

Estimasi Jarak pada Sistem Koordinat Berbasis Metode Haversine menggunakan Tapis Kalman

BUDI SETIADI¹, RIDWAN SOLIHIN², TATA SUPRIYADI³, TOTO TOHIR⁴,
SUPRIYANTO⁵, SUDRAJAT⁶

^{1,4}Program Studi Teknik Listrik, Politeknik Negeri Bandung, Indonesia

^{2,3}Program Studi Teknik Telekomunikasi, Politeknik Negeri Bandung, Indonesia

^{5,6}Program Studi Teknik Otomasi Industri, Politeknik Negeri Bandung, Indonesia

Email: ridwan.solihin@polban.ac.id

Received 27 Oktober 2022 | Revised 24 November 2022 | Accepted 28 Desember 2022

ABSTRAK

Kesalahan GPS (Global Positioning System) dalam menentukan titik koordinat dipengaruhi faktor terhalang oleh bangunan, kondisi cuaca, dan hal lain yang dapat mengurangi akurasi dari GPS. Penelitian ini, digunakan tapis Kalman untuk meminimalisir kesalahan pada alat GPS tipe BN-220 ketika menentukan jarak. Tapis Kalman dirancang dengan dua tahapan yaitu proses prediksi dan koreksi. Pada tahap prediksi, data mentah dari koordinat akan dihitungkan varian kesalahannya dengan mengatur matriks Q. Kemudian, pada tahap koreksi dilakukan perbaikan dengan menentukan penguatan Kalman berdasarkan matriks R dan hasilnya digunakan untuk mengestimasi data keluaran. Berdasarkan pengujian pada delapan titik uji, diperoleh bahwa penggunaan tapis Kalman menghasilkan rata-rata selisih kesalahan sekitar 5,27% terhadap Google Maps jika dibandingkan dengan tanpa tapis Kalman sebesar 7,56%.

Kata kunci: GPS BN-220, tapis Kalman, Haversine, Google Maps

ABSTRACT

GPS (Global Positioning System) error in determining the coordinates is influenced by factors obstructed by buildings, weather conditions, and other things that can reduce the accuracy of GPS. In this study, the Kalman filter was used to minimize errors in the BN-220 type GPS device when determining the distance. Kalman filter is designed with two stages, namely the prediction and correction process. In the prediction stage, the raw data from the coordinates will be calculated for the error variance by adjusting the Q matrix. Then, in the correction stage, improvements are made by determining the Kalman gain based on the R matrix and the results are used to estimate the output data. Based on testing at eight test points, it was found that the use of the Kalman filter resulted in an average error difference of around 5.27% against Google Maps when compared to without the Kalman filter of 7.56%.

Keywords: GPS BN-220, Kalman filter, Haversine, Google Maps

1. PENDAHULUAN

Akurasi titik koordinat pada GPS merupakan salah satu parameter penting yang harus didapat. Kesalahan pada penentuan titik koordinat dapat berakibat fatal khususnya pada sistem navigasi yang membutuhkan akurasi yang tinggi. Saat ini, penggunaan *low-cost* GPS seperti tipe BN-220 telah banyak dilakukan diberbagai sistem seperti *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV) pada penelitian tahun 2020 yang dilakukan oleh **(Al Tahtawi, dkk, 2020)**, pendeteksi posisi kendaraan pada penelitian tahun 2021 yang dilakukan oleh **(Muhammad, dkk, 2021)**, serta sistem *Internet of Things* (IoT) pada penelitian tahun 2018 yang dilakukan oleh **(Acharya & Gaur, 2018)**. Namun, *low-cost* GPS ini menghasilkan pengukuran titik koordinat yang tidak akurat. Dengan demikian, agar *low-cost* GPS ini dapat digunakan, maka diperlukan sebuah metode yang dapat meminimalisir kesalahan pengukuran titik koordinat.

