

Pengukuran Tinggi Permukaan Air Berbasis Gelombang Ultrasonik Menggunakan Kalman Filter

¹I. F. Parmono, ¹B. H. Iswanto

¹Lab Instrumentasi dan Komputasi, Jurusan Fisika, FMIPA, Universitas Negeri Jakarta JL. Pemuda 10 Rawamangun, Jakarta timur, Indonesia 13220

¹*imas_fatoni@yahoo.co.id*

bhionet@gmail.com

Abstrak

Dalam perambatannya pada suatu medium, gelombang ultrasonik merupakan gelombang yang mudah terkena gangguan, baik gangguan internal maupun eksternal. Pengaplikasian gelombang ultrasonik untuk mengukur tinggi permukaan air sudah banyak ditemukan, namun hasilnya akan berbeda sekali apabila diaplikasikan pada air yang tidak tenang. Dibutuhkan suatu pemfilteran yang mampu menghilangkan gangguan yang terdapat didalamnya. Kalman filter merupakan suatu metode yang menjelaskan cara perhitungan (pengulangan) yang efisien untuk mengestimasi keadaan suatu proses, yang dapat memperkecil squared error.

Kata kunci : *Tinggi permukaan air, gelombang ultrasonik, gangguan, Kalman filter.*

Abstract

Ultrasonic wave propagation in a medium is more susceptible to interfere, both internal and external disturbances. Ultrasonic waves are widely applied to measure the water level, but the results will be very different when applied to turbulent water. It needs a filter that can eliminate the disturbance in it . Kalman filter is a method that explain the efficient calculation (repetition) for estimating the state of a process, which can minimize the squared error.

Keywords: *Water level, ultrasonic wave, interference, Kalman filter.*

1 Pendahuluan

Mengukur tinggi permukaan air dengan gelombang ultrasonik, dibutuhkan media ukur yaitu permukaan air yang tenang. Air yang tidak tenang menyebabkan gelombang ultrasonik yang bersifat dapat ditransmisikan dan direfleksikan apabila mengenai batas antara dua medium yang memiliki perbedaan impedansi akustik menjadi tidak teratur saat diterima oleh receiver gelombang ultrasonik.

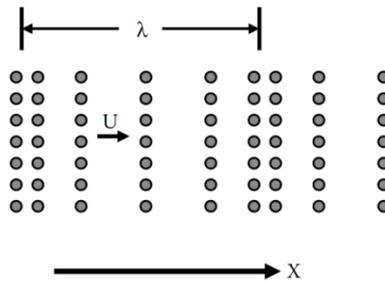
Gelombang ultrasonik adalah gelombang mekanik longitudinal yang mempunyai frekuensi lebih besar dari 20×10^3 siklus per detik atau 20 kHz [1]. Gelombang ini dapat ditransmisikan melalui medium padat, cair dan gas. Pada transmisi gelombang ultrasonik dapat mengalami gangguan yang disebabkan oleh beberapa faktor seperti partikel penghambat, tekanan dan temperatur.

Permasalahan ini tentu akan mengganggu pengukuran pada suatu alat pengukur tinggi permukaan air berbasis gelombang ultrasonik. Maka diperlukan suatu metode pengestimasi pengukuran yang tepat agar pengukur ini dapat bekerja dengan baik. Kalman Filter merupakan suatu metode yang menjelaskan cara perhitungan (pengulangan) yang efisien untuk mengestimasi keadaan suatu proses, yang dapat memperkecil squared error.

2 Gelombang Ultrasonik

Gelombang ultrasonik merupakan salah satu contoh dari gelombang longitudinal yang mana arah dari getaran partikel medium paralel atau sejajar dengan arah rambat gelombang [2]. Gelombang ini dapat merambat melalui beberapa medium dengan kecepatan yang bergantung pada sifat medium tersebut. Gelombang ultrasonik ini merupakan getaran partikel-partikel yang saling beradu satu sama lain akan tetapi partikel tersebut terkoordinasi menghasilkan suatu gelombang serta mentransmisikan energi.

