

# IMPLEMENTASI FILTER KALMAN PADA SENSOR JARAK BERBASIS ULTRASONIK

Ervan Surya Aby Nugroho<sup>1</sup>, Nerissa Diana Resty<sup>2</sup>, Imroatul Hudati<sup>3</sup>

<sup>1,2</sup>Program Studi Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Instrumentasi dan Kontrol Fakultas Sekolah Vokasi Universitas Gadjah Mada

ervan.surya.abby@mail.ugm.ac.id<sup>1</sup>, [nerissadiana99@mail.ugm.ac.id](mailto:nerissadiana99@mail.ugm.ac.id)<sup>2</sup>, imroatul.hudati@ugm.ac.id

**Abstract** – *The existence of noise in sensor system can lead to the decreasing of control system performance.. The existence of this noise due to several reasons, like the low specifications of the device, interference with external signals, the complexity of the measurements state. Therefore, it's necessary to prevent or attempt to get a control response from a system with good performance. In this study, Kalman Filter algorithm (FK) was utilized for ultrasonic sensor use. Kalman filter estimates the proper measured values from ultrasonic sensor. The type of ultrasonic sensor used is HC-SR04 which capable to detect the distances range from 3 cm to 350 cm. The AFK is implemented using the ATMEGA328P microcontroller on the Arduino Uno board. The algorithm is then tested with 5 different distances. The results show that AFK is able to reduce ultrasonic sensor measurement noise. The analysis show that the standard deviation significantly decrease. Showed by the average of the standard deviation of the five tests decreasing from 0.3831 to 0.0173 or almost 95,5%.*

**Keywords** : distance sensor, noise, signals, Kalman filter, HC-SR04

**Intisari** – Kehadiran derau pada pengukuran dari perangkat sensor dapat memberikan dampak yang besar terhadap penurunan performa sistem kendali. Kehadiran dari *noise* tersebut bisa diakibatkan dari banyak faktor, misalnya terkait rendahnya spesifikasi perangkat, gangguan sinyal luar (eksternal), kerumitan dari pengukuran yang dilakukan. Dengan dampak yang diberikan tersebut maka perlu adanya pencegahan atau upaya untuk mendapatkan respons kendali dari sistem dengan performa yang baik. Terlebih apabila sensor tersebut diterapkan pada palang pintu kereta api yang pastinya akan mendapat banyak noise dari lingkungan sekitar. Pada penelitian ini, algoritma Filter Kalman (AFK) digunakan pada sensor ultrasonik. Filter tersebut dibuat untuk mengatasi derau pengukuran dari sensor. Jenis sensor ultrasonik yang digunakan adalah HC-SR04 yang dapat mendeteksi jarak pengukuran mulai dari 3 cm sampai dengan 350 cm. AFK tersebut diimplementasikan menggunakan *microcontroller* ATMEGA328P yang ada pada *board* Arduino Uno. Algoritma tersebut diuji dengan lima jarak pengukuran yang berbeda-beda. Hasilnya menunjukkan bahwa AFK mampu memberikan estimasi yang tepat dari sensor ultrasonik. Analisa data menunjukkan bahwa variabel standar deviasi pengukuran memiliki penurunan yang signifikan. Hal tersebut dibuktikan dengan nilai rata-rata dari standar deviasi dari kelima pengujian turun dari 0.3831 menjadi 0.0173 atau mengalami penurunan sekitar 95,5%.

**Kata kunci** : sensor jarak, derau, sinyal, Filter Kalman, HC-SR04

## I. PENDAHULUAN

Palang pintu kereta api menjadi salah satu hal yang cukup penting dalam sistem keamanan lalu lintas. Banyaknya kecelakaan yang diakibatkan oleh perlintasan kereta api yang tidak diberikan keamanan menjadi hal yang harus sangat diperhatikan. Pengembangan perlintasan sistem kereta api menjadi sangat diperlukan, salah satunya adalah dengan memberikan beberapa sensor sebagai pendeteksi adanya obyek yang akan mendekat. Pada penelitian ini, dilakukan pengujian Kalman filter pada sensor ultrasonik yang nantinya akan diterapkan pada sistem perlintasan kereta api. Pada pengukuran yang dilakukan oleh sensor ultrasonik, hasil pengukuran tidak sesuai dengan nilai yang diharapkan karena adanya derau.

