

# Penerapan Filter Kalman untuk Estimasi Jarak dan Posisi pada Lokalisasi *Outdoor* berbasis RSSI dengan Komunikasi LoRa

MUSAYYANAH, CHARISMA DIMAS AFFANDI, KRISTIN LEBDANINGRUM

Teknik Komputer, Universitas Dinamika, Indonesia  
Email : musayyanah@dinamika.ac.id

Received 9 Juni 2023 | Revised 26 Juni 2023 | Accepted 27 Juli 2023

## ABSTRAK

*Wireless Sensor Network (WSN) merupakan jaringan nirkabel terdiri dari kumpulan node sensor tersebar di lingkungan observasi, saling berkomunikasi sesuai dengan algoritma komunikasi. Salah satu penerapan WSN adalah lokalisasi berbasis RSSI. RSSI merupakan hasil lokalisasi yang bersifat fluktuatif disebabkan oleh fenomena multipath fading, sehingga berpengaruh terhadap hasil lokalisasi. Artikel ini menerapkan Filter Kalman (FK) untuk lokalisasi Outdoor berbasis RSSI dengan komunikasi LoRa untuk lima Node Diam (ND) dan empat Node Anchor (NA). Pengujiannya terdiri dari membandingkan FK dengan tanpa FK, dan FK dengan metode Normalisasi. FK dapat memperbaiki akurasi pada estimasi jarak dan posisi. FK memperbaiki akurasi estimasi jarak sebesar 0,57% untuk ND1; 0,19% untuk ND2; 4,59% untuk ND3; 0,73% untuk ND4 dan 20,11% untuk ND5. Pada estimasi posisi, FK dapat meningkatkan akurasi sebesar 2,45% untuk ND1; 11,19% untuk ND2; 6,03% untuk ND3; 7,64% untuk ND4; dan 5,42% untuk ND5. Selain itu, FK dapat memperbaiki akurasi 15,94% untuk ND1; 3,41% untuk ND 2 dan 15,76% untuk ND 4 terhadap metode Normalisasi.*

**Kata kunci:** Filter Kalman, Localization, LoRa, RSSI, Wireless Sensor Network

## ABSTRACT

*Wireless Sensor Network (WSN) is a wireless network consisting of sensor nodes spread across an observation environment, communicating with others separately according to a communication algorithm. In addition, one of the WSN applications is RSSI-based localization. RSSI is the development of localization which fluctuates due to the multipath fading phenomenon, thus affecting the localization results. This article executes a Kalman Filter (KF) for RSSI-based Outdoor localization with LoRa communication for five Diam Nodes (ND) and four Anchor Nodes (NA). The experiment involves comparing KF with neither KF nor the Normalization method. KF can improve the accuracy of distance and location estimation. FK increases the distance estimation accuracy by 0,57% for ND1; 0,19% for ND2; 4,59% for ND3; 0,73% for ND4; and 20,11% for ND5. For ND1, ND2, ND3, ND4, and ND5, KF can improve position estimation accuracy by 2,45%, 11,19%, 6,03%, 7,64%, 5,42%, and 2,45%, respectively. In addition, KF can increase accuracy by 15,94% for ND1, 3,41% for ND2, and 15,76% for ND4 in comparison to the Normalization approach.*

**Keywords:** Kalman Filter, Localization, LoRa, RSSI, Wireless Sensor Network

## 1. PENDAHULUAN

*Wireless Sensor Network* (WSN) merupakan topik penelitian yang melibatkan banyak perangkat sensor berdaya rendah dan jarak jangkauannya jauh, serta dilengkapi dengan pengaturan algoritma komunikasi antar perangkat. WSN memfasilitasi pengembangan sensor cerdas berukuran kecil dan murah yang saling berkomunikasi dengan komputasi dan pemrosesan data yang terbatas (**Yick, dkk, 2008**). Penerapan WSN digunakan untuk pemantauan objek, area, dan objek-area. Salah satu contoh pemantauan objek adalah mendeteksi posisi atau jarak dari sebuah objek seperti oleh Will dan tim (**Will, dkk, 2009**). Pemantauan area untuk mengestimasi kesuburan tanah dan waktu panen hasil pertanian dilakukan oleh Rathinam dan tim (**Rathinam, dkk, 2019**). Implementasi WSN untuk pemantauan objek-area yang diteliti oleh Dieng dan tim (**Dieng, dkk, 2019**) untuk *monitoring* kebiasaan hewan ternak di Afrika dengan mengamati perpindahan hewan ternak tersebut.

Transmisi perangkat WSN di luar ruangan merupakan salah satu tantangan dalam penelitian. Lingkungan *outdoor* merupakan lingkungan terbuka yang dipengaruhi oleh kondisi alam seperti cuaca, keberadaan pohon, air, dan makhluk hidup bergerak. Lingkungan *outdoor* cenderung mengalami perubahan kondisi yang lebih dinamis dibandingkan dengan lingkungan *indoor* (**Liao, dkk, 2022**). Oleh sebab itu, perangkat WSN perlu memperhatikan kondisi lingkungan ketika mengukur data agar lebih akurat. Penghalang pada lingkungan *outdoor* menyebabkan terjadinya peredaman dan fluktuasi sinyal. Peredaman yang terjadi mengakibatkan prediksi jarak tidak dapat dilakukan dengan akurat (**Lam, dkk, 2017**). Sehingga, perlu adanya model atau metode matematis yang dapat meningkatkan akurasi dari prediksi tersebut.

Lokalisasi merupakan teknik penentuan posisi dari objek, dengan media komunikasi nirkabel seperti *bluetooth*, *wifi*, *zigbee*, NB-IoT, SigFox dan LoRa. Pada penelitian ini, peneliti menggunakan media komunikasi LoRa, karena LoRa merupakan salah satu protokol *Low Power Wide Area Network* (LPWAN) yang mampu berkomunikasi sejauh 20 km dengan daya transmisi kurang dari 14dB. Saat ini, LoRa banyak dikembangkan oleh akademisi dan industri (**Kamal, dkk, 2023**). LoRa mampu berkomunikasi dengan 1.500 sensor LoRa pada kanal yang sama (**Lavric, 2019**). Penelitian yang menganalisis LoRa untuk lokalisasi berbasis RSSI telah diamati oleh Muladi dan tim (**Muladi, dkk, 2022**) serta Quispetupa dan tim (**Quispetupa, dkk, 2022**). Penelitian tersebut menyimpulkan bahwa LoRa juga dapat mengalami peredaman yang besar sekitar -102,5dB di lingkungan *outdoor* sejauh 500 meter. Selain itu, implementasi LoRa digunakan untuk komunikasi *multihop* jarak jauh di daerah pesisir pantai sebagai telemetri pada penelitian Puspitorini dan tim (**Puspitorini, dkk, 2023**).

