

PERBAIKAN RESPON OUTPUT MENGGUNAKAN IMPLEMENTASI KALMAN FILTER PADA SIMULASI PEMBACAAN SENSOR BEBAN *LOAD CELL*

Wahyu Setyo Pambudi^[1], Imam Suhendra^[2]

¹⁾ Jurusan Teknik Elektro Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya

²⁾ Jurusan Teknik Elektro Universitas Internasional Batam

email : yoe2fa@yahoo.com

ABSTRACT

Applications load cell for the control system to refill drinking water has a success percentage of 60%, because gallon weighed vibrate during the filling process water. It is caused by the pressure of water coming out of the faucet, causing noise. Erratic changes can lead to instability of the output response when linked with a gate valve actuators.

Kalman filter (KF) is one of many methods that can predict the data to be obtained based on the data that has been received before. KF applications can improve the instability of input values due to noise interference. KF can reduce noise in the signal, so that the results of the estimation approach the actual value.

After KF applied to simulated load cell readings, it can be concluded that the results of the KF able to reduce the measurement error due to water pressure vibrations from gate valve. In this research KF able to reduce because the average $\frac{\Delta data}{\Delta n}$ for before KF has 12.74 and after KF has 7.84, ideally close to zero or in other words the change of the data $\frac{\Delta data}{\Delta n}$ has a same difference.

Keywords : *load cell, noise, Kalman Filter*

ABSTRAK

Aplikasi load cell untuk sistem kontrol pada air minum isi ulang memiliki prosentase keberhasilan sebesar 60%, karena galon yang ditimbang bergetar pada saat proses pengisian air. Hal ini yang disebabkan adanya tekanan air yang keluar dari kran, sehingga menyebabkan timbulnya noise. Perubahan secara tidak menentu ini dapat mengakibatkan ketidak-stabilan respon output apabila dihubungkan dengan aktuator gate valve.

Kalman filter (KF) merupakan salah satu dari banyak metode yang dapat memprediksi data yang akan didapat berdasarkan data yang telah diterima sebelumnya. Aplikasi KF dapat memperbaiki ketidak-stabilan nilai input akibat gangguan noise. KF ini dapat mereduksi noise pada sinyal, sehingga hasil estimasi mendekati nilai sebenarnya.

Setelah KF ini diterapkan pada simulasi pembacaan sensor berat *load cell*, dapat disimpulkan bahwa hasil proses KF mampu meredam kesalahan pengukuran yang timbul karena adanya getaran yang diakibatkan tekanan air dari kran. Pada penelitian ini, KF mampu meredam karena rata-rata $\frac{\Delta data}{\Delta n}$ untuk data sebelum KF atau data *load cell* = 12,74 dan setelah proses KF = 7,84, dimana idealnya secara linier harus mendekati nol atau dengan kata lain perubahan dari data $\frac{\Delta data}{\Delta n}$ memiliki selisih sama.

Kata Kunci : *load cell, noise, Kalman Filter*

PENDAHULUAN

Aplikasi sensor beban berupa *load cell* dapat digunakan untuk input sistem kontrol pengisian air galon pada depot air minum isi ulang. Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan proses pengisian dapat dilakukan secara otomatis dengan hasil menunjukkan air penuh di 6 kali percobaan dan 4 percobaan berikutnya menunjukkan hasil air kurang penuh, sehingga prosentase keberhasilan menunjukkan sebesar 60%. Hal ini disebabkan karena obyek berupa galon akan bergetar pada saat proses pengisian air, getaran ini disebabkan karena adanya tekanan air yang keluar dari kran,

sehingga menyebabkan timbulnya *noise* pada saat pembacaan sensor *load cell*. Perubahan secara tidak menentu ini dapat mengakibatkan ketidak-stabilan respon output apabila dihubungkan dengan aktuator berupa *gate valve*. *Sensor load cell* memiliki kecenderungan untuk membaca secara akurat pada saat obyek diam, tidak pada saat obyek tersebut bergerak karena sensor *load cell* sangat sensitif dengan sentuhan dan gerak. Hal inilah yang membuat pembacaan sensor tidak selalu sama pada tiap kali proses pengisian. Kekurangan dalam pembacaan sensor *load cell* pada saat pengisian air galon ini dapat diperbaiki salah satunya dengan menggunakan Kalman filter (Suhendra I et al, 2014).