Terdapat beberapa cara untuk mengurangi dampak dari derau tersebut, salah satunya adalah dengan melakukan penyaringan data atau *filtering process*. Terdapat dua bentuk implementasi dari penyaringan data tersebut, yang pertama adalah dengan mendesain secara elektronik dan yang kedua secara digital melalui desain algoritma pemrograman data. Namun, penerapan secara elektronik kurang efektif dikarenakan harus menambah rangkaian elektronik baru pada sistem yang ada. Sehingga untuk mengatasi kelemahan tersebut tahap *data filtering* dibuat dalam bentuk algoritma pemrograman. Metode *filtering* ini selain tidak membutuhkan rangkaian elektronis tambahan

performa *filtering* yang dihasilkan juga lebih akurat karena menggunakan pengolahan data dengan komputer.

Pada penelitian atau peper ini berfokus pada desain dari proses algoritma Filter Kalman (FK) untuk mengolah data akuisisi dari sensor jarak berbasis ultrasonik. Filter Kalman merupakan filter data berbasis algoritma komputer yang pertama kali ditemukan oleh R. E. Kalman, yang pertama kali dikenalkan pada tahun 1960 melalui artikel publikasinya [1]. Filter Kalman bekerja dengan melakukan estimasi pada proses pengukuran jarak. Adapun Filter Kalman yang dibuat diterapkan pada sensor jarak berbasis ultrasonik yaitu pada modul sensor HC-SR04. sensor ultrasonik tersebut merupakan sensor yang memiliki kemampuan untuk mendeteksi jarak. Penerapan dari modul sensor ultrasonik biasanya terdapat dalam komputasi komputer, serta pada sistem kontrol seperti dalam robot pemadam kebakaran [2], pengatur atau pemantau level ketinggian air [3], dan juga bisa diterapkan pada sistem pengereman otomatis pada kendaraan [4].

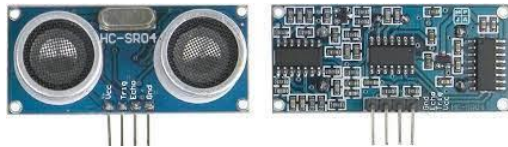
Telah banyak studi atau penelitian terkait pengembangan sekaligus terkait penerapan dari AFK dengan menggunakan sensor jarak berbasis ultrasonik tersebut, berikut adalah yang pertama terkait penerapan AFK dengan pengaplikasian pada pemantau level ketinggian air dengan perangkat sensor ultrasonik [5], serta yang terbaru terkait penerapan dari algoritma *Extended Kalman Filter* (EKF) dalam pengembangan dari sensor jarak ultrasonik, *Inertial*

Measurement Unit (IMU), dan Magnetometer pada pesawat luar angkasa [6].

Berbeda dengan penelitian atau studi yang telah dilakukan sebelumnya, pada penelitian atau studi yang dilakukan ini secara khusus membahas atau menguraikan tahapan atau proses terkait perancangan FK untuk diterapkan pada sensor jarak berbasis ultrasonik tipe HC-SR04 yang telah banyak diaplikasikan pada pengolahan atau komputasi melalui komputer. Adapun desain dari FK tersebut dijelaskan dengan mudah sehingga sangat mudah untuk dipelajari. Fokus dari penelitian ini adalah terkait analisa performa dari algoritma Filter Kalman yang telah dibuat. Pembahasan detail terkait perbandingan variasi *error* dari data pengukuran terhadap variasi *error* data pengukuran dengan penambahan Filter Kalman, juga terkait parameter standar deviasi dan perbandingan dari parameter *Mean Square Error* (MSE) untuk melihat bagaimana kinerja dari algoritma Filter Kalman yang telah dibuat.

