% yang berarti Kalman Filter dapat diterapkan pada sistem penimbangan dapat menyaring *noise* secara optimal sehingga mendapatkan hasil penimbangan yang stabil dan konsisten.

ABSTRACT (9 PT)

The role of load cell sensors is crucial in weighing systems to obtain accurate mass information. Due to the increasing demand for precise weighing systems, developments have led to systems capable of automatically providing consistent and stable results. However, one drawback of load cell sensors is the presence of noise in the readings, making them less stable and leading to inaccuracies that deviate from the intended set point. This issue can be minimized using a signal filter like the Kalman Filter. Observations show that applying the Kalman Filter formula, with a Q to R ratio of 1:10,000, can optimally reduce noise, yielding smoother and more stable filtered results. The implementation of the Kalman Filter on Siemens S7-1200 PLCs, using the same Q and R ratio, demonstrated optimal outcomes, with the average error difference between using the Kalman Filter and no filter being just 0.10%. This indicates that the Kalman Filter can be effectively applied in weighing systems to filter noise, producing stable and consistent measurements.

Penulis Korespondensi:

Jefry Setyo Fambudi
Program Studi Teknik Otomasi
Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya,
Jl. Teknik Kimia, Keputih, Sukolilo, Surabaya
Email: jefryfambudi@student.ppns.ac.id
Nomor HP/WA aktif: +62 812 3388 5561



1. PENDAHULUAN

Di Indonesia, sektor peternakan terus dikembangkan untuk memenuhi kebutuhan pangan dan meningkatkan kesejahteraan masyarakat melalui program-program yang diinisiasi oleh pemerintah [1]. Salah satu upaya untuk meningkatkan populasi hewan ternak adalah dengan memastikan distribusi dan penyediaan pakan ternak yang memadai melalui produsen pakan ternak. Pakan yang diberikan kepada hewan ternak harus berkualitas tinggi dan dikemas dengan aman agar dapat didistribusikan dengan efektif. Untuk memastikan kualitas dan kemasan yang baik, diperlukan mesin pengemas dengan teknologi canggih yang dapat meningkatkan kualitas dan kuantitas pakan bagi produsen ternak.

Pengemasan pakan merupakan salah satu tahap produksi yang dilakukan di semua sektor industri pakan ternak. pengemasan pakan harus mematuhi peraturan yang ditetapkan oleh Kementerian Pertanian, yang dalam Peraturan No. 22 Tahun 2017 mengenai Pendaftaran dan Peredaran Pakan, menetapkan bahwa kemasan harus rapat, kedap air, dan tidak mudah rusak. Banyaknya permintaan pembuatan mesin penimbangan maka dikembangkan teknologi mesin penimbang secara otomatis. Namun, mesin ini masih memiliki kelemahan, yaitu pada bagian penimbang yang kurang stabil. Akibatnya, berat pakan yang keluar dari mesin sering kali tidak sesuai dengan berat bersih yang diharapkan. Pada kebanyakan mesin memiliki variasi berat pada setiap karungnya karena ketidakstabilan alat penimbang tersebut.

Penerapan Kalman Filter pada sensor *loadcell* yang terhubung dengan *Programmable Logic Controller* (PLC) Siemens S7-1200 dapat menjadi solusi efektif untuk meningkatkan kualitas data pengukuran beban. PLC Siemens S7-1200 adalah perangkat kontrol industri yang andal dan fleksibel, yang dapat diintegrasikan dengan berbagai sensor dan aktuator. Dengan menerapkan Kalman Filter pada sistem PLC ini, *noise* dan gangguan yang mempengaruhi sinyal *sensor loadcell* dapat diminimalisir, sehingga menghasilkan data pengukuran yang lebih akurat dan stabil.

2. METODE PENELITIAN

2.1 Kalman Filter

Kalman filter berfungsi untuk mengestimasi *data input* agar data yang dikeluarkan lebih stabil. Penerapan *Kalman Filter* dapat diterapkan di berbagai bidang, termasuk penyaringan data untuk mengurangi *noise*. Cara kerja *Kalman Filter* adalah dengan mengestimasi data yang masuk berdasarkan *data input* sebelumnya, menghasilkan grafik data yang menyerupai *Filter* [2] [3] [4].

