

Penerapan Filter Kalman untuk Meningkatkan Akurasi dan Presisi Sensor Suhu LM35

M Y Baihaqi¹, W Wijaya²

^{1,2}President University

E-mail: muhammadyezab@gmail.com¹, wilbertselamat@gmail.com²

Abstrak. Revolusi industri 4.0 mengubah pendekatan proses industri, di mana konversi dari tenaga manusia menjadi mesin yang saling terhubung, yang melibatkan *Internet of Things* (IoT). Dalam proses ini, transmisi dan penerimaan data dilibatkan, di mana sensor ditanamkan ke mesin untuk membaca nilai dari sistem dan mengirimkannya untuk diproses oleh mesin lain. Ketelitian dan akurasi sensor inilah yang menjadi pokok bahasan dalam penelitian ini, khususnya sensor suhu yang menjadi pokok bahasan dalam penelitian ini, dimana pembacaan sensor akan berosilasi hingga mencapai nilai akhirnya. Pada penelitian ini dibahas penerapan filter kalman, dimana aplikasi filter kalman akan ditanamkan pada Arduino UNO beserta sensor suhu LM35 sebagai subjek penelitian, dimana peneliti akan membandingkan hasil pembacaan sensor saat filter Kalman diterapkan dan sebaliknya. Penelitian ini dilakukan di ruangan berukuran 3x2 meter dengan suhu ruangan 26°C. Pembacaan data dari sensor akan dicatat menggunakan Cool-Term, untuk pengamatan selanjutnya data akan di-plot menggunakan *serial plotter*, untuk menampilkan grafik dari data yang dibaca secara otomatis. Berdasarkan hasil penelitian ini, kalman filter telah berhasil diterapkan dan terbukti kemampuannya meningkatkan akurasi dan presisi dari sensor suhu ditunjukkan dengan berkurangnya *overshoot* hingga hanya menjadi $\pm 2^\circ\text{C}$ dan berkurangnya waktu yang dibutuhkan sensor untuk mencapai *steady state value* atau *Settling time* menjadi kurang dari 0.1 detik.

Kata kunci: Revolusi Industri 4.0; IoT; Arduino UNO; Sensor Suhu; Filter Kalman

Abstract. Industrial revolution 4.0 changes the approach of the industrial process, where the conversion from human power to machine that connected each other, which involving IoT. In this process, data transmission and reception are involved, where a sensor is embedded to the machine to read the value from the system and send it to be processed by other machines. Sensor precision and accuracy here are the issues in this research, especially the temperature sensor as the main issue in this research, where the sensor reading will oscillate until it reaches its final value. In this research, the application of kalman filter is discussed, where the application of the Kalman Filter will be embedded into Arduino UNO along with the temperature sensor LM 35 as the subject of this research, where researchers will compare the result of the sensor reading when the Kalman filter is applied and vice versa. This research is done in a room with size 3x2 meters and the room temperature is 26°C. The data reading from the sensor will be logged using Cool-Term, for the further observation the data will be plotted using Serial Plotter, to display the graph from the data read automatically. Application of kalman filter in this research had shown a satisfying result by reducing overshoot to $\pm 2^\circ\text{C}$ and reducing settling time to less than 0.1s. Which can be inferred that, accuracy and precision can be achieved through the application of Kalman Filter, by reducing overshoot and settling-time.

Keywords: Industrial Revolution 4.0; IoT; Arduino UNO; Temperature Sensor; Kalman Filter

1. Pendahuluan

Seiring dengan pesatnya perkembangan *Internet of Things* (IoT) [1] dan *Cyber Physical System* (CPS) [2], revolusi industri 4.0 telah dimulai. Istilah revolusi industri 4.0 lahir di Jerman [3] dan didefinisikan sebagai perubahan tenaga manusia ke mesin yang digunakan IoT untuk menghubungkan setiap komponen di dalam industri [4] [5]. Misalnya menghubungkan satu mesin ke mesin lain atau mengirimkan data produksi ke ponsel melalui koneksi internet.