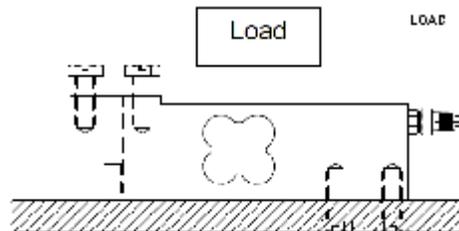
Kalman filter (KF) merupakan salah satu dari banyak metode yang dapat memprediksi data yang akan didapat berdasarkan data yang telah diterima sebelumnya dan diikuti dengan koreksi pada data yang didapat. Aplikasi KF dapat mengatasi ketidak-stabilan nilai input akibat gangguan dari *noise* yang digunakan untuk simulasi KF pada estimasi posisi pembacaan sensor *accelerometer*. KF ini dapat mereduksi *noise* pada sinyal, sehingga didapatkan hasil estimasi mendekati nilai sebenarnya (Wahyudi et al 2009a). Penerapan KF untuk aplikasi sistem kendali model UAV (*Unmanned Aerial Vehicle*), terbukti dapat memperkecil perbedaan antara data model keluaran dengan data hasil identifikasi, sehingga UAV dapat memberikan respon yang cepat dan stabil terhadap gangguan atau *noise* yang muncul akibat kondisi linbkgungan pada saat terbang (Purwanto, E, B. et al 2012). Selain itu KF juga dapat mengikuti obyek wajah secara *smooth* saat diterapkan pada aplikasi penjejakan posisi wajah secara dinamis (Kusumanto RD et al, 2015).

Berdasarkan permasalahan tersebut perlu adanya perbaikan pembacaan sensor *load cell* dengan menggunakan aplikasi KF. Guna menghindari kesalahan dan kerugian akibat kegagalan sistem maka perlu adanya pengolahan data secara simulasi. Harapannya apabila penelitian yang dilakukan ini berhasil maka perlu dikembangkan lagi menjadi *embedded KF* pada pembacaan data *load cell* untuk pengukuran berat air dalam galon, sehingga akan dihasilkan sistem kontrol yang handal untuk pengisian air minum isi ulang.

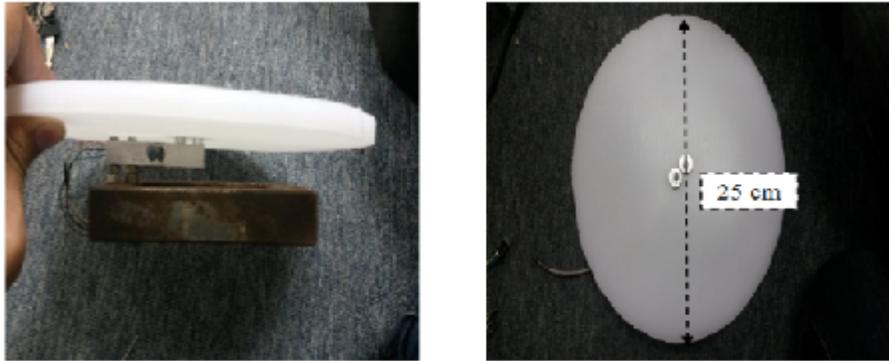
TINJAUAN PUSTAKA

Penelitian Awal

Pada tahun 2014 dilakukan penelitian tentang sensor berat *loadcell*, pada sistem pengisian air otomatis. Penelitian ini sensor berat *loadcell* digunakan untuk menimbang berat air pada galon. Berat air yang penuh pada galon dijadikan acuan mengendalikan proses pengisian air. Setelah penelitian ini dilakukan didapatkan hasil bahwa dalam 10 kali percobaan, sistem mampu mengendalikan pengisian air minum isi ulang secara otomatis dengan hasil, air penuh 6 kali dan 4 berikutnya menunjukkan hasil air kurang penuh. Hasil air kurang penuh tersebut disebabkan oleh sensor berat *loadcell* memiliki kecenderungan untuk membaca dengan akurat pada saat benda itu diam, tidak pada saat membaca disaat benda bergerak secara tidak menentu karena sensor *loadcell* sangat sensitif dengan sentuhan dan gerak yang mengenai sensor *loadcell* sehingga dapat menimbulkan *random noise*. Pada saat pemasangan sensor *loadcell* di penelitian ini memerlukan tempat penyangga yang terbuat dari besi. Penyangga ini diperlukan karena prinsip kerja *loadcell* tipe *single point load* mengukur lekukan yang diakibatkan oleh tekanan beban. Ilustrasi dari pemakaian *loadcell* dengan tipe *single point load cell* dapat dilihat pada Gambar 1 dan rancangan pemasangan *loadcell* penelitian sebelumnya Gambar 2.