Pada mesin pengemas atau *bagging machine*, *Kalman Filter* digunakan untuk mengestimasi dan menstabilkan grafik data. Sensor yang digunakan pada mesin ini masih memiliki banyak *noise*, sehingga algoritma Kalman Filter efektif untuk mengatasi *noise linier* dan memperkirakan estimasi data berbasis waktu, serta meminimalkan *error* kuadrat rata-rata (MSE) [5]. *Kalman Filter* terdiri dari dua rumus yaitu:

State Predict

$$\hat{x}_{k|k-1} = \hat{x}_{k-1|k-1} \quad (1)$$

Covariance Predict

$$P_{k|k-1} = P_{k-1|k-1} \quad (2)$$

Kalman Gain

$$K_k = P_{k|k-1}(P_{k|k-1} + R_k)^{-1} \quad (3)$$

State Update

$$\hat{x}_{k|k} = \hat{x}_{k|k-1} + K_k(y_k - \hat{x}_{k|k-1}) \quad (4)$$

Covariance Update

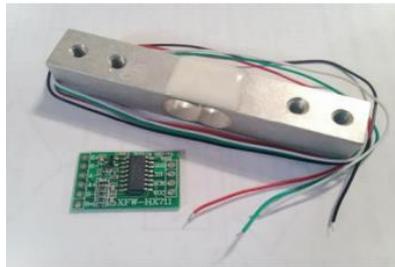
$$P_k = (1 - K_k)P_{k|k-1} \quad (5)$$

Dengan x sebagai variabel *state*, P sebagai matriks kovarian *state*, Q sebagai matriks kovarian *noise* proses, H sebagai matriks pengukuran, y sebagai variabel pengukuran, R sebagai matriks kovarian *noise* pengukuran, dan K sebagai *Kalman gain*. Sensor *loadcell* menghasilkan data dalam bentuk satu dimensi (1D), yang berarti *loadcell* hanya memiliki satu *output*. Karena data yang dihasilkan bersifat satu dimensi, perhitungan model pada *loadcell* dilakukan secara numerik dan tidak dalam bentuk matriks.



2.2 Loadcell

Loadcell adalah sensor yang digunakan untuk mengukur massa suatu objek berdasarkan pengaruh gravitasi. Sensor ini memiliki karakteristik khusus yaitu kemampuan untuk menjumlahkan kapasitas beban saat diintegrasikan dengan *loadcell* lain. Karena sinyal atau tegangan yang dihasilkan oleh *loadcell* sangat kecil, diperlukan penguat sinyal untuk mengirimkan data ke PLC. Dalam alat ini, *loadcell* yang menggunakan *strain gauge* digunakan untuk memantau atau mendeteksi beban yang diterima [6] [7] [8].



Gambar 1: Sensor loadcell (Phisca, 2023)

2.3 PLC Siemens Simatic S7-1200

Programmable Logic Controller (PLC) adalah sebuah komponen pengendali yang mampu memberikan dan menyimpan perintah dalam memori. PLC dapat membuat perintah dalam bentuk program teks maupun diagram, serta menjalankan fungsi-fungsi khusus melalui *input-output* analog dan digital [9] [10]. PLC yang digunakan adalah PLC Siemens Simatic S7-1200 CPU 1212C AC/DC/Rly.



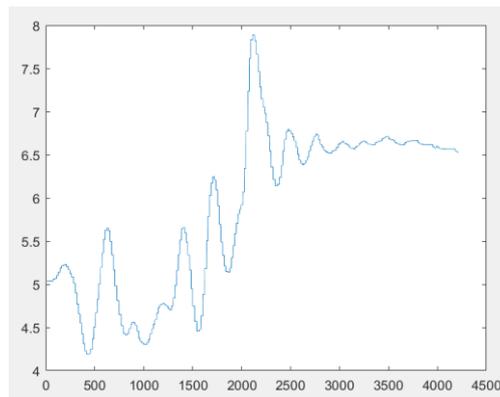
Gambar 2: PLC Siemens Simatic S7-1200 CPU 1212C (Datasheet Siemens)

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Observasi Kalman Filter

Observasi Kalman Filter dilakukan untuk mengetahui nilai Q dan nilai R yang tepat pada penerapan rumus Kalman Filter pada PLC. Perbandingan nilai Q dan R akan berpengaruh pada pembacaan filter. Maka dari itu observasi dilakukan menggunakan nilai pembacaan asli dari loadcell yang di masukkan ke dalam matlab. Berikut grafik sampel pembacaan sensor loadcell.