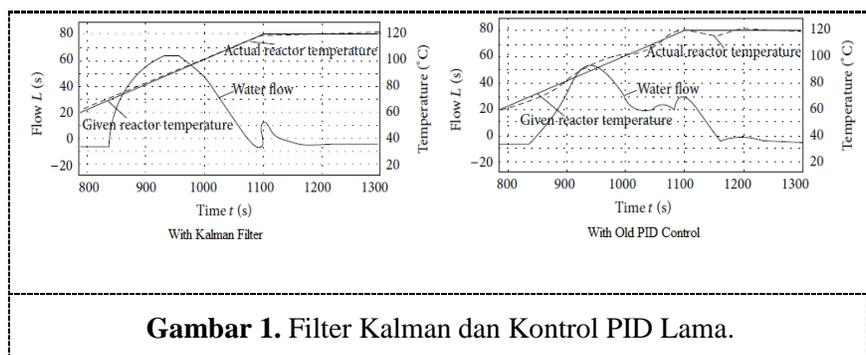
Meskipun perkembangan metode pengendalian dan pengiriman data telah berkembang pesat, percuma saja jika tidak dapat mengumpulkan informasi yang relevan tentang prosesnya yang artinya, akurasi dan ketelitian sensor harus ditingkatkan setinggi mungkin dalam untuk mendapatkan data yang lebih relevan.

Sensor merupakan bagian penting dalam sistem kelistrikan dan elektronika. Ini digunakan dalam banyak aplikasi untuk mengukur dan memantau kondisi sistem [6]. Misalnya untuk mendeteksi gerakan di dalam ruangan dengan menggunakan *Passive Infrared Signals* (PIR) [7]. Contoh lainnya adalah mengukur suhu ruangan dengan menggunakan Sensor LM36 [8].

Perilaku sensor umumnya adalah berosilasi terlebih dahulu ke beberapa nilai, sebelum mencapai nilai sebenarnya atau nilai kondisi tunaknya [9]. Nilai osilasi ini dapat menimbulkan masalah jika membutuhkan waktu lama untuk mencapai nilai sebenarnya. Perilaku sensor yang buruk ini juga terjadi pada Sensor suhu.

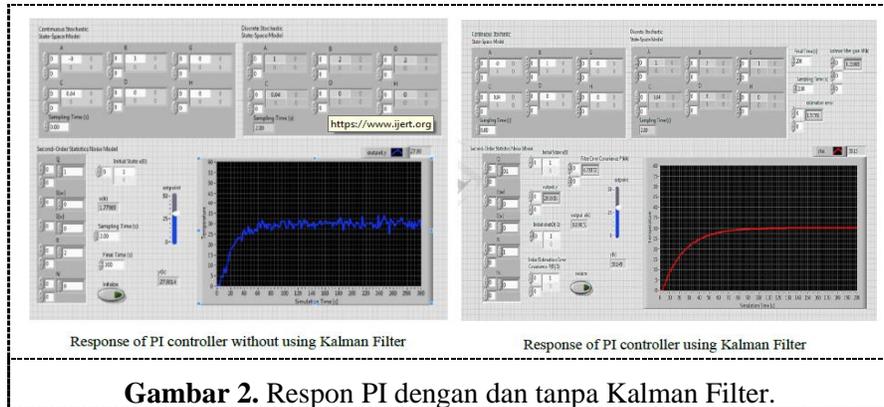
Berdasarkan permasalahan di atas, maka jelas bahwa harus ada metode yang dapat diterapkan untuk meningkatkan presisi dan akurasi sensor. Pada penelitian ini peneliti tertarik untuk mengaplikasikan filter kalman pada sensor suhu dan merakitnya dengan Arduino UNO. Keunggulan utama filter Kalman adalah dapat memperkirakan keadaan sistem [10]. Dengan mengestimasi sistem, presisi dan akurasi sensor dapat ditingkatkan. Bahkan hanya memiliki sedikit data [11]. Selain itu, dengan menggunakan filter ini, sensor akan dapat mencapai nilai *steady state* dengan lebih cepat daripada menggunakan metode biasa (hanya membaca nilai sensor).