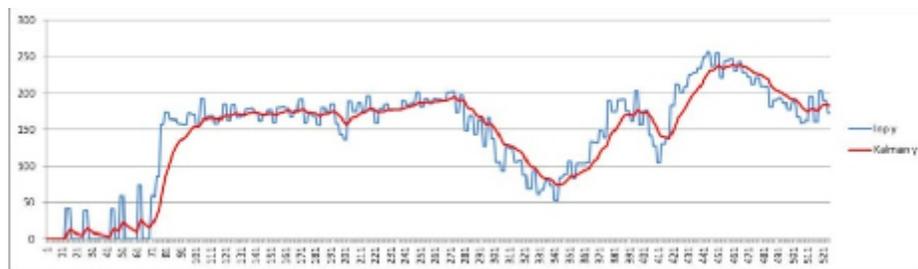
Gambar 1. *Single Point Loadcell* Sumber : (*Load Cell Application and Test Guideline*, 2014)



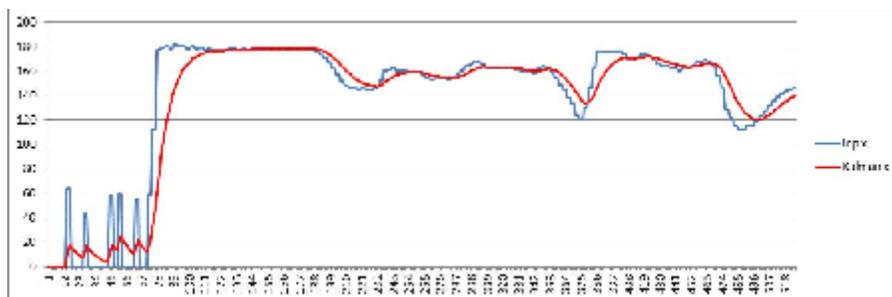
Gambar 2. Rancangan Pemasangan Loadcell
 Sumber : (Suhendra I et al, 2014)

Berdasarkan hal tersebut maka pemasangan sensor *loadcell* memerlukan *space* lebih untuk instalasinya, hal ini jelas membutuhkan modifikasi khusus untuk menerapkannya. Apabila ingin dikembangkan dan digunakan maka perlu mengubah sensor berat ini dengan yang lebih mudah dalam pemasangannya. Selain itu untuk memperbaiki hasil pembacaan sensor berat dapat menggunakan metode pembacaan data *dynamic* dengan KF, dimana KF merupakan salah satu metode yang dapat memprediksi data yang diperoleh berdasarkan data diterima sebelumnya dan diikuti dengan koreksi data yang didapat (Wahyudi et al 2009a).

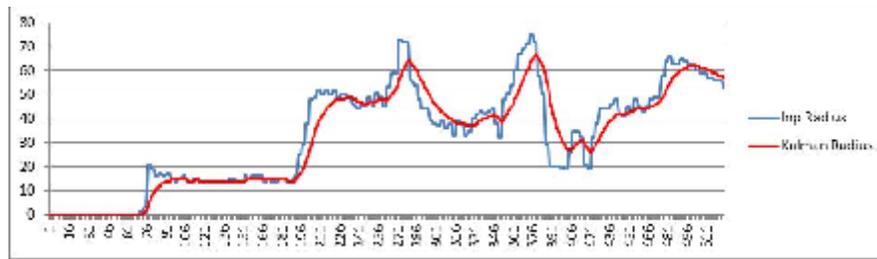
KF merupakan solusi rekursif dari proses permasalahan linear filtering yang dapat mereduksi *noise* dari sinyal. Proses dari KF menggunakan pendekatan dari dua buah persamaan dari *linear system*, yaitu *state equation* dan *output equation*. Implementasi KF ini akan meminimalkan rata-rata error / *mean square error* (MSE). Pada penelitian yang pernah dilakukan, penerapan KF ini mampu memberikan perubahan posisi *x* dan *y* serta radius lingkaran obyek dengan *smooth* (Gambar 3 – 5). Perubahan data *x,y* serta radius lingkaran pada saat *t* ke *t+1* memiliki rata-rata untuk perubahan *x* (standar) = 5.68 setelah melalui KF menjadi 1.65, sedangkan nilai koordinat *y* (standar) = 2.09 setelah melalui KF menjadi 0.9, kemudian untuk nilai radius lingkaran obyek standar 0.8 setelah melalui KF menjadi 0.4 (Kusumanto RD et al, 2015).



Gambar 3. Hasil Penjejakan Posisi x



Gambar 4. Hasil Penjejakan Posisi y



Gambar 5. Hasil Penjejakan Radius Lingkaran Obyek

Hasil ini menjelaskan bahwa KF akan selalu memberikan redaman pada saat nilai berubah secara drastis.