Penelitian terbaru terkait lokalisasi LoRa berbasis RSSI di lingkungan *outdoor* dan *indoor*, telah diteliti oleh Onykienko dan tim (**Onykienko, dkk, 2022**) serta Mahmud dan tim (**Mahmud, dkk, 2021**). Parameter RSSI mempengaruhi hasil lokalisasi pada estimasi posisi atau jarak. Nilai RSSI menjadi tidak stabil, dikarenakan adanya penghalang di sekitar lingkungan observasi seperti pohon atau bangunan tinggi. Hal ini disebabkan oleh adanya refleksi atau *noise* pada fenomena *multipath fading*, sehingga menyebabkan adanya kesalahan dalam estimasi posisi atau jarak. Penentuan posisi sebuah objek dari lokalisasi dapat dilakukan secara dua dimensi (2D) dan tiga dimensi (3D). Lokalisasi 2D untuk posisi *latitude* dan *longitude* dari objek atau disebut dengan metode Trilaterasi, sedangkan 3D untuk *latitude*, *longitude* dan *altitude* dikenal metode Multilaterasi. Multilaterasi dapat memperbaiki kesalahan estimasi posisi dibandingkan dengan Trilaterasi (**Ismail, dkk, 2022**).

Salah satu upaya untuk meminimalisir kesalahan dari sebuah proses estimasi tersebut adalah dengan menambahkan metode tapis seperti Filter Kalman (FK), Filter Moving Average (FMA), dan Filter Hanin (FH). Filter Kalman merupakan metode estimasi matematika yang dapat memprediksi keadaan data yang akan datang. Jenis FK terdiri dari *Extended Kalman Filter* (EKF), *Ensemble Kalman Filter* (EnKF), dan *Unscented Kalman Filter* (UKF). FK dapat menghilangkan *noise* dari kerja sensor atau menstabilkan nilai dengan cara memberikan inisialisasi awal. FK diterapkan untuk menyelesaikan permasalahan akurasi kinerja sensor GPS yang diteliti oleh Setiadi dan tim (**Setiadi, dkk, 2023**), analisis suhu udara pada penelitian Tengger dan Ropiudin (**Tengger & Ropiudin, 2019**), analisis sensor odometer diteliti oleh Chalifatullah dan tim (**Chalifatullah, dkk, 2022**), analisis sensor pengukur kolesterol diteliti oleh Romadhoni dan tim (**Romadhoni, dkk, 2022**), sensor pengendali keseimbangan robot diteliti oleh Ma dan tim (**Ma, dkk, 2020**), dan rangkaian *ladder* untuk pengembangan ultrakapasitor pengganti baterai yang diteliti oleh Afandi dan tim (**Afandi, dkk, 2022**). Selain itu, FK juga diaplikasikan pada WSN untuk *tracking* pasien Alzheimer (**Prasetyo, Aries Imanuddin, dkk, 2017**) dan lokalisasi robot di bawah air (**Ko & Kim, 2012**).

Lokalisasi *indoor* berbasis RSSI memanfaatkan FK untuk memperkecil tingkat fluktuasi dari RSSI. Penelitian yang dilakukan oleh Ibew dan Pande (**Ibwe & Pande, 2022**) mendalami FK pada komunikasi LPWAN *Bluetooth Low Energy* (BLE), Zigbee dan LoRa. FK memberikan hasil 22% lebih baik pada lokalisasi LoRa dibandingkan dengan komunikasi LPWAN yang lain. Pada (**Kausa & Chattaraj, 2022**) membandingkan lokalisasi FK dengan tanpa FK. Penelitian tersebut menyimpulkan dengan adanya FK hasil lokalisasi menjadi lebih baik.

Tantangan Lokalisasi berbasis RSSI adalah memperoleh tingkat kesalahan estimasi yang rendah. Artikel ini merupakan kelanjutan dari penelitian (**Musayyanah, dkk, 2023**) yang menggunakan metode Normalisasi untuk meminimalisir *error*. Metode Normalisasi merupakan metode yang membagi hasil estimasi posisi dengan posisi aktual, yang mampu menurunkan *error* lokalisasi sebesar 15,22%. Artikel ini akan membandingkan hasil estimasi posisi FK dengan Normalisasi.

Tujuan dari artikel ini adalah menerapkan FK pada lokalisasi *outdoor* berbasis RSSI dari komunikasi LoRa. FK dapat memperhalus hasil pengukuran RSSI pada LoRa, sehingga kesalahan pada estimasi posisi atau jarak dapat diperkecil. Estimasi posisi dilakukan dengan teknik lokalisasi 3D. RSSI dikonversi menjadi jarak dengan model *log-distance path loss*. Kontribusi dari penelitian ini adalah menganalisis dan membandingkan pengaruh FK dengan metode Normalisasi terhadap hasil taksiran posisi dan jarak dari lima Node Diam (ND) terhadap jarak Node Anchor (NA).

## 2. METODE

Penelitian ini berfokus untuk memperkecil tingkat kesalahan estimasi jarak dan posisi pada penelitian sebelumnya dengan menggunakan Filter Kalman. Adapun, tiga tahapan yang telah dilakukan oleh peneliti yaitu perancangan perangkat keras, pengoptimalan filterisasi pada RSSI, pengujian estimasi posisi dan jarak dari lokalisasi outdoor dengan komunikasi LoRa. Tahapan tersebut digambarkan dengan jelas pada Gambar 1.

Tahapan pertama yang dilakukan pada penelitian ini adalah peneliti merancang perangkat keras yang akan digunakan seperti Node Diam (ND) dan Node Anchor (NA). Tahapan kedua adalah penerapan Filter Kalman pada hasil pengukuran RSSI dari perangkat keras. Tahapan terakhir merupakan estimasi jarak dan posisi dari RSSI tersebut pada Lokalisasi *Outdoor*. Detail dari masing-masing tahapan tersebut dijelaskan pada Gambar 1.