Tapis Kalman merupakan salah satu metode penapisan sinyal yang dapat digunakan untuk mengatasi permasalahan tersebut. Metode ini memungkinkan untuk diterapkan karena bersifat rekursif. Beberapa peneliti telah melakukan penelitian mengenai penggunaan tapis Kalman pada teknologi yang dibuatnya. Tapis Kalman pada setiap teknologi memiliki tujuan untuk meningkatkan akurasi pada data yang didapatkan. Algoritma tapis Kalman dapat meningkatkan akurasi sebesar 0,8 m dibandingkan dengan metode *Wavelet*, mengacu penelitian pada tahun 2020 oleh **(Song, 2020)**. Tapis Kalman dapat meningkatkan akurasi dari *positioning system*, terlebih lagi, pada posisi didalam ruangan, lingkungan yang memiliki tembok tinggi, dan gangguan lainnya, mengacu pada penelitian tahun 2019 oleh **(Li, 2019)**. Tapis Kalman juga dikembangkan menjadi *Cubature Extended Kalman Filter* (C-EKF) dan menghasilkan kesalahan lokasi rata-rata untuk celah GPS satu detik terbukti telah meningkat sekitar 18%, mengacu pada penelitian tahun 2021 oleh **(Nwadiugwu, dkk, 2021)**, serta mengacu pada penelitian tahun 2020 oleh **(Liu, dkk, 2020)**. Teknik *Robust Quaternion Kalman Filter* juga dapat diimplementasikan dan dapat menghasilkan kinerja penyelarasan yang lebih baik untuk pengukuran GPS, mengacu pada penelitian tahun 2021 oleh **(Zhou, dkk, 2021)**.

Selain menggunakan metode tapis Kalman, *distance estimation function* juga biasanya digunakan untuk menghitung jarak sebenarnya antara lokasi untuk presisi matematis, mengacu pada penelitian tahun 2018 **(Havelock, dkk, 2018)**. Fungsi jarak ini unik untuk area atau medan yang dipertimbangkan. Misalnya, nilai absolut dari perbedaan antara titik koordinat adalah jarak antara titik-titik pada sumbu yang nantinya akan didapatkan koordinat kedua alat tersebut menggunakan modul GPS, mengacu pada penelitian tahun 2021 oleh **(Supriyadi, dkk, 2021)**, penelitian tahun 2020 oleh **(Patil & Atrey, 2020)**, penelitian tahun 2019 oleh **(Alkan & Celebi, 2019)**. Kemudian penelitian tahun 2020 oleh **(Syafitri, dkk, 2020)**, melakukan pengiriman data titik koordinat dan hasil perhitungan jarak menggunakan metode Haversine dan LoRa sebagai teknologi komunikasi jarak jauh antar dua perangkat sistem.

Penelitian ini bertujuan untuk melakukan estimasi penentuan posisi dan jarak pada modul GPS menggunakan metode tapis Kalman. Pengukuran jarak dilakukan menggunakan metode Haversine. Berbeda dengan penelitian sebelumnya, pada artikel ini difokuskan untuk mengetahui akurasi pendeteksian posisi dan jarak berdasarkan perubahan parameter Q dan R pada algoritma tapis Kalman. Selain itu, metode ini diterapkan pada modul GPS BN-220 yang banyak digunakan untuk berbagai aplikasi *low-cost navigation*.

2. METODE PENELITIAN

2.1 Haversine

Haversine merupakan salah satu metode yang banyak digunakan dalam pengukuran jarak antar dua sumbu titik koordinat dengan data acuan garis bujur (*longitude*) dan garis lintang (*latitude*). Metode ini cukup akurat dan biasa digunakan untuk berbagai sistem navigasi karena dapat mengabaikan ketinggian dan kontur. Fungsi matematika pengukuran jarak menggunakan metode Haversine untuk konstanta nilai selisih antar titik koordinat, seperti yang ditunjukkan pada Persamaan (1). Perhitungan perpotongan antar sumbu, seperti yang ditunjukkan pada Persamaan (2). Sedangkan perhitungan jarak dalam tarikan garis lurus dengan mengabaikan ketinggian dan kontur, seperti yang ditunjukkan pada Persamaan (3).

$$a = \sin^2 \left[\frac{\Delta lat}{2} \right] + \cos(lat1) \cos(lat2) \sin^2 \left[\frac{\Delta long}{2} \right] \quad (1)$$

$$c = 2 \tan^{-1} 2(\sqrt{a}, \sqrt{1-a}) \quad (2)$$

$$d = Rc \quad (3)$$

Dimana Δlat adalah selisih *latitude*, $\Delta long$ adalah selisih *longitude*, c adalah perpotongan sumbu, R adalah jari-jari bumi (6371 Km), dan d adalah jarak dalam Km.