Load Cell

Load cell adalah suatu alat *transducer* yang menghasilkan *output* yang proporsional dengan beban atau gaya yang diberikan. *Load cell* digunakan untuk mengkonversikan regangan pada logam ke tahanan variabel (Pitoyo, 2005), dimana didalam *load cell* terdapat transduser yang merubah regangan menjadi nilai resistansi. Transduser tersebut adalah *strain gauge*, *strain gauge* sendiri merubah kekuatan tekanan, regangan, berat dan lain- lain, ke dalam bentuk tahanan elektrik yang dapat diukur (Souwmpie et al. 2012).

Kalman Filter

Kalman filter (KF) adalah rekursif filter yang memungkinkan untuk melakukan estimasi dari penggunaan sinyal dalam waktu (t) yang terdapat *noise* (Kalman, 1960). Nama *filter* ini diberikan sesuai dengan penemunya R.E. Kalman yang mempublikasikan makalahnya pada tahun 1960 yang berjudul “ *A New Approach to Linear Filtering and Prediction Problems* “. KF adalah suatu persamaan matematis yang menghasilkan suatu perhitungan rata-rata rekursif yang efisien untuk mengestimasi suatu keadaan dari sebuah proses yang bertujuan untuk mengurangi rata-rata *error* yang terjadi, KF juga merupakan suatu *estimator rekursif*, dengan kata lain hanya dibutuhkan keadaan hasil estimasi dari pewaktuan sebelumnya dan hasil pengukuran saat ini untuk dapat menghitung estimasi keadaan saat ini (Wahyudi et al 2009b).

KF mempunyai 2 fasa utama, yaitu *predictor* dan *corrector*. Fasa *predictor* menggunakan hasil estimasi keadaan dari pewaktuan sebelumnya untuk menghasilkan suatu estimasi keadaan pada pewaktuan saat ini. Pada fasa *corrector*, informasi hasil pengukuran pada saat pewaktuan sebelumnya digunakan untuk memberikan hasil prediksi untuk pewaktuan saat ini, kedua fasa ini akan di jalankan secara berulang (Wicaksono. D. A,2009). KF juga digunakan untuk mengontrol sistem yang sensitif terhadap *noise* dari lingkungan karena meminimalkan rata-rata *error*, filter ini dapat mengurangi pengukuran yang terkena *noise* dari sensor-sensor sebelum masuk kedalam sistem kontrol. Dalam algoritma yang diterapkan pada mikrokontroler dengan perangkat lunak, digunakan persamaan matematika diskrit. Sistem yang akan diukur harus dimodelkan oleh sistem linier. Dapat dijelaskan dengan perhitungan (Tandil. D et al, 2011):

Persamaan keadaan

$$(X_k = Ax_{k-1} + Bu_{k-1} + W_{k-1}) \dots\dots\dots (2.1)$$

Persamaan keluaran

$$(Z_k = Hx_k + v_k) \dots\dots\dots (2.2)$$

- Keterangan :
- k = indeks waktu
 - x = keadaan sistem
 - u = masukan yang diketahui sistem
 - z = keluaran yang diukur

w= proses *noise*
 v= *noise* pengukuran
 A, B, H = matriks

Masing-masing jumlah merupakan vektor (mengandung lebih dari satu unsur). Dalam algoritma yang dibuat :

u = masukan hasil percepatan
 z = sudut keluaran
 x = kecepatan dan posisi

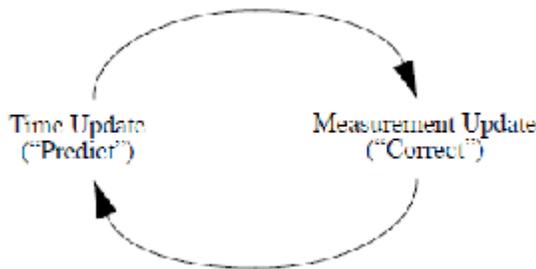
Proses *noise* dan *noise* pengukuran merupakan variabel *random noise* bebas (tidak berhubungan satu sama lain). Proses *noise* dan *noise* pengukuran dapat dipresentasikan oleh matriks kovarian Q_w dan R_v :

$$Q_w = E[w_k w_k^T] \dots\dots\dots(2.3)$$

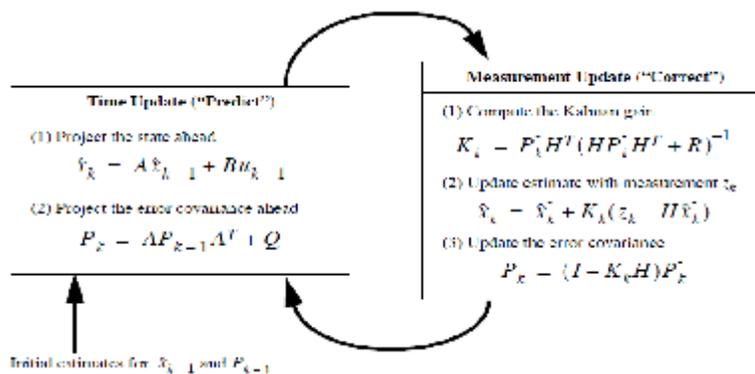
$$R_v = E[v_k v_k^T] \dots\dots\dots(2.4)$$