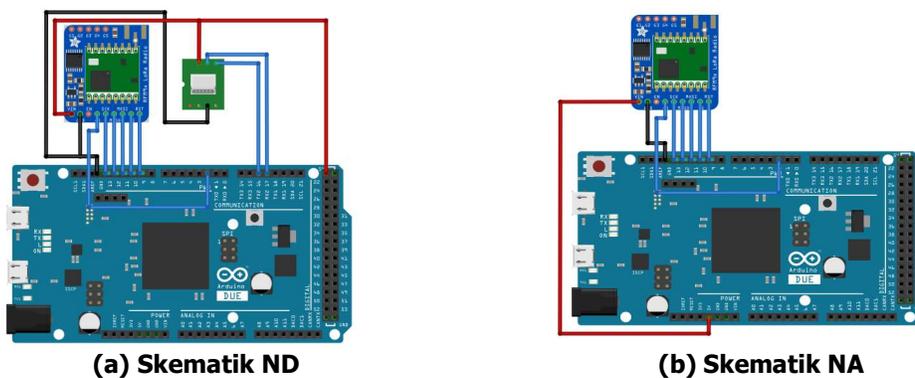
Gambar 1. Tahapan Penelitian

## 2.1 Perancangan Perangkat Keras

Perangkat keras penelitian ini meliputi ND dan NA. Masing-masing ND terdiri dari mikrokontroler Arduino Due, sensor GPS, dan modul LoRa jenis *end device*. Masing-masing NA terdiri dari mikrokontroler Arduino dan modul LoRa *end device*. ND mengirimkan data posisi GPS kepada NA sesuai dengan algoritma penjadwalan. NA akan menerima data dari ND dan mengestimasi posisi ND dengan teknik lokalisasi multilaterasi (**Musayyanah, dkk, 2023**). Spesifikasi dari perangkat keras terlihat pada Tabel 1. Rangkaian skematik dari ND dan NA terlihat pada Gambar 2. Konfigurasi pin *input* dan *output* pada perangkat keras tertera pada Tabel 2.

Tabel 1. Spesifikasi Perangkat Keras ND dan NA

Perangkat	Spesifikasi
Mikrokontroler Arduino Due	Mikrokontroler AT91SAM3X8E; Operating Voltage 3.3 V; Digital I/O 54; Falas Memori 512KB; SRAM 96KB.
Sensor GPS	Tipe Ublox Neo 6M; Operating Voltage 5-3V; Antena Eksternal GPS SS-011; Frekuensi antenna 1575.42MHz.
Modul Komunikasi LoRa	Tipe Hope RFM 3x frekuensi 915MHz; Antena omnidirectional frekuensi 915 MHz; Gain Antena 2dBi.



Gambar 2. Rangkaian Skematik Perangkat Keras

**Tabel 2. Konfigurasi I/O dari Perangkat Keras**

No	Perangkat Keras ND	Pin I/O	Pin I/O Arduino Due
1	LoRa	VCC	VCC
		GND	GND
		MOSI	D11
		MISO	D12
		SCK	D13
		NSS	D10
		RST	D9
2	GPS	VCC	VCC
		GND	GND
		RX	D16
		TX	D17

## 2.2 Filter Kalman

Filter Kalman merupakan salah satu filter yang dapat mengoptimalkan hasil pengukuran data dengan memperkecil tingkat kesalahan estimasi jarak (**Setiadi, dkk, 2023**). Filter ini memprediksi dari waktu sebelumnya dengan pengukuran saat ini. Tahapan Filter Kalman terdiri dari prediksi dan *update*. Persamaan prediksi ditunjukkan pada Persamaan (1) dan (2) sedangkan *update* pada Persamaan (3)- (5).

$$RSSI_{t|t-1} = RSSI_{t-1|t-1} \quad (1)$$

$$P_{t|t-1} = P_{t-1|t-1} + Q_t \quad (2)$$

$$\widehat{RSSI}_{t|t} = \widehat{RSSI}_{t|t-1} + K_t(RSSI_i - RSSI_{t|t-1}) \quad (3)$$

$$K_t = \frac{P_{t|t-1}}{(P_{t|t-1} + R_t)} \quad (4)$$

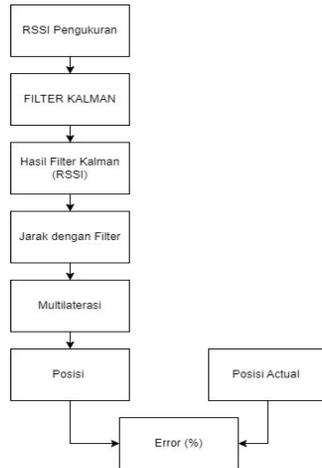
$$P_t = (I - K_t)P_{t|t-1} \quad (5)$$

Nilai  $Q_t = 0,2$  dan  $R_t = 1$ . Penentuan  $Q_t$  dan  $R_t$  sesuai dengan jumlah data dan hasil percobaan.  $RSSI_{t|t-1}$  adalah nilai estimasi awal dari pengukuran,  $RSSI_i$  didapatkan dari hasil pengukuran pada saat itu,  $K_t$  adalah *gain* dari Kalman dan  $P_t$  matriks varian dari Kalman. Tahapan dari FK pada penelitian ini terdiri dari penerapan FK untuk estimasi posisi pada Gambar 3 dan tahapan FK untuk estimasi jarak pada Gambar 4. Luaran dari proses FK dari salah satu ND ditunjukkan pada Gambar 5. Raw data (data pengukuran) merupakan hasil pengukuran RSSI yang ditandai dengan grafik warna biru, sedangkan grafik warna merah merupakan *output* RSSI dari proses FK. Grafik tersebut memperlihatkan bahwa penerapan FK dapat memperhalus nilai RSSI. Titik pada grafik biru menunjukkan nilai RSSI sebesar -100dBm, artinya RSSI mengalami peredaman. Hal ini dikarenakan faktor *multipath fading* yang terjadi akibat kondisi cuaca atau adanya halangan di lapangan observasi. Titik grafik merah mengalami kenaikan nilai menjadi -98,42dB, pengaruh dari dari FK, yang dapat memperbaiki nilai redaman tersebut.

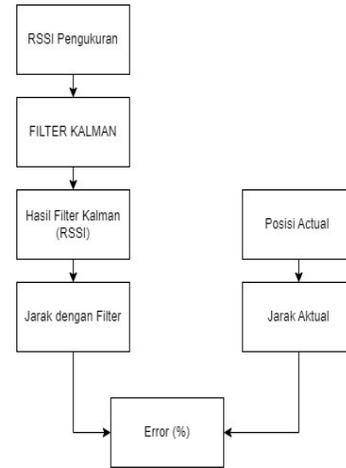
Filter Kalman diterapkan untuk estimasi jarak atau posisi yang dapat mempengaruhi hasil lokalisasi dari sebuah node. Analisis dari penerapannya adalah membandingkan konversi jarak dengan Filter Kalman terhadap jarak sebenarnya dari ND. Perbandingan tersebut dihitung dengan RMSE pada Persamaan (6).