Sebenarnya penelitian semacam ini bukan yang pertama kali dilakukan, sebelumnya penelitian serupa telah dilakukan oleh [12] mereka pernah mencoba mengaplikasikan filter Kalman kemudian membandingkannya dengan kontrol PID lama pada sensor suhu. Selain itu, PID dapat digunakan jika ada umpan balik di sistem [13]. Mereka berhasil melakukan penelitian. Hasil dari penelitian mereka adalah akurasi sensor lebih baik jika digunakan filter kalman dibandingkan dengan Kontrol PID lama. Namun, mereka hanya melakukan penelitian di level simulasi bukan aplikasi sebenarnya. Selain itu, simulasi dilakukan dengan CSTR Tester. Hasil penelitian mereka ditunjukkan pada **Gambar 1**.



Gambar 1. Filter Kalman dan Kontrol PID Lama.

Penelitian lainnya dilakukan oleh [14]. Mereka menggunakan filter kalman dan Kontrol PI digabungkan menjadi satu. Seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 2** PI dan filter kalman dapat meningkatkan akurasi dan presisi daripada hanya menggunakan salah satunya. Hal ini dibuktikan dengan berkurangnya waktu pengendapan. Tapi, sekali lagi mereka hanya mensimulasikannya menggunakan LABVIEW Simulator.



Berdasarkan uraian di atas, penelitian sebelumnya hanya melakukan simulasi, bukan aplikasi sebenarnya. Berbeda dengan penelitian sebelumnya, penelitian ini akan menerapkan filter kalman pada aplikasi kehidupan nyata. Dengan kata lain, tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengaplikasikan dan membuktikan pengaruh filter kalman dengan menggunakan Arduino UNO dan LM35 yang bermanfaat untuk meningkatkan presisi dan akurasi bacaan sensor.

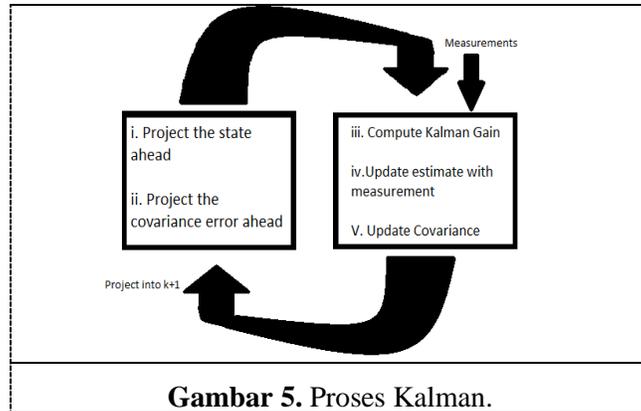
2. Arduino UNO

Arduino adalah papan mikrokontroler prototipe open source, yang dapat diprogram dengan berbagai cara. Mikrokontroler ini dibuat berdasarkan ATmel Microcontroller Unit (MCU) [15]. Fungsi papan Arduino dapat diperluas dengan menerapkan perisai, seperti Ethernet, Wi-Fi, Modul GSM, dan lain-lain [15, 16]. Papan Arduino memiliki beberapa port seperti, catu daya, port USB, 14 port terkait input dan output dan 6 pin PWM digital [15, 17, 18]. Komputer mikro ini didukung oleh ATMega 328 yang terdiri dari 28 pin [19].

Arduino UNO digunakan dalam penelitian ini karena beberapa alasan seperti, lebih mudah digunakan dan debugger on-board sudah diinstal sebelumnya, harga lebih murah dibandingkan dengan jenis papan Arduino lainnya, Daya rendah dan hasil yang akurat, kompatibilitas multi-platform dan kemampuannya. untuk dihubungkan dengan berbagai jenis sensor dan modul [16, 19]. Arduino Uno digambarkan pada **Gambar 3**.