Peristiwa yang sebenarnya terjadi adalah proses “aliran energi” dari satu tempat ke tempat lainnya. Energi ini terjadi secara mekanik di dalam medium dalam bentuk regangan dan rapatan dari partikel. Partikel medium bergerak ketika gelombang akustik melewatinya, tapi pergerakan ini terlokalisasi tanpa adanya perpindahan masa [1].



Gambar 1 Perambatan ultrasonik

Kecepatan gelombang ultrasonik tidak dipengaruhi oleh frekuensinya, melainkan bergantung pada sifat medium yang dilewatinya. Panjang gelombang (λ) akan semakin pendek jika frekuensi (f) semakin tinggi. Panjang gelombang adalah jarak tempuh gelombang dalam periode satu getaran, sedangkan frekuensi adalah banyaknya gelombang yang bergetar dalam waktu satu detik.

Panjang gelombang berbanding lurus dengan kecepatan gelombang dan berbanding terbalik dengan frekuensi [2]. Hubungan ini ditunjukkan oleh persamaan berikut

$$c = \lambda \cdot f \tag{1}$$

dimana c (m/s) adalah kecepatan gelombang ultrasonik dalam medium, λ (m) adalah panjang gelombang, dan f (Hz) adalah frekuensi. Kecepatan gelombang ultrasonik di dalam medium diberikan dalam tabel berikut

Tabel 1 Cepat rambat gelombang ultrasonik dalam medium

Medium	Kecepatan (m/s)
Hidrogen (0°C)	1286
Helium (0°C)	972
Udara (20°C)	343
Udara (0°C)	331
Oksigen (0°C)	317
Air	1493
Gliserin	1904
Air Laut	1533
Kayu	4300
Besi	5000
Alumunium	5100
Kaca	5170
Granit	6000

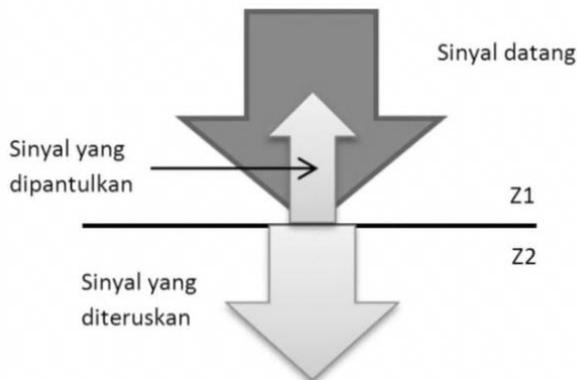
Kecepatan gelombang ultrasonik bergantung pada temperatur dari medium tersebut [2]. Untuk gelombang yang merambat melalui udara, hubungan antara kecepatan gelombang dan temperatur medium adalah

$$v = (331 \text{ m/s}) \sqrt{1 + \frac{T_c}{273^\circ \text{C}}} \quad (2)$$

dimana 331 m/s adalah kecepatan ultrasonik di udara saat 0°C, dan T_c merupakan temperatur udara dalam derajat Celcius. Menggunakan persamaan ini, pada saat temperatur 29°C cepat rambat gelombang ultrasonik di udara sekitar 348.14 m/s.

Apabila gelombang ultrasonik mengenai permukaan antara dua medium yang memiliki perbedaan impedansi akustik (Z), maka sebagian dari gelombang ultrasonik ini akan direfleksikan/dipantulkan dan sebagian lagi akan ditransmisikan /diteruskan.

