

# APLIKASI FILTER KALMAN dan KENDALI PID PADA BALANCING ROBOT

Nuryono S Widodo, Riky D Puriyanto  
Teknik Elektro UAD  
Jln Prof Dr Soepomo SH, Yogyakarta  
e-mail :nuryono.sw@ee.uad.ac.id, rikydp@ee.uad.ac.id

## Abstrak

Robot dengan berbagai bentuk dan ukuran telah menjadi topik penelitian yang menarik saat ini. Robot beroda merupakan salah satu jenis robot yang populer saat ini. Balancing robot adalah robot beroda yang dapat berdiri dan bergerak dengan dua roda. Balancing robot memiliki keunggulan dari sisi desain yang kompak dan kemampuan manuver yang tinggi, namun demikian robot ini memiliki masalah kestabilan.

Pada penelitian ini dikembangkan balancing robot dengan memanfaatkan kendali PID dan Filter Kalman untuk menjaga stabilitas robot. Sensor yang digunakan pada robot ini adalah encoder sebagai umpan balik kendali kecepatan motor dan gyroscope accelerometer sebagai umpan balik kemiringan robot.

Hasil dari penelitian ini menunjukkan robot dapat menjaga posisi keseimbangannya dengan bantuan sensor encoder dan sensor gyroscope.

**Kata Kunci:** Filter Kalman, PID, Gyroscope, Accelerometer.

## 1. PENDAHULUAN

Balancing robot yaitu robot beroda yang dapat berdiri dan bergerak dengan dua roda telah menjadi topik penelitian yang menarik bagi para peneliti, mahasiswa maupun hobbyist. Balancing robot pada dasarnya adalah sebuah pendulum terbalik yang terpasang pada roda, sehingga memiliki kemiripan dengan pendulum terbalik yang terpasang pada platform bergerak yang sudah sangat umum digunakan dalam studi tentang pengendalian. Hal khusus yang dimiliki sebuah balancing robot dibandingkan dengan robot beorda lainnya adalah jika robot beroda pada umumnya berada pada kondisi setimbang karena memiliki sekurangnya tiga titik tumpu, balancing robot secara alami adalah sistem yang tidak stabil (Yong et al., 2011), (Peng et al., 2012), (Kim & Kwon, 2013), (Wenxia & Wei, 2017). Pengendalian pada balancing robot harus terus menerus secara aktif menjaga robot berada pada posisi berdiri tegak. Di sisi lain balancing robot memiliki keunggulan pada kemampuan manuver karena desainnya meminimalkan gaya gesek yang tidak perlu.

Penggunaan balancing robot pada kehidupan sehari-hari salah satunya adalah untuk transportasi, khususnya transportasi personal, seperti yang ditawarkan oleh Segway PT (Personal Transporter). Perangkat Segway PT mudah dijumpai di area publik dengan ukuran yang luas, misalnya bandar udara maupun gedung-gedung pertemuan sebagai sarana transportasi baik pengunjung maupun petugas gedung tersebut. Segway PT menawarkan keunikan dari sisi desain dan cara kerja serta memungkinkan manuver yang lincah pada area yang sempit.

Penelitian ini berusaha merekonstruksi kembali kemampuan dasar yang harus dimiliki sebuah balancing robot dengan mendasarkan pada aplikasi filter Kalman dan kendali PID untuk dapat memberikan pemahaman yang lebih detail tentang bagaimana sebuah balancing robot bekerja. Manfaat yang dapat diperoleh dari hal ini adalah menyediakan komponen pembangun bagi sebuah robot yang lebih kompleks dengan bentuk balancing robot serta menyediakan sarana penelitian dan penelaahan tentang manfaat dan implementasi filter Kalman dan kendali PID pada sebuah sistem berbasis mikrokontroler. Masukan utama dari sistem yang dikembangkan berasal dari dua jenis sensor yaitu IMU (*inertial measurement unit*) yang berupa gyroscope dan accelerometer serta rotary encoder.