2.2 Tapis Kalman

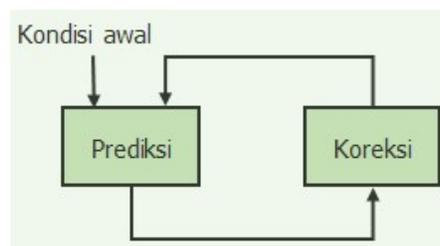
Tapis Kalman merupakan sebuah metode penyaringan yang bersifat rekursif dengan tujuan untuk meminimalisir sinyal gangguan dari pembacaan data yang diperoleh berdasarkan estimasi satu waktu sebelumnya dan data pengukuran saat ini, mengacu pada penelitian tahun 2020 oleh **(Ashari, dkk, 2020)**. Fungsi matematika tapis Kalman dideskripsikan sebagai estimasi varian minimum linier untuk urutan keadaan sistem dinamis, mengacu pada penelitian tahun 2018 oleh **(Xu, dkk, 2018)**. Sistem dinamis tapis Kalman dibagi menjadi dua, yaitu persamaan keadaan dan pengamatan. Fungsi matematika persamaan keadaan, seperti yang ditunjukkan pada Persamaan (4). Sedangkan pengamatan, seperti yang ditunjukkan pada Persamaan (5).

$$x(k) = Ax(k-1) + u(k) \quad (4)$$

$$z(k) = Hx(k) + v(k) \quad (5)$$

Dimana A adalah matriks transfer keadaan sistem, H adalah observasi matrik, $u(k)$ $v(k)$ adalah derau Gaussian rata-rata nol dengan kovarian Q dan kovarian R , $v(k) \sim N(0, Q)$, $u(k) \sim N(0, Q)$.

Secara umum, tahapan pada proses tapis Kalman dibagi menjadi dua, yaitu prediksi dan koreksi, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Tahapan proses tapis Kalman

Tahapan pada proses pertama, dilakukan prediksi terhadap persamaan keadaan dengan fungsi matematika seperti yang ditunjukkan pada Persamaan (6) dan Persamaan (7).

$$\hat{x}(k)^- = A\hat{x}(k-1) + u(k-1) \quad (6)$$

$$P(k)^- = AP(k-1)A^T + Q \quad (7)$$

Dimana $\hat{x}(k)^-$ adalah keadaan terprediksi dari nilai keadaan $\hat{x}(k)$, $P(k)^-$ adalah matriks kovarian dari galat nilai keadaan, dan Q adalah matriks kovarian derau proses. Setelah melalui tahap proses prediksi, kemudian dilakukan koreksi. Tahapan kedua pada proses koreksi dengan fungsi matematika seperti yang ditunjukkan pada Persamaan (8), Persamaan (9) dan Persamaan (10).

$$K(k) = P(k)^- H^T (HP(k)^- H^T + R)^{-1} \quad (8)$$

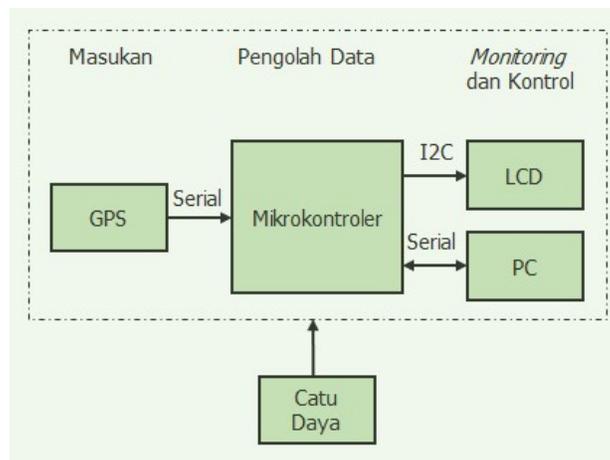
$$\hat{x}(k) = \hat{x}(k)^- + K(k)(z(k) - H\hat{x}(k)^-) \quad (9)$$