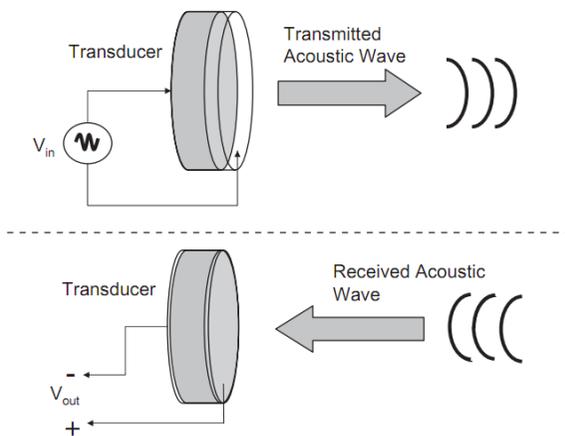
Pulsa yang mengenai suatu batas medium yang memiliki impedansi akustik berbeda akan direfleksikan dan ditangkap oleh *receiver* untuk diolah menjadi sinyal.



Gambar 2 Interaksi gelombang ultrasonik dalam medium

3 Akuisisi Data

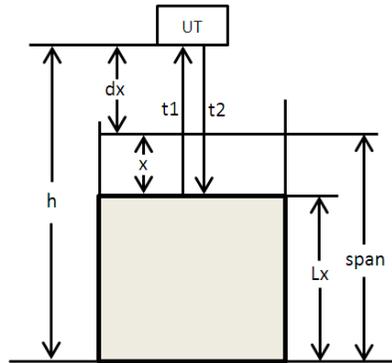
Perolehan data dimulai dengan mengukur besaran fisis, dalam penelitian ini adalah tinggi permukaan air. Memanfaatkan waktu tempuh gelombang ultrasonik sebagai faktor penentu tinggi permukaan air. Oleh karena itu, dibutuhkan suatu sensor yang merupakan jenis transduser, sebuah perangkat yang mengubah suatu bentuk energi menjadi bentuk energi yang lain. Dalam hal ini adalah energi listrik menjadi energi mekanik dan energi mekanik menjadi energi listrik (piezoelektrik).



Gambar 3 Tranduser ultrasonic

Transduser yang digunakan adalah modul Ping)) parallax ultrasonic. Ping)) terdiri dari sebuah chip pembangkit sinyal 40KHz dan dua buah transduser gelombang ultrasonik yang salah satunya berfungsi sebagai *transmitter* dan *receiver* [3].

Penempatan modul ultrasonik dijadikan tinggi referensi (*h*) pada perhitungan, seperti pada Gambar 4.



Gambar 4 Diagram penempatan modul Ping

Jarak yang sebenarnya dihitung adalah jarak modul terhadap permukaan air ($x+dx$) dengan memanfaatkan waktu tempuh gelombang ultrasonic ($t1+t2$), dengan menggunakan persamaan

$$(x + dx) = c (t1 + t2) \quad (3)$$

Dimana c merupakan cepat rambat gelombang ultrasonik di udara. Sedangkan untuk mendapatkan tinggi permukaan air digunakan persamaan

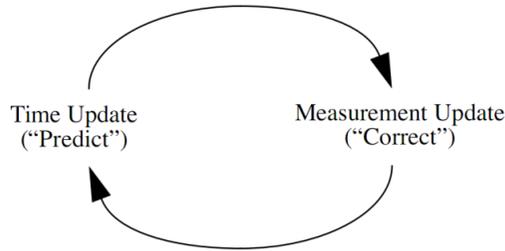
$$Lx = h - (x + dx) \quad (4)$$

4 Kalman Filter

Kalman filter merupakan suatu algoritma yang menggabungkan model dan pengukuran. Data pengukuran terbaru menjadi bagian penting dari algoritma Kalman filter karena data terakhir akan mengoreksi hasil prediksi pengukuran, sehingga hasil estimasi selalu mendekati kondisi yang sebenarnya [4].