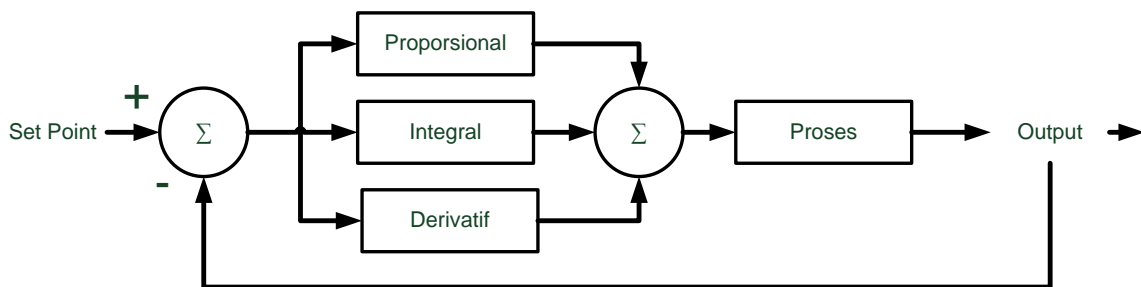
## 2. TINJAUAN PUSTAKA

Permasalahan pendulum terbalik merupakan permasalahan yang tidak asing lagi di bidang teknik kendali. Keunikan dan kemungkinan penggunaan teknologi yang diperoleh dari sistem ini telah menjadi topik penelitian bagi banyak peneliti. Beberapa waktu terakhir gagasan yang didasarkan pada sistem pendulum terbalik telah digunakan dan diimplementasikan pada perancangan pola berjalan pada robot humanoid (Lu et al., 2018), maupun perangkat transportasi personal seperti yang telah diuraikan sebelumnya.

Penelitian yang dilakukan oleh (Xin et al., 2011), (Yu & Jian, 2014), (Bakarac et al., 2018), (Yongming et al., 2011), (Jaleel & Francis, 2013) meneliti pendulum terbalik secara simulasi maupun implementasi hardware.

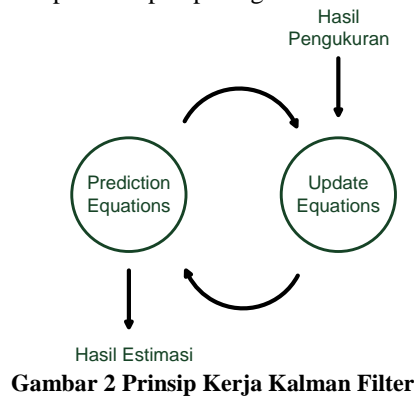
Aplikasi algoritma kendali PID, fuzzy, maupun algoritma yang lain, misalnya LQR, fuzzy (Xin et al., 2011), (Yu & Jian, 2014). Berbagai penelitian Xin et al., 2011), (Yu & Jian, 2014), (Bakarac et al., 2018), (Yongming et al., 2011), (Jaleel & Francis, 2013) telah menyimpulkan bahwa penggunaan hasil pengukuran *gyroscope* saja ataupun pengukuran *accelerometer* saja untuk menentukan sudut kemiringan adalah tidak reliable. Hal ini disebabkan masing-masing sensor tersebut memiliki bias pada hasil pengukurannya. Bias pengukuran ini dipengaruhi adanya derau putih (white noise) dan juga temperature.