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{n=1}^N (d_{ak} - \widehat{d}_{fil_i})^2}{N}} \quad (6)$$

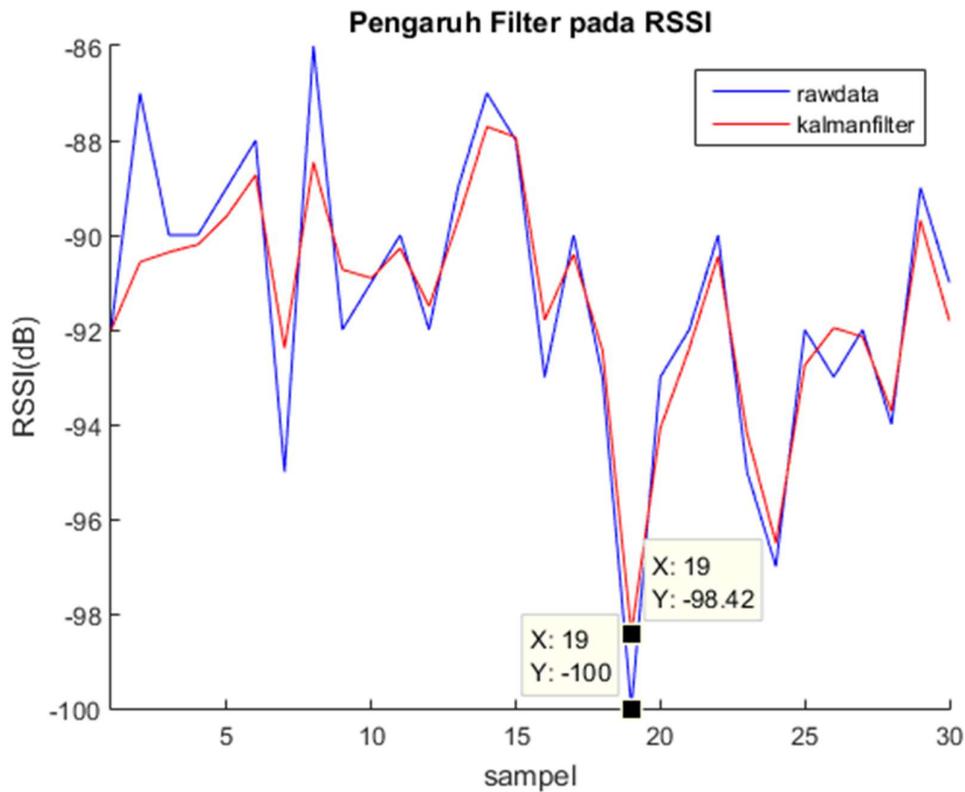
$d_{ak}$  merupakan jarak aktual ND. Jarak aktualnya diperoleh dari hasil dari pengukuran GPS Garmin.  $\widehat{d}_{fil_i}$  merupakan konversi jarak dari proses Filter Kalman, dan N adalah jumlah pengukuran.



Gambar 3. Tahapan FK Estimasi Posisi



Gambar 4. Tahapan FK Estimasi Jarak



Gambar 5. Pengaruh Proses Filter Kalman pada RSSI

### 2.3 Teknik Lokalisasi *Outdoor* dengan Komunikasi LoRa

Penelitian ini terdiri dari lima ND dan empat NA yang tersebar di lingkungan observasi wisata dengan luas 147x128 meter persegi. Lingkungan observasi merupakan salah satu wisata yang ramai pengunjung, dimana keberadaan pengunjung disebut sebagai *obstacle* yang mempengaruhi hasil RSSI. Pengujian estimasi posisi dan jarak dari lokalisasi terlihat pada Gambar 6. Koordinat posisi ND dan NA disesuaikan dengan posisi ramainya pengunjung pada lingkungan tersebut. Selain itu, skenario posisi ND dan NA juga memperhatikan koordinat *altitude* yang dibutuhkan untuk lokalisasi 3D. NA terdiri dari empat node sesuai dengan persamaan multilaterasi pada Persamaan (10), posisi 3D dari NA sebagai data inputan pada matrik B. Sedangkan jumlah ND merupakan posisi wisatawan dengan memperhatikan posisi *longitude, latitude dan altitude*. Posisi ND yang akan diprediksi dengan lokalisasi. Penelitian ini tidak memperhatikan posisi ataupun arah antena dari masing-masing node.



Gambar 6. Posisi ND dan NA

Berdasarkan lingkungan observasi terdapat penghalang seperti pohon, bangunan tinggi dan ramainya pengunjung, yang dapat mempengaruhi hasil dari pengukuran RSSI. Nilai RSSI dapat berfluktuasi dikarenakan adanya fenomena *multipath fading* atau *noise* dari perangkat keras, sehingga mempengaruhi hasil lokalisasi. Berdasarkan *log distance path loss*, nilai RSSI dapat dikonversi menjadi jarak. Nilai RSSI berpengaruh terhadap keakuratan dari konversi jarak. Selain itu, parameter koefisien *path loss* ( $n$ ) memberikan pengaruh pada hasil konversi tersebut.

$$n = \frac{RSSI_{ref} - RSSI_i}{10 \log\left(\frac{d}{d_{ref}}\right)} \quad (6)$$

Nilai  $RSSI_{ref}$  -70,4dB.  $RSSI_i$  merupakan nilai RSSI dari pengukuran,  $d_{ref}$  sebesar 10 meter,  $d$  merupakan konversi jarak dari posisi ND dan NA. Pengukuran koefisien *path loss* dilakukan setiap ND dan NA sebanyak 30 kali. Tabel 3 merupakan rata-rata dari hasil pengukuran

koefisien *path loss*. Rata-rata dari nilai *path loss* dari Tabel 3 sesuai dengan ketentuan nilai *path loss* lingkungan urban *outdoor* (Siswandari, dkk, 2008).