$$P(k) = (I - K(k)H)P(k)^- \quad (10)$$

Dimana $K(k)$ adalah penguatan Kalman dan R adalah matriks kovarian derau pengukuran. Setelah diperoleh nilai $K(k)$ maka nilai keadaan $\hat{x}(k)$ dan galat $P(k)$ dikoreksi menjadi nilai yang terestimasi.

2.3 Perancangan Perangkat Keras

Blok diagram perangkat keras elektronik dari sistem yang dibuat, seperti ditunjukkan pada Gambar 2. Sistem dibagi menjadi empat bagian, yaitu perangkat masukan, pengolah data, *monitoring* dan kontrol, serta catu daya. Komponen perangkat masukan menggunakan modul tipe BN-220 yang merupakan standar GPS pada sistem *drone*. GPS berfungsi memberikan data posisi titik koordinat *longitude* dan *latitude* secara serial asinkron *half duplex* ke pengolah data. Data posisi dari GPS dilakukan proses pengolahan data di mikrokontroler *platform* Arduino Nano dengan terlebih dahulu di filter Kalman. Selanjutnya dilakukan perhitungan jarak antara posisi titik koordinat sistem terhadap titik koordinat acuan *Google Maps*. Titik koordinat acuan *Google Maps* sebelumnya sudah tertanam sebagai konstanta di pengolah data. Informasi data hasil perhitungan jarak ditampilkan ke perangkat *monitoring* dan kontrol (LCD 16x2 secara serial sinkron I2C *half duplex*, dan PC secara serial asinkron *full duplex*).



Gambar 2. Blok diagram perangkat keras elektronik sistem

Selain itu PC juga berfungsi untuk menyimpan data maupun memberikan *request* pengiriman data. Sedangkan untuk catu daya sistem digunakan sumber tegangan dari baterai 9V yang telah diturunkan dan distabilkan melalui rangkaian regulator 5V pada modul Arduino Nano.

Pemilihan seluruh komponen elektronik yang digunakan telah melalui tahapan pengujian berdasarkan analisa perancangan untuk menghasilkan data luaran penelitian yang ditargetkan. Detail spesifikasi perangkat keras elektronik, seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1. Sedangkan konfigurasi antara pin I/O mikrokontroler dengan perangkat lainnya, seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 1. Spesifikasi perangkat keras elektronik sistem

No	Perangkat Keras	Spesifikasi
1	GPS	Tipe BN-220, <i>u-blox</i> M8030-KT, TTL serial asinkron 9600bps, 72 kanal, NMEA-0183
2	Mikrokontroler	Modul Arduino Nano, ATmega32p, UNO, ATmega328, regulator 5V, serial asinkron dan sinkron, PWM, I/O digital, ADC 10 bit
3	LCD	16x2, I2C, DC IN 5V
4	PC	32-bit, windows xp/7/8/10, usb serial asinkron
5	Catu Daya	baterai 9V, 1200mAh

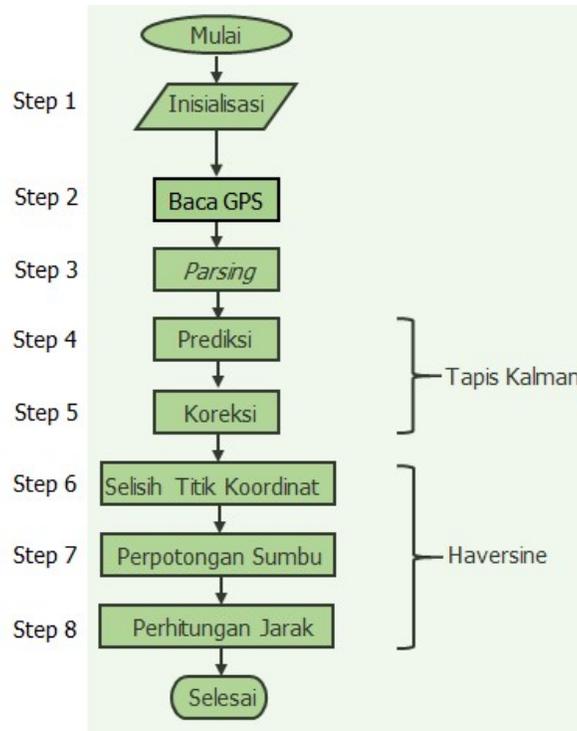
Tabel 2. Konfigurasi pin I/O mikrokontroler