### II. SENSOR JARAK ULTRASONIK

Perangkat sensor ultrasonik yang digunakan adalah tipe HC-SR04 yang mampu mendeteksi jarak dari suatu objek. Sensor yang digunakan tersebut mampu mendeteksi jarak mulai dari 3 cm sampai dengan 350 cm. Jika objek berada diluar jangkauan tersebut maka nilai yang akan ditampilkan adalah nilai minimal atau maksimalnya. Pada sensor ultrasonik tersebut terdapat dua pemancar yang terdiri dari *transmitter* dan juga *receiver*. Sebagai *output* dari modul sensor, terdapat empat pin yang merupakan pin dari Vcc, Trig, Echo, dan Gnd seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1 berikut.



Gambar 1. Modul sensor ultrasonik, tampak depan (kiri) dan tampak belakang(kanan) (*datasheet*).

Sensor jarak tersebut bekerja mendeteksi jarak objek dengan memancarkan gelombang ultrasonik melewati *transmitter* dan kemudian dipantulkan kembali oleh objek di depan sensor, serta diterima oleh bagian *receiver* dari modul sensor tersebut. Gelombang ultrasonik tersebut dipicu dari pin Trigger yang diberi pulsa sinyal oleh *microcontroller*. Kemudian pantulannya diterima kembali oleh bagian *receiver* dan kemudian data tersebut dikirim ke *microcontroller* melalui pin Echo. Secara konsep gelombang ultrasonik baru akan dipancarkan ketika pin Trigger mendapat pulsa sinyal selama 10  $\mu$ s. Adapun gelombang ultrasonik tersebut merupakan runtun pulsa dengan frekuensi 40 Khz. Adapun hasil sela waktu antara pancaran *transmitter* sampai diterima kembali oleh *receiver* tersebut digunakan untuk menghitung jarak dari sensor dengan objek. Sehingga pengukuran jarak tersebut dapat diturunkan menjadi rumus persamaan 1 berikut.

$$s = 1kT \tag{1}$$

Dengan mengetahui bahwa *s* merupakan jarak yang dicari, kemudian *T* merupakan waktu transmisi gelombang dalam satuan mikro detik, dan *k* adalah merupakan konstanta pengukuran. Adapun konstanta pengukuran dari *k* tersebut

jika pengukuran dalam cm, maka menggunakan nilai *k*=58, sedangkan dalam inci, maka menggunakan nilai *k*=148. Selain itu hasil pembacaan jarak juga dapat diperoleh dengan mengalikan kecepatan transmisi dengan waktu yang dibutuhkan dari pemancaran gelombang ultrasonik sampai kembali lagi, serta hasil kali tersebut dibagi dengan nilai dua. Sensor ultrasonik tersebut bekerja dengan spesifikasi yaitu membutuhkan tegangan DC sebesar 5 volt serta arus sebesar 15 mA, memiliki frekuensi kerja sebesar 40 KHz, memiliki kemampuan deteksi jarak minimal 3 cm dan maksimal 350 cm, memiliki dimensi P 26 / 20 mm, T 18 mm, dan memiliki berat 20 gram.

### III. DESAIN ALGORITMA FILTER KALMAN

#### A. Desain Perhitungan Filter Kalman.

Algoritma Filter Kalman (AFK) bekerja dengan melakukan perkiraan atau estimasi dari sebuah proses pengukuran dengan memanfaatkan *feedback control*, filter tersebut pertama membutuhkan estimasi *state* awal dari suatu proses pada satu waktu yang selanjutnya menerima *feedback* atau umpan balik berupa hasil pengukuran sensor yang masih ditambah *noise* atau derau. Persamaan AFK bisa dibagi menjadi dua tahap utama, yaitu *stage prediction* dan *correction phase*. Pada tahap prediksi, adapun algoritma yang digunakan adalah sebagai berikut.

$$\hat{x}_k^{(-)} = F\hat{x}_{(k-1)} + Bu_{(k-1)} \tag{2}$$

$$p_k^{(-)} = Fp_{(k-1)}F^T + Q \tag{3}$$

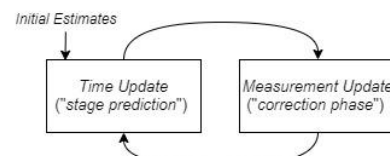
Dengan  $\hat{x}_k^{(-)}$  merupakan *priori state* estimasi untuk posteriori dari *state*  $\hat{x}_k$  dan  $p_k^{(-)}$  merupakan *priori covariance* matriks dari estimasi *error*, sedangkan Q merupakan matriks *noise covariance* dari proses pengukuran. Kemudian pada *correction phase*, algoritma yang digunakan merujuk pada persamaan berikut.

