

Implementasi *Moving Average Filter* untuk Koreksi Kesalahan Sensor Pengukur Kedalaman Air

UTTI MARINA RIFANTI¹, HERRYAWAN PUJIHARSONO², ANDRI SETIAWAN³, JANS HENDRY⁴

^{1,2,3}Fakultas Teknik Telekomunikasi dan Elektro Institut Teknologi Telkom Purwokerto

⁴Departemen Teknik Elektro dan Informatika Sekolah Vokasi Univ. Gadjah Mada

Email: marina@ittelkom-pwt.ac.id

Received 23 Februari 2020 | Revised 28 Maret 2020 | Accepted 10 Mei 2020

ABSTRAK

Aspek utama yang membedakan sensor satu dengan yang lainnya adalah tingkat akurasi. Pada penelitian ini, dibuat sistem untuk menurunkan tingkat deviasi untuk meminimalisir kesalahan hasil pengukuran pada sensor berbiaya murah. Sensor yang digunakan adalah sensor tekanan udara BMP180. Sensor tersebut digunakan untuk mengukur kedalaman berdasarkan tekanan udara dalam air. Moving Average Filter (MAF) digunakan untuk membuang pencilaan data, sehingga didapatkan data yang lebih relevan yang kemudian digunakan untuk melakukan curve fitting. Kemudian dilakukan analisis regresi linear untuk menghasilkan persamaan yang berfungsi sebagai pengoreksi data terekam dari sensor tersebut. Pengujian sistem dilakukan melalui beberapa skenario lalu diambil persamaan yang menghasilkan nilai Mean Square Error (MSE) yang paling kecil. Berdasarkan hasil penelitian, diperoleh kesimpulan bahwa MAF mampu meningkatkan akurasi data hingga mencapai 99.12%.

Kata kunci: sensor BMP180, koreksi kesalahan, regresi linear, moving average filter, mean square error

ABSTRACT

The main aspect that distinguishes sensors from one another is the level of accuracy. In this study, a system was developed to reduce the level of deviation to minimize the measurement error on low-cost sensors. The sensor used is the air pressure sensor, BMP180. Then this sensor is used to measure water depth based on air pressure in water. The Moving Average Filter (MAF) method is used to get rid of outliers of data, to obtain more relevant data for curve fitting. Then a linear regression analysis is performed to produce a function as a correction of recorded data from the sensor. System testing is carried out through a number of scenarios and then the equation is chosen with the smallest Mean Square Error (MSE). Based on this research, MAF increases data accuracy up to 99.12%.

Keywords: sensor BMP180, error correction, linear regression, moving average filter, mean square error

1. PENDAHULUAN

Pada era modernisasi ini, manusia menjadi lebih banyak bergantung pada teknologi. Hal tersebut menyebabkan saat ini sistem otomatis lebih dipilih dibandingkan dengan sistem manual baik dalam kehidupan sehari-hari maupun pada suatu perusahaan (**Anindya & Rachmat, 2015**). Salah satu perangkat keras yang dipergunakan pada sistem elektronik adalah sensor (**Kurniawan, dkk, 2013**). Sensor merupakan perangkat pendukung yang berfungsi untuk mendeteksi dan mengukur adanya besaran fisis yang sama pada sebuah objek, kemudian mengubahnya ke dalam besaran fisik (**Budiarso & Prihandono, 2015**). Sensor telah umum digunakan dalam kehidupan sehari-hari dengan aplikasi yang mencakup berbagai bidang kehidupan. Dalam bidang sistem dan robotika, sensor berfungsi selayaknya indera penglihatan, pendengaran, ataupun perasa. Input sensor atau informasi yang masuk tersebut selanjutnya diproses oleh kontroler yang berfungsi sebagai otak (**Setiawan, 2009**). Terdapat berbagai jenis sensor, salah satu yang membedakan semua sensor tersebut adalah presisi dan tingkat akurasi sensor. Sensor dengan presisi dan tingkat akurasi yang tinggi memiliki biaya yang relatif mahal. Faktor biaya merupakan komponen yang penting untuk mempertimbangkan pemilihan sensor, sehingga penggunaan sensor berbiaya relatif murah akan menjadi prioritas pertimbangan. Tetapi sensor yang berbiaya relatif murah ini memiliki deviasi yang signifikan. Deviasi yang signifikan mengarah pada kesalahan yang signifikan (**Hsieh, dkk, 2010**). Oleh karena itu, dibutuhkan sebuah sistem untuk menurunkan tingkat deviasi dari sensor sehingga meminimalisasi kesalahan pada sensor berbiaya murah tersebut.

Pada penelitian ini digunakan sensor BMP180. Sensor BMP180 adalah sensor pengukur tekanan udara yang menghasilkan output dalam satuan pascal (pa) (**Bramandika, 2015**). Jenis sensor ini dipilih karena memiliki harga yang terjangkau. Selain itu, sensor ini dapat mengukur kedalaman air berdasarkan tekanan udara sesuai dengan prinsip Hukum Bernaulli (**Saefullah, dkk, 2015**). Namun karena tingkat deviasi yang cukup tinggi, maka hasil pengukuran dari sensor BMP180 ini menjadi kurang optimal. Oleh karena itu, untuk mengoptimalkan hasil pengukuran dibutuhkan proses filter data. Salah satu filter data yang dapat diimplementasikan dalam penelitian ini adalah *Moving Average Filter* (MAF). MAF berfungsi untuk memperbaiki sinyal dan mendapatkan nilai yang mendekati aslinya. Filter ini memiliki kelebihan yaitu mampu meredam *noise* dan memiliki hasil keluaran yang bagus, serta mudah untuk dipahami (**Wahyono, 2015**). Cara kerja dari filter ini adalah meredam *noise* dengan menggunakan nilai rata-rata dari data yang diterima (**Zulharbi, dkk, 2014**). MAF digunakan untuk membuang pencilan (*outliers*) sehingga diperoleh hanya data yang relevan untuk membuat proses *curve fitting*.