No	Perangkat Keras	Pin I/O	Pin I/O Mikrokontroler (Arduino Nano)
1	GPS	GND	GND
		VCC +5V	VCC +5V
		RX	D5 (TX)
		TX	D6 (RX)
2	LCD	GND	GND
		VCC +5V	VCC +5V
		SDA	A4
		SCL	A5
3	PC	GND	GND
		VCC +5V	VCC +5V
		RX	D1(TX)
		TX	D0(RX)

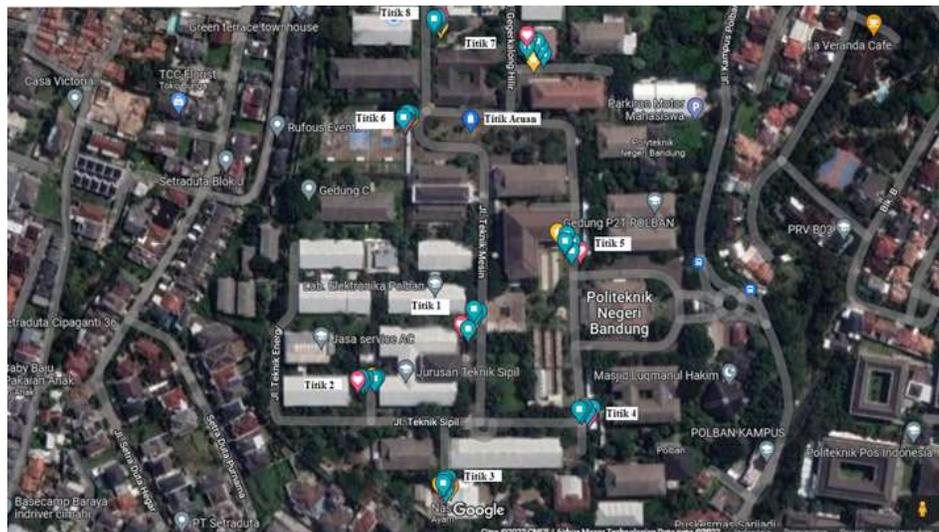
2.4 Perangkat Lunak

Tahapan proses perangkat lunak sistem dibagi menjadi dua bagian utama, yaitu algoritma tapis Kalman, dan Haversine seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3. Step1, inialisasi adalah proses kondisi algoritma tertanam di mikrokontroler dan terhubung ke seluruh perangkat pada posisi *default*, nilai konstanta data acuan titik koordinat (*Google Maps*), serta nilai konstanta parameter tapis Kalman R , Q dan $P(k-1)$. Step 2, pembacaan otomatis terus menerus gabungan paket data titik koordinat *longitude* dan *latitude* dari GPS BN-220. Step 3, *parsing* atau pemisahan gabungan paket data titik koordinat menjadi dua variabel paket data, yaitu paket data *longitude*, dan paket data *latitude*. Kedua variabel paket data tersebut menjadi data masukan untuk tapis Kalman. Proses pengolahan kedua variabel paket data digunakan algoritma tapis Kalman, seperti yang ditunjukkan pada step 4 dan step 5. Step 4, prediksi penguatan Kalman $K(k)$. Step 5, koreksi nilai keadaan saat ini $\hat{x}(k)$. Kedua variabel paket data hasil pengolahan tapis Kalman $\hat{x}(k)$ *longitude* dan $\hat{x}(k)$ *latitude* dilakukan proses perhitungan jarak menggunakan metode Haversine, seperti yang ditunjukkan pada step 6, step 7, dan step 8. Step 6, dilakukan pencarian nilai variabel a yang merupakan selisih nilai antara titik koordinat hasil pembacaan GPS dan acuan *Google Maps*. Step 7, dilakukan pencarian nilai perpotongan sumbu c dengan memasukan nilai variabel a ke

persamaannya. Step 8, dilakukan perhitungan jarak antara titik koordinat pembacaan GPS dan acuan *Google Maps*. Hasil poses perhitungan jarak d , merupakan perkalian hasil nilai perpotongan sumbu c dengan nilai konstanta jari-jari bumi.



Gambar 3. Diagram Alir Sistem



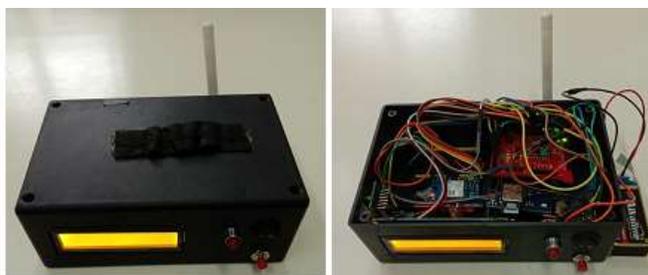
Gambar 4. Delapan titik pengujian terhadap titik acuan

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Implementasi

Setelah dilakukan perancangan perangkat keras dan lunak, kemudian sistem diuji untuk mengetahui kinerja secara keseluruhan. Pengujian dilakukan di ruang terbuka, lingkungan

Politeknik Negeri Bandung pada kondisi cerah. Pengujian dilakukan menjadi dua tahap, yaitu tanpa dan dengan tapis Kalman. Adapun jumlah pengujian dilakukan sebanyak 8 kali untuk masing-masing tahap. Detail lokasi setiap titik pengujian terhadap titik acuan, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4. Sedangkan realisasi perangkat keras sistem, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5. Pengujian dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui pengaruh penerapan tapis Kalman terhadap proses pendeteksian koordinat. Adapun titik acuan koordinat *Google Maps* -6,870884 dan 107,572657. Sedangkan untuk pengujian dengan tapis Kalman dilakukan lima kali kombinasi perubahan parameter Q dan R untuk setiap titik ujinya.



Gambar 5. Realisasi sistem

3.2 Pengujian Tanpa Tapis Kalman

Pengujian tanpa tapis Kalman dilakukan untuk mengetahui seberapa besar kesalahan (*error*) yang dihasilkan dari pendeteksian koordinat pada modul GPS jika dibandingkan dengan *Google Maps*. Pengujian dilakukan terhadap delapan titik uji yang mengacu pada koordinat acuan -6,870884 dan 107,572657. Kemudian jarak setiap titik dihitung menggunakan metode Haversine dan dibandingkan dengan jarak terukur pada *Google Maps*. Adapun hasil pengujian dilakukan untuk tanpa tapis Kalman seperti yang ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Pengujian jarak ke titik acuan tanpa tapis Kalman

Titik ke-	Jarak (m)		<i>Error (%)</i>
	<i>Google Maps</i>	Tanpa Kalman	
1	166,64	169,43	1,67
2	226,78	234,05	3,21
3	302,7	303,15	0,15
4	255,82	263,04	2,82
5	118,04	141,49	19,87
6	50,47	53,59	6,18
7	71,99	84,67	17,61
8	80,88	88,12	8,95
Rata-rata (%)			7,56

Berdasarkan hasil pengujian terhadap delapan titik uji, diperoleh bahwa sistem GPS yang telah dirancang menghasilkan rata-rata kesalahan sebesar 7,56% jika dibandingkan dengan *Google Maps*. Kesalahan terbesar diperoleh pada pengujian titik ke-5 yaitu sebesar 19,87% dan kesalahan terkecil terdeteksi pada titik ke-3 yaitu sebesar 0,15%.