$$K_k = p_k^{(-)}H^T (HP_k^{(-)}H^T + R)^{-1} \tag{4}$$

$$\hat{x}_k = \hat{x}_k^{(-)} + K_k (z_k - H\hat{x}_k^{(-)}) \tag{5}$$

$$p_k = (1 - K_kH)p_k^{(-)} \tag{6}$$

Dengan variabel  $K_k$  yang merupakan gain Kalman yang berfungsi untuk menurunkan *posteriori error covariance matrix error*  $p_k$  dan *R* adalah *covariance matrix* dari *noise* pengukuran. Desain dari tahap kedua AFK dapat diamati diagram alur iterasinya seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2 berikut.



Gambar 2. Diagram dari Algoritma Filter Kalman.

Adapun AFK pada penerapannya pada sensor ultrasonik merujuk pada persamaan (2) dan persamaan (6). Kemudian model tersebut diasumsikan dengan berdasar pada parameter-parameter berikut.

$$F = [1] \tag{7}$$

$$B = [0] \tag{8}$$

$$H = [1] \tag{9}$$

Kemudian pada selanjutnya terkait nilai dari matriks Q dapat ditentukan dengan nilai yang bebas dan nilai dari matriks R ditentukan berdasar dari varians pengukuran jarak pada sensor. Sehingga dengan melakukan substitusi pada parameter yang telah diketahui nilainya pada persamaan (2) dan persamaan (6) didapatkan persamaan baru berikut.

$$\hat{x}_k^{(-)} = \hat{x}_{(k-1)} \tag{10}$$

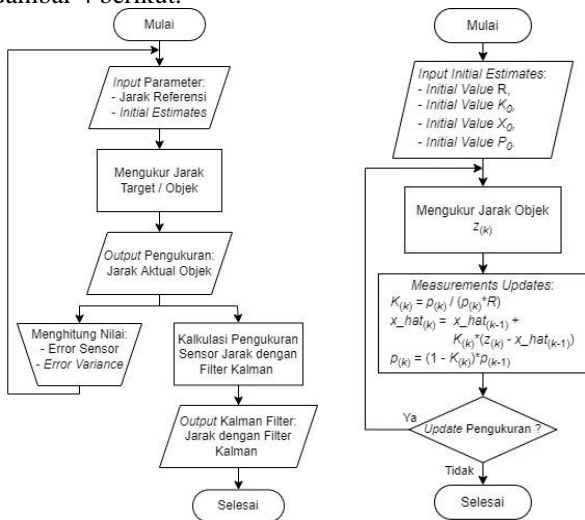
$$P_k^{(-)} = P_{(k-1)} \tag{11}$$

$$K_k = \frac{P_k^{(-)}}{P_k^{(-)} + R} \tag{12}$$

$$\hat{x}_k = \hat{x}_k^{(-)} + K_k(z_k - \hat{x}_k^{(-)}) \tag{13}$$

$$P_k = (1 - K_k)P_k^{(-)} \tag{14}$$

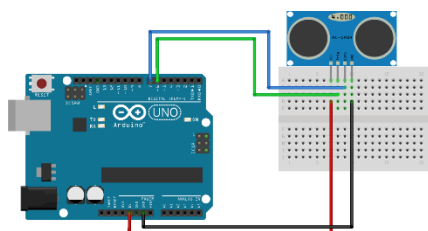
Mulai dari persamaan (10) sampai dengan persamaan (14) tersebut selanjutnya diimplementasikan dalam bentuk bahasa pemrograman dengan bantuan *software* Arduino IDE. Adapun lebih jelasnya terkait *flowchart* dari desain algoritma pemrograman yang digunakan ditunjukkan pada Gambar 4 berikut.



Gambar 3. Flowchart Sistem Pengukuran (kiri) dan Flowchart Desain Algoritma Filter Kalman (kanan).

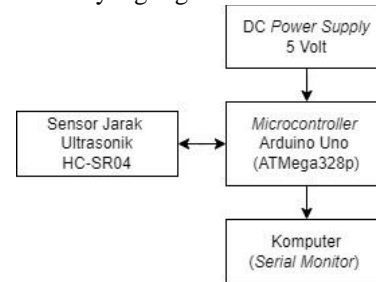
**B. Implementasi Hardware.**

Perangkat elektronik yang digunakan adalah sensor ultrasonik HC-SR04 sebagai perangkat akuisisi data, *microcontroller* Arduino Uno ATmega328p sebagai pengolah data, dan PC atau laptop untuk melakukan *input* desain AFK. Adapun sensor ultrasonik yang digunakan sebagai perangkat akuisisi telah diuji terkait pengimplementasian AFK pada Arduino Uno seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4 berikut.



Gambar 4. Desain Rangkaian Sensor Ultrasonik dan Arduino Uno.

Sensor ultrasonik terhubung dengan *microcontroller* melalui pin 6 Arduino untuk mendapatkan pulsa sinyal sebagai *trigger* sensor, lalu terhubung juga ke pin 7 arduino untuk mengirimkan hasil pengukuran yang selanjutnya diolah pada *microcontroller*, serta juga membutuhkan DC *supply* dari Arduino Uno untuk mengaktifkan modul sensornya. Berikut pada Gambar 5 merupakan detail blok diagram dari sistem yang digunakan.



Gambar 5. Blok Diagram Sistem.

Pengolahan utama atau pusat dari implementasi AFK berada pada *microcontroller* Arduino Uno, yang mana data dari sensor dikirimkan menuju *microcontroller*. Data tersebut dikirimkan ke komputer atau laptop sesuai dengan Tabel 1 berikut.

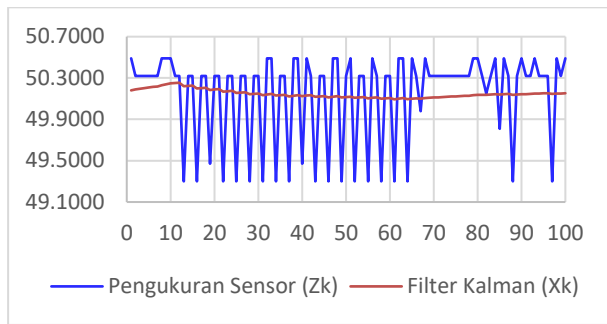
Tabel 1 Parameter Akuisisi Data

Parameter	Value
Baudrate Serial	9600
Data Format	ASCII
Data Type	float
Com Port	COM4
Sampling Time	0.5 detik

**IV. HASIL PENGUJIAN**

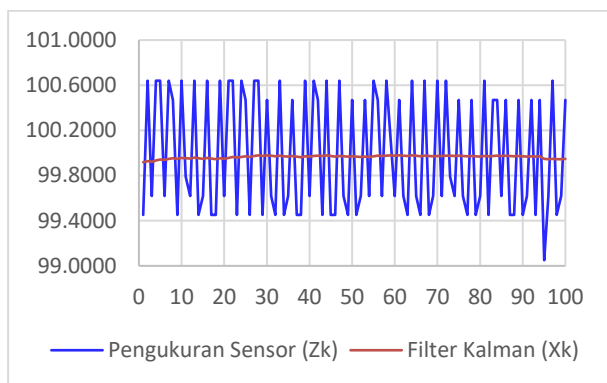
Berdasarkan perancangan yang telah dilakukan, diperoleh hasil pengukuran jarak oleh sensor ultrasonik yang nilainya masih fluktuatif seperti tampak pada Gambar 6 hingga Gambar 10. Kondisi ini kemudian akan diperbaiki menggunakan filter Kalman. Sehingga pada grafik terdapat 2 garis dengan warna yang berbeda, dimana warna biru menunjukkan hasil dari pembacaan sensor jarak, sedangkan warna merah menunjukkan hasil dari data pengukuran jarak setelah diberi Filter Kalman.