Kemudian regresi linear digunakan untuk menghasilkan rumus *curve fitting* sebagai pengoreksi data terekam pada sensor. Terdapat beberapa metode *curve fitting* yang dapat digunakan, namun menurut penelitian M.Syafuruddin dan Lukmanul Hakim regresi linear memiliki hasil yang mendekati nilai aktual (**Syafuruddin, dkk, 2014**). Fungsi hasil *curve fitting* tersebut akan diimplementasikan pada data tekanan yang sudah difilter untuk menghasilkan nilai pengukuran kedalaman air yang sudah terkoreksi sehingga diperoleh hasil pengukuran sensor dengan akurasi mendekati sensor yang berbiaya lebih tinggi. Pada penelitian sebelumnya, proses pembuatan alat pengukur ketinggian air menggunakan prinsip tekanan namun belum menerapkan proses filter data. Sehingga persamaan yang diperoleh tanpa melalui proses koreksi data (**Indarto, dkk, 2015**). Oleh karena itu, pada penelitian ini proses pembuatan alat pengukur kedalaman air menggunakan prinsip tekanan dilakukan dengan terlebih dahulu melakukan koreksi kesalahan data dengan menerapkan proses filter data menggunakan metode MAF. Sehingga diharapkan data yang diproses dalam mikrokontroler merupakan data output sensor yang lebih akurat.

2. METODOLOGI

Pada penelitian ini dirancang sebuah sistem yang dapat melakukan koreksi kesalahan pada pengukuran sensor. Sensor yang digunakan pada penelitian ini adalah sensor BMP180, yaitu sensor pengukur tekanan udara yang menghasilkan output dalam satuan pascal (pa). Adapun bagan proses perancangan sistem seperti yang terlihat pada Gambar 1 sebagai berikut.

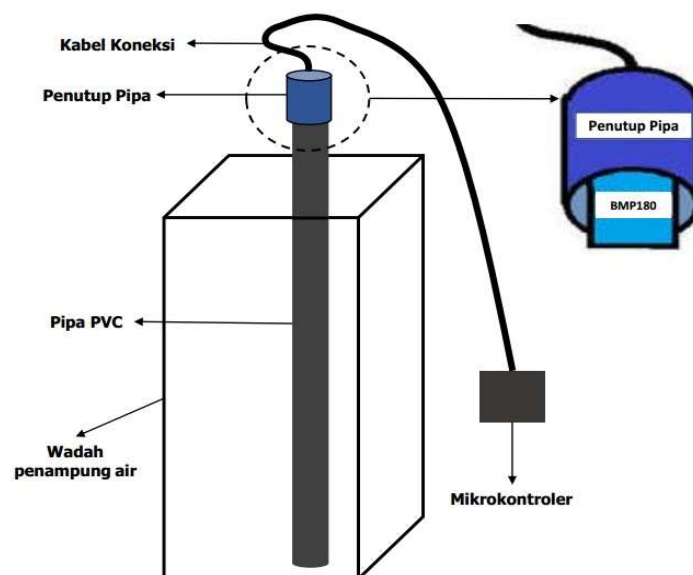


Gambar 1. Diagram Alir Tahap Perancangan Sistem

Seperti yang tercantum pada Gambar 1, proses perancangan sistem yang pertama adalah proses pengambilan data yang terdiri dari proses pengukuran tekanan udara menggunakan sensor dan proses konversi nilai tekanan udara menjadi kedalaman air. Langkah selanjutnya adalah proses pengolahan data tekanan udara dan kedalaman air yang telah diperoleh dari proses sebelumnya. Kemudian setelah dilakukan proses pengolahan data, langkah terakhir adalah proses pengujian sistem. Adapun detail dari masing-masing proses tersebut akan dijelaskan pada bagian selanjutnya.

2.1 Pengambilan Data

Pada penelitian ini digunakan beberapa alat dan bahan berupa perangkat keras (*hardware*) dan juga perangkat lunak (*software*). Adapun perangkat keras yang digunakan adalah mikrokontroler ATmega328 yang terintegrasi dengan Arduino Uno, satu unit laptop, wadah penampung air, pipa, sensor BMP180, dan kabel koneksi. Pipa yang digunakan pada penelitian ini adalah pipa PVC dengan diameter 0.75 inch atau 26 mm dan panjang 150 cm atau 1.5 m. Hal ini bertujuan untuk menghindari banyaknya sambungan pipa sehingga rawan terjadi kebocoran. Wadah penampung air terbuat dari kaca transparan dan berukuran tinggi 150 cm, panjang 50 cm, lebar 50 cm. Bahan utama yang digunakan pada penelitian ini adalah air yang akan diisikan ke dalam wadah. Berikut adalah ilustrasi tampilan alat yang digunakan saat pengambilan data.