**Tabel 3. Hasil Pengukuran Koefisien *Path Loss***

<i>Path Loss</i>	NA1	NA2	NA3	NA4
ND1	2,24	3,62	5,06	2,59
ND2	2,12	4,40	4,49	2,64
ND3	2,44	4,45	4,65	2,92
ND4	2,18	4,96	4,90	2,60
ND5	2,48	4,90	4,51	2,64
Rata-Rata	n = 3,54			

Konversi jarak pada Persamaan (7) menggunakan koefisien *path loss* (nilai n) pada Tabel 3. Estimasi jarak dengan Kalman dilakukan menggunakan RSSI luaran dari proses Filter Kalman.

$$\widetilde{d}_{fil_i} = d_{ref} 10^{\left(\frac{RSSI_{ref} - RSS_i}{10n}\right)} \quad (7)$$

Parameter  $\widetilde{d}_{fil_i}$  merupakan estimasi konversi jarak dari proses Filter Kalman. Persamaan estimasi posisi ditunjukkan pada Persamaan (8) – (11).

$$\mathbf{A} = \mathbf{B}^{-1} \mathbf{C} \quad (8)$$

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} x_{ND} \\ y_{ND} \\ z_{ND} \end{bmatrix} \quad (9)$$

$$\mathbf{B}^{-1} = \begin{bmatrix} 2(x_1 - x_2) & 2(y_1 - y_2) & 2(z_1 - z_2) \\ 2(x_2 - x_3) & 2(y_2 - y_3) & 2(z_2 - z_3) \\ 2(x_2 - x_4) & 2(y_2 - y_4) & 2(z_2 - z_4) \end{bmatrix} \quad (10)$$

$$\mathbf{C} = \begin{bmatrix} (x_1^2 - x_2^2) + (y_1^2 - y_2^2) + (z_1^2 - z_2^2) + (d_2^2 - d_1^2) \\ (x_2^2 - x_3^2) + (y_2^2 - y_3^2) + (z_2^2 - z_3^2) + (d_3^2 - d_2^2) \\ (x_2^2 - x_4^2) + (y_2^2 - y_4^2) + (z_2^2 - z_4^2) + (d_4^2 - d_2^2) \end{bmatrix} \quad (11)$$

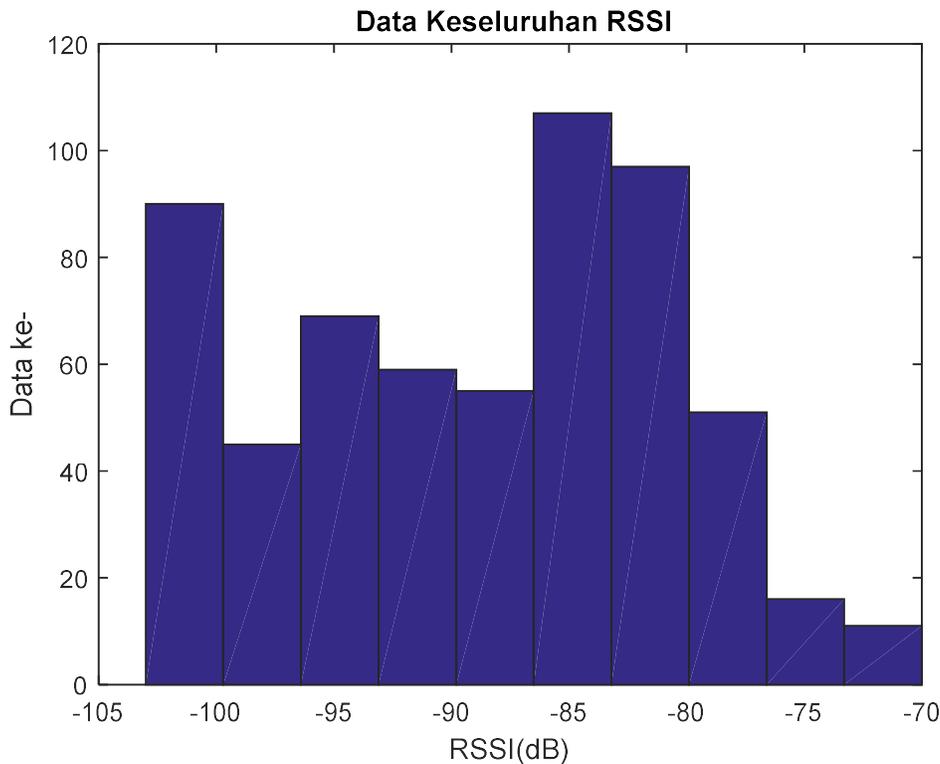
$\mathbf{B}^{-1}$  merupakan matriks data posisi GPS dari keempat NA.  $\mathbf{C}$  adalah matriks data posisi GPS dari NA dan data jarak dari RSSI hasil FK. Setelah menemukan nilai matriks  $\mathbf{B}^{-1}$  dan  $\mathbf{C}$ , maka matriks  $\mathbf{A}$  dapat dihitung dengan operasi perkalian matriks. Setelah matriks  $\mathbf{A}$  didapatkan, selanjutnya menghitung tingkat kesalahan estimasi posisi  $(x_{ND}, y_{ND}, z_{ND})$  terhadap posisi aktual dari masing-masing ND  $(x_{ak}, y_{ak}, z_{ak})$  dengan MSE pada Persamaan (12). MSE dijadikan sebagai analisa pengaruh Filter Kalman terhadap lokalisasi LoRa terutama estimasi posisi.

$$MSE = \sqrt{(x_{ak_j} - x_{ND_j})^2 + (y_{ak_j} - y_{ND_j})^2 + (z_{ak_j} - z_{ND_j})^2} \quad (12)$$

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis dari artikel ini terdiri dari dasar penerapan Filter Kalman, pengaruh Filter Kalman pada konversi jarak dan pengaruh Filter Kalman terhadap estimasi posisi ND. Hasil salah satu pengukuran RSSI ND sebanyak 120 data ditunjukkan pada Gambar 7. Jumlah keseluruhan

data dari penelitian ini adalah 600 data, dimana masing-masing pengukuran ND terhadap masing-masing NA sebanyak 30 data. Setiap ND menerima 30 data dari masing-masing empat NA, dimana sampel data penelitian kuantitatif statistik minimal 30 data. Sehingga total data yang diterima oleh ND adalah 120 data. Penelitian ini menggunakan lima ND maka total data keseluruhan 600 data. Nilai RSSI dengan satuan dBm pada Gambar 7 bernilai negatif, dimana nilai negatif artinya sinyal yang diterima lemah mengalami peredaman, dikarenakan adanya hambatan di lingkungan observasi.