Pada penelitian ini dilakukan pengukuran dengan 5 variasi jarak atau target yang berbeda, mulai jarak 50 mm sampai 250 mm. Kemudian, masing-masing pengukuran dilakukan pengambilan data sebanyak 100 data. Adapun gambar pada masing-masing percobaan akan dijelaskan lebih lanjut. Gambar 6 di bawah menunjukkan pembacaan jarak dan data filter Kalman pada referensi jarak 50 mm.



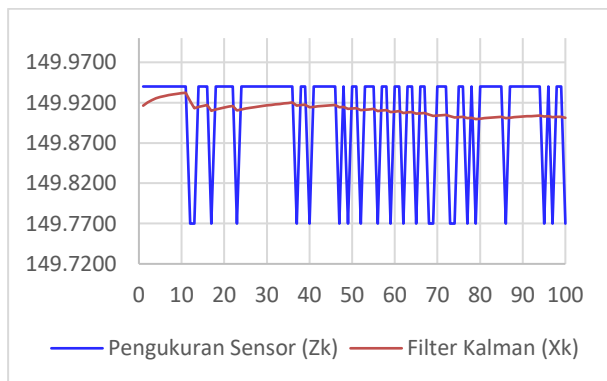
Gambar 6. Pembacaan Jarak dan Data Filter Kalman Pada Referensi Jarak 50 mm

Grafik di atas menunjukkan fluktuasi pada hasil pembacaan sensor jarak (garis warna biru) dengan jarak rata-ratanya 50.1517 mm, sedangkan dari garis warna merah menunjukkan hasil yang lebih stabil yakni pada rata-rata jarak pengukuran 50.1468 mm. Adapun standar deviasi yang diperoleh dari hasil pembacaan sensor jarak pada target 50 mm adalah 0.4297, dan setelah diberi filter Kalman standar deviasinya menjadi 0.0395. Selanjutnya merupakan hasil dari pembacaan jarak dan data filter Kalman pada target jarak 100 mm yang ditunjukkan pada gambar 7 di bawah ini:



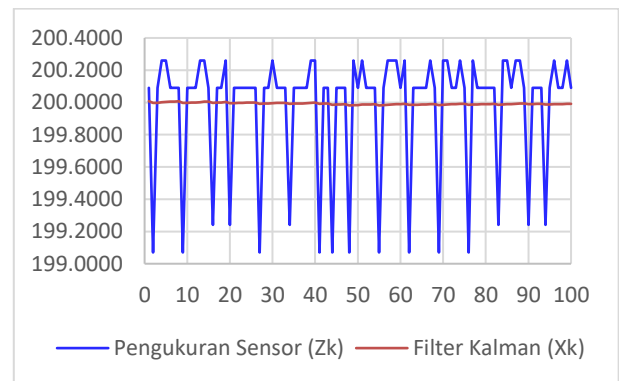
Gambar 7. Pembacaan Jarak dan Data Filter Kalman Pada Referensi Jarak 100 mm

Jarak rata-rata dari hasil pembacaan sensor adalah 99.9934 mm sedangkan hasil sensor jarak setelah diberi filter Kalman yakni 99.9648 mm. Kemudian standar deviasi yang diperoleh dari hasil pembacaan sensor jarak pada target 100 mm adalah 0.5250, dan setelah diberi filter Kalman standar deviasinya turun menjadi 0.0131.



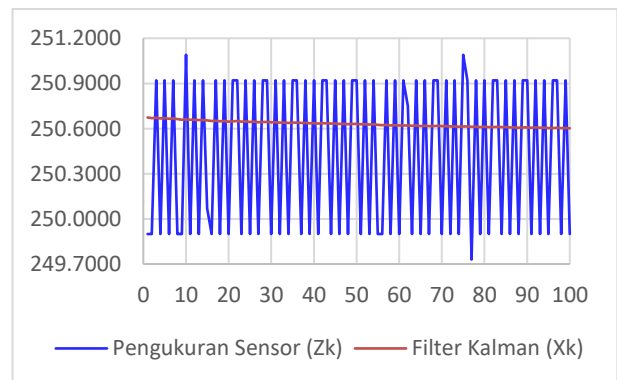
Gambar 8. Pembacaan Jarak dan Data Filter Kalman Pada Referensi Jarak 150 mm

Gambar 8 menunjukkan pembacaan jarak dan data filter Kalman pada target 150 mm. Grafik berwarna biru menunjukkan nilai pengukuran sensor jarak sensor. Jarak rata-rata dari pembacaan sensor adalah 149.9009 mm sedangkan hasil sensor jarak rata-rata setelah diberi filter Kalman yakni 149.9113. Adanya AFK (Algoritma Filter Kalman) juga berpengaruh terhadap standar deviasi, dimana pada pembacaan sensor jarak dengan target 150 mm memiliki standar deviasi 0.0715, dan setelah diberi filter Kalman standar deviasinya turun menjadi 0.0082. Grafik berikutnya merupakan hasil dari pembacaan jarak dan data filter Kalman pada target jarak 200 mm yang ditunjukkan pada gambar 9 berikut:



Gambar 9. Pembacaan Jarak dan Data Filter Kalman Pada Referensi Jarak 200 mm

Rata-rata hasil pembacaan sensor jarak pada target 200 mm adalah 199.9795 mm sedangkan hasil rata-rata sensor jarak dari data filter Kalman yakni 199.9924 mm. Kemudian standar deviasi yang diperoleh dari hasil pembacaan sensor jarak sebelum diberi filter Kalman adalah 0.3774, dan setelah diberi filter Kalman menjadi 0.0061.



Gambar 10. Pembacaan Jarak dan Data Filter Kalman Pada Referensi Jarak 250 mm

Adapun dari Gambar 10 di atas rata-rata jaraknya adalah 250,4423mm dan rata-rata jarak setelah ditambahkan filter Kalman adalah 250,6306 mm. Nilai standar deviasi yang diperoleh dari hasil pembacaan sensor jarak pada target 50 mm adalah 0.5121 dan setelah diberi filter Kalman standar deviasinya menjadi 0.0195. Dari keseluruhan grafik, baik dari target 50 mm hingga target jarak 250 mm, tampak



bahwa hasil estimasi jarak menggunakan filter Kalman dapat mengurangi fluktuasi data hasil pengukuran.

Tabel 2. Hasil Pengukuran Jarak Rata-Rata Sensor Ultrasonik

No	Jarak Aktual (mm)	Jarak Pengukuran Rata-Rata (mm)	Standar Deviasi
1	50	50,1517	0,4297
2	100	99,9934	0,5250
3	150	149,9009	0,0715
4	200	199,9795	0,3774
5	250	250,4423	0,5121

Tabel 3. Hasil Estimasi Jarak Rata-Rata Menggunakan Filter Kalman

No	Jarak Aktual (mm)	Jarak Pengukuran Rata-Rata (mm)	Standar Deviasi
1	50	50,1468	0,0395
2	100	99,9648	0,0131
3	150	149,9113	0,0082
4	200	199,9924	0,0061
5	250	250,6306	0,0195

Tabel 2 dan Tabel 3 menunjukkan pengukuran jarak rata-rata sensor ultrasonik dan standar deviasi pengukuran jarak sebelum diberi filter Kalman dan sesudah diberi filter Kalman. Rata-rata standar deviasi dari hasil pengukuran sensor jarak yakni 0,3831. Sedangkan standar deviasi dari pengukuran sensor jarak yang telah diberi filter Kalman adalah 0,0173. Dimana, standar deviasi merupakan besar perbedaan dari nilai sampel terhadap rata-rata.

Tabel 4. Perbandingan Standar Deviasi Pengukuran Dan Standar Deviasi Estimasi Filter Kalman

No	Jarak Aktual (mm)	Standar Deviasi Pengukuran	Standar Deviasi Filter Kalman
1	50	0,4297	0,0395
2	100	0,5250	0,0131
3	150	0,0715	0,0082
4	200	0,3774	0,0061
5	250	0,5121	0,0195
	Rata-rata	0,3831	0,0173

Tabel 4 menunjukkan perbandingan standar deviasi pengukuran jarak tanpa Filter Kalman dan dengan Filter Kalman. Dari hasil pengukuran menunjukkan dengan Filter Kalman, standar deviasi turun dari 0,3831 menjadi 0,0173 atau mengalami penurunan sebesar 95,5 %.