Gambar 3. Arduino UNO.



Gambar 5. Proses Kalman.

Filter kalman menggunakan prediksi untuk menentukan keluaran dari pengukuran dan juga diikuti dengan koreksi. Proses ini diulang terus menerus. Sehingga biasanya proses ini disebut metode prediksi - pembaruan [28]. Untuk lebih detailnya ditampilkan algoritma filter kalman pada **Algoritma 1**.

Algoritma 1. Algoritma filter kalman.

- 1: Algorithm of kalman filter()
- 2: $x_t = f x_{t-1} + B u$
- 3: $P_t = f P_{t-1} f^T + Q$
- 4: $K = P_t H^T (H P_t H^T + R)^{-1}$
- 5: $x_t = x_t + K (\text{measurement}_t - H x_t)$
- 6: $P_t = (I-K) P_t$

Untuk baris kedua, x_t adalah vektor keadaan, u adalah vektor masukan, f dan B adalah matriks yang mendefinisikan sistem dinamis. Dengan menggunakan model sistem yang diproyeksikan maju satu langkah dalam waktu, prediksi keadaan dapat ditemukan. Prediksi kovarian berikutnya harus ditentukan dengan menggunakan baris ketiga. Dimana, matriks kovarian kesalahan keadaan prediksi dan Q adalah gangguan proses. Setelah kesalahan keadaan prediksi dari matriks kovarian ditemukan, gain kalman juga dapat ditemukan. Selain itu, Q dapat ditemukan di lembar data sensor.

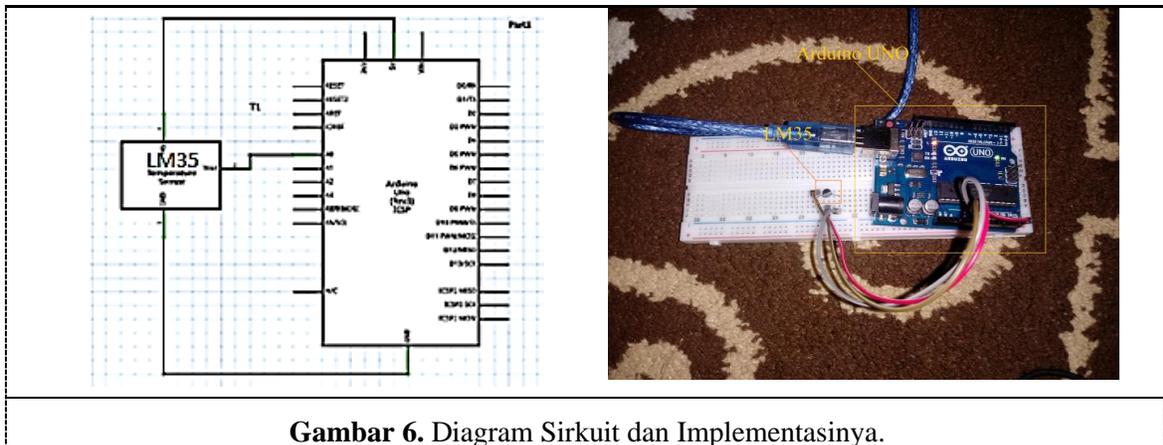
Keuntungan kalman dapat ditemukan dengan menggunakan baris keempat. Dimana, H adalah jumlah vektor keadaan yang diamati. Di sisi lain, R adalah varian dari pembacaan sensor tanpa menggunakan filter. Pada kenyataannya, nilai R dapat ditemukan langsung di lembar data. Namun nilai yang tertulis pada lembar data terkadang tidak sama dengan nilai yang didapat dengan menghitung varians data mentah karena kondisi produk. Akan lebih baik menemukannya dengan mencari varian dari data mentah. Keuntungan kalman ini nantinya akan digunakan untuk menghitung estimasi negara pada baris kelima. Baris terakhir digunakan untuk memperbarui perkiraan kovarian. Dimana, I adalah identitas matriks.