dimana : T = matriks *transpose*
 E = nilai estimasi yang diperkirakan

Nilai Q_w dan R_v memainkan peran penting dalam menentukan performa keluaran hasil KF. KF memperkirakan proses dengan menggunakan skema umpan balik. Pertama, filter akan memperkirakan keadaan sistem pada sebuah waktu, lalu mengambil nilai pengukuran yang terkontaminasi *noise* dalam bentuk umpan balik, maka perhitungan dari *kalman filter*, terbagi menjadi dua bagian yaitu *Time Update Step (predictor)* dan *Measurement Update Step (corrector)*.



Gambar 6. Blok Diagram Cycle Kalman Filter
 Sumber : (Welch, G, 2006)



Gambar 7. Siklus Perhitungan pada Kondisi Prediksi dan Koreksi
 Sumber : (Tandil, D, 2011)

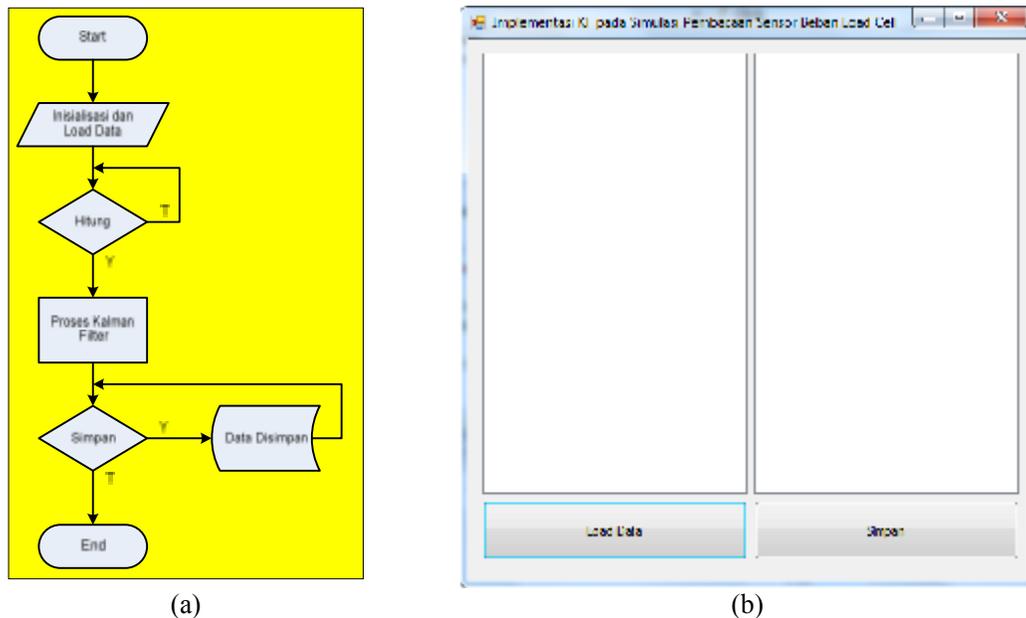
METODE

Perancangan Penelitian

Pada penelitian ini metodologi yang akan dijalankan adalah Studi literatur terhadap pemahaman penggunaan KF dalam mengatasi *noise*. Mengolah data yang didapatkan dari sensor berat *load cell* dengan menggunakan KF, dimana hasilnya nanti akan dibandingkan dengan data asli. Pada penelitian ini, perancangan hanya dilakukan pada sistem perangkat lunak (*software*). Tujuan dari implementasi KF dalam penelitian ini adalah memproses data sensor berat *load cell* yang didalamnya terdapat *noise* yang diakibatkan oleh tekanan air dari kran. Harapannya bahwa dengan menggunakan metode KF ini dapat dikembangkan menjadi sistem kontrol untuk depot pengisian air minum isi ulang yang lebih handal.

Perancangan Software

Perancangan *software* untuk implementasi KF pada simulasi pembacaan sensor beban *load cell* ini menggunakan program komputer dengan bahasa pemrograman menggunakan bahasa BASIC, *flowchart software* dalam penelitian ini terdapat pada gambar 8a dan gambar 8b merupakan tampilan *software*.