Tabel 5. Perbandingan Hasil MSE Pengukuran dan MSE Filter Kalman

No	Jarak Aktual (mm)	MSE Pengukuran	MSE Filter Kalman
1	50	0,2077	0,0231
2	100	0,2757	0,0014
3	150	0,0149	0,0079
4	200	0,1428	0,0001
5	250	0,4579	0,3980
	Rata-rata	0,2198	0,0861

1	50	0,2077	0,0231
2	100	0,2757	0,0014
3	150	0,0149	0,0079
4	200	0,1428	0,0001
5	250	0,4579	0,3980
	Rata-rata	0,2198	0,0861

Adapun pada Tabel 5 menunjukkan perbandingan MSE pengukuran jarak tanpa filter Kalman dan dengan MSE filter Kalman. MSE Pengukuran sensor jarak sebesar 0,2198, sedangkan MSE Filter Kalman sebesar 0,0861 atau mengalami penurunan sebesar 60,8 %. Sehingga dari penelitian ini menunjukkan bahwa filter Kalman mampu mengurangi/menghilangkan *noise* yang menjadi penyebab *error*. Terbukti adanya filter Kalman yang dapat meminimalkan *Mean Square Error* (MSE). Sehingga, semakin kecil nilai MSE maka semakin kecil kesalahan hasil prediksi atau semakin akurat hasil peramalan.

## V. KESIMPULAN

Algoritma Filter Kalman (AFK) telah berhasil dirancang dan diuji untuk sistem akuisisi data pada sensor ultrasonik jenis HC-SR04. Hasil pengujian menunjukkan bahwa algoritma AFFK adalah mampu mengurangi *noise* pada pengukuran yang dihasilkan oleh sensor. Analisa data menunjukkan bahwa variabel standar deviasi pengukuran memiliki penurunan yang signifikan. Hal tersebut dibuktikan dengan nilai rata-rata dari standar deviasi dari kelima pengujian turun dari 0,3831 menjadi 0,0173 atau mengalami penurunan sekitar 95,5%. Penerapan AFK memberi pengaruh pada penurunan nilai MSE dari pengukuran. Hal tersebut dibuktikan dengan rata-rata nilai MSE dari kelima pengujian turun dari 0,2198 menjadi 0,0861 atau mengalami penurunan sekitar 60,8%.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] R.E. Kalman, "A New Approach to Linear Filtering and Prediction Problems," *Journal of Basic Engineering*, Vol. 82, No. 1, pp. 35-45, 1960
- [2] A. Alawiah and A.R. Al Tahtawi, "Sistem Kendali dan Pemantauan Ketinggian Air pada Tangki Berbasis Sensor Ultrasonik," *KOPERTIP: Jurnal Ilmiah Manajemen Informatika dan Komputer*, Vol. 01, No. 01, pp. 25-30, 2017.
- [3] F. Suryatini, J. Kustija, and E. Haritman, "Robot Cerdas Pemadam Api Menggunakan Ping Ultrasonic Range Finder dan Uvtron Flame Detector Berbasis Mikrokontroler ATmega128," *Electrans*, Vol. 12, No. 1, pp. 29-38, 2013.
- [4] N.C. Basjaruddin, Kuspriyanto, Suhendar, D. Saefudin, and V.A. Azis, "Hardware Simulation of Automotive Braking System Based on Fuzzy Logic Control," *Journal Of Mechatronics, Electrical Power, and Vehicular Technology*, Vol. 7, No. 1, pp. 1-6, 2016.
- [5] B. H. Iswanto, I. F. Parmono, and M. Delina, "Kalman filtering to real-time trace water level measurements using ultrasonic sensor," *Journal of Physics: Conference Series*, Vol. 1402, no. 4, p. 044105, 2019.
- [6] Z. Wang, "Motion Measurement Using Inertial Sensors, Ultrasonic Sensors, and Magnetometers with Extended Kalman Filter," *IEEE Sensors Journal*, Vol. 12, No. 5, pp. 943-953, 2012.