5. Metode

Dalam penelitian ini digunakan ruangan berukuran 3x2 meter. Selain itu, suhu ruangan adalah 26 °C. Peneliti akan membandingkan nilai baca sensor dengan atau tanpa filter kalman. Nantinya nilai baca sensor akan dicatat dengan menggunakan Cool - Term Application. Dengan menggunakan aplikasi pencatatan data, properti dari data seperti mean, covariance, dan variance, yang akan digunakan dalam

perhitungan dapat ditemukan dengan mudah. Selain itu, pencatatan data adalah metode komputasi khusus yang merekam data digital atau analog, sehingga sifat dan perilaku data dapat menjadi benih dengan jelas [29]. Untuk lebih detailnya, grafik suhu terhadap waktu dibuat secara otomatis dengan menggunakan Serial Plotter. Ini, Serial Plotter dianggap digunakan karena dapat memplot grafik kontinu langsung secara otomatis.

Diagram sirkuit untuk penelitian ini telah selesai. Rangkaian ini hanya berisi satu Arduino UNO dan sensor LM 35. Dimana Arduino UNO digunakan untuk menginput Algoritma Filter kalman dan juga untuk memantau nilai pembacaan sensor. Selain itu, LM 35 digunakan sebagai sensor suhu. Diagram sirkuit dan implementasi sirkuit ditunjukkan pada **Gambar 6**.



Gambar 6. Diagram Sirkuit dan Implementasinya.

6. Hasil dan Pembahasan

Data sensor telah dicatat dengan menggunakan aplikasi Cool - Term. Selain itu, grafik pembacaan sensor telah diplot dengan menggunakan serial plotter seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 7**.