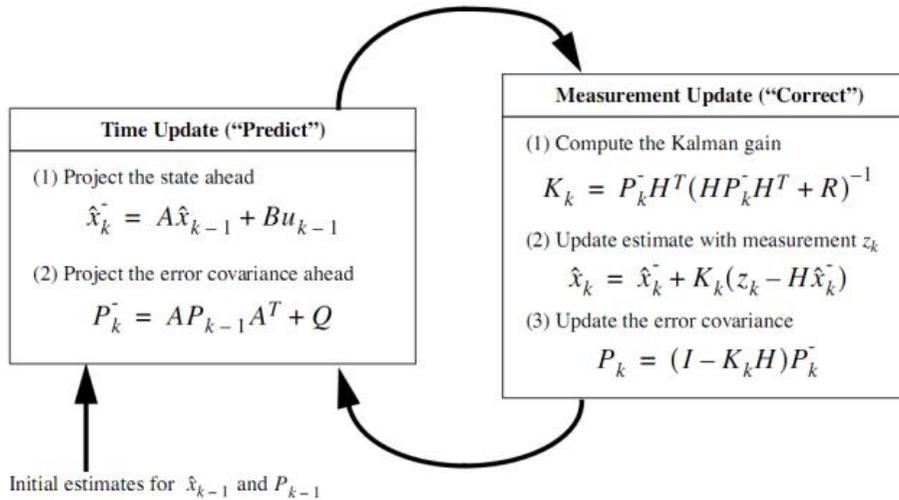
Kalman filter mengestimasi proses dengan menggunakan kontrol umpan balik : filter mengestimasi proses pada suatu waktu dan kemudian mendapat umpan balik dalam bentuk pengukuran *noise* (gangguan). Dengan demikian, persamaan untuk Kalman filter menjadi dua kelompok : persamaan *update* waktu dan persamaan *update* pengukuran seperti pada Gambar 5. Persamaan *update* waktu bertanggung jawab untuk memproyeksikan kedepan (waktu) keadaan saat ini dan estimasi kovarian error mengestimasi untuk mendapatkan sebuah estimasi *apriori* untuk langkah waktu berikutnya. Persamaan *update* pengukuran bertanggung jawab atas umpan balik untuk menggabungkan pengukuran baru ke dalam estimasi *apriori* untuk mendapatkan estimasi *posteriori* yang lebih baik.

Persamaan *update* waktu juga dapat dianggap sebagai persamaan prediktor, sedangkan persamaan *update* pengukuran dapat dianggap persamaan korektor. Algoritma estimasi menyerupai algoritma prediktor-korektor untuk memecahkan masalah numerik.



Gambar 5 Siklus proses Kalman filter

Setelah waktu dan pengukuran terbaru, proses akan diulang dengan estimasi aposteriori sebelumnya digunakan untuk memprediksi estimasi apriori baru. Sifat rekursif merupakan salah satu fitur yang sangat menarik dari Kalman filter, ini membuat implementasi yang dirancang untuk beroperasi pada semua data langsung untuk setiap estimasi. Kalman filter bersifat rekursif pada semua pengukuran yang lalu. Gambar 6 dibawah ini adalah gambaran lengkap dari operasi filter.



Gambar 6 Gambaran lengkap proses Kalman filter

Dalam implementasi sebenarnya dari filter ini, kovarian noise pengukuran (R) biasanya diukur sebelum adanya operasi dari filter ini. Mengukur kovarian noise pengukuran (R) umumnya secara praktik karena kita harus mengukur proses tetap (saat pengoperasian filter) jadi kita seharusnya mengambil beberapa sampel pengukuran untuk menentukan varian dari noise pengukuran.

Penentuan dari kovarian noise proses (Q) umumnya lebih sulit karena kita tidak biasa memiliki kemampuan untuk mengamati secara langsung proses pengestimasi. Kadang-kadang relatif mudah suatu model proses dapat menghasilkan hasil yang baik jika dalam satu "suntikan" cukup dalam proses pemilihan nilai Q. Tentu saja dalam hal ini diharapkan bahwa proses pengukuran dapat diandalkan.

Dalam kedua kasus, apakah kita memiliki dasar untuk memilih parameter, sering kali kinerja filter yang baik dapat diperoleh dengan menyetel parameter filter Q dan R . Penyetelan biasanya dilakukan secara off-line (proses filterisasi belum dimulai).

Dalam kondisi dimana Q dan R konstan, baik estimasi kovarian error P_k dan *gain* Kalman K_k akan stabil dengan cepat dan kemudian tetap konstan. Jika hal ini terjadi, parameter ini dapat dihitung dengan menjalankan filter, atau misalnya dengan menentukan nilai *steady state* dari P_k .

Hal ini sering terjadi bagaimanapun kesalahan pengukuran tidak akan konstan. Selain itu, *noise* proses Q kadang-kadang berubah secara dinamik ketika filter beroperasi menjadi Q_k untuk menyesuaikan dengan dinamika yang berbeda. Dalam kasus Q_k mungkin dapat dipilih untuk nilai ketidakpastian tentang maksud pengguna dan ketidakpastian dalam model.

5 Hasil dan Pembahasan

Besar nilai Q (*noise* proses) dan R (*noise* pengukuran) divariasikan mulai dari 0.1, 0.01, 0.001 dan 0.0001. Variasi ini dilakukan agar mendapatkan estimasi optimal dari gangguan yang diberikan. Gangguan statis akan diberikan mulai dari sampel ke-50 sampai 200. Jadi terlihat perbedaan kontras pada sampel 1 - 50 dimana belum ada gangguan yang diberikan.

Ketinggian permukaan air yang diukur dibuat konstan dengan ketinggian 10 cm, ketinggian ini diukur dari dasar air sampai tepat permukaan air.

Hasil yang paling optimal didapat pada saat nilai $Q=0.00001$ dan $R=0.1$ dengan kesalahan pengukuran terbesar hanya 4.8% dari hasil pengukuran sebenarnya. Sedangkan hasil yang kurang baik didapat saat $Q=0.1$ dan $R=0.0001$, dimana tidak terjadi pemfilteran sama sekali dengan kesalahan pengukuran mencapai 61.2%. Seperti yang terlihat pada gambar grafik hasil pengukuran dengan variasi Q dan R pengukuran.

6 Kesimpulan

Kalman filter encoba untuk menghilangkan *noise* yang terdapat pada pengukuran tergantung dari besar nilai Q (*noise* proses) dan R (*noise* pengukuran) yang diberikan.

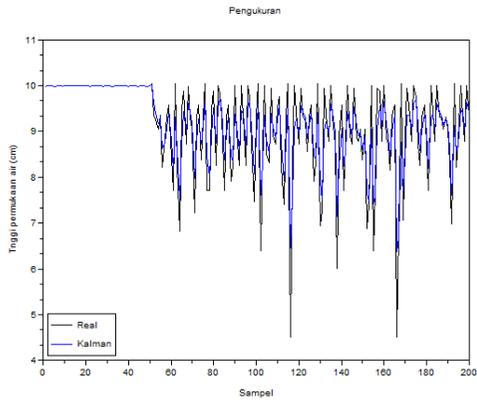
Semakin besar nilai Q (*noise* proses) akan menjadikan pengukuran menjadi kurang adaptif dan sebaliknya semakin besar nilai R (*noise* pengukuran) maka pengukuran akan sangat adaptif.

Pengukuran dengan kesalahan terkecil didapat pada saat $Q=0.0001$ dan $R=0.1$ sebesar 4.8%, dan pengukuran dengan kesalahan terbesar didapat pada saat $Q=0.1$ dan $R=0.0001$ mencapai 61.2%.

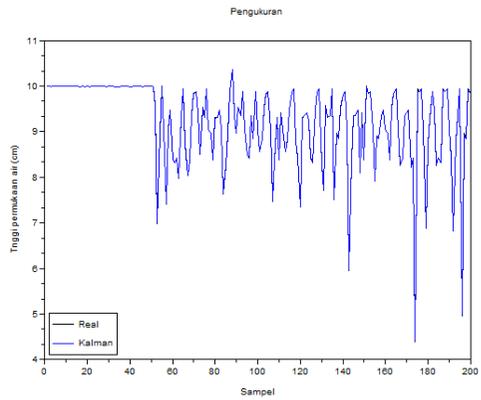
7 Daftar Pustaka

- [1] Azhari H. 2010."Basics of Biomedical Ultrasound for Engineers". John Wiley & Sons Inc., New Jersey.
- [2] Halliday D., Resnick R., dan Walker J. 2002. "Fundamental of Physics". John Wiley & Sons, New York.
- [3] Parallax Inc. 2009. "PING))) Ultrasonic Distance Sensor".

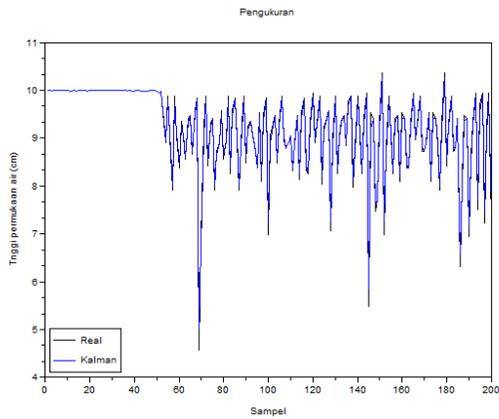
- [4] Greg W. dan Gary B. 2006. "An Introdcion to the Kalman Filter". Chap Hill, University of North Carolina.



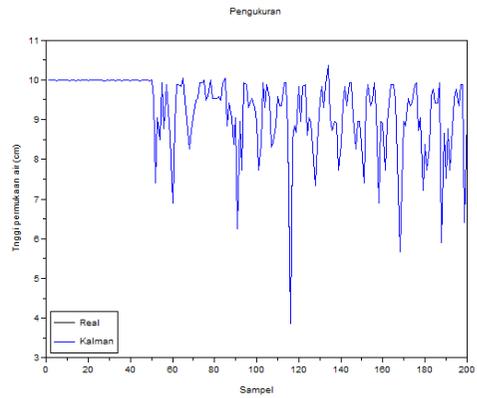
Gambar 7 $Q=0.1$ $R=0.1$



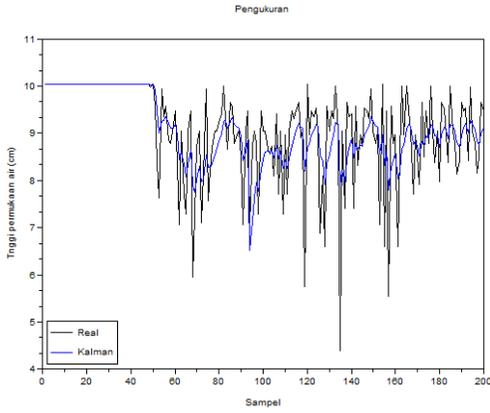
Gambar 9 $Q=0.1$ $R=0.001$



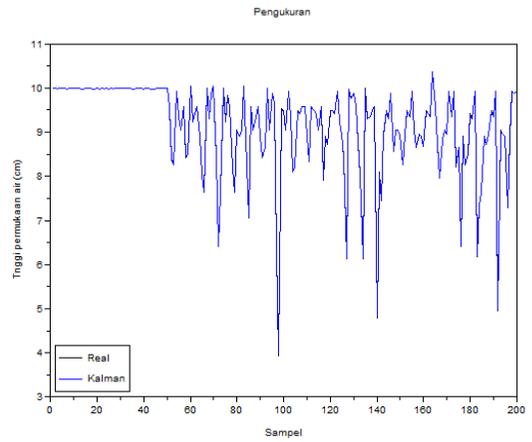
Gambar 8 $Q=0.1$ $R=0.01$



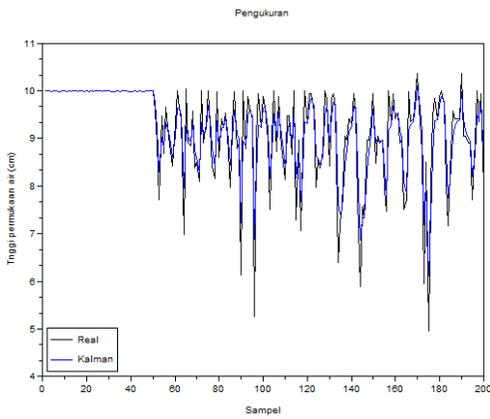
Gambar 10 $Q=0.1$ $R=0.0001$



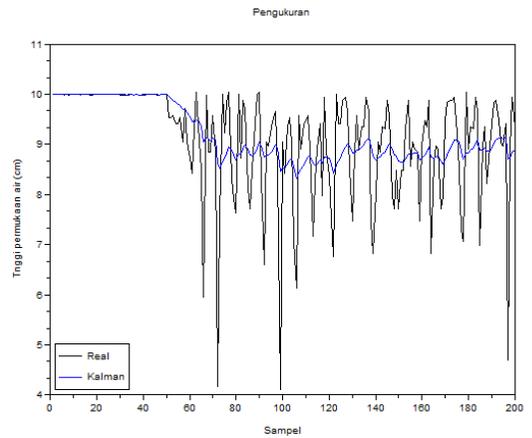
Gambar 11 $Q=0.01$ $R=0.1$



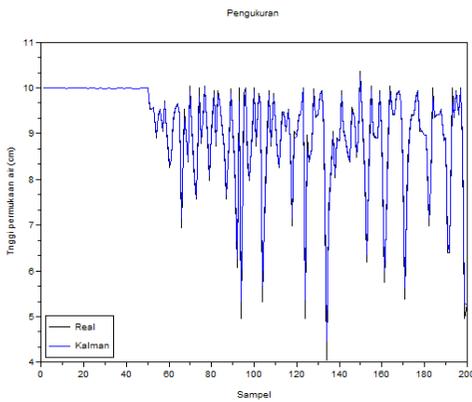
Gambar 14 $Q=0.01$ $R=0.0001$



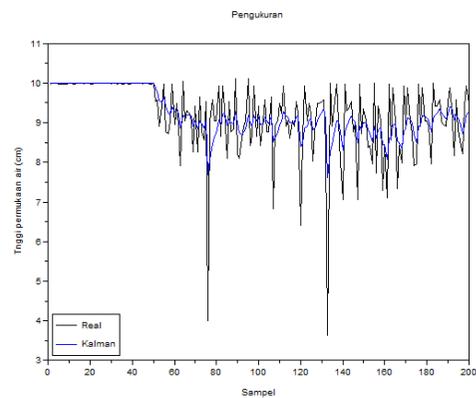
Gambar 12 $Q=0.01$ $R=0.01$



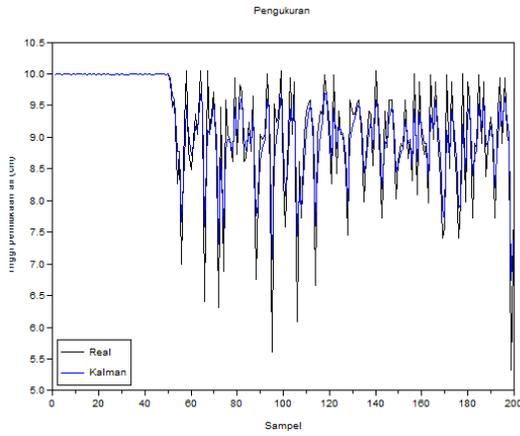
Gambar 15 $Q=0.001$ $R=0.1$



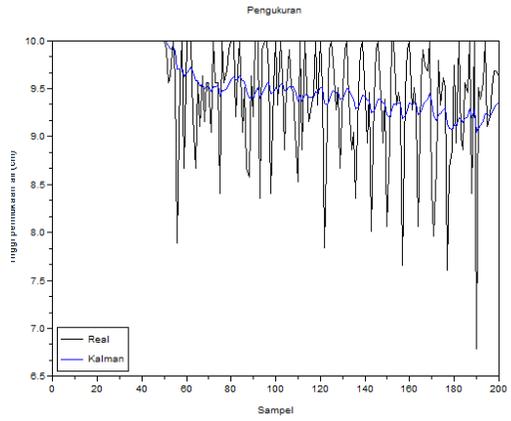
Gambar 13 $Q=0.01$ $R=0.001$



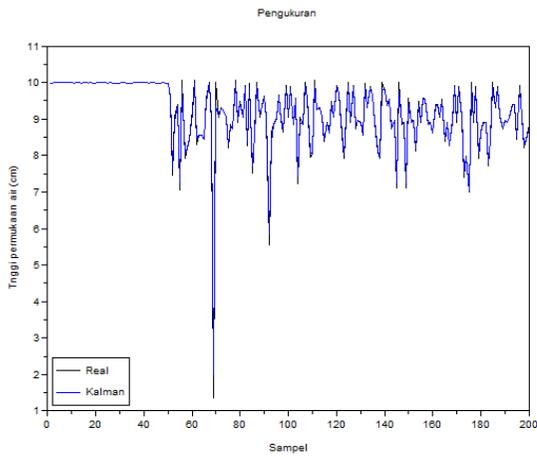
Gambar 16 $Q=0.001$ $R=0.01$



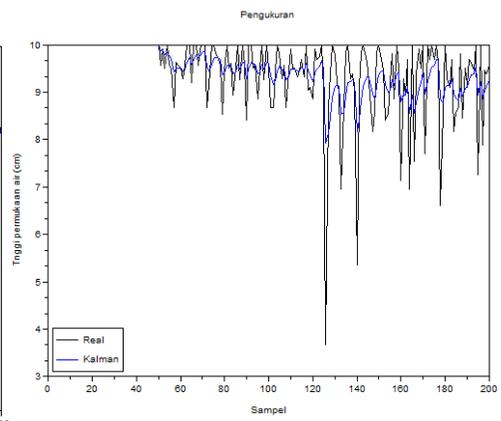
Gambar 17 $Q=0.001$ $R=0.001$



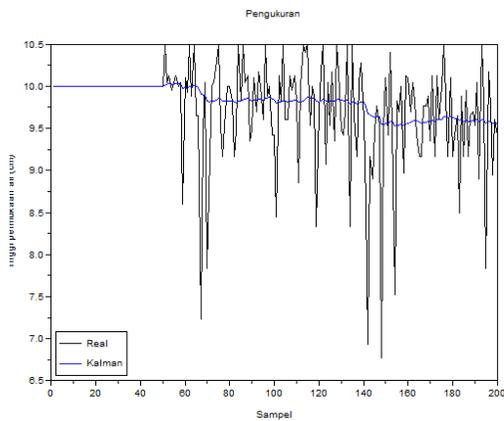
Gambar 20 $Q=0.0001$ $R=0.01$



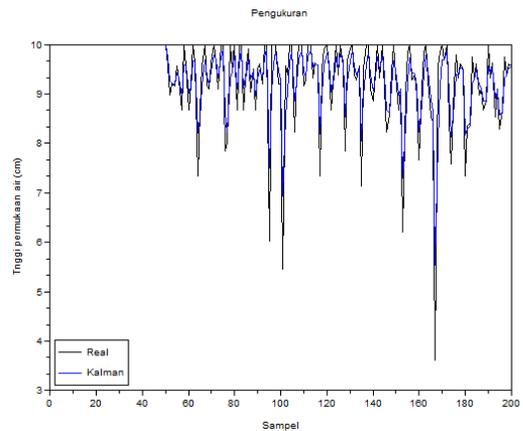
Gambar 18 $Q=0.001$ $R=0.0001$



Gambar 21 $Q=0.0001$ $R=0.001$



Gambar 19 $Q=0.0001$ $R=0.1$



Gambar 22 $Q=0.0001$ $R=0.0001$