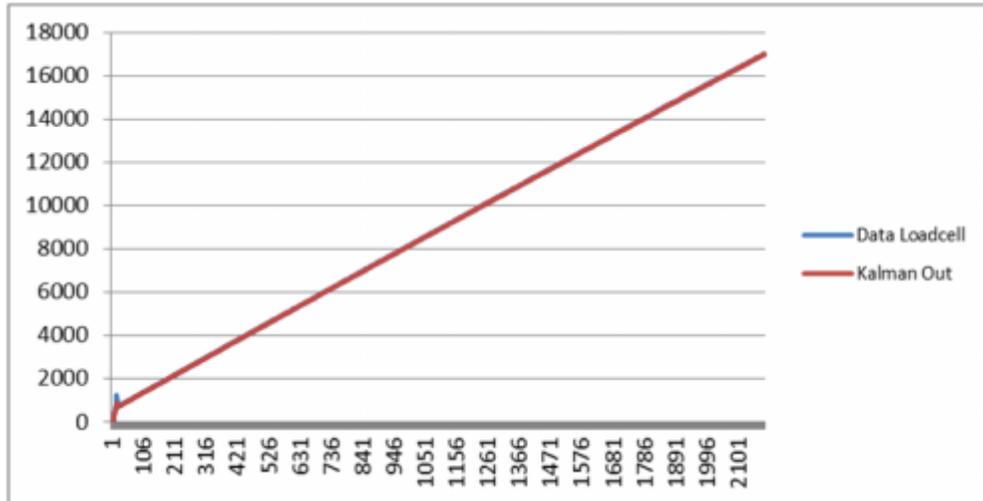


Gambar 8 (a) *Flowchart Software Implementasi KF*, (b) *Software Implementasi KF pada Simulasi Pembacaan Sensor Beban Load Cell*

Langkah pertama dari *software* yang sudah dibuat adalah melakukan inisialisasi nilai Q_w dan R_v untuk KF, array data untuk data input serta output KF. Selanjutnya adalah melakukan pembacaan file data sensor berat *load cell*, dimana data ini sudah didapatkan pada saat pengujian sistem kontrol depot air minum isi ulang yang dilakukan pada tahun 2014 oleh Imam Suhendra. Proses selanjutnya adalah melakukan perhitungan dengan menggunakan KF, dimana hasil dari proses KF ini akan dimasukkan dalam file sehingga lebih mudah untuk melakukan analisa selanjutnya.

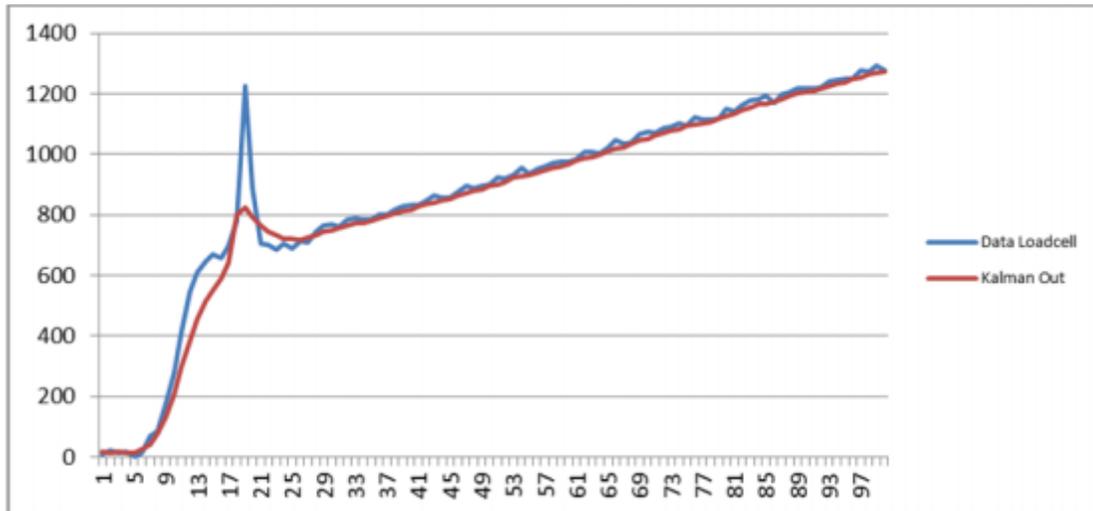
HASIL DAN PEMBAHASAN

Data yang di *record* pada saat pengujian sistem kontrol depot air minum isi ulang tersebut sejumlah 2194 data, setelah dilakukan proses menggunakan K, data yang dihasilkan seperti yang ditunjukkan pada gambar 9.