Gambar 2. Ilustrasi Pengukuran Tekanan Air Dengan Sensor BMP180

Langkah pertama adalah menyiapkan alat sesuai ilustrasi pada Gambar 2. Pada saat proses persiapan alat, sensor BMP180 diletakkan di bagian bawah penutup pipa. Selanjutnya, penutup pipa yang telah terpasang dengan sensor BMP180 tersebut digunakan untuk menutup rapat pipa di bagian atas, sedangkan pipa bagian bawah tidak diberi penutup. Pipa bagian atas harus tertutup rapat tanpa ada celah udara agar dapat menghasilkan tekanan dari dalam air yang akan menjadi input sensor BMP180. Setelah menyiapkan alat-alat tersebut, langkah kedua adalah mengisi wadah dengan air hingga penuh. Langkah ketiga adalah memasukkan pipa ke dalam wadah yang telah berisi air secara vertikal sehingga tekanan dapat masuk ke dalam pipa. Ujung pipa yang masuk ke dalam air adalah ujung pipa tanpa penutup. Prinsip kerja alat tersebut adalah dengan memanfaatkan tekanan yang menekan pipa dalam sebuah wadah. Semakin dalam proses pengukuran, maka semakin besar pula tekanan dalam air tersebut. Hal tersebut menyebabkan tekanan zat cair akan menekan udara di dalam pipa tertutup sesuai dengan prinsip transmitter pneumatic. Kemudian, sensor BMP180 menerima input tekanan dari dalam pipa. Pada proses pengukuran oleh sensor BMP180, diambil sebanyak 30 data dengan jeda 2 cm dimulai dari 2 cm hingga 100 cm. Selanjutnya, langkah terakhir pada proses pengukuran yaitu mikrokontroler melakukan proses data tekanan yang diterima tersebut menjadi data kedalaman air (**Morris, 2001**).

2.2 Pengolahan Data

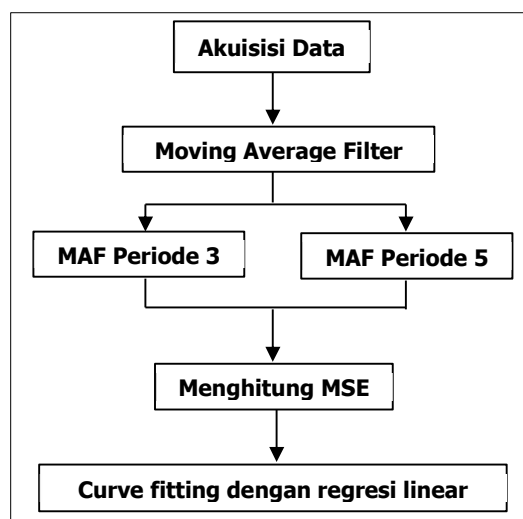
Setelah diperoleh data dari hasil pengukuran, kemudian data tersebut kemudian difilter menggunakan *Moving Average Filter* (MAF) dengan periode 3 dan 5. Pergerakan yang dihasilkan dari MAF 3 berasal dari persamaan berikut (**Smith, 2003**)

$$y[3] = \frac{x_1+x_2+x_3}{3} \quad (1)$$

Sedangkan, pergerakan yang dihasilkan dari MAF 5 berasal dari persamaan berikut

$$y[5] = \frac{x_1+x_2+x_3+x_4+x_5}{5} \quad (2)$$

Data hasil MAF akan digunakan untuk proses *curve fitting*. Selanjutnya, digunakan *curve fitting* regresi linear untuk mendapatkan persamaan hubungan antara kedalaman air dan tekanan udara. Persamaan tersebut akan diimplementasikan sebagai *error correction*. Kemudian membandingkan nilai MSE pada data sebelum dan sesudah *error correction*. Tahap pengolahan data terlihat pada keterangan Gambar 3 sebagai berikut.



Gambar 3. Diagram Alir Tahap Pengolahan Data

Pada tahap pengolahan data dilakukan proses MAF menggunakan 2 skenario, yaitu periode 3 dan 5, seperti yang terlihat pada Gambar 3. Hasil kedua skenario MAF tersebut digunakan sebagai titik – titik pembentuk kurva (*curve fitting*). Metode penyesuaian kurva yang digunakan adalah metode regresi linear. Persamaan umum regresi linear sederhana dituliskan sebagai berikut (**Hijriani, dkk, 2016**):

$$y = a + bx \quad (3)$$

Dalam hal ini, y adalah variabel bergantung (*dependent*) yaitu nilai data yang akan diprediksikan atau ditentukan. Sedangkan, x adalah variabel bebas (*independent*) yaitu nilai data yang diinputkan untuk menghasilkan nilai y . Nilai a merupakan nilai konstan (nilai y apabila $x = 0$). Nilai b merupakan koefisien regresi dari Persamaan (3). Untuk mendapatkan nilai a dan b digunakan persamaan sebagai berikut (**Montgomery, dkk, 2015**):

$$b = \frac{N(\sum_{i=1}^N x_i y_i) - (\sum_{i=1}^N x_i)(\sum_{i=1}^N y_i)}{N(\sum_{i=1}^N x_i^2) - (\sum_{i=1}^N x_i)^2} \quad (4)$$

$$a = \frac{(\sum_{i=1}^N y_i) - b(\sum_{i=1}^N x_i)}{n} \quad (5)$$

2.3 Pengujian Sistem

Pada penelitian ini, pengujian sistem dilakukan dengan cara membandingkan hasil pengukuran sensor BMP180 sebelum dan sesudah pengolahan data. Pada penelitian ini terdapat 2 skenario dalam pengukuran unjuk kerja. Besarnya *error* yang dihasilkan dari setiap data diperoleh dari nilai *Mean Square Error* (MSE). MSE yang diperlukan adalah MSE sebelum dan sesudah dilakukan MAF. Adapun persamaan untuk menentukan MSE adalah sebagai berikut (**Montgomery, dkk, 2015**):