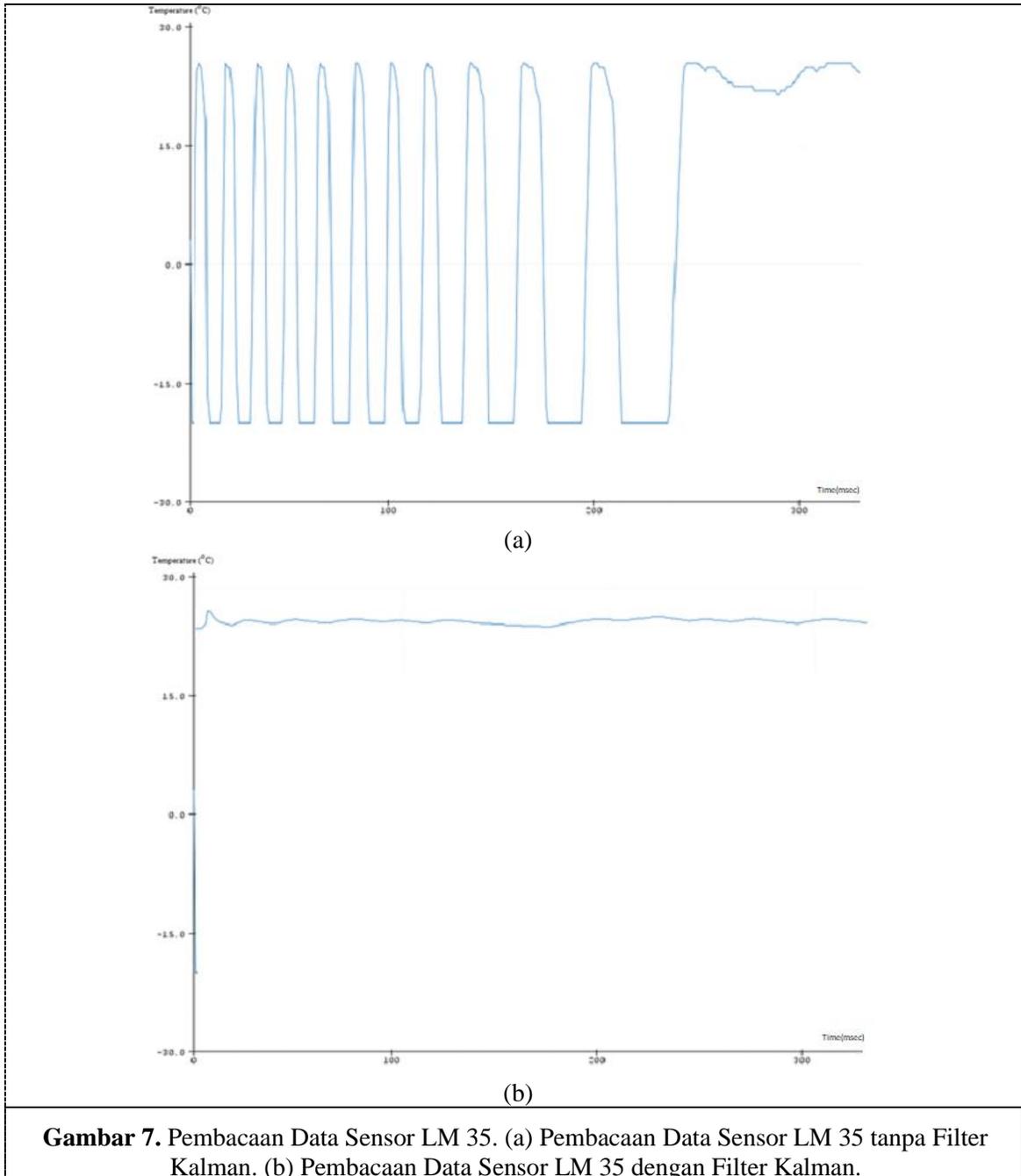
Gambar 7(a) menunjukkan sketsa real time dari pembacaan data sensor tanpa filter kalman. Ini akan sangat beresilasi untuk waktu yang lama sekitar 0.24 detik sebelum mencapai nilai kondisi tunak (Sekitar 26 °C). Selain itu, titik *overshoot* terlalu tinggi. Bahkan setelah mencapai nilai *steady state* cenderung tidak stabil lagi meskipun masih lebih baik dari titik awal. Ada beberapa kemungkinan mengapa pembacaan sensor tidak seakurat mungkin, misalnya kebisingan dari lingkungan. Kesimpulannya, tanpa menggunakan filter kalman, pembacaan sensor akan membutuhkan waktu yang lama untuk mencapai nilai *steady state* dan sangat tidak stabil.

Di sisi lain, perbedaan yang nyata terlihat ketika filter kalman diterapkan. Dengan memasukkan beberapa nilai pada algoritma kalman filter, proses kalman dapat dijalankan.

Status vektor x_t adalah nilai kasar sensor itu sendiri (data sensor tanpa filter kalman). Konstanta f dianggap satu karena dalam kasus ini diasumsikan tidak ada perubahan ekstrim pada nilai suhu. Kemudian, B dianggap nol karena tidak ada input kontrol. Oleh karena itu, semua komponen baris 2 **Algoritma 1** dapat dieksekusi.

Proses Q atau varians pada baris 3 **Algoritma 1**. dapat diketahui dengan melihat lembar data dari sensor itu sendiri. Kemudian, baris 3 dapat dieksekusi. Setelah semua variabel selesai maka proses kalman akan dilakukan perulangan.

Kesimpulannya, berbeda dengan tidak adanya penggunaan filter kalman, filter kalman dapat meningkatkan akurasi sensor. Berdasarkan **Gambar 7(b)** terbukti dengan sangat mengurangi titik *overshoot*. Juga memiliki waktu yang jauh lebih sedikit untuk mencapai nilai kondisi *steady*. Hasil plot dari pembacaan sensor dengan kalman filter ditunjukkan pada **Gambar 7(b)**.