Sebuah balancing robot, meskipun memiliki banyak kesamaan dengan sebuah pendulum terbalik, memiliki perbedaan mendasar yaitu adanya aktuator dan beban pendulum. Secara matematis persamaan untuk pendulum terbalik dapat dilihat sebagai persamaan keadaan seperti yang dinyatakan pada (Xin et al., 2011), (Yu & Jian, 2014), (Bakarac et al., 2018), (Yongming et al., 2011), (Jaleel & Francis, 2013). Kendali PID adalah sebuah kendali kalang tertutup yang terdiri dari tiga aksi kendali yaitu proporsional, integral dan derivatif. Berdasarkan (Ang et al., 2005), (Jaiswal & Kumar, 2014) sebuah kendali PID dapat dinyatakan sebagaimana gambar berikut:



Gambar 1 Pengendali PID

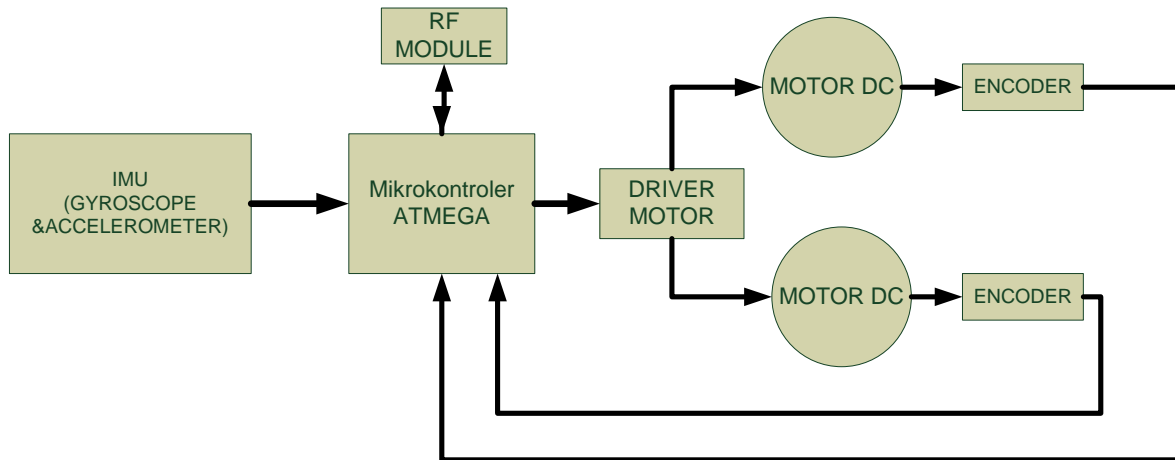
Filter Kalman adalah sebuah algoritma yang menggunakan serangkaian data yang telah teramati pada suatu waktu tertentu, yang di dalamnya terdapat derau dan ketidaktepatan yang lain, untuk mengestimasi suatu variabel dengan tingkat akurasi yang lebih baik pada waktu berikutnya. Filter Kalman dirumuskan oleh R. E. Kalman pada tahun 1960, dan telah menjadi salah satu pendekatan untuk menyelesaikan permasalahan estimasi. Aplikasi Kalman filter antara lain pada permasalahan navigasi, data fusion pada sensor (Chakraborty et al., 2018) maupun pada pengolahan citra digital (Nagayasu et al., 2011), (Thakur et al., 2016). Filter Kalman diimplementasikan dalam bentuk persamaan yang di sebut *prediction equations* dan *update equations*. Kedua persamaan ini bekerja secara rekursive seperti tampak pada gambar 2 berikut:



Gambar 2 Prinsip Kerja Kalman Filter

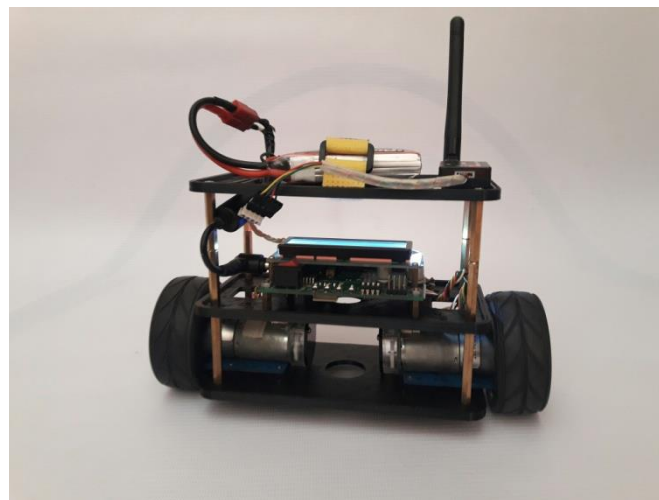
### 3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini diimplementasikan dengan konfigurasi hardware pada gambar 3 sebagai berikut:



Gambar 3 Konfigurasi Robot

Robot yang digunakan adalah sebuah robot dengan dua roda yang dirancang untuk bekerja dalam posisi berdiri. Robot ini memiliki kemiripan dengan pendulum terbalik, yaitu adanya dua roda yang tersambung dengan motor sebagai aktuator yang terpasang pada sisi kanan dan kiri robot. Konstruksi ini serupa dengan konstruksi pendulum terbalik, yang ditandai dengan adanya aktuator dan pendulum. Robot dirancang untuk memiliki titik berat pada posisi di tengah ketika robot pada posisi berdiri tegak 90° terhadap permukaan tanah atau lantai. Sensor kemiringan yang tersusun dari gyroscope dan accelerometer terpasang di tengah badan robot dengan posisi sejajar dengan badan robot. Bentuk fisik robot yang digunakan terdapat pada gambar 4.



Gambar 4 Bentuk Fisik robot

Posisi awal atau posisi tegak yang ditargetkan ditetapkan secara manual dengan cara memposisikan robot pada posisi berdiri tegak. Posisi ini selanjutnya dijadikan acuan untuk sistem kendali PID yang mengatur keseimbangan robot. Persamaan untuk menghitung galat keseimbangan dapat dilihat pada persamaan berikut

$$\gamma(n) = \beta(n) + \alpha(n) \dots \dots \dots (1)$$

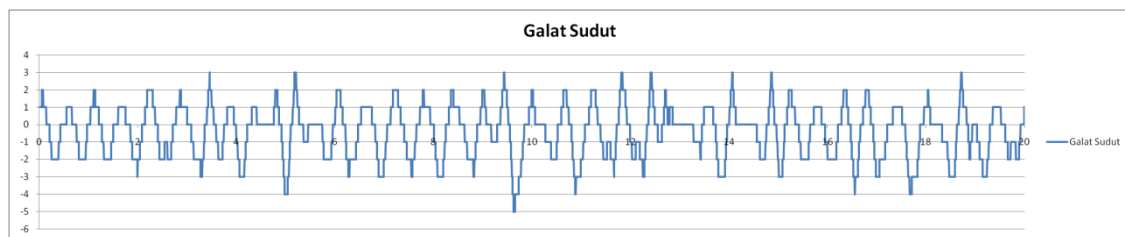
$$\beta(n) = (C_g - \theta(n)) \dots \dots \dots (2)$$

Dimana:

$\gamma$  : Galat keseluruhan  
 $\beta$  : Galat sudut  
 $C_g$  : Konstanta Titik berat  
 $\theta$  : Sudut robot  
 $\alpha$  : offset sudut

#### 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil percobaan yang dilakukan pada permukaan rata dan datar dan tidak dilakukan perubahan parameter PID pada semua pengendali yang ada. Tujuan dari pengujian ini adalah untuk melihat bagaimana tanggapan pengendali pada saat robot diberikan target untuk berdiri setimbang tanpa berpindah tempat. Adapun hasil yang diperoleh untuk tanggapan pengendali keseimbangan selama 20 detik dapat dilihat secara grafis pada gambar 5 berikut:



Gambar 5 Keseimbangan Robot

#### 5. KESIMPULAN

Kesimpulan yang diperoleh dari hasil percobaan adalah pengendali keseimbangan yang dikembangkan mampu menjaga keseimbangan dengan galat rata-rata sebesar  $-0,42^\circ$ , dan galat terbesar  $-5^\circ$  dari acuan.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Kiam Heong Ang, G. Chong and Yun Li, "PID control system analysis, design, and technology," in *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, vol. 13, no. 4, pp. 559-576, July 2005.
- P. Bakaráč, M. Klaučo and M. Fikar, "Comparison of inverted pendulum stabilization with PID, LQ, and MPC control," *2018 Cybernetics & Informatics (K&I)*, Lazy pod Makytou, 2018, pp. 1-6.
- T. Chakraborty, S. Yamaguchi and S. K. Datta, "Sensor Fusion and Adaptive Cruise Control for Self Driving Platoon," *2018 IEEE 7th Global Conference on Consumer Electronics (GCCE)*, Nara, Japan, 2018, pp. 231-235.
- J. Abdul Jaleel and R. M. Francis, "Simulated annealing based control of an Inverted Pendulum System," *2013 International Conference on Control Communication and Computing (ICCC)*, Thiruvananthapuram, 2013, pp. 204-209.
- N. K. Jaiswal and V. Kumar, "Comparison between conventional PID and Fuzzy PID supervisor for 3-DOF Scara type robot manipulator," *2014 IEEE Students' Conference on Electrical, Electronics and Computer Science*, Bhopal, 2014, pp. 1-5.
- S. Kim and S. Kwon, "Nonlinear control design for a two-wheeled balancing robot," *2013 10th International Conference on Ubiquitous Robots and Ambient Intelligence (URAI)*, Jeju, 2013, pp. 486-487.
- Y. Lu, Z. Lu, Y. Yu, H. Zhao and Y. Zhang, "Development of Humanoid Robot and Biped Walking Based on Linear Inverted Pendulum Model," *2018 IEEE International Conference on Intelligence and Safety for Robotics (ISR)*, Shenyang, 2018, pp. 244-249.
- R. Nagayasu, N. Hosoda, N. Tanabe, H. Matsue and T. Furukawa, "Restoration method for degraded images using two-dimensional block Kalman filter with colored driving source," *2011 Digital Signal Processing and Signal Processing Education Meeting (DSP/SPE)*, Sedona, AZ, 2011, pp. 151-156.

K. Peng, X. Ruan and G. Zuo, "Dynamic model and balancing control for two-wheeled self-balancing mobile robot on the slopes," *Proceedings of the 10th World Congress on Intelligent Control and Automation*, Beijing, 2012, pp. 3681-3685

A. Thakur, A. Kausar and A. Iqbal, "Comparison efficacy of restoration method for space variant motion blurred images using kalman & wiener filter," *2016 6th International Conference - Cloud System and Big Data Engineering (Confluence)*, Noida, 2016, pp. 508-512.

S. Wenxia and C. Wei, "Simulation and debugging of LQR control for two-wheeled self-balanced robot," *2017 Chinese Automation Congress (CAC)*, Jinan, 2017, pp. 2391-2395.

B. Yongming, J. Jia, X. Xinming and Z. Lijing, "Research on Inverted Pendulum Network Control Technology," *2011 Third International Conference on Measuring Technology and Mechatronics Automation*, Shangshai, 2011, pp. 11-13.

Qin Yong, Liu Yanlong, Zang Xizhe and Liu Ji, "Balance control of two-wheeled self-balancing mobile robot based on TS fuzzy model," *Proceedings of 2011 6th International Forum on Strategic Technology*, Harbin, Heilongjiang, 2011, pp. 406-409

L. H. Yu and F. Jian, "An Inverted Pendulum Fuzzy Controller Design and Simulation," *2014 International Symposium on Computer, Consumer and Control*, Taichung, 2014, pp. 557-559.

Y. Xin, J. Xu, B. Xu and H. Xin, "The inverted-pendulum model with consideration of pendulum resistance and its LQR controller," *Proceedings of 2011 International Conference on Electronic & Mechanical Engineering and Information Technology*, Harbin, 2011, pp. 3438-3441.