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \sqrt{(f_i - y_i)^2} \quad (6)$$

Dimana f_i merupakan nilai yang dihasilkan oleh model dan y_i merupakan nilai aktual untuk titik data i .

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

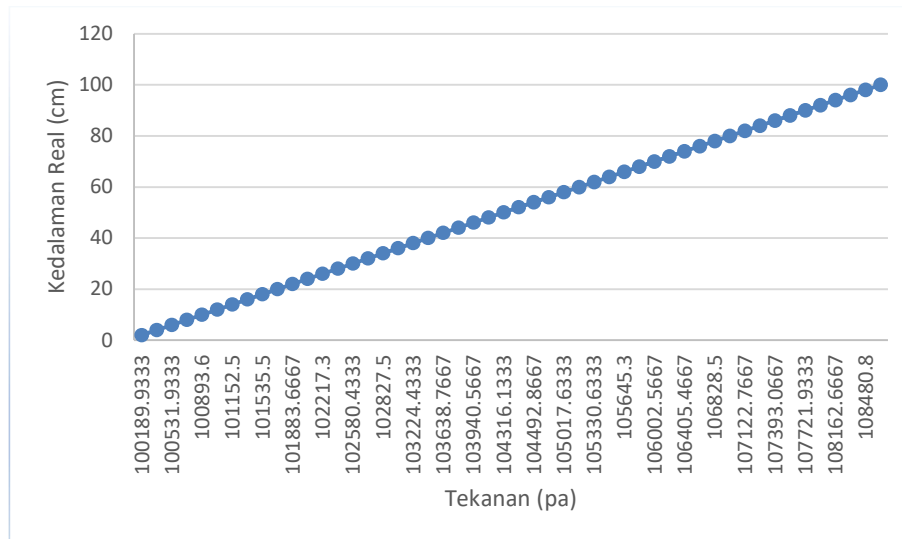
Pada penelitian ini, dilakukan pengambilan data sebanyak 30 data pada setiap titik kedalaman dengan jarak pengambilan data 2 cm hingga mencapai kedalaman 100 cm. Persamaan yang digunakan untuk melakukan pengukuran kedalaman air berdasarkan tekanan udara yang diperoleh adalah sebagai berikut

$$kedalaman = 0.010197838(p - p_0) \quad (7)$$

dimana p merupakan tekanan yang terbaca oleh sensor pada ketinggian tertentu dalam satuan pascal (pa), sedangkan p_0 merupakan tekanan yang terbaca sensor ketika berada pada posisi 0 cm. Nilai p_0 diperoleh berdasarkan hasil kalibrasi yaitu 100030. Nilai konstanta 0.010197838 diperoleh berdasarkan konversi satuan dari pa ke cmH₂O yaitu

$$1 \text{ pa} = \frac{1}{98.066} \text{ cm} \quad (8)$$

Dari hasil pengukuran yang dilakukan pada jarak 2 hingga 100 cm terlihat bahwa semakin tinggi level kedalaman air, maka tekanan udara yang didapatkan semakin besar. Hal tersebut dapat terlihat pada Gambar 4 sebagai berikut.