7. Kesimpulan

Dari penelitian ini peneliti dapat menyimpulkan bahwa pembacaan sensor suhu tidak tepat dan hasil pembacaan dapat terjadi tinggi dan turun ke nilai steady state nya. Pemasangan filter kalman bertujuan agar pembacaan sensor menjadi lebih presisi dan mencapai nilai pembacaan yang stabil lebih cepat dari pada sebelum aplikasi filter kalman.

Dalam penelitian ini sensor suhu yang digunakan adalah LM35 dan dihubungkan dengan Arduino UNO. LM35 dipilih karena ketersediaannya di pasar. LM35 juga dipilih karena kepraktisannya tanpa perlu kalibrasi atau pemangkasan, impedansi keluaran rendah, dan kalibrasi yang melekat untuk pembacaan atau sirkuit kontrol yang lebih mudah. Hasil dari pembacaan sensor akan dicatat ke aplikasi Cool-Term.

Hasil dari penggunaan LM35 dengan Arduino UNO disertai penerapan filter kalman menunjukkan hasil yang memuaskan dalam kondisi suhu tetap. *Steady State Value* dapat dicapai dalam kurun waktu kurang dari 0.1 detik. Jauh lebih cepat dibanding tanpa menggunakan filter kalman yang memerlukan waktu 0.24 detik. Selain itu, nilai bacaan sensor tanpa menggunakan filter menunjukkan nilai *overshoot* yang sangat tinggi berbeda dengan bacaan sensor dengan Kalman filter yang memiliki *overshoot* sangat rendah $\pm 2^{\circ}\text{C}$.

8. Referensi

- [1] L. Atzori, A. Iera and G. Morabito, "The internet of things: a survey. Computer Networks," vol. 54, no. 15, 2010.
- [2] S. K. Khaitan and J. D. McCalley, "Design techniques and applications of cyberphysical systems: a survey," IEEE Systems Journal, vol. 9, no. 2, pp. 350-365, 2015.
- [3] T. Pascall, "INNOVATION AND INDUSTRY 4.0. DISRUPTION," 19 April 2017. [Online]. Available: <https://disruptionhub.com/innovation-industry-4-0/>. [Accessed 1 November 2017].
- [4] Acatech, "Industrie 4.0 in a Global Context: Strategies for Cooperating with International Partners (acatech STUDY)," in Herbert Utz Verlag 2014, Munich, 2014.
- [5] G. Yu and M. Veloso, "Effective Multi-Model Motion Tracking using Action Models," The International Journal of Robotics Research, 2009.
- [6] M. R. Khan and S.-W. Kang, "Highly Sensitive Temperature Sensors Based on Fiber-Optic PWM and Capacitance Variation Using Thermo-chromic Sensing Membrane," Juli, 2016.
- [7] S. K. Kumar, P. P. G. K. Jose and B. G., "Human Detection Robot using PIR Sensors," International Journal of Science, Engineering and Technology Research (IJSETR), 2015.
- [8] Poonam and P. Mulge, "REMOTE TEMPERATURE MONITORING USING LM35 SENSOR AND INTIMATE ANDROID USER VIA C2DM SERVICE.," International Journal of Computer Science and Mobile Computing, vol. 3, Juni, 2013.
- [9] M. V. Biezen, Director, Special Topics - The Kalman Filter (1 of 55) What is a Kalman Filter?.. [Film]. September, 2015.
- [10] R. Kleinbaurer, "Kalman Filtering Implementation with Matlab, Study Report of Study Geodesy and Geoinformatics at Universitat Stuttgart," in Helsinki University of Technology, Helsinki, 2004.
- [11] A. Masduki and E. Apriliani, "ESTIMATION OF SURABAYA RIVER WATER QUALITY USING KALMAN FILTER ALGORITHM," The Journal for Technology and Science, vol. 19, no. 3, pp. 87-91, 2008.
- [12] M. Hong and S. Cheng, "Model Predictive Control Based on Kalman Filter for Constrained Hammerstein-Wiener Systems," Hindawi Publishing Corporation Mathematical Problems in Engineering, 2013.
- [13] J. Sardi and B. A. Pulungan, "PENGEMBANGAN BIOELECTRICAL IMPEDANCE SEBAGAI CONTROL COMMANDS PENGATURAN KECEPATAN GERAK KURSI RODA DENGAN METODA PID CONTROLLER," Jurnal Nasional Teknik Elektro Universitas Andalas, 2014.
- [14] N. M. Rajan and P. Rajalakshmy, "ESTIMATION OF SENSOR TEMPERATURE DRIFT USING KALMAN FILTER," International journal of Engineering research and Technology (IJERT), Februari, 2014.
- [15] V. Cvjetkovic and M. Matijevic, "Overview of Architectures with Arduino Boards as Building Blocks for Data Acquisition and Control Systems," Juni, 2016.
- [16] L. Louis, "WORKING PRINCIPLE OF ARDUINO AND USING IT AS A TOOL FOR STUDY AND RESEARCH," International Journal of Control, Automation, Communication and Systems (IJACS), vol. 2, April, 2016.
- [17] R. Sudhan, M. Kumar, A. Prakasahi, S. R. Devi and P. Sathiya, "ARDUINO ATMEGA-328 MICROCONTROLLER," International Journal Of Innovative Research In Electrical, Electronics, Instrumentation And Control Engineering, pp. 1-2, April, 2015.
- [18] N. S. Corporation., "LM35 Precision Centigrade Temperature Sensors," August, 1999.

