

RESEARCH ARTICLE

Penggunaan Kalman Filter Pada Sensor Pengukur Padatan Terlarut Dalam Air

Shafira Zahra Anisa , Ig. Prasetya Dwi Wibowo* and Meta Kallista

Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom, Bandung, 40257, Jawa Barat, Indonesia

* Corresponding author: prasdwiwibawa@telkomuniversity.co.id

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengukur kualitas air sungai menggunakan perahu remote control (RC) yang dilengkapi dengan empat sensor, yaitu sensor pH, kekeruhan, padatan terlarut (TDS), dan suhu air. Untuk mengatasi kebisingan pada pembacaan sensor, digunakan Kalman Filter yang mampu menstabilkan hasil pengukuran. Hasil pengujian menunjukkan bahwa penerapan Kalman Filter secara signifikan mengurangi variasi data sensor TDS, dengan rata-rata data lebih konsisten setelah penggunaan filter dibandingkan sebelum menggunakan filter. Penggunaan teknologi ini berpotensi mendukung pelestarian lingkungan sungai melalui pemantauan kualitas air yang lebih akurat dan efisien.

Key words: Kalman Filter, Kualitas Air, Sensor TDS.

Pendahuluan

Meningkatnya aktivitas manusia seperti pertanian, industri, dan urbanisasi memberikan tekanan yang signifikan terhadap sumber daya air dan menyebabkan polusi yang mempengaruhi ekosistem perairan dan kesehatan masyarakat. Kualitas air sungai sebagai indikator kesehatan ekosistem dipengaruhi oleh limbah industri, pertanian, domestik, dan limbah manusia lainnya yang meningkatkan kadar bahan organik dan logam berat serta perubahan pH dan kadar oksigen terlarut yang seringkali dipengaruhi oleh aktivitas [1]. Pengelolaan kualitas air merupakan tantangan karena parameter yang bervariasi dan biaya tinggi dalam metode pengukuran tradisional [2]. Teknologi modern, seperti penggunaan perahu RC, memungkinkan pemantauan kualitas air secara *real-time*, memfasilitasi pengambilan sampel, dan pengukuran yang lebih efisien di wilayah sungai dan danau. Pengumpulan data kualitas air sungai dapat dilakukan secara efisien menggunakan perahu RC yang dioperasikan dari jarak jauh untuk memastikan keselamatan pengguna. RC boat dilengkapi dengan empat sensor yang mengukur parameter pH, kekeruhan, padatan terlarut, dan suhu air. Data yang diperoleh secara real time digunakan untuk identifikasi dan analisis pemantauan air sungai. Hasil sensor disaring menggunakan kalman filter, sehingga mengurangi kebisingan dan menstabilkan data, membuat analisis lebih akurat dan mendukung pelestarian lingkungan sungai.

Tinjauan Pustaka

Kalman Filter

Kalman filter diusulkan oleh R. E. Kalman (Rudolf Emil Kalman) pada tahun 1960, dan juga disebut sebagai *Linear Least Mean Squares Estimator* (LLSME) atau *Linear Quadratic Estimation* (LQE) [3]. Filter ini telah diterapkan di banyak bidang, seperti pada robotika, sistem kendali, sistem navigasi, dan aplikasi penglihatan komputer (menstabilkan pengukuran, menggabungkan data) [4]. Kalman filter adalah teknik estimasi keadaan yang populer karena kemudahannya perhitungannya, kebutuhan memori yang rendah, dan kemampuannya dalam mengatasi *noise*. Algoritma ini bekerja dengan memperkirakan proses pengukuran menggunakan kontrol umpan balik, di mana filter memerlukan perkiraan keadaan awal suatu proses dan kemudian menerima pengukuran yang terpengaruh oleh *noise* untuk memperbaiki estimasi tersebut. Kalman filter sangat ideal untuk digunakan sebagai pengurang *noise* dalam pembacaan sensor [4]. Ada dua tahapan Kalman Filter, yaitu prediksi dan koreksi [5]. Persamaan pada tahap prediksi adalah sebagai berikut:

$$\hat{x}_t^{(-)} = F\hat{x}_{(t-1)} + Bu_{(t-1)} \quad (1)$$

$$p_t^{(-)} = Fp_{(t-1)}F^T + \hat{y} \quad (2)$$

Keterangan:

$\hat{x}_t^{(-)}$ = estimasi untuk posteriori dari state \hat{x}_t .

$p_t^{(-)}$ = matriks dari estimasi *error*.

Q = matriks *noise covariance* dari proses pengukuran. Tahapan kedua dari kalman filter adalah koreksi, dengan persamaan sebagai berikut:

$$K_t = p_t^{(-)} H^T (H p_t^{(-)} + R)^{-1} \tag{3}$$

$$\hat{x}_t = \hat{x}_t^{(-)} + K_t (z_t - H \hat{x}_t^{(-)}) \tag{4}$$

$$p_t = \begin{pmatrix} 1 & 2 & K_t H \end{pmatrix} p_t^{(-)} \tag{5}$$

Keterangan:

K_t = gain kalman, ini berfungsi sebagai penurunan kesalahan posterior kesalahan matriks kovarians p_t .

R = matriks kovarians dari *noise* dalam pengukuran

Metodologi Penelitian

Alat dan Bahan

Pengujian ini menggunakan sensor TDS (*Total Dissolve Solid*) untuk mengukur padatan terlarut dalam air. Selain itu, mikrokontroller juga dibutuhkan untuk penggunaan filter Kalman digital. Sampel yang digunakan sebagai bahan pengujian adalah air danau dengan beberapa titik yang berbeda.

Persamaan Kalman Filter

Persamaan Kalman Filter dapat diimplementasikan untuk mereduksi *noise* dari pembacaan sensor. Persamaan tersebut dapat ditulis seperti berikut:

$$\hat{x}_t^{(-)} = \hat{x}_{(t-1)} \tag{6}$$

$$\hat{x}_t = \hat{x}_t^{(-)} + K_t^{(-)} p_t (z_t - H \hat{x}_t^{(-)}) \tag{7}$$

$$K_t = p_t^{(-)} (p_t^{(-)} + R)^{-1} \tag{8}$$

$$p_t = (I - K_t H) p_t^{(-)} \tag{9}$$

Proses Pengujian

Pengujian dilakukan dengan memasukkan sensor ke sampel. Sensor yang mengukur sampel pada pengujian pertama tidak menggunakan filter. Kemudian pada pengujian kedua, filter dipasang untuk mengetahui seberapa banyak *noise* yang bisa dihilangkan oleh filter 1.

Hasil dan Pembahasan

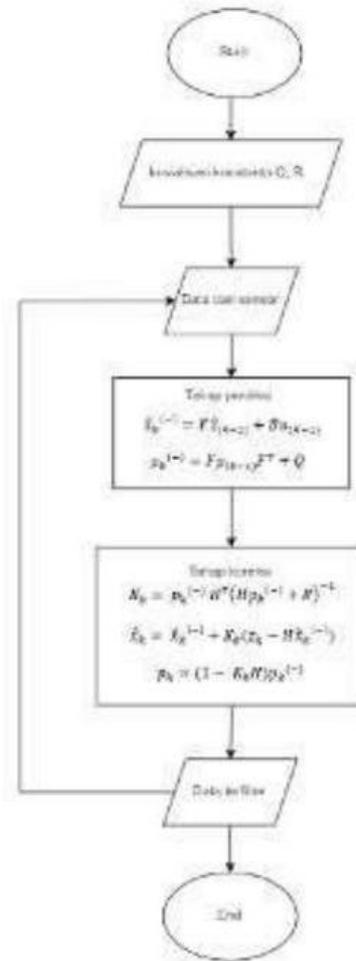
Tabel 1 berikut adalah hasil pengujian dari sensor yang tidak ditambahi filter serta sensor yang sudah ditambahi filter 2.

Dari hasil pengujian, dapat disimpulkan sebagai berikut:

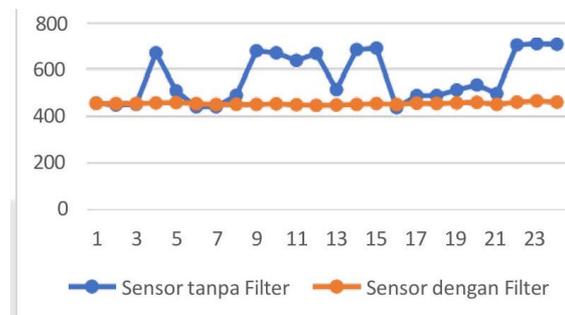
1. Pada hasil pengujian sebelum menggunakan filter, rata-rata data sebesar 569,67 dan variansnya sebesar 10877 yang menunjukkan bahwa data tersebut sangat berbeda dan nilainya tersebar dalam rentang yang luas. Grafik juga menunjukkan bahwa data tersebut mengandung banyak *noise*.
2. Pada hasil pengujian setelah penggunaan filter, dapat dilihat bahwa data menjadi lebih konsisten. Rata-ratanya adalah 453,17 dan variansnya adalah 20,93. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan filter efektif mengurangi kebisingan sensor.

Kesimpulan

Kesimpulan dari pengujian ini menunjukkan bahwa penggunaan filter Kalman secara signifikan dapat mengurangi *noise* pada pembacaan sensor TDS. Nilai rata-rata data sensor sebelum menggunakan filter



Gambar 1. Proses Pengujian.



Gambar 2. Hasil Pengujian Filter.

adalah 560,83 dan variasi nilainya adalah 10877 yang menunjukkan adanya variasi pembacaan yang besar. Setelah menggunakan filter Kalman, rata-rata datanya adalah 453,17 dan variansnya jauh lebih kecil yaitu 20,93. Hal ini menunjukkan bahwa filter Kalman efektif menstabilkan data dan meningkatkan konsistensi dan akurasi hasil pengukuran.

Lampiran

Potongan kode Kalman Filter, dapat dilihat pada gambar 3.

Table 1. Hasil Pengujian Filter

Titik ke-	Sensor Tanpa Filter	Sensor Dengan Filter
1	454	454
2	447	453
3	450	453
4	666	456
5	507	457
6	440	453
7	440	450
8	488	449
9	674	450
10	665	452
11	633	448
12	663	446
13	512	447
14	679	450
15	686	453
16	436	449
17	487	454
18	487	453
19	511	456
20	533	458
21	496	450
22	699	460
23	705	465
24	702	460
Rata-rata	560.83	453.17

```

#include <SimpleKalmanFilter.h>
SimpleKalmanFilter simpleKalmanFilter(2, 2, 0.01);

int analogBuffer[SCOUNT]; // store the analog value in the array, read from ADC
int analogBufferTemp[SCOUNT];
int analogBufferIndex = 0;
int copyIndex = 0;

float averageVoltage = 0;
float tdsValue = 0;
float temperature = 25; // current temperature for compensation

// median filtering algorithm
int getMedianNum(int bArray[], int iFilterLen) {
    int bTab[iFilterLen];
    for (byte i = 0; i < iFilterLen; i++)
        bTab[i] = bArray[i];
    int i, j, bTemp;
    for (j = 0; j < iFilterLen - 1; j++) {
        for (i = 0; i < iFilterLen - j - 1; i++) {
            if (bTab[i] > bTab[i + 1]) {
                bTemp = bTab[i];
                bTab[i] = bTab[i + 1];
                bTab[i + 1] = bTemp;
            }
        }
    }
    if ((iFilterLen % 2) > 0) {
        bTemp = bTab[(iFilterLen - 1) / 2];
    }
    else {
        bTemp = (bTab[iFilterLen / 2] + bTab[iFilterLen / 2 - 1]) / 2;
    }
    return bTemp;
}

```

Gambar 3. Kode Kalman Filter.

Daftar Pustaka

1. Nursaini D, Harahap A. Kualitas Air Sungai. BIOEDUSAINS: Jurnal Pendidikan Biologi dan Sains. 2022:312-21.
2. HZ M, Amin B, Jasril, Siregar SH. Analisis Status Mutu Air Sungai Berdasarkan Metode STORET Sebagai Pengendalian Kualitas Lingkungan (Studi Kasus: Dua Aliran Sungai di Kecamatan Tembilaan Hulu, Kabupaten Indragiri Hilir, Riau). Dinamika Lingkungan Indonesia. 2018:84-96.
3. Kalman RE. A New Approach to Linear Filtering and Prediction Problems. Transactions of the ASME-Journal of Basic Engineering. 1960:35-45.
4. Ma'arif A, Iswanto, Nuryono AA, Alfian RI. Kalman Filter for Noise Reducer on Sensor Readings. Signal and Image Processing Letters. 2019:50-61.
5. Ashilah S. Data Status Mutu Air Anak Sungai Citarum di Kota Bandung 2020, Sungai Ciswastra Terburuk; 2022. 2 Januari 2022, [Online]. Available from: <http://BandungBergerak.id>.