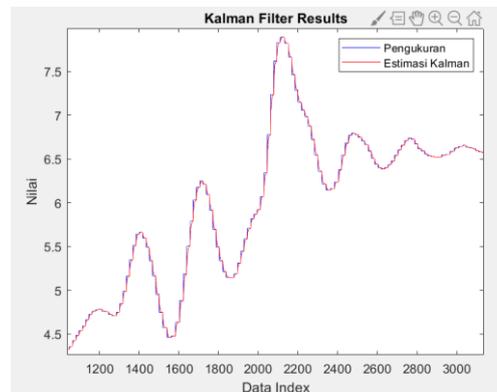


Gambar 3: Sample Pembacaan Sensor Loadcell

Langkah pertama untuk mendapatkan nilai Q dan R yang tepat adalah dengan cara observasi dengan MATLAB yang berdasarkan nilai asli. Inisialisasi awal nilai $x = 0$ dan $p = 1$. Inisialisasi kondisi awal ini dilakukan dengan membedakan antara nilai x yang bernilai 0 dan nilai p yang bernilai selain 0 yang diasumsikan dengan nilai 1 untuk menghasilkan pembacaan filter yang dapat meredam *noise*. Kemudian nilai tersebut di masukkan ke dalam rumus Kalman Filter sebagai berikut.

```
%Inisialisasi Kondisi Awal
x_est = 0;
P_est = 1;
Q = 1;
R = 200;
x_filtered = zeros(N, 1);
%Kalman Filter
for k = 1:N
    x_pred = x_est;
    P_pred = P_est + Q;
    K = P_pred / (P_pred + R);
    x_est = x_pred + K * (measurements(k) - x_pred);
    P_est = (1 - K) * P_pred;

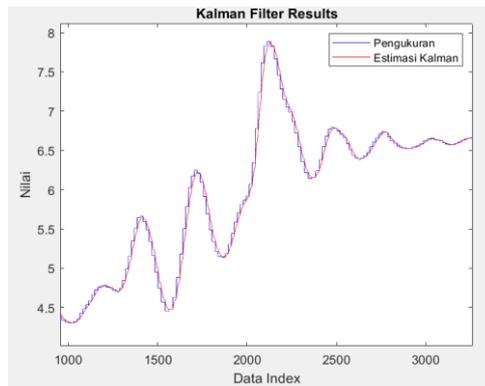
    x_filtered(k) = x_est;
end
```



Gambar 4: Perbandingan Nilai $Q = 1$ dan $R = 10$

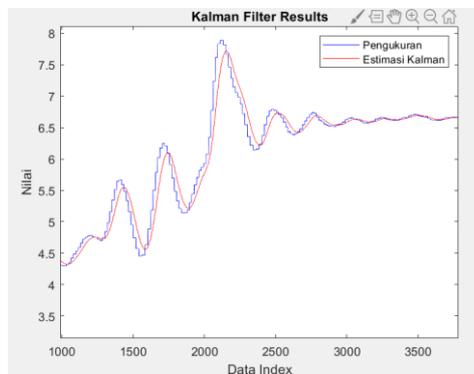
Hasil observasi ini membandingkan nilai $Q=1$ dengan $R=10$. Gambar di atas memperlihatkan bahwa warna biru mewakili data sensor, sedangkan warna merah menunjukkan hasil dari Kalman filter. Dari hasil filtrasi ini, terlihat bahwa nilai filter sangat mendekati data asli. Pembacaan antara data asli dan hasil filter hampir sama.





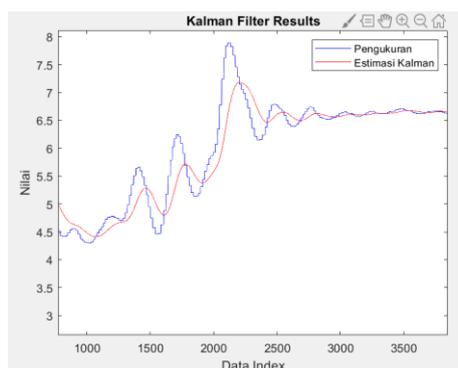
Gambar 5: Perbandingan nilai $Q = 1$ dan $R=100$

Hasil observasi ini membandingkan nilai $Q=1$ dengan $R=100$. Gambar di atas memperlihatkan bahwa warna biru mewakili data sensor, sedangkan warna merah menunjukkan hasil dari Kalman filter. Dari hasil filtrasi ini, terlihat bahwa pembacaan nilai filter terlihat lebih halus



Gambar 6: Perbandingan Nilai $Q=1$ dan $R = 1000$

Hasil observasi ini membandingkan nilai $Q=1$ dengan $R=1000$. Gambar di atas memperlihatkan bahwa warna biru mewakili data sensor, sedangkan warna merah menunjukkan hasil dari Kalman filter. Dari hasil filtrasi ini, terlihat bahwa pembacaan nilai filter semakin menjauhi nilai data asli sensor.