Gambar 7. Data Keseluruhan RSSI

Tabel 4. Rata-Rata dan *Standart* Devisiasi RSSI

RSSI (dB)	Mean RSSI				Standart Devisiasi			
	NA1	NA2	NA3	NA4	NA1	NA2	NA3	NA4
ND1	-81,55	-81,65	-80,84	-96,34	2,31	4,06	3,33	1,68
ND2	-84,52	-76,73	-85,88	-101,38	4,81	4,24	2,79	0,68
ND3	-82,53	-85,87	-98,26	-102,26	4,81	7,23	2,70	0,64
ND4	-92,92	-85,86	-85,88	-99,59	3,33	5,08	2,90	1,11
ND5	-91,97	-82,32	-88,57	-95,62	2,96	4,42	4,40	1,89
Rata-Rata	-89,03				3,27			

Tabel 4 membuktikan adanya simpangan pada data pengukuran RSSI, dikarenakan adanya fenomena *multipath fading* yang berpengaruh terhadap hasil RSSI. Simpangan tersebut berpengaruh terhadap proses lokalisasi terutama untuk prediksi jarak dan posisi dari ND. Maka dari itu, ditambahkan metode untuk memperkecil simpangan tersebut dengan filter, salah satunya Filter Kalman.

Penerapan Filter Kalman pada penelitian ini ditekankan pada estimasi jarak dan estimasi posisi. Jarak antar ND terhadap NA ditunjukkan pada Tabel 5. Selanjutnya, jarak dari hasil penerapan Filter Kalman akan dibandingkan dengan jarak tanpa filter seperti pada Tabel 6.

**Tabel 5. Jarak Aktual ND terhadap NA**

Jarak Aktual	d1 (m)	d2(m)	d3(m)	d4(m)
ND1	73,75	35,46	54,61	92,26
ND2	74,07	51,29	45,49	76,26
ND3	59,52	23,35	105,72	129,00
ND4	86,64	41,09	46,16	96,44
ND5	74,07	51,29	45,49	76,26

Tabel 6 merupakan hasil penerapan Filter Kalman pada variabel jarak, keterangan TF merupakan hasil RMSE dari pengukuran tanpa Filter Kalman sedangkan keterangan FK adalah hasil RMSE dengan Filter Kalman. Implementasi FK pada estimasi jarak untuk ND1 memperbaiki kesalahan sebesar 0,57%, pada ND2 sebesar 0,19%, pada ND 3 sebesar 4,59%, pada ND 4 sebesar 0,73%, dan pada ND 5 sebesar 20,11%. Hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa FK dapat meningkatkan hasil estimasi jarak lebih baik dibandingkan tanpa filter.

**Tabel 6. Penerapan Kalman pada Konversi Jarak**

RMSE (m)	ND 1		ND 2		ND 3		ND 4		ND 5	
	TF	FK								
d_NA1	50,91	50,99	46,31	47,04	34,31	34,32	42,25	43,18	34,71	12,74
d_NA2	16,67	16,64	36,92	36,73	17,84	11,24	17,16	16,37	32,69	33,73
d_NA3	35,65	35,81	18,52	18,49	43,66	43,57	18,21	17,51	16,07	15,07
d_NA4	41,07	40,04	3,07	2,36	46,96	47,08	27,84	27,64	24,61	24,81
Rata-Rata	36,08	35,87	26,20	26,15	35,69	34,05	26,37	26,17	27,02	21,59

Implementasi FK juga berpengaruh terhadap estimasi posisi dari proses lokalisasi multilaterasi dengan kelima ND yang ditunjukkan pada Tabel 7. Tabel 7 menunjukkan bahwa FK memperbaiki proses estimasi posisi sebuah node, dari lokalisasi *outdoor* menggunakan LoRa. Estimasi posisi dibandingkan dengan posisi aktual dari ND menggunakan GPS Garmin. Posisi tiga dimensi dari ND adalah latitude, longitude dan altitude. Dari hasil Table 7, FK dapat meningkatkan estimasi posisi dari kelima ND, dibandingkan dengan tanpa FK. Peningkatan akurasi untuk ND1 sebesar 2,45%; untuk ND2 sebesar 11,19%; untuk ND3 sebesar 6,03%; untuk ND4 sebesar 7,64%; untuk ND5 sebesar 5,42%.

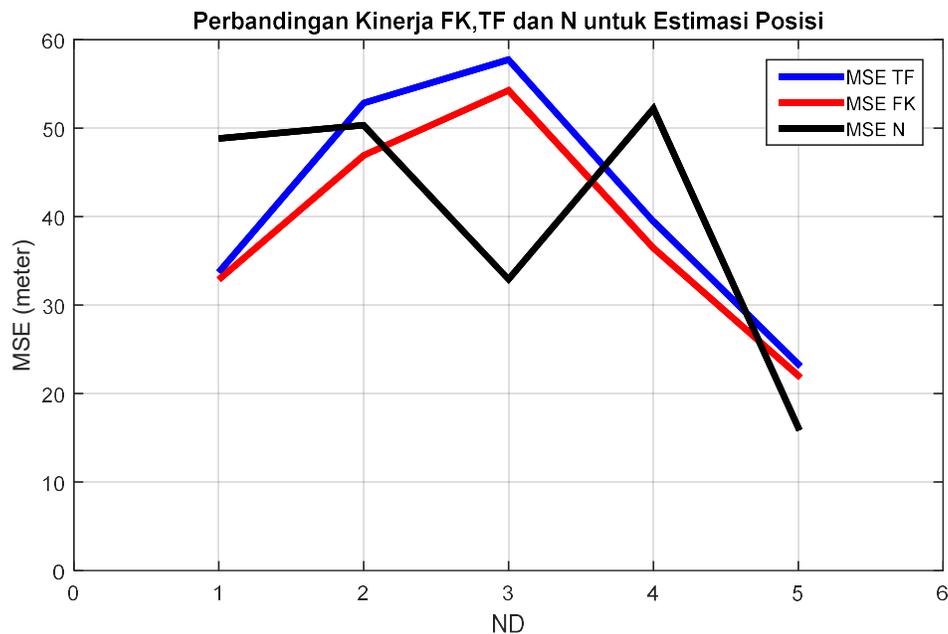
**Tabel 7. Penerapan Filter Kalman Untuk Estimasi Posisi Pada Lokalisasi *Outdoor***

No	ND 1		ND 2		ND 3		ND 4		ND 5	
	TF(m)	KF (m)	TF (m)	KF (m)						
1	35,91	35,81	47,94	46,86	78,11	78,11	108,56	108,56	15,01	15,01
2	31,32	31,21	44,36	42,66	50,64	50,39	28,22	27,87	24,33	24,14
3	23,84	23,70	48,42	46,33	51,72	49,76	18,91	18,07	16,93	16,49
4	26,30	26,11	53,60	47,54	43,35	41,11	22,35	20,84	24,48	23,84
5	22,26	22,04	52,45	46,31	64,52	61,47	26,83	25,29	21,84	21,06
6	38,47	37,77	52,04	45,10	55,67	51,91	43,74	41,55	30,51	29,52
7	32,68	31,76	56,31	48,55	61,37	56,01	24,13	20,74	25,97	24,48
8	39,51	37,71	55,65	47,71	59,42	53,45	38,67	32,73	23,11	21,53
9	50,02	48,17	58,45	49,10	57,03	50,94	40,61	34,17	24,20	21,26
10	36,89	34,64	59,03	48,98	55,62	49,50	42,77	34,80	26,80	23,21
Rata-rata	33,72	32,89	52,83	46,91	57,74	54,26	39,48	36,46	23,32	22,05

Salah satu kontribusi dari artikel ini adalah membandingkan hasil FK dengan metode Normalisasi. Tabel 8 merupakan hasil perbandingan pengaruh FK dengan Normalisasi untuk estimasi posisi pada lokalisasi berbasis RSSI. Metode Normalisasi merupakan salah satu metode yang dapat memperbaiki hasil lokalisasi dengan memanfaatkan jarak aktual dari ND terhadap NA. Hasil lokalisasi dengan Normalisasi pada penelitian sebelumnya, dapat meningkatkan akurasi lokalisasi untuk kelima ND sebesar 15,22%. Tabel 8 merupakan hasil perbandingan antara penerapan FK dengan penerapan Normalisasi pada lokalisasi outdoor komunikasi LoRa. FK hanya memberikan peningkatan akurasi untuk prediksi posisi ND 1, ND 2 dan ND 4. ND 1 akurasi meningkat sebesar 15,94%, ND 2 sebesar 3,41%, dan ND 4 sebesar 15,76%. Sedangkan untuk ND 3 dan ND 5, FK tidak memberikan peningkatan akurasi. Maka, FK hanya memberikan peningkatan akurasi sebesar 60% terhadap Normalisasi.

**Tabel 8. Perbandingan Filter Kalman dan Normalisasi pada Estimasi Posisi**

No	ND 1		ND 2		ND 3		ND 4		ND 5	
	KF (m)	N(m)								
1	35,81	26,18	46,86	46,43	78,11	16,13	108,56	37,17	15,01	10,03
2	31,21	45,19	42,66	47,16	50,39	19,39	27,87	37,56	24,14	12,61
3	23,70	45,26	46,33	47,27	49,76	23,85	18,07	52,95	16,49	13,25
4	26,11	48,03	47,54	49,11	41,11	24,21	20,84	53,03	23,84	16,01
5	22,04	50,82	46,31	49,78	61,47	26,57	25,29	53,91	21,06	16,23
6	37,77	51,22	45,10	50,80	51,91	26,57	41,55	54,58	29,52	16,33
7	31,76	52,96	48,55	51,65	56,01	45,73	20,74	55,90	24,48	16,50
8	37,71	56,06	47,71	53,33	53,45	45,81	32,73	55,97	21,53	17,61
9	48,17	56,08	49,10	53,37	50,94	50,03	34,17	60,40	21,26	21,04
10	34,64	56,47	48,98	54,28	49,50	50,88	34,80	60,78	23,21	22,24
Rata-rata	32,89	48,83	46,91	50,32	54,26	32,92	36,46	52,22	22,05	16,19



**Gambar 8. Perbandingan Kinerja FK, TF dan Normalisasi**

Gambar 8 merupakan grafik hasil prediksi posisi ND dengan FK, tanpa FK dan Normalisasi. Grafik tersebut menunjukkan bahwa penerapan FK dapat memperkecil tingkat kesalahan estimasi posisi dari ND, dibandingkan estimasi posisi tanpa penerapan FK. Hasil perbandingan FK dengan metode Normalisasi, yaitu FK hanya memberikan peningkatan akurasi 60% pada kelima ND terhadap Normalisasi. Penerapan metode tersebut untuk menekan tingkat kesalahan dari proses estimasi posisi pada lokalisasi outdoor berbasis RSSI. Namun, hasil penerapannya tidak memberikan peningkatan akurasi yang cukup signifikan. Hal ini dikarenakan pengukuran RSSI yang selalu berfluktuatif yang dipengaruhi oleh faktor-faktor kondisi lingkungan yang mempengaruhi kekuatan sinyal (RSSI) atau adanya hambatan propogasi sinyal antar node.

#### 4. KESIMPULAN

Pengaruh Filter Kalman pada lokalisasi berbasis RSSI dengan komunikasi LoRa dapat memperkecil tingkat kesalahan dalam mengestimasi jarak dan posisi dari Node Diam (ND) terhadap Node Anchor (NA). Filter Kalman memperbaiki kesalahan untuk estimasi jarak pada kelima ND sebesar 0,57%; 0,19%; 4,59%; 0,73%; dan 20,11%. Estimasi posisi dari kelima ND dengan Filter Kalman dapat meningkatkan akurasi dibandingkan dengan tanpa Filter Kalman sebesar 2,45%; 11,19%; 6,03%; 7,64%; dan 5,42%. Akurasi estimasi posisi dengan Filter Kalman terhadap metode Normalisasi meningkat sebesar 60%, untuk ND1 meningkat 15,94%; untuk ND 2 sebesar 3,41% dan 15,76% untuk ND 4.

#### DAFTAR RUJUKAN

Afandi, A., Windarko, N. A., Sumantri, B., & Fakhrudin, H. H. (2022). Estimasi State of Charge

- (SoC) Ultrakapasitor menggunakan Extended Kalman Filter Berbasis Ladder Equivalent Circuit Model. *ELKOMIKA: Jurnal Teknik Energi Elektrik, Teknik Telekomunikasi, & Teknik Elektronika*, 10(1), 61-75.
- Chalifatullah, F. A., Pambudi, W. S., & Masfufiah, I. (2022). Implementasi Moving Average dan Kalman Filter pada Wireless Odometer untuk Informasi Service Kendaraan Bermotor. *Jurnal Sistem Komputer dan Informatika (JSON)*, 4(1), 156-164.
- Dieng, O., Pham, C., & Thiare, O. (2019). Outdoor Localization and Distance Estimation Based on Dynamic RSSI Measurements in LoRa Networks: Application to Cattle Rustling Prevention. *International Conference on Wireless and Mobile Computing, Networking and Communications*, (pp.1-6).
- Ibwe, K., & Pande, S. (2022). Filtering Effect on RSSI-Based Indoor Localization Methods. *Tanzania Journal of Engineering and Technology*, 41(4), 169–182.
- Ismail, M. I. M., Dzyauddin, R. A., Kaidi, H. M., Izhar, M. A. M., Samsul, S., & Azmi, N. A. (2022). Comparison of Wireless Sensor Node Localisation Between Trilateration and Multi-Lateration Methods Using RSSI. *IEEE Symposium on Future Telecommunication Technologies (SOFTT)*, (pp. 97-102).
- Kamal, M. A., Alam, M. M., Abu, A., Sajak, B., & Mohd, M. (2023). Requirements , Deployments , and Challenges of LoRa Technology: A Survey. *Computational Intelligence and Neuroscience*, 2023, 1-15.
- Kausa, H., & Chattaraj, S. (2022). On some issues in Kalman filter based trilateration algorithms for indoor localization problem. *IEEE International Conference on Signal Processing, Informatics, Communication and Energy Systems (SPICES)*, (pp. 431-435).
- Ko, Y. N., & Kim, T. G. (2012). Comparison of Kalman filter and particle filter used for localization of an underwater vehicle. *International Conference on Ubiquitous Robots and Ambient Intelligence (URAI)*, (pp. 350-352 ).
- Lam, K.-H., Cheung, C.-C., & Lee, W.-C. (2017). LoRa-based localization systems for noisy outdoor environment. *International Conference on Wireless and Mobile Computing, Networking and Communications (WiMob)*, (pp. 278-284).
- Lavric, A. (2019). LoRa ( Long-Range ) High-Density Sensors for Internet of Things. *Journal of Sensors*, 2019, 1-9.
- Liao, X., Wang, S., Wang, Y., Che, Y., Zhou, J., & Zhang, J. (2022). Multipath Cluster-Assisted Single Station Localization Based on SSA-GA in Outdoor NLOS Environment. *Wireless Communications and Mobile Computing*, 2022, 1-9.
- Ma, A., Puriyanto, R. D., & Hasan, F. T. (2020). Robot Keseimbangan Dengan Kendali

- Proporsional-Integral-Derivatif ( PID ) dan Kalman Filter. *IT Journal Research and Development (ITJRD)*, 4(2), 117–127.
- Mahmud, M. I., Abdelgawad, A., Yanambaka, V. P., & Yelamarthi, K. (2021). Packet Drop and RSSI Evaluation for LoRa: An Indoor Application Perspective. *IEEE World Forum on Internet of Things*, (pp. 913-914).
- Muladi, M., Hadi, M. S., & Prasanta, M. R. (2022). RSSI and Packet Loss Analysis of LoRa on the Ground Surface Application. *International Conference on Electrical and Information Technology*, (pp. 140-145).
- Musayyanah, Kristalina, P., Triwidayastuti, Y., Susanto, P., & Hadi, M. Z. S. (2023). Distributed localization using normalized quadrilateration in LoRa networks: application for tourist position estimation. *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, 29(3), 1446–1455.
- Onykienko, Y., Popovych, P., Yaroshenko, R., Mitsukova, A., Beldyagina, A., & Makarenko, Y. (2022). Using RSSI Data for LoRa Network Path Loss Modeling. *International Conference on Electronics and Nanotechnology, ELNANO 2022 - Proceedings*, (pp. 576–580).
- Prasetyo, Aries Imanuddin, A. I., Yuliana, M., Kristalina, P., & Astawa Puja, I. G. (2017). Implementation of Kalman Filter method for tracking position of Alzheimer's patients. *International Conference on Smart Cities, Automation & Intelligent Computing Systems (ICON-SONICS)*, (pp. 135-140).
- Puspitorini, O., Mahmudah, H., Wijayanti, A. R. I., & Adi, N. U. R. (2023). Implementasi Telemetri dan Evaluasi Performansi Sistem Komunikasi Lora di Daerah Pesisir Pantai. *ELKOMIKA: Jurnal Teknik Energi Elektrik, Teknik Telekomunikasi, & Teknik Elektronika*, 11(1), 180–194.
- Quispetupa, D. A., Fernandez, J. P. T., & Quispe, R. (2022). An experimental evaluation of RSSI-LoRa in an olive tree plantations. *IEEE Engineering International Research Conference (EIRCON)*, (pp. 1-4).
- Rathinam, D. D. K., D. Surendran, A. Shilpa, A. Santhiya Grace, & J. Sherin. (2019). Modern Agriculture Using Wireless Sensor Network (WSN). *International Conference on Advanced Computing & Communication Systems (ICACCS)*, (pp. 515-519).
- Romadhoni, H. I., Maulana, R., & Widasari, E. R. (2022). Implementasi Analisis Perbandingan Filter Kalman , Moving Average dan Eksponensial pada Alat Pengukur Kadar Kolesterol berbasis Non-Invasif. *Jurnal Pengembangan Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer*, 6(9), 4571–4579.

- Setiadi, B., Solihin, R., Supriyadi, T., & Tohir, T. (2023). Estimasi Jarak pada Sistem Koordinat Berbasis Metode Haversine menggunakan Tapis Kalman. *ELKOMIKA: Jurnal Teknik Energi Elektrik, Teknik Telekomunikasi, & Teknik Elektronika*, 11(1), 207–216.
- Siswandari, N. A., Puspitorini, O., & Jati, S. (2008). Analisa Pathloss Exponent di Area Terbuka Untuk Aplikasi Wireless Sensor Network. *Seminar Nasional Penelitian dan Pengabdian pada Masyarakat*, (pp. 401–408).
- Tengger, B. A., & Ropiudin. (2019). Pemanfaatan Metode Kalman Filter Diskrit untuk Menduga Suhu Udara. *SQUARE: Journal of Mathematics and Mathematics Education*, 1 (2), 127–132.
- Will, H., Dziengel, N., & Schiller, J.H. (2009). Distance-Based Distributed Multihop Localization in Mobile Wireless Sensor Networks.
- Yick, J., Mukherjee, B., & Ghosal, D. (2008). Wireless sensor network survey. *Computer Networks*, 52(12), 2292–2330.