Gambar 4. Grafik Hubungan Antara Tekanan Terbaca Sensor Dengan Kedalaman Real

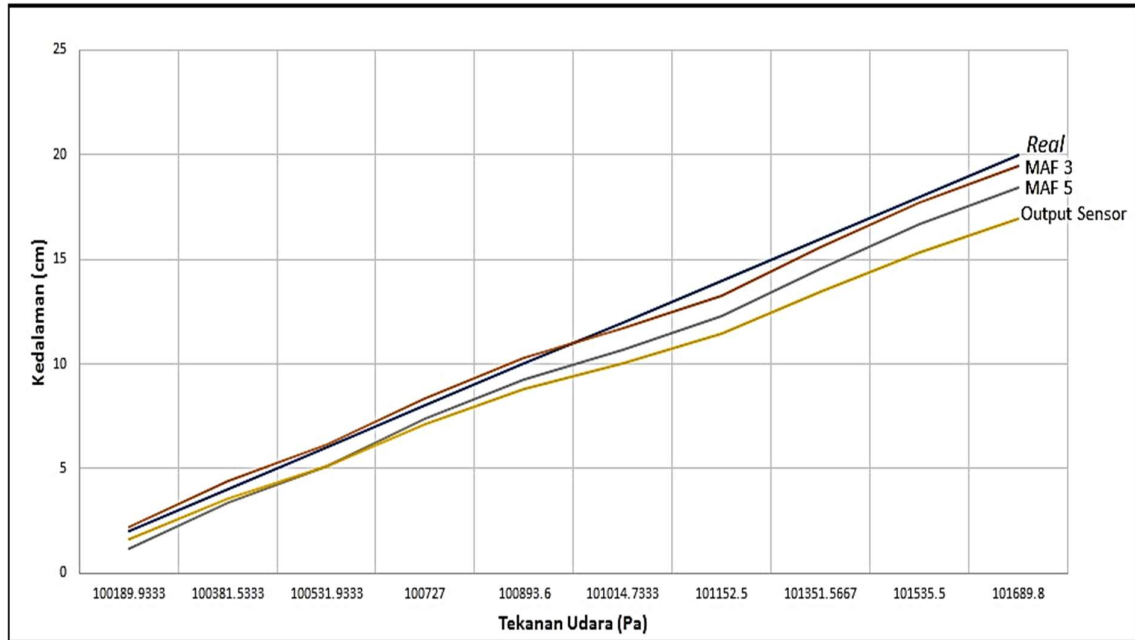
Terlihat pada Gambar 4, perbedaan jarak kedalaman sangat mempengaruhi tekanan udara yang didapatkan. Secara teori, semakin jauh pengukuran kedalaman air maka akan semakin besar tekanan udara yang diperoleh sehingga akan membuat hubungan linearitas antara jarak kedalaman dan tekanan udara. Setelah diperoleh data hasil pengukuran yang berupa tekanan dan kedalaman air, selanjutnya dilakukan filter data menggunakan MAF dengan periode 3 dan 5 sehingga akan diperoleh serangkaian data baru, yaitu data kedalaman dan tekanan dari masing-masing periode filter. Data hasil filter menggunakan MAF periode 3 dan 5 tersebut selanjutnya digunakan untuk melakukan proses *curve fitting*. Adapun hasil *curve fitting* menggunakan regresi linear untuk data setelah dilakukan MAF periode 3 dan 5 berturut-turut sebagai berikut

$$y[3] = -1151.956352 + 0.011523524x \quad (9)$$

dan

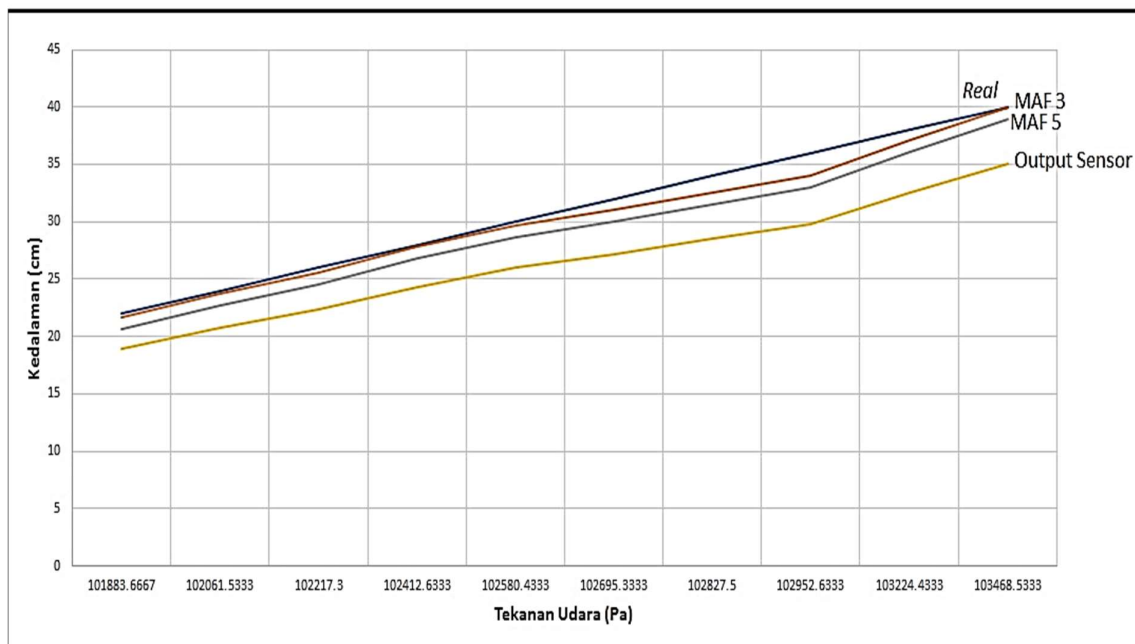
$$y[5] = -1151.88 + 0.0115139x. \quad (10)$$

Setelah diperoleh kedua persamaan tersebut, selanjutnya akan dilakukan perbandingan hasil antara output sensor BMP180, data sesungguhnya (*real*), hasil persamaan data setelah melalui MAF periode 3 yang ditunjukkan pada Persamaan (9), dan juga hasil persamaan data setelah melalui MAF periode 5 yang ditunjukkan pada Persamaan (10). Tujuan dari perbandingan tersebut adalah untuk mengetahui dampak yang dihasilkan dari dilakukannya proses filter data menggunakan MAF periode 3 dan 5. Selain itu juga untuk mengetahui periode MAF terbaik yang dapat menghasilkan data dengan MSE terkecil. Perbandingan hasil tersebut diperlihatkan pada Gambar 5 dengan sumbu x menunjukkan nilai tekanan udara dalam satuan pa dan sumbu y menunjukkan nilai kedalaman dalam satuan cm. Perbandingan hasil dibagi menjadi lima rentang pengukuran agar lebih mudah untuk dilakukan analisis hasil.



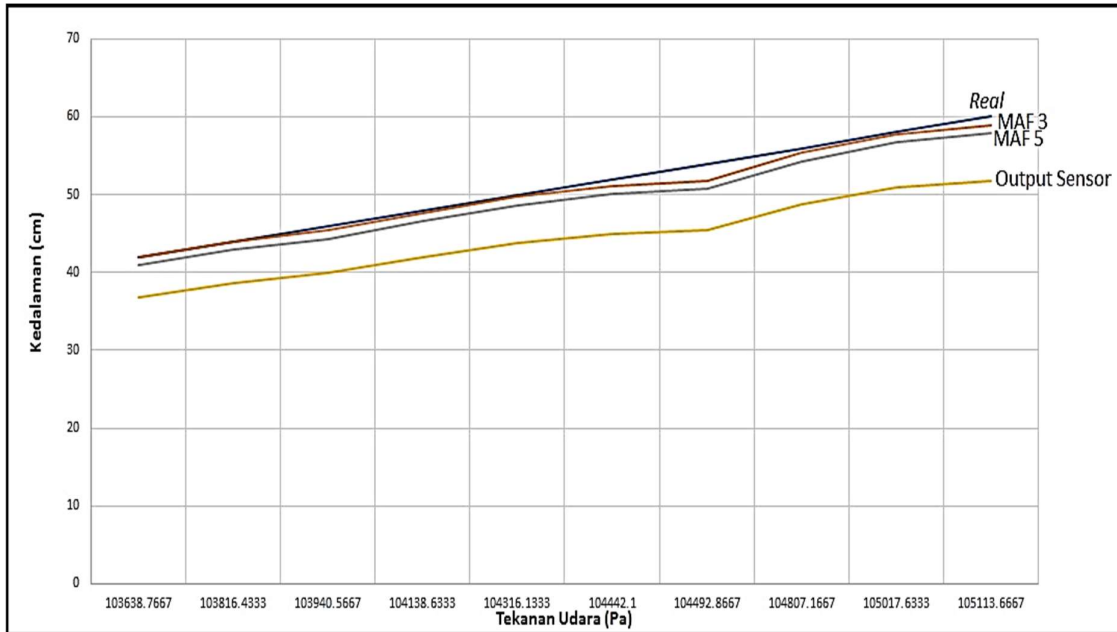
Gambar 5. Perbandingan Hasil Pengolahan Data Kedalaman 2 – 20 cm

Gambar 5 menunjukkan perbandingan antara data sesungguhnya (*real*), data setelah difilter menggunakan MAF 3 dan 5, dan data output sensor pada rentang kedalaman 2 hingga 20 cm. Dari Gambar 5 terlihat jelas bahwa output sensor belum mendekati nilai sesungguhnya dan *curve fitting* dari data hasil MAF dapat mengurangi *error* dari output sensor tersebut. Selain itu, terlihat bahwa *curve fitting* dari data yang telah dilakukan MAF 3 lebih mendekati nilai sesungguhnya (*real*) jika dibandingkan dengan MAF 5. Adapun grafik perbandingan hasil pengolahan data pada rentang kedalaman 42 cm hingga 60 cm adalah sebagai berikut

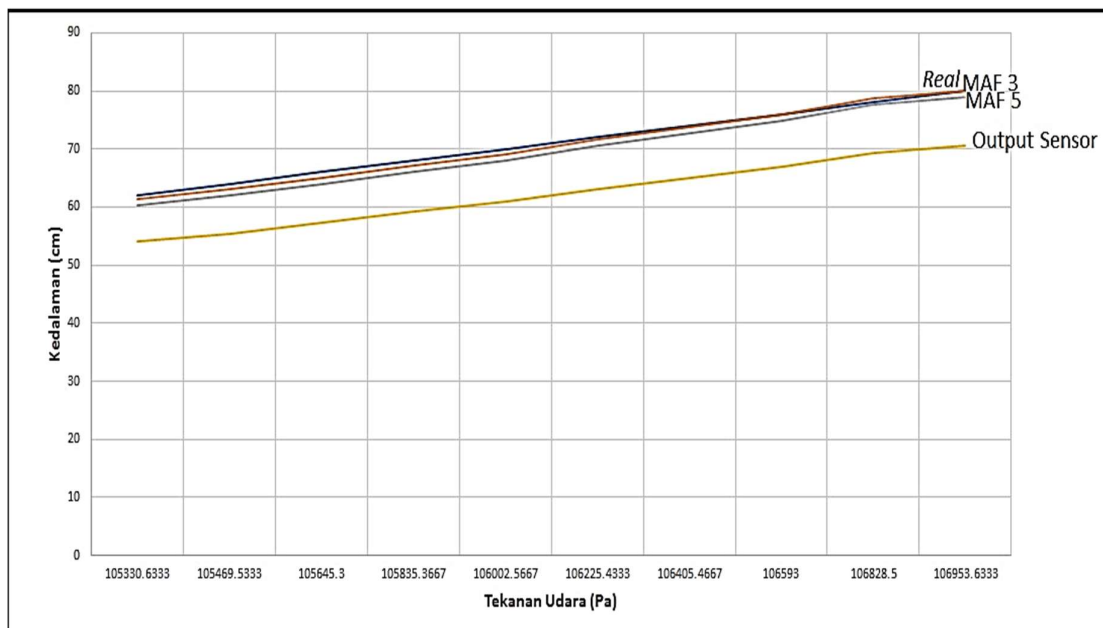


Gambar 6. Perbandingan Hasil Pengolahan Data Kedalaman 22 – 40 cm

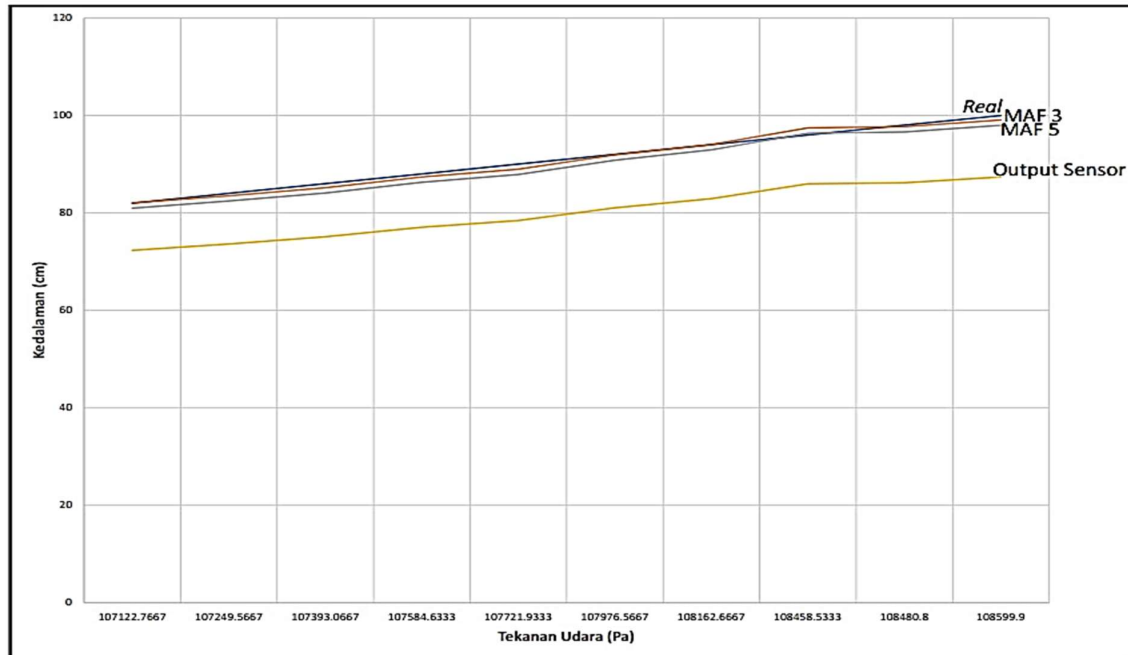
Gambar 6 menunjukkan perbandingan antara data sesungguhnya (*real*), data setelah difilter menggunakan MAF 3 dan 5, dan data output sensor pada rentang kedalaman 22 hingga 40 cm. Dari Gambar 6 terlihat jelas bahwa output sensor belum mendekati nilai sesungguhnya dan *curve fitting* dari data hasil MAF dapat mengurangi *error* dari output sensor tersebut. Selain itu, terlihat bahwa *curve fitting* dari data yang telah dilakukan MAF 3 lebih mendekati nilai sesungguhnya (*real*) jika dibandingkan dengan MAF 5. Hasil yang serupa diperoleh dari perbandingan hasil pada kedalaman 42 cm hingga 100 cm. Adapun grafik perbandingan hasil pengolahan data pada rentang kedalaman 42 cm hingga 100 cm adalah sebagai berikut.



Gambar 7. Perbandingan Hasil Pengolahan Data Kedalaman 42 – 60 cm



Gambar 8. Perbandingan Hasil Pengolahan Data Kedalaman 62 – 80 cm



Gambar 9. Perbandingan Hasil Pengolahan Data Kedalaman 82 – 100 cm

Seperti halnya dengan Gambar 5 dan Gambar 6, Gambar 7 sampai dengan Gambar 9 juga menunjukkan perbandingan antara data sesungguhnya (*real*), data setelah difilter menggunakan MAF 3 dan 5, dan juga data output sensor pada rentang kedalaman 22 cm sampai dengan 100 cm. Jika dilihat dari keseluruhan grafik pada Gambar 5 sampai dengan Gambar 9 terlihat bahwa hasil *curve fitting* dari data yang telah dilakukan MAF 3 lebih mendekati nilai sesungguhnya (*real*) jika dibandingkan dengan hasil *curve fitting* dari data yang telah dilakukan MAF 5.

Selain dari analisis grafik, pengujian sistem juga dilakukan dengan cara menghitung nilai MSE dari setiap data menggunakan Persamaan (6). Kemudian dilakukan perbandingan rata-rata MSE dari setiap data seperti yang terlihat pada Tabel 1 berikut.