Gambar 7: Perbandingan Nilai $Q=1$ dan $R=10000$



. Hasil observasi ini membandingkan nilai $Q=1$ dengan $R=10000$. Gambar di atas memperlihatkan bahwa warna biru mewakili data sensor, sedangkan warna merah menunjukkan hasil dari Kalman filter. Dari hasil filtrasi ini, terlihat bahwa pembacaan nilai filter semakin halus.

3.2 Penerapan Kalman Filter pada Pembacaan Sensor Loadcell

Penerapan Kalman filter pada hasil pembacaan sensor loadcell diterapkan pada PLC Siemens-S7-1200 dengan menggunakan ladder diagram. Sebagai Langkah awal penerapan Kalman filter pada PLC dengan memasukkan rumus Kalman filter menggunakan fungsi calculate. Fungsi calculate diletakkan setelah fungsi NORM_X dan SCALE_X sebagai fungsi pembacaan nilai sensor yang diubah ke dalam skala penimbangan.



Gambar 8 : Fungsi NORM_X dan SCALE_X

Fungsi NORM_X digunakan untuk menormalkan angka pembacaan analog sensor yang semula berbentuk hexadecimal menjadi bilangan bulat. Setelah itu hasil dari NORM_X diolah kembali ke dalam fungsi SCALE_X untuk menskalakan nilai pembacaan menjadi minimum dan maksimum dari angka penimbangan. Hasil dari fungsi SCALE_X adalah hasil pembacaan nilai timbangan dalam satuan kilogram.

Setelah nilai di dapatkan nilai pembacaan, langkah berikutnya adalah menambahkan rumus Kalman filter menggunakan fungsi CALCULATE. Rumus tersebut diterapkan sesuai dengan variable yang digunakan dan diolah secara berkelanjutan sehingga didapatkan data filter sebagai penstabil pembacaan data sensor *loadcell*. Hasil dari penerapan Kalman filter dapat dilihat pada gambar grafik berikut:



Gambar 9 : Penerapan Kalman filter pada hasil pembacaan sensor loadcell

Pada Gambar 9 menunjukkan grafik respon dari penerapan Kalman filter dengan nilai $Q = 1$ dan $R = 10000$. Hasil grafik respon Kalman filter yang ditunjukkan dengan warna merah lebih landai dan halus dibandingkan dengan grafik nilai pembacaan asli yang ditunjukkan dengan warna biru. Langkah selanjutnya adalah mengintegrasikan sistem penimbang pada *loadcell* menggunakan PLC Siemens S7-1200 dengan menerapkan Kalman filter. Sistem ini



diterapkan pada mesin timbang jagung yang memiliki kapasitas 30 kg. Mesin timbang ini dapat dilihat pada gambar dokumentasi berikut:



Gambar 10 : Gambar Dokumentasi Mesin Timbang dengan Sistem Kalman Filter

Pada Gambar 10 tersebut adalah gambar mesin timbang dengan menggunakan dua *loadcell* yang digabungkan menggunakan *summing box* kemudian diperkuat menggunakan *amplifier* untuk bisa dibaca oleh PLC. Berikut adalah perbandingan nilai *error* hasil penimbangan *loadcell* dengan *set point* 5 kg menggunakan kalman filter dan tanpa menggunakan filter ditunjukkan pada Tabel I berikut:

TABEL I : NILAI ERROR HASIL TIMBANG LOADCELL DENGAN SET POINT 5 KG MENGGUNAKAN KALMAN FILTER DAN TANPA MENGGUNAKAN KALMAN FILTER

Percobaan	Error Tanpa Filter (%)	Error Kalman Filter (%)
1	0,2	0
2	0,2	1,59
3	1,67	2,3
4	0,3	1,1
5	0,39	0,7
6	0,12	0,35
7	0,47	0,71
8	0,72	0,24
9	1,27	0,24
10	0,14	0,97
11	2,67	0,04
12	0,73	0,99
13	1,78	0,14
Rata-rata error	0,82	0,72

Berdasarkan Tabel I nilai rata-rata *error* Kalman filter lebih kecil daripada tanpa menggunakan filter. Hasil nilai rata-rata *error* tersebut sebesar 0,10% yang berarti pembacaan Kalman filter dapat meredam *noise* dengan optimal sehingga hasil penimbangan lebih akurat dan stabil.