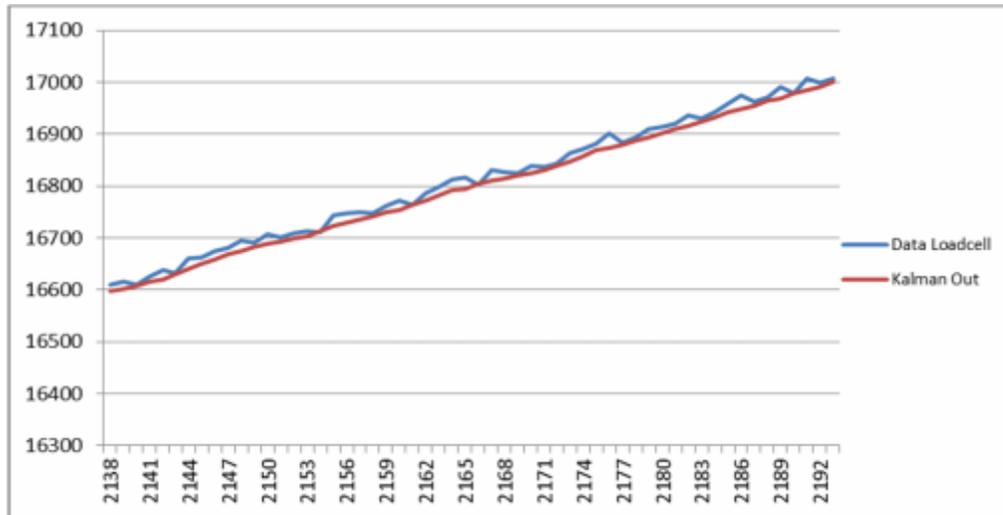
Gambar 9. Perbandingan Data Sensor Berat *Load Cell* dan Setelah Proses KF

Sepintas pada gambar 9 tersebut tidak terdapat perbedaan antara sebelum dan setelah proses KF, hal ini disebabkan karena jumlah *array* data yang terlalu banyak sehingga memperlihatkan perbedaannya. Perlu perlakuan khusus agar perubahan tersebut bisa terlihat, yaitu dengan menampilkan hasilnya secara bertahap, misalnya mulai dari *array* data ke-0 sampai ke-100. Setelah ditampilkan data mulai dari data ke-0 sampai ke-100 hasilnya terdapat pada gambar 10.



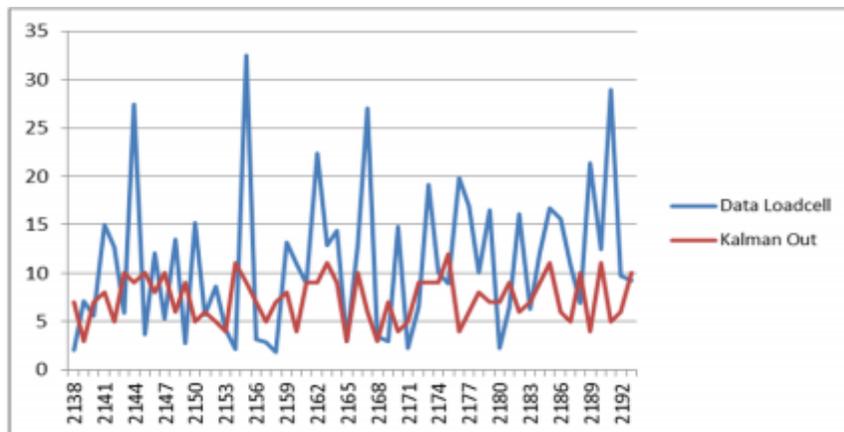
Gambar 10. Hasil Proses KF Mulai dari Data ke-0 Sampai ke-100

Berdasarkan gambar 10 bahwa KF mampu memprediksi data asli meskipun data sensor berat *load cell* mengalami perubahan tidak menentu yang diakibatkan oleh tekanan air dari kran depot pengisian air minum isi ulang. Secara lebih jelas hasil proses KF terdapat pada tampilan mulai dari data ke-2138 sampai ke-2194, apabila data output KF ini diarahkan ke data pembandingan maka bisa dipastikan bahwa hasil dari sistem kontrol pengisian air minum isi ulang akan lebih presisi pada saat menghentikan kran.