3.3 Pengujian Dengan Tapis Kalman

Selanjutnya, pengujian dilakukan dengan menerapkan algoritma tapis Kalman pada mikrokontroler. Sama dengan pengujian sebelumnya, pengujian dilakukan terhadap delapan titik uji yang mengacu pada titik acuan -6,870884 dan 107,572657. Perbedaannya, pada

pengujian ini dilakukan dengan menerapkan tapis Kalman untuk berbagai kombinasi nilai Q dan R. Adapun hasil pengujian dengan tapis Kalman, seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Pengujian jarak ke titik acuan dengan tapis Kalman

Titik ke-	Q dan R	Jarak (m)		Error (%)
		Google Maps	Kalman	
1	Q = 1 R = 100	166,64	169,70	1,84
	Q = 0,5 R = 50		173,41	4,06
	Q = 0,1 R = 10		159,42	4,33
	Q = 1 R = 50		157,30	5,60
	Q = 1 R = 10		160,93	3,43
2	Q = 1 R = 100	226,78	229,09	1,02
	Q = 0,5 R = 50		231,23	1,96
	Q = 0,1 R = 10		233,34	2,89
	Q = 1 R = 50		227,41	0,28
	Q = 1 R = 10		232,08	2,34
3	Q = 1 R = 100	302,7	300,24	0,81
	Q = 0,5 R = 50		306,96	1,41
	Q = 0,1 R = 10		301,96	0,24
	Q = 1 R = 50		298,73	1,31
	Q = 1 R = 10		297,21	1,81
4	Q = 1 R = 100	255,82	256,64	0,32
	Q = 0,5 R = 50		260,57	1,86
	Q = 0,1 R = 10		260,01	1,64
	Q = 1 R = 50		256,58	0,30
	Q = 1 R = 10		257,94	0,83
5	Q = 1 R = 100	118,04	124,71	5,65
	Q = 0,5 R = 50		138,05	16,95
	Q = 0,1 R = 10		127,91	8,36
	Q = 1 R = 50		132,32	12,10
	Q = 1 R = 10		129,26	9,51
6	Q = 1 R = 100	50,47	48,32	4,26
	Q = 0,5 R = 50		52,06	3,15
	Q = 0,1 R = 10		54,25	7,49
	Q = 1 R = 50		50,45	0,04
	Q = 1 R = 10		51,47	1,98
7	Q = 1 R = 100	71,99	76,91	6,83
	Q = 0,5 R = 50		81,78	13,60
	Q = 0,1 R = 10		85,06	18,16
	Q = 1 R = 50		82,33	14,36
	Q = 1 R = 10		83,03	15,34
8	Q = 1 R = 100	80,88	86,88	7,42
	Q = 0,5 R = 50		85,79	6,07
	Q = 0,1 R = 10		87,46	8,14
	Q = 1 R = 50		87,81	8,57
	Q = 1 R = 10		84,84	4,90
Rata-rata (%)				5,27

Berdasarkan hasil pengujian dengan menerapkan tapis Kalman pada delapan titik uji, diperoleh bahwa sistem pendeteksian jarak menghasilkan rata-rata kesalahan sebesar 5,27% jika dibandingkan dengan *Google Maps*. Algoritma tapis Kalman dapat memperkecil kesalahan pendeteksian jarak sebesar 2,29% untuk berbagai kombinasi parameter Q dan R.

4. KESIMPULAN

Algoritma tapis Kalman dan Haversine telah berhasil dirancang dan diimplementasikan untuk mengestimasi jarak pada sistem koordinat GPS. Hasil pengujian estimasi jarak delapan titik uji terhadap titik acuan *Google Maps* dengan tapis Kalman menghasilkan selisih kesalahan 5,27%, lebih baik daripada tanpa tapis Kalman menghasilkan selisih kesalahan 7,56%. Sehingga dengan tapis Kalman dapat meningkatkan akurasi pendeteksian jarak sebesar 2,29% terhadap delapan titik uji untuk berbagai kombinasi nilai Q dan R. Akan tetapi, penentuan parameter Q dan R pada penelitian ini masih dilakukan secara coba-coba. Untuk meningkatkan akurasi pendeteksian jarak pada penelitian selanjutnya diperlukan optimasi perhitungan konstanta Q dan R.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih disampaikan kepada Pusat Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat (P3M) Politeknik Negeri Bandung atas dukungan dana pada Penelitian Mandiri dengan Nomor Kontrak: B/114.1/PL1.R7/PG.00.03/2022.