4. KESIMPULAN

Perancangan sistem penimbangan menggunakan sensor loadcell berbasis PLS Siemens S7-1200 menggunakan metode Kalman filter. Data yang digunakan adalah data analog PLC yang dinormalisasi dari bentuk hexadesimal menjadi bentuk bilangan bulat kemudian diskalakan sesuai dengan daya tampung sensor *loadcell* dengan satuan kilogram (kg). Dari hasil observasi menggunakan *software* MATLAB dapat disimpulkan semakin besar nilai perbandingan Q dengan R maka semakin jauh nilai filter dari nilai pembacaan asli dan semakin halus pembacaan nilai filter. Sebaliknya, semakin kecil nilai perbandingan Q dengan R maka semakin dekat nilai filter dengan pembacaan asli. Penerapan sistem Kalman filter pada mesin timbang didapatkan hasil rata-rata *error* antara hasil menggunakan Kalman filter dan tanpa menggunakan Kalman filter sebesar 0,10% yang berarti nilai hasil Kalman filter dapat meredam noise dengan optimal sehingga hasil penimbangan lebih akurat dan stabil.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] F. Hamidipradja and U. Bambang, "Prosiding The 12 th Industrial Research Workshop and National Seminar Bandung," 2021.
- [2] A. Ma'arif, R. Dwi Puriyanto, D. Fadlur, T. Hasan, and A. Dahlan, "Robot Keseimbangan Dengan Kendali Proporsional-Integral-Derivatif (PID) dan Kalman Filter," *J. Res. Dev.*, vol. 4, no. 2, pp. 117–127, 2020, doi: 10.25299/itjrd.2018.vol4(2).3900.
- [3] C. F. Wulandari and A. Fadlil, "Center of Pressure Control for Balancing Humanoid Dance Robot Using Load Cell Sensor, Kalman Filter and PID Controller," *Control Syst. Optim. Lett.*, vol. 1, no. 2, p. 2023, doi: 10.59247/csolv1i2.22.
- [4] R. Y. Adhitya, "Penerapan Extended Kalman Filter (EKF) Pada Sistem Monitoring Gelombang Laut Berbasis Sensor IMU GY955," *J. Elektron. dan Otomasi Ind.*, vol. 10, no. 3, Nov. 2023, doi: 10.33795/elkolind.v10i3.3714.
- [5] I. Arief, R. Syahban, R. Agil, A. Ghani, and A. K. Teknik Elektro, "Rancang Bangun Antena Rotasi Dengan Kalibrasi Berbasis Program Kalman Filter," 2023.
- [6] S. Phisca, Rosyady, Aditya, Sukarjiana; Nurina, Habibah; Nuni, Ihsana; Ahmad, Baswara; Widya, Dinata; Dedik, "Monitoring Cairan Infus Menggunakan Load Cell Berbasis Internet of Things (IoT)," 2023.
- [7] R. Manivasagam and S. P. Richard, "Instant ash monitoring using a load cell in the boiler," in *Materials Today: Proceedings*, Elsevier Ltd, 2020, pp. 1754–1761. doi: 10.1016/j.matpr.2020.06.496.
- [8] S. Mounitha, K. Abishek, M. P. Lalith Prasath, M. Mathankumar, G. Anushree, and V. Kandasamy, "Implementation of Codesys Programming Using Raspberry-Pi for Weighing Machine Control," in *2nd International Conference on Advancements in Electrical, Electronics, Communication, Computing and Automation, ICAECA 2023*, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2023. doi: 10.1109/ICAECA56562.2023.10200669.
- [9] Retyana Wahriani and Hasbi, "Pelatihan Programmable Logic Controller (PLC) Untuk Guru Produktif Teknik Elektronika Industri di SMK," *J. Bangun Abdimas*, vol. 1, no. 2, pp. 76–81, Nov. 2022, doi: 10.56854/ba.v1i2.117.
- [10] E. Samsul, M. ' Arif, and S. Yudihastoro, "Monitoring Kinerja Motor Kompresor Angin dengan Komunikasi Modbus Menggunakan Outseal PLC," vol. 6, no. 1.