Gambar 11. Hasil Proses KF Mulai dari Data ke-2138 Sampai ke-2194

Gambar 12 dibawah ini menjelaskan perbandingan perubahan dari data n ke $n+1$, antara data *load cell* dengan data setelah proses KF. Pada gambar 12 ini hanya menampilkan data array ke-2138 sampai ke-2194 dengan maksud agar perubahan bisa jelas terlihat. Agar terlihat jelas perbedaan antara sebelum dan setelah proses KF maka perlu dilakukan perhitungan rata-rata perubahan dari data n ke $n+1$ atau $\frac{\Delta data}{\Delta n}$. Hasil yang diperoleh untuk data sebelum KF atau data *load cell* = 12,74 sedangkan setelah proses KF = 7,84. Nilai ideal untuk rata-rata perubahan dari data n ke $n+1$ secara linier harusnya mendekati nol atau dengan kata lain perubahan dari data n ke $n+1$ memiliki selisih sama, dengan demikian yang paling mendekati nilai nol adalah setelah proses KF.



Gambar 12. Perbandingan Perubahan Data ke- n sampai ke- $n+1$ untuk array data ke-2138 sampai ke-2194.

KESIMPULAN

Kesimpulan

Setelah dilakukan analisa dari hasil proses KF pada simulasi pembacaan sensor berat *load cell* untuk mengukur berat galon pada saat pengisian air, dapat disimpulkan bahwa hasil proses KF mampu meredam kesalahan pengukuran yang timbul karena adanya getaran yang diakibatkan tekanan air dari kran. KF dikatakan mampu meredam karena rata-rata $\frac{\Delta data}{\Delta n}$ untuk data sebelum KF

atau data $load\ cell = 12,74$ sedangkan setelah proses $KF = 7,84$, dimana idealnya secara linier harus mendekati nol atau dengan kata lain perubahan dari data $\frac{\Delta data}{\Delta n}$ memiliki selisih sama.

Saran

Untuk pengembangan lebih lanjut dari hasil penelitian ini, maka saran yang dapat diberikan berkaitan penelitian ini adalah hasil yang telah didapatkan dapat dijadikan referensi untuk membangun sistem kontrol depot pengisian air minum isi ulang. Proses KF yang telah dikerjakan dalam penelitian ini dapat dimasukkan dalam *embedded system* sehingga perangkat sistem kontrol dapat bekerja secara *stand alone* tanpa bantuan komputer.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Kusumanto RD, Tompunu A N, Pambudi W S, (2015) " Perbaikan Kestabilan Posisi Koordinat Penjejakan Wajah Hsv Color Segmentation Dengan Menggunakan Kalman Filter ", Seminar Nasional Sains, Rekayasa & Teknologi UPH - 2015, p II-13 - p II-20.
- [2] Load Cell Application and Test Guideline, 2014
- [3] Purwanto, E, B. Nasution, S, H. Supendi. (2012). " Identifikasi Parameter dan Perancangan Sistem Kendali PID untuk Analisis Sikap Terbang UAV ". Jurnal Teknologi Dirgantara Vol. 10 No.2 Desember 2012. p 81 – p 94.
- [4] R.E. Kalman,(1960), " A New Approach to Linear Filtering and Prediction " , Problems Research Institute for Advanced Study.
- [5] Suhendra I, Pambudi W S, (2014), "Aplikasi Load Cell Untuk Otomasi Pada Depot Air Minum Isi Ulang ", Jurnal Sains dan Informatika Vol.1 No.1 Juni 2015, ISSN 2460-173X, p 9 - p 18.
- [6] Tandil. D, Manuel. I. S, Wilyanto. Y, Susanto. R, (2011), " Pengaplikasian Kalman Filter dan Kendali PID Sebagai Penyeimbang ", Skripsi Departemen Teknik Elektro Universitas Bina Nusantara.
- [7] Wahyudi. Susanto, A. Pramono, S. Widada, W. (2009a) " Simulasi Filter Kalman untuk Estimasi Posisi dengan Menggunakan Sensor Accelerometer " . Jurnal Techno Science Vol.3 No.1 Fakultas Teknik Universitas Dian Nuswantoro. p 350 – p 359.
- [8] Wahyudi. Susanto, A. Pramono, S. Widada, W. (2009b) "Simulasi Filter Kalman Untuk Estimasi Sudut Dengan Menggunakan Sensor Gyroscope " . TEKNIK – Vol. 30 No. 2 Tahun 2009, ISSN 0852-1697. p 98 – p 104.
- [9] Welch. G, Bishop. G,(2006), " An Introduction to the Kalman Filter " , Departement of Computer Science University of North Carolina at Chapter Hill.
- [10] Wicaksono. D. A,(2009), " Rancang Bangun Sistem Navigasi GPS/INS Dan Kompas Digital Dengan Kalman Filter Pada Mikrokontroller AVR " , Skripsi, Departemen Teknk Elektro Universitas Indonesia.

halaman ini sengaja dikosongkan