Tabel 1. Hasil Perhitungan MSE

| | Output Sensor | MAF 3 | MAF 5 |
|------------------------|---------------|-------------|-------------|
| MSE | 6.525997932 | 0.883694693 | 0.969854839 |
| Tingkat Akurasi | 93.47% | 99.12% | 99.03% |

Berdasarkan hasil perhitungan MSE seperti yang tertera pada Tabel 1, diketahui bahwa data output sensor BMP180 yang belum dilakukan MAF menghasilkan MSE yang paling tinggi dan tingkat akurasi yang paling rendah jika dibandingkan dengan data output sensor yang telah dilakukan MAF, yaitu MSE 6.53 cm dan tingkat akurasi 93.47%. Hasil *curve fitting* dari data yang telah dilakukan MAF 3 menghasilkan nilai MSE sebesar 0.88 cm dengan tingkat akurasi 99.12%. Sedangkan, hasil *curve fitting* dari data yang telah dilakukan MAF 5 menghasilkan nilai MSE sebesar 0.97 cm dengan tingkat akurasi 99.03%. Sehingga, hasil *curve fitting* dari data yang telah dilakukan MAF 3 mampu menekan *error* yang dihasilkan oleh hasil pengukuran sensor sehingga meningkatkan akurasi sensor sebesar 5.64%.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan diperoleh kesimpulan bahwa *Moving Average Filter* mampu menghilangkan *outliers* sehingga tingkat akurasi data mencapai 99.12%. Dari hasil perbandingan *Moving Average Filter* periode 3 dan 5 diperoleh periode 3 lebih baik daripada periode 5 dengan selisih tingkat akurasi 0.9%. Setelah diterapkan *Moving Average Filter* periode 3 kemudian diterapkan pada persamaan regresi linear menghasilkan nilai kedalaman yang mendekati aslinya. Persamaan dari hasil pengolahan data tersebut mampu menekan kesalahan (*error*) sehingga meningkatkan akurasi sensor sebesar 5.64%.

DAFTAR RUJUKAN

- Anindya, S. F., & Rachmat, H. H. (2015). Implementasi Sistem Bel Rumah Otomatis berbasis Sensor Ultrasonik. *ELKOMIKA: Jurnal Teknik Energi Elektrik, Teknik Telekomunikasi, & Teknik Elektronika*, 3(1), 64–74.
- Bramandika, G. (2015). Implementasi Sensor BMP085 Pada Quadcopter Berbasis. *Jurnal Ilmiah Mikrotek*, 2(1).
- Budiarso, Z., & Prihandono, A. (2015). Implementasi Sensor Ultrasonik Untuk Mengukur Panjang Gelombang Suara Berbasis Mikrokontroler. *Jurnal Teknologi Informasi Dinamik*, 20(2), 171–177.
- Hijriani, A., Muludi, K., & Andini, E. A. (2016). Penyajian Hasil Prediksi Pemakaian Air Bersih PDAM Informasi Geofrafis. *Jurnal Ilmiah Ilmu Komputer*, 11(2), 37–42.
- Hsieh, C., Hung, S., Lan, C., & Huang, P. (2010). Impulse Noise Removal Based on Grey Polynomial Interpolation. In *International Conference on Information Technology* (pp. 327–331). IEEE Computer Society.
- Indarto, B., Sunarno, H., Fahrudin, M., & Rahmat, D. B. (2015). Pengukuran Ketinggian Permukaan Air Sungai menggunakan Prinsip Tekanan Berbasis Mikrokontroler ATmega328. *Jurnal Fisika Dan Aplikasinya*, 11(3), 120–126.
- Kurniawan, E., Suhery, C., & Triyanto, D. (2013). Sistem Penerangan Rumah Otomatis Dengan Sensor Cahaya Berbasis Mikrokontroler. *Jurnal Coding Sistem Komputer Universitas Tanjungpura*, 1(2), 1–9.
- Montgomery, D. C., Peck, E. A., & Vining, G. G. (2015). *Introduction to Linear Regression Analysis* (5th ed.). New Jersey: John Wiley & Sons.
- Morris, A. (2001). *Measurement and Instrumentation Principles* (3rd ed.). Oxford: Butterworth-Heinemann.
- Saefullah, A., Abas Sunarya, & Deinsyah Fakhrihal. (2015). Prototype Weather Station Berbasis Arduino Yun. *Creative Communication and Innovative Technology Journal*, 8(2), 57–65.

- Setiawan, I. (2009). *Sensor dan Transduser*. Semarang: Fakultas Teknik Universitas Diponegoro.
- Smith, S. W. (2003). *Digital Signal Processing: A Practical Guide for Engineers and Scientists*. Burlington: Newnes.
- Syafruddin, M., Hakim, L., & Despa, D. (2014). Metode Regresi Linier untuk Prediksi KebutuhanEnergi Listrik Jangka Panjang (Studi Kasus Provinsi Lampung). *Jurnal Informatika Dan Teknik Elektro Terapan*, 2(2), 1–9.
- Wahyono, C. (2015). *Implementasi Moving Average Filter Untuk Memperbaiki Respon Output Sensor Load Cell Pada Pengisian Air Otomatis*. Universitas Internasional Batam.
- Zulharbi, Firdaus, Antonisfia, Y., & Defit, S. (2014). Implementasi Moving Average Filter pada Mikrokontroler sebagai Peredam Noise Sensor Piezo Elektrik untuk Mendeteksi Gelombang Seismik (Gempa Bumi). In *Seminar Nasional Sains dan Teknologi* (pp. 1–8). Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Jakarta.