DAFTAR RUJUKAN

- Acharya, J., & Gaur, S. (2018). Edge compression of GPS data for mobile IoT. *2017 IEEE Fog World Congress, FWC 2017*, (pp. 1–6).
- Al Tahtawi, A. R., Andika, E., Yusuf, M., & Harjanto, W. N. (2020). Pengembangan Low-cost Quadrotor dengan Misi Waypoint Tracking Berbasis Pengendali PID. *ELKOMIKA: Jurnal Teknik Energi Elektrik, Teknik Telekomunikasi, & Teknik Elektronika*, 8(1), 189.
- Alkan, H., & Celebi, H. (2019). The Implementation of Positioning System with Trilateration of Haversine Distance. *IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, PIMRC*, (pp. 1–6).
- Ashari, A. A., Setiawan, E., & Syauqi, D. (2020). *Sistem Navigasi Waypoint Pada Robot Beroda Berdasarkan Global Positioning System Dan Filter Kalman*. 4(7), 2075–2082.
- Havelock, J., Oommen, B. J., & Granmo, O. C. (2018). Novel Distance Estimation Methods Using “Stochastic Learning on the Line” Strategies. *IEEE Access*, 6, 48438–48454.
- Li, X. (2019). A GPS-Based Indoor Positioning System with Delayed Repeaters. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 68(2), 1688–1701.
- Liu, X., Liu, X., Zhang, W., & Yang, Y. (2020). Interacting Multiple Model UAV Navigation Algorithm Based on a Robust Cubature Kalman Filter. *IEEE Access*, 8, 81034–81044.
- Muhammad, D., Hidayat, E. W., & Aldya, A. P. (2021). Rancang Bangun Media Informasi Jalur Angkot Kota Tasikmalaya Berbasis Augmented Reality Markerless GPS. *SAIS/Scientific Articles of Informatics Students*, 4(1), 35–41.
- Nwadiugwu, W. P., Kim, S. H., & Kim, D. S. (2021). Precise-point-positioning estimations for

- recreational drones using optimized cubature-extended kalman filtering. *IEEE Access*, *9*, 134369–134383.
- Patil, V., & Atrey, P. K. (2020). GeoSecure-R: Secure Computation of Geographical Distance using Region-anonymized GPS Data. *Proceedings - 2020 IEEE 6th International Conference on Multimedia Big Data, BigMM 2020*, (pp. 28–36).
- Song, W. (2020). An integrated GPS/vision UAV navigation system based on Kalman filter. *Proceedings of 2020 IEEE International Conference on Artificial Intelligence and Information Systems, ICAIIS 2020*, (pp. 376–380).
- Supriyadi, T., Salsabila, A., Solihin, R., Hanifatunnisa, R., Setiadi, B., & Afni, S. (2021). Position Coordination Aid for Blind Persons Based on LoRa Point to Point. *Proceedings of the 2nd International Seminar of Science and Applied Technology (ISSAT 2021)*, (pp. 310–315).
- Syafitri, N., Susana, R., Ammarprawira, I. F., Fauzi, M. S., & Jabbaar, A. A. (2020). The Autonomous Disaster Victim Search Robot using the Waypoint Method. *ELKOMIKA: Jurnal Teknik Energi Elektrik, Teknik Telekomunikasi, & Teknik Elektronika*, *8*(2), 347.
- Xu, Y., Xu, K., Wan, J., Xiong, Z., & Li, Y. (2018). Research on Particle Filter Tracking Method Based on Kalman Filter. *Proceedings of 2018 2nd IEEE Advanced Information Management, Communicates, Electronic and Automation Control Conference, IMCEC 2018, Imcec*, (pp. 1564–1568).
- Zhou, X., Xu, X., Yao, Y., & Zhao, H. (2021). A Robust Quaternion Kalman Filter Method for MIMU/GPS In-Motion Alignment. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, *70*, 1-9.