- [19] J. ., Sipani, R. H. Patel and T. Upadhyaya, "TEMPERATURE & HUMIDITY MONITORING & CONTROL SYSTEM BASED ON ARDUINO AND SIM900A GSM SHIELD," *International Journal Of Electrical, Electronics And Data Communication*, pp. 2-3, November, 2017.
- [20] B. Changela, K. Parmar, B. Daxini, K. Sanghani and K. Shah5, "Digital Thermometer: Design & Implementation using Arduino UNO Based Microcontroller," *IJSRD - International Journal for Scientific Research & Development*, pp. 1-2, 2016.
- [21] D. P. Latha, K. Sudha and D. Swati, "Millienium 3 PLC Based Temperature Control Using LM 35," *Research Journal of Engineering Sciences*, p. 2, 2013.
- [22] O. K. Akinloye, "Development of Cheap LM35-Based Air-Conditional Automation System," *American Journal of Management Science and Engineering*, p. 2, October 24, 2017.
- [23] M.Kalaiyarasi, A.Jagadeesan and R.Dhanasekar, "CLIMATE CONTROL SYSTEM FOR AIR CONDITIONER," *International Journal of Pure and Applied Mathematics*, 2018.
- [24] S. Thrun, "Probabilistic Robotics," Massachusetts: Mit Press, 2005.
- [25] H. A. E. Hasbullah, "Algoritma Adaptive Covariance Rank Unscented Kalman Filter Untuk Estimasi Keadaan Pada Persamaan Air Dangkal," in *Prosiding Seminar Nasional Penelitian, Pendidikan dan Penerapan MIPA, Fakultas MIPA, Universitas Negeri Yogyakarta, Yogyakarta*, 2011.
- [26] J. D. Schutter, J. D. Geeter, T. Lefebvre and H. Bruyinnickx, "KALMAN FILTER: A TUTORIAL," April, 2002.
- [27] J. Zolghadr and Y. Cai, " LOCATING A TWO-WHEELED ROBOT USING EXTENDED KALMAN FILTER," *Tehnički vjesnik* 22, vol. 6, no. 2015, pp. 1481-1488, 2015.
- [28] M. B. Rhudy, R. A. Salguero and K. Holappa, "A KALMAN FILTERING TUTORIAL FOR UNDERGRADUATE STUDENTS," *International Journal of Computer Science & Engineering Survey (IJCSSES)*, Februari, 2017.
- [29] I. Nashtara, W. Robert and M. Philip, "Z8 Encore Microcontroller Based Data Logging System," *Assumption University Journal of Technology*, vol. 10, no. 1, pp. 63-67, 2006.