



Kombinasi BLE dan Wi-Fi pada *Node* Jaringan Sensor Nirkabel untuk Aplikasi *Smart Farming*

Adi Pandu Wirawan*, Happy Nugroho

*Teknik Elektro, Universitas Mulawarman,
Jl. Sambaliung No. 09 Kampus Gunung Kelua Samarinda Kalimantan Timur*
*Email Penulis Koresponden: adipandu@ft.unmul.ac.id

Abstrak:

Isu terkait produktivitas pertanian sering kali dijumpai di era modern, salah satu penyebabnya adalah faktor iklim suhu dan kelembapan yang dapat mempengaruhi hasil pertanian sehingga diperlukan pemantauan *real-time* terhadap kondisi suhu dan kelembapan tersebut melalui suatu sistem *monitoring*. Konsep pertanian dengan memanfaatkan sistem *monitoring* ini dikenal dengan nama *smart farming*. Implementasi *smart farming* dapat dilakukan melalui pemanfaatan Jaringan Sensor Nirkabel (JSN). Dalam mengimplementasikan JSN dilingkungan pertanian diperlukan karakteristik JSN dengan konsumsi energi rendah serta jarak jangkauan yang jauh. Pada penelitian ini telah dibangun sistem JSN yang dapat bekerja pada dua jaringan radio berbeda yaitu *Bluetooth Low Energy* (BLE) dan Wi-Fi dengan tujuan untuk menyelesaikan permasalahan terhadap jarak jangkauan JSN dengan tetap mendapatkan keunggulan dalam hal penghematan energi dari teknologi BLE. Kombinasi BLE dan Wi-Fi ke dalam sistem JSN telah diimplementasikan ke dalam prototipe *node* sensor dan *node* koordinator. Sistem telah diuji untuk mengirimkan data suhu dan kelembapan dari sensor yang ditempatkan di lingkungan pertanian ke *server* dengan melewati dua protokol yang komunikasi berbeda. *Node* sensor dapat mengirimkan data suhu, kelembapan dan level baterai melalui jaringan BLE. *Node* koordinator dapat meneruskan data dari *node* sensor melalui jaringan Wi-Fi. Melalui pengujian jarak jangkauan *node* JSN didapatkan jarak terjauh yang dapat dicapai antara *node* sensor dan *gateway* adalah sebesar 60 m. Melalui pengujian kinerja jaringan didapatkan nilai PDR 100% saat interval waktu pengiriman antar paket lebih tinggi dari 300 ms serta dapat diketahui pula nilai *throughput* tertinggi sebesar 5.28 Kbps yang dapat dicapai saat interval waktu pengiriman antar paket 100 ms.

This is an open access article under the [CC BY-NC](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/) license



Kata Kunci:

JSN;
BLE;
Wi-Fi;
pertanian;

Riwayat Artikel:

Diserahkan 26 Juli, 2023
Direvisi 03 Agustus, 2023
Diterima 09 November, 2023

DOI:

10.22441/incomtech.v13i3.21800

1. PENDAHULUAN

Berbagai macam isu terkait pertanian sering kali dijumpai di era modern seperti isu terkait produktivitas pertanian. Salah satu penyebabnya adalah faktor iklim suhu dan kelembapan yang dapat mempengaruhi hasil pertanian [1] sehingga diperlukan pemantauan *real-time* terhadap kondisi suhu dan kelembapan tersebut. Dalam praktiknya, pemantauan *real-time* tentu sulit untuk dilakukan tanpa bantuan suatu sistem *monitoring* sehingga aktivitas pertanian perlu bertransformasi dari pertanian konvensional ke pertanian modern dengan memanfaatkan teknologi untuk menyediakan suatu sistem *monitoring* dalam rangka meningkatkan produksi, efisiensi dan efektivitas dilingkungan pertanian. Konsep transformasi dari pertanian konvensional ke pertanian modern dengan memanfaatkan teknologi ini dikenal dengan nama *smart farming*. *Smart farming* merujuk kepada sebuah konsep pertanian modern dengan menggunakan bantuan teknologi informasi dan komunikasi pada mesin dan alat pertanian serta jaringan sensor untuk membantu dalam pengawasan proses produksi pertanian [2,3].

Implementasi *smart farming* dapat dilakukan melalui pemanfaatan sistem *monitoring* jarak jauh melalui sistem Jaringan Sensor Nirkabel (JSN). Istilah JSN dapat diartikan sebagai suatu jaringan yang menghubungkan satu atau lebih *node* sensor dengan *node* koordinator atau *sink* melalui komunikasi nirkabel [4]. JSN memiliki keunggulan dibandingkan dengan sistem *monitoring* populer lainnya seperti *Internet of Things* (IoT). IoT memiliki persyaratan utama dimana koneksi internet dibutuhkan dalam implementasinya sedangkan pada JSN dimungkinkan terjadinya komunikasi data dalam satu jaringan meskipun tanpa tersedianya konektivitas internet. Teknologi JSN dipandang sangat sesuai diterapkan pada *smart farming* jika digunakan pada daerah-daerah *rural* atau pedesaan yang cenderung memiliki konektivitas internet terbatas. Daerah *rural* juga sering menjadi pilihan utama lokasi pertanian skala besar karena biaya lahan yang lebih rendah serta area produksi yang lebih luas dibandingkan wilayah *urban*.

Implementasi JSN pada daerah *rural* membutuhkan perangkat yang hemat energi serta jarak jangkauan yang jauh. Salah satu teknologi komunikasi nirkabel yang sering digunakan pada JSN adalah *Bluetooth Low Energy* (BLE). BLE merupakan teknologi komunikasi hasil pengembangan *Bluetooth* yang memiliki keunggulan dalam hal penghematan energi. Dengan konsumsi energi yang rendah dapat meningkatkan *lifetime* sensor ketika menggunakan sumber daya baterai [5,6]. Disisi lain BLE memiliki kelemahan dimana jarak jangkauannya yang tergolong pendek [7-9] sehingga akan menjadi permasalahan bila diimplementasikan pada lahan pertanian di daerah *rural* yang cenderung memiliki lahan produksi yang luas dan memerlukan transmisi data jarak jauh.

Wi-Fi merupakan salah satu teknologi komunikasi nirkabel yang populer digunakan untuk mentransmisikan data dalam jarak yang jauh. Wi-Fi dipandang mampu untuk mengatasi permasalahan jarak jangkauan yang dialami oleh teknologi BLE. Implementasi Wi-Fi pada wilayah pertanian juga secara model matematis terbukti dapat menjangkau hingga radius 100 m [10]. Untuk mengatasi permasalahan jarak jangkauan pada BLE dengan tetap mempertahankan konsumsi energi rendah dari teknologi tersebut maka dipandang penting untuk melakukan penelitian yang mengkombinasikan teknologi BLE dengan teknologi Wi-Fi dalam satu sistem JSN. Dengan memanfaatkan keunggulan teknologi Wi-Fi untuk

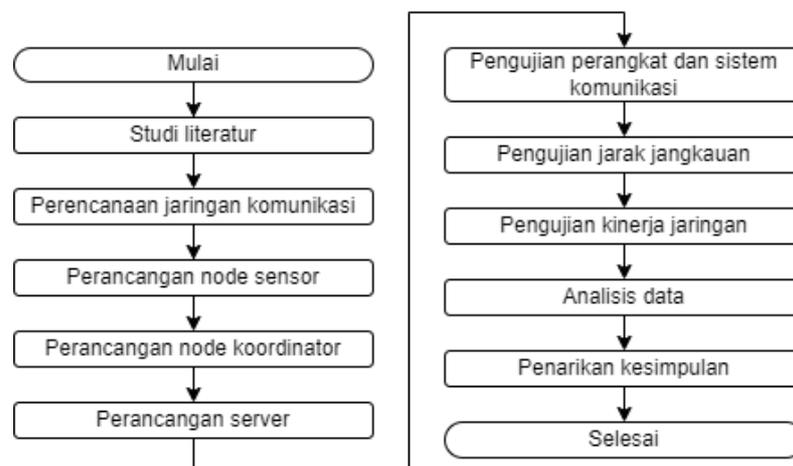
komunikasi jarak jauh dan keunggulan BLE dalam hal *lifetime* diharapkan dapat memberikan manfaat dimana penggunaan baterai pada *node* sensor (*battery-powered node*) [11,12] memungkinkan untuk diimplementasikan sehingga *node* sensor dapat bertahan lama di area yang minim infrastruktur listrik dan minim konektivitas internet.

Node koordinator merupakan salah satu perangkat yang dapat menjadi jembatan penghubung komunikasi antara *node* sensor dan *gateway*. *Node* koordinator sering juga disebut sebagai *cluster head* yang berperan untuk menerima data dari *node* sensor, serta sebagai wadah agregasi data dari beberapa *node* sensor yang dikelompokkan menjadi satu atau lebih *cluster* [13]. *Node* koordinator ini dapat difungsikan sebagai penghubung komunikasi antara jaringan BLE dan jaringan Wi-Fi dimana data dari *node* sensor akan diterima oleh *node* koordinator melalui jaringan BLE dan diteruskan kembali melalui jaringan Wi-Fi untuk dikirimkan ke *gateway* terlebih dahulu sebelum sampai kepada *server* untuk kemudian disimpan pada *database*.

Implementasi dua jaringan radio BLE dan Wi-Fi ke dalam JSN tersebut tentu memiliki tantangan dimana transmisi data harus berjalan diatas dua protokol komunikasi yang berbeda. Atas gagasan dan permasalahan tersebut maka dipandang perlu untuk melakukan penelitian terkait bagaimana merancang prototipe *node* JSN dengan dua jaringan radio BLE dan Wi-Fi serta melakukan pengujian kinerja hasil rancangan dalam hal jarak jangkauan dan kualitas layanan jaringan agar dapat digunakan pada aplikasi *smart farming*.

2. METODE

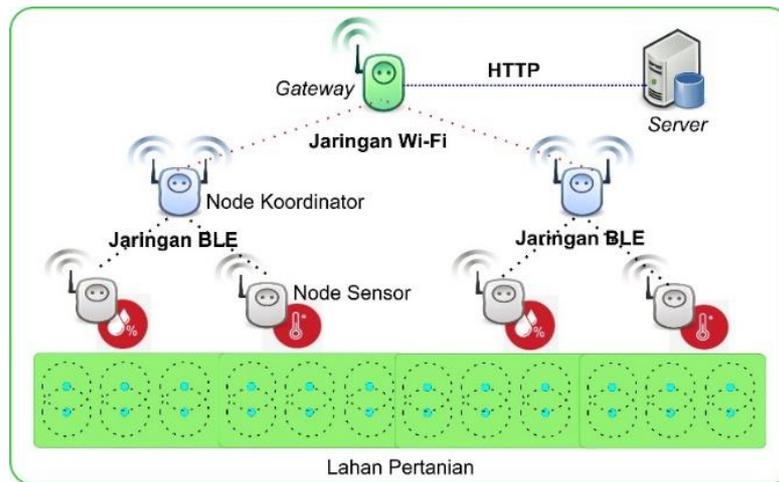
Tahapan penelitian yang dilakukan dapat dilihat pada Gambar 1. Tahapan yang dilakukan diantaranya merencanakan jaringan komunikasi, melakukan rancang bangun perangkat *node* JSN termasuk melakukan pemrograman pada *development board* menggunakan Arduino Web Editor, merancang *server* berbasis web, melakukan pengujian sistem pengiriman data dengan bantuan aplikasi Postman dan Serial Monitor pada Arduino Web Editor, melakukan pengujian jarak jangkauan, serta mengukur kinerja jaringan berdasarkan parameter *packet delivery ratio* dan *throughput* untuk kemudian dilakukan analisis dan penarikan kesimpulan.



Gambar 1. Diagram Alir Tahapan Penelitian

2.1. Perencanaan Jaringan Komunikasi

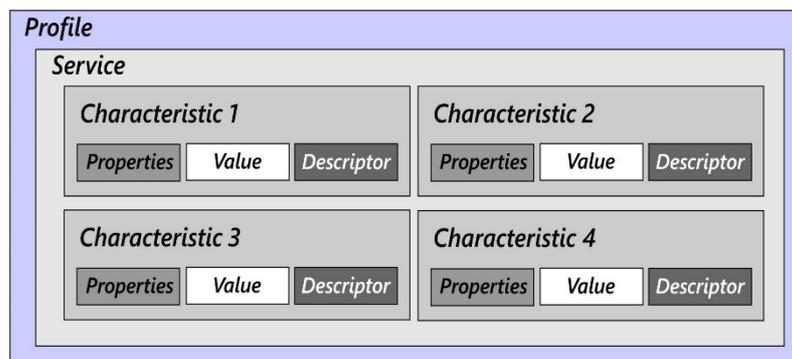
Pada penelitian ini diusulkan konsep *dual radio network* BLE dan Wi-Fi pada JSN seperti yang diilustrasikan pada Gambar 2. Jaringan terdiri dari *node* sensor, *node* koordinator, *gateway* dan *server* yang masing-masing terkoneksi secara nirkabel. *Node* sensor dan *node* koordinator terkoneksi melalui jaringan BLE sedangkan *node* koordinator dan *gateway* hingga *server* terkoneksi dengan jaringan Wi-Fi lokal.



Gambar 2. Konsep *Dual Radio Network* BLE dan Wi-Fi pada JSN

Node sensor dirancang untuk mengirimkan data dari sensor suhu dan kelembapan serta level baterai dengan struktur data yang mengacu pada protokol GATT berupa atribut yang terdiri dari *profile*, *service* dan *characteristic* untuk kemudian mengirimkan notifikasi secara periodik melalui struktur data tersebut [15]. Rancangan struktur GATT pada *node* sensor dapat dilihat pada Gambar 3.

Pada satu atribut struktur data yang dikirimkan oleh *node* sensor terdapat satu *service* yang terdiri dari empat *characteristic* berbeda yang digunakan masing-masing untuk mengirimkan data suhu, kelembapan, level baterai *node* sensor dan *timestamp* atau penanda waktu pengiriman paket. Diperlukan nomor identitas khusus dalam melakukan pengenalan *service* dan *characteristic* kepada perangkat penerima. Sesuai standar dari GATT, masing-masing nomor identitas tersebut memiliki spesifikasi khusus yang telah diatur didalam sebuah identitas unik yang bernama *Universally Unique Identifier* (UUID). Detail UUID yang dipakai untuk masing-masing atribut struktur data dapat dilihat pada Tabel 1.

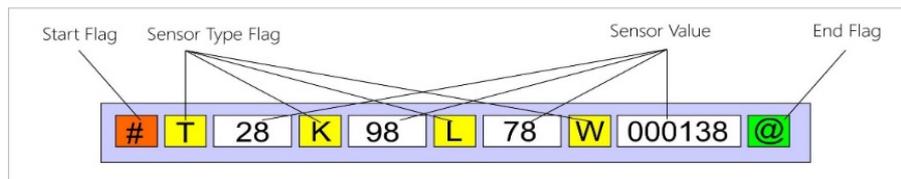


Gambar 3. Rancangan Struktur Data pada *Node* Sensor BLE

Tabel 1. Detail Atribut pada *Node* Sensor BLE

Atribut	UUID	Properties	Value
Service	6e400001-b5a3-f393-e0a9-e50e24dcca9E	-	-
Characteristic 1	00002a6e-0000-1000-8000-00805f9b34fb	Notify	Data Suhu (°C)
Characteristic 2	00002a6f-0000-1000-8000-00805f9b34fb	Notify	Kelembapan (%)
Characteristic 3	00002a19-0000-1000-8000-00805f9b34fb	Notify	Level Baterai (%)
Characteristic 4	6e400003-b5a3-f393-e0A9-e50e24dcca9e	Notify	Timestamp

Data suhu, kelembapan, level baterai dan *timestamp* yang dikirimkan oleh *node* sensor akan diteruskan oleh *node* koordinator melalui *serial port* sebelum dikirimkan melalui jaringan Wi-Fi, sehingga memerlukan struktur paket data khusus. Penanda (*flag*) spesifik diperlukan untuk dapat membedakan masing-masing jenis data sensor tersebut dari satu aliran data serial. *Flag* khusus lain juga diperlukan untuk menandai awal dan akhir paket untuk dapat memberikan kemampuan pada *System on Chip* (SoC) dalam mengenali struktur data dan menampungnya ke dalam *buffer* sebelum dikirimkan ke *gateway* dalam bentuk satu paket data. Selain itu *flag* tersebut juga digunakan untuk melakukan *filter* terhadap data mana yang harus dikirimkan dan yang tidak perlu dikirimkan dari seluruh data yang ditransmisikan melalui *serial port*. *Flag* juga diperlukan untuk mempermudah *parsing data* pada *server* nantinya sebelum disimpan ke dalam *database*. Atas dasar tersebut maka dilakukan perancangan struktur paket data yang digunakan pada *node* koordinator seperti ditampilkan pada Gambar 4 dan Tabel 2.



Gambar 4. Rancangan Struktur Paket Data pada *Node* Koordinator

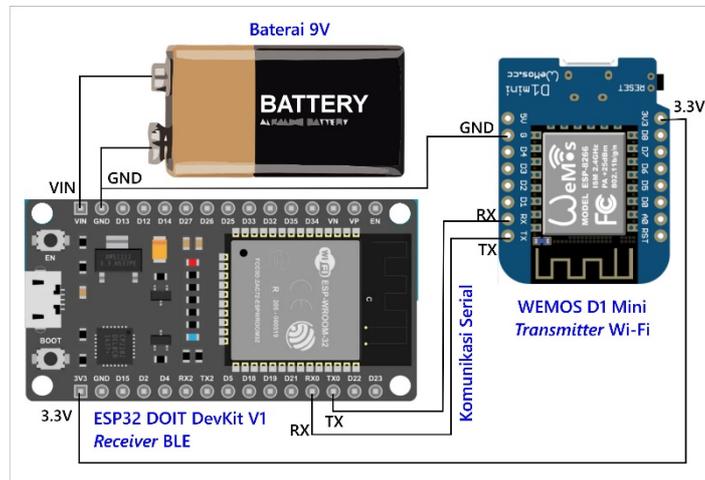
Tabel 2. Detail Struktur Paket Data pada *Node* Koordinator

Flag	Fungsi
#	Penanda awal paket (<i>start flag</i>)
T	Penanda data sensor suhu
K	Penanda data sensor kelembapan
L	Penanda data level baterai
W	Penanda data waktu pengiriman paket
@	Penanda akhir paket (<i>end flag</i>)

2.2. Perancangan Perangkat *Node* Sensor

Komponen utama *node* sensor terdiri dari *microcontroller*, *radio transceiver*, sensor, baterai dan *serial port*. *Node* sensor dirancang menggunakan *development board* berbasis ESP32. ESP32 merupakan SoC yang dapat berperan sebagai *microcontroller* sekaligus *radio transceiver* dengan kemampuan untuk melakukan komunikasi dalam jaringan BLE. Prototipe *node* dirancang untuk dapat membaca besaran suhu dan kelembapan dengan menggunakan sensor AM2301. Untuk kemudahan implementasi di area *remote*, *node* sensor akan dicatu menggunakan sebuah baterai. Dengan sumber daya utama menggunakan baterai, *node* sensor memerlukan suatu indikator yang dapat memantau konsumsi daya agar dapat diketahui jika sumber daya utama akan habis. Untuk mendapatkan nilai level

berbasis RESTful API [15]. Sesaat setelah *end flag* terdeteksi maka data RSSI akan ditambahkan kedalam paket untuk kemudian dikirimkan. LED *built-in* yang terdapat pada *board* diprogram untuk menyala sesaat setelah *end flag* terdeteksi dan mati ketika satu paket telah selesai dikirimkan melalui jaringan Wi-Fi. LED *built-in* ini menjadi indikator bahwa paket telah dikirimkan.



Gambar 6. Skematik Rangkaian *Node* Koordinator

<pre> void loop() { if (Serial.available() > 0) { data = Serial.read(); //baca data serial if((char)data == '#') { //deteksi awal paket temp = ""; statebuffer = true; } if(statebuffer && (char)data != '@'){ //simpan sementara hingga terdeteksi akhir paket temp = temp + char(data); } if((char)data == '@') { //deteksi akhir paket //nyalakan LED built-in digitalWrite(LED_BUILTIN, LOW); long rssi = WiFi.RSSI(); Serial.print("RSSI: "); Serial.print(rssi); //tampilkan RSSI Serial.println("dBm"); //tambahkan flag R dan data RSSI ke dalam paket Serial.println(temp + 'R' + rssi); //kirim paket ke connect Wi-Fi & POST API HTTP Request sendpacket(temp + 'R' + rssi); statebuffer = false; } } } </pre>	<pre> void sendpacket(String packet) { if(WiFi.status() == WL_CONNECTED){ WiFiClient client; HTTPClient http; http.begin(client, serverName); http.addHeader("Content-Type", "application/json"); int httpResponseCode = http.POST("{\"data\":\""+packet+"\"}"); Serial.print("HTTP Response code: "); Serial.println(httpResponseCode); digitalWrite(LED_BUILTIN, HIGH); http.end(); } else { Serial.println("WiFi Disconnected"); } } </pre>
(a)	(b)

Gambar 7. Program Pendeteksian *Start Flag*, *End Flag* dan RSSI (a) serta Fungsi Pengiriman Paket Data melalui HTTP Request dengan Format JSON (b).

2.4. Perancangan *Server*

Server dirancang untuk dapat menyediakan layanan *backend* penyimpanan data pada *database* berbasis Laravel dengan metode RESTful *Application Programming Interface* (API). Metode ini dianggap mampu menjadikan layanan berbasis web yang dapat terintegrasi dengan berbagai macam sistem. Arsitektur yang *simple*, *scalable* dan aman menjadi keutamaan metode ini dipakai sebagai dasar perancangan agar dapat dikembangkan lebih jauh kedepannya. Tabel spesifikasi *software* yang digunakan untuk menyediakan layanan *backend* ditampilkan pada Tabel 4. Data yang diperoleh dari *node* sensor akan disimpan pada tabel di *database* MySQL. Rancangan struktur tabel ditampilkan pada Gambar 8.

Tabel 4. Spesifikasi *Software*

No.	Software	Fungsi
1.	Windows 10 Pro	Sistem Operasi
2.	XAMPP 3.3.0	Apache web service MySQL database service Database management
3.	Composer 2.3.5	PHP dependency manager
4.	Laravel 8.83.27	PHP framework
5.	Postman 10.16	API tester
6.	Git 2.35.1	Version control system

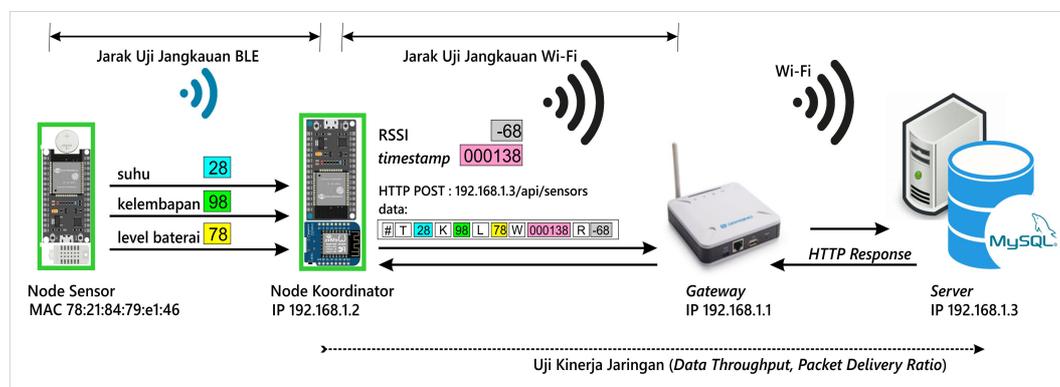
#	Name	Type	Collation	Attributes	Null	Default
<input type="checkbox"/> 1	id	int(11)			No	None
<input type="checkbox"/> 2	start	time(3)			Yes	NULL
<input type="checkbox"/> 3	end	time(3)			No	current_timestamp(3)
<input type="checkbox"/> 4	data1	float			Yes	NULL
<input type="checkbox"/> 5	data2	float			Yes	NULL
<input type="checkbox"/> 6	data3	float			Yes	NULL
<input type="checkbox"/> 7	data4	float			Yes	NULL

Gambar 8. Rancangan Struktur Tabel pada *Database MySQL*

2.5 Skenario Pengujian Sistem

Pengujian sistem terdiri dari pengujian jarak jangkauan dan pengujian kinerja jaringan. Pengujian jarak jangkauan bertujuan untuk mengetahui seberapa jauh sistem dapat bekerja dengan baik. Seperti ditampilkan pada Gambar 9, terdapat jarak uji jangkauan BLE dan jarak uji jangkauan Wi-Fi.

Jarak uji jangkauan BLE telah ditentukan berdasarkan penelitian sebelumnya [7] sedangkan jarak uji jangkauan Wi-Fi menjadi bagian yang akan dianalisis pada penelitian ini. *Node* koordinator akan mengirimkan data melewati *gateway* menuju *server* melalui jaringan Wi-Fi untuk selanjutnya dilakukan pengujian kinerja di dalam jaringan melalui parameter *packet delivery ratio* (PDR) dan *throughput* [16].



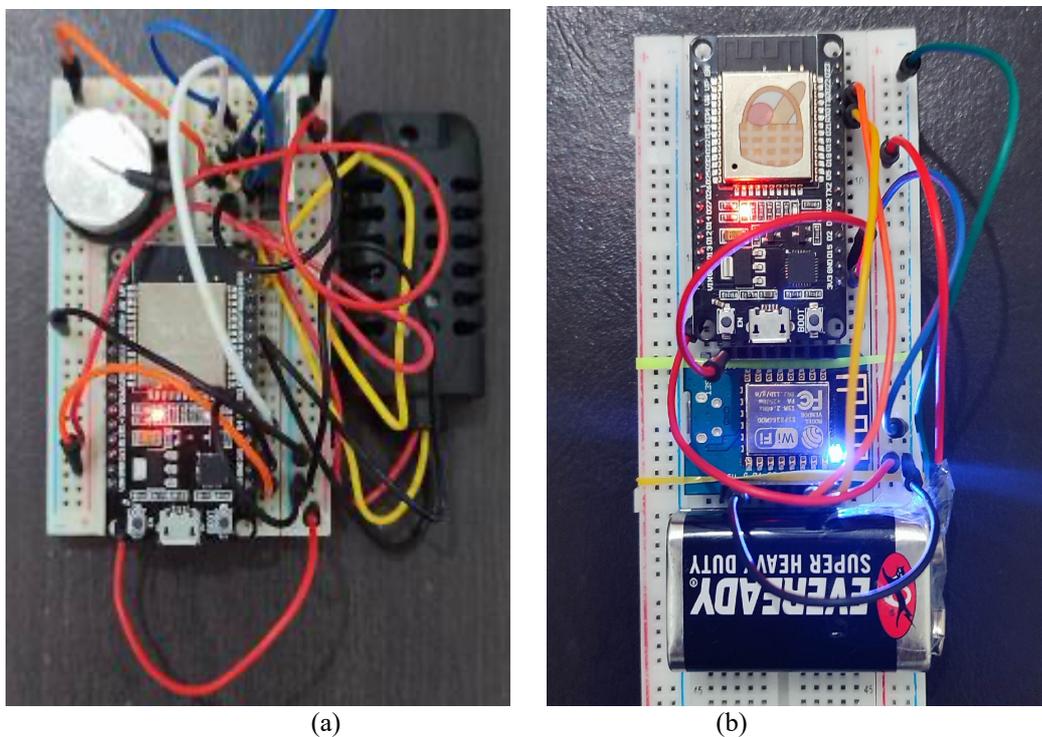
Gambar 9. Skenario Pengujian Sistem

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Rancang bangun berupa prototipe telah dilakukan. Selanjutnya prototipe yang dihasilkan perlu diuji untuk mengetahui bahwa sistem dapat bekerja sesuai dengan yang direncanakan. Pada bagian ini diuraikan hasil rancang bangun prototipe serta pengujian-pengujian apa saja yang dilakukan beserta hasil dan analisisnya.

3.1. Prototipe *Node* JSN

Prototipe *node* sensor dan *node* koordinator telah selesai diimplementasikan sesuai dengan skematik rancangan. Setiap *development board* pada *node* telah diprogram menggunakan perangkat lunak Arduino Web Editor pada layanan Arduino Cloud. *Node* sensor dan *node* koordinator hasil implementasi ditampilkan pada Gambar 10.



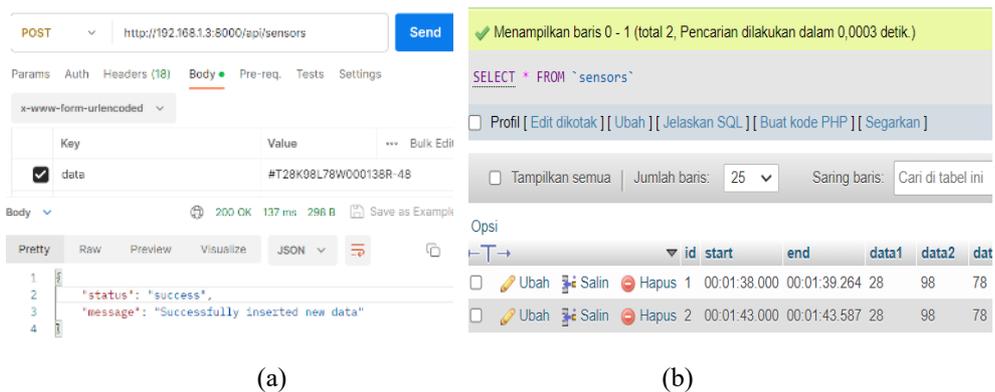
Gambar 10. Prototipe *Node* Sensor (a) dan *Node* Koordinator (b)

3.2. Pengujian Perangkat dan Sistem Komunikasi

Dilakukan pengujian pada *development board* setiap *node* dan *server* untuk memastikan tiap komponen bekerja dengan baik dan dapat berkomunikasi mengirimkan data. Hasil pengujian diantaranya sebagai berikut:

1) Simulasi Pengiriman Data ke Server

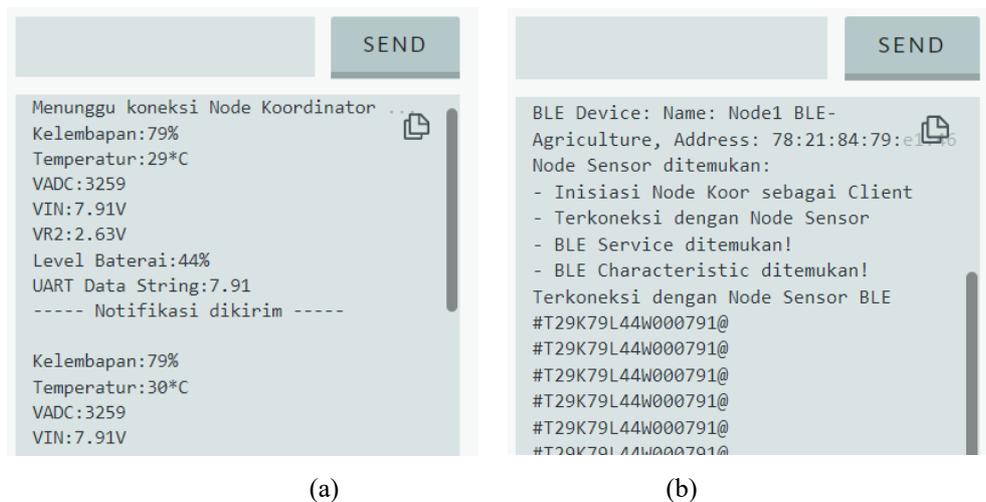
Simulasi pengiriman data ke *server* perlu dilakukan untuk mengetahui bahwa *server* yang dirancang telah siap menerima, mengolah dan menyimpan data dilakukan simulasi menggunakan aplikasi Postman. Paket data dikirimkan melalui HTTP *request* ke API *back-end server* dalam bentuk JSON dan didapatkan hasil HTTP *response* dengan status sukses (Gambar 11(a)) serta data yang telah tersimpan pada *database* (Gambar 11(b)).



Gambar 11. Simulasi Pengiriman Data melalui HTTP Post Request dengan Aplikasi Postman (a) dan Hasil Data Tersimpan pada Database MySQL (b)

2) Data Serial ESP32 Node JSN

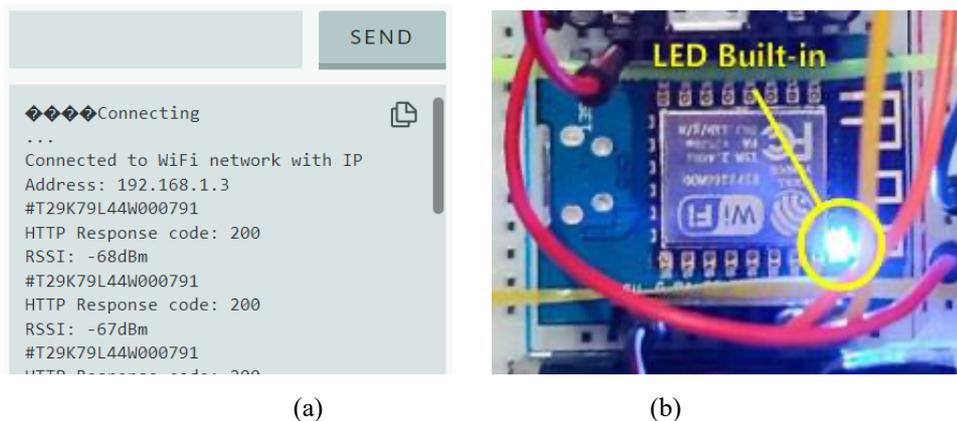
Pengujian pada ESP32 *node* sensor dilakukan dengan mengamati Serial Monitor. Didapatkan hasil *node* sensor dapat membaca suhu, kelembapan dan level baterai seperti ditampilkan pada Gambar 12(a). Pengujian juga dilakukan pada ESP32 *node* koordinator dimana notifikasi yang dikirimkan dari *transceiver node* sensor melalui jaringan BLE dapat diterima dan terbaca dengan baik seperti ditampilkan pada Gambar 12(b).



Gambar 12. Serial Monitor Node Sensor ESP32 (a) dan Node Koordinator ESP32 (b)

3) Wemos D1 Mini Node Koordinator

Pengujian dilakukan pada *development board* Wemos D1 Mini dengan mengamati Serial Monitor dan indikator LED *built-in*. LED *built-in* telah diprogram untuk menyala setiap penanda akhir paket (*end flag*) terdeteksi dan mati ketika setiap satu paket telah selesai dikirimkan ke *server* melalui jaringan Wi-Fi. Hasil pengamatan menunjukkan *node* dapat terhubung ke jaringan Wi-Fi, membaca RSSI dan mengirimkan paket data sesuai format yang ditentukan serta diterima dengan sukses ditunjukkan dengan HTTP *response* berkode 200 seperti ditampilkan pada Gambar 13.



Gambar 13. Serial Monitor (a) dan Indikator LED (b) pada *Node* Koordinator Wemos D1 Mini

3.3. Pengujian Jarak Jangkauan *Node* JSN

Pengujian jarak jangkauan antara *node* koordinator dengan *gateway* telah dilakukan. *Gateway* merupakan sebuah *access point* yang terkoneksi nirkabel dengan *node* koordinator sebagai *station* dan sebuah laptop sebagai *local server*. Jarak yang diuji merupakan jarak antara *node* koordinator (B) dan *gateway* (C) seperti ditampilkan pada Gambar 14. Sedangkan antara *node* sensor (A) dan *node* koordinator (B) telah ditentukan jarak optimal sebesar 10 m berdasarkan penelitian sebelumnya [7]. Pengujian dilakukan mulai jarak B-C 10 m kemudian secara bertahap memperpanjang jarak setiap 4 m dengan melakukan HTTP *request* ke *server* dan mengamati HTTP *response* serta level RSSI pada Serial Monitor. Hasil pengujian ditampilkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil Pengujian Jarak Jangkauan *Node* JSN

Jarak A-B (m)	Jarak B-C (m)	RSSI (dBm)	HTTP Response Code	Status Koneksi Server
10	10	-71	200	Tersambung
10	14	-73	200	Tersambung
10	18	-71	200	Tersambung
10	22	-77	200	Tersambung
10	26	-74	200	Tersambung
10	30	-83	200	Tersambung
10	34	-83	200	Tersambung
10	38	-80	200	Tersambung
10	42	-86	200	Tersambung
10	46	-84	200	Tersambung
10	50	-89	200	Tersambung
10	54	-92	-1	Terputus
10	58	-93	-1	Terputus

Pada tabel 5 dapat dilihat bahwa jangkauan optimal terjauh berada pada jarak 50 m dengan level RSSI berada pada nilai -89 dBm. Pada jarak lebih dari 50 m HTTP *response* menunjukkan koneksi ke *server* telah terputus sehingga total jarak jangkauan terjauh dari *node* sensor ke *gateway* adalah 60 m.



(a)



(b)

(c)

Gambar 14. Pengujian Jarak Jangkauan *Node JSN* (a). Tampilan dari Sudut Perangkat *Gateway* (b). Tampilan dari Sudut Perangkat *Node Sensor* (c).

3.4. Pengujian Kinerja Jaringan

Parameter kinerja suatu jaringan sensor nirkabel dapat dilihat dari PDR dan *throughput* [16]. PDR menunjukkan perbandingan antara paket data yang diterima dengan paket data yang dikirim seperti dituliskan pada (1).

$$\text{Packet Delivery Ratio (PDR)} = \frac{\text{total paket diterima}}{\text{total paket dikirim}} \times 100\% \quad (1)$$

Throughput menunjukkan besarnya jumlah data dalam satuan bit yang sukses terkirim dalam satu periode waktu seperti dituliskan pada (2). Besarnya jumlah data dapat dihitung dari panjang satu paket data dalam satuan bytes dikali panjang data tiap satu paket (l). Dengan menggunakan aplikasi Postman dapat diestimasi

panjang satu paket data (l) setiap kali pengiriman dari *node* koordinator adalah 112 bytes yang terdiri dari 83 bytes HTTP *header* dan 29 bytes data dari sensor yang dimodifikasi ke dalam HTTP *body*.

$$Throughput = \frac{l \times total\ paket\ diterima}{t} \times \frac{8}{1024} Kbps \tag{2}$$

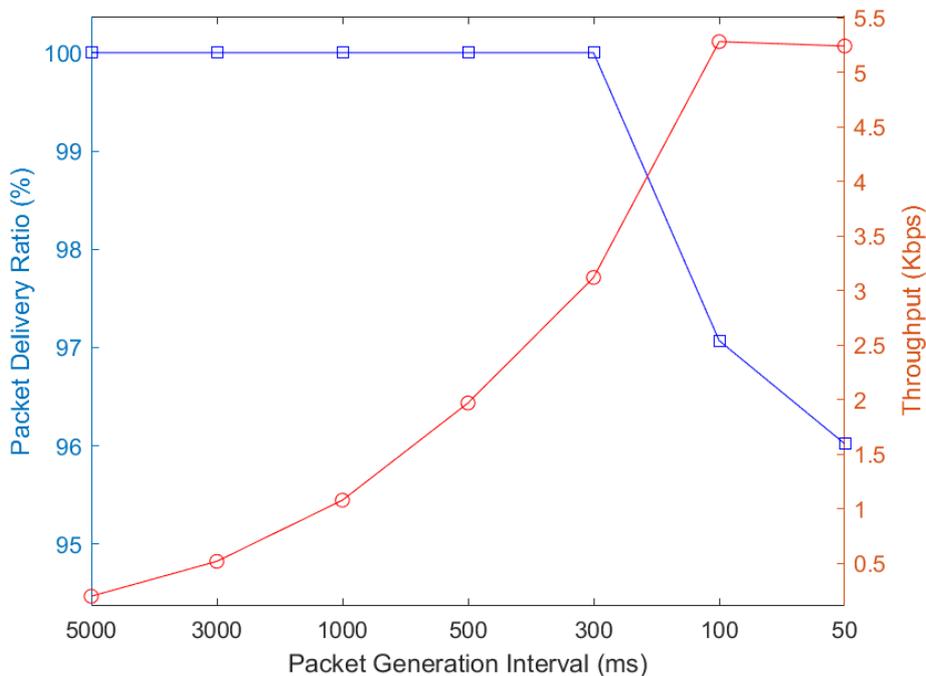
Dimana,

- l : panjang data tiap satu paket yang dikirim (bytes)
- t : durasi pengiriman data (s)

Uji kinerja jaringan dilakukan pada jarak A-B sejauh 10 m dan jarak B-C sejauh 50 m. Pengujian dilakukan dengan mengirimkan paket data secara periodik dari *node* sensor pada interval waktu pengiriman (*packet generation interval*) yang berbeda-beda dengan durasi selama ± 60 detik setiap interval. Hasil pengukuran dan perhitungan PDR dan *throughput* ditampilkan pada Tabel 6 dan grafik pada Gambar 15.

Tabel 6. *Packet Delivery Ratio* dan *Throughput*

Interval (ms)	Jumlah Paket Dikirim	Durasi (s)	PDR (%)	Throughput (Kbps)
5000	14	60.3	100.00	0.20
3000	35	59.1	100.00	0.52
1000	74	60.2	100.00	1.08
500	136	60.5	100.00	1.97
300	216	60.6	100.00	3.12
100	376	60.5	97.07	5.28
50	377	60.5	96.02	5.24



Gambar 15. PDR dan *Throughput* terhadap *Packet Generation Interval*

Grafik PDR pada Gambar 15 menunjukkan bahwa terdapat penurunan nilai PDR ketika nilai interval kurang dari 300 ms. Semakin kecil interval menunjukkan semakin besar data dihasilkan dan semakin cepat data dikirimkan dalam satu satuan waktu sehingga sebagian besar paket harus menunggu antrian untuk ditransmisikan. Antrian yang semakin besar dapat menyebabkan peningkatan jumlah paket yang dijatuhkan (*packet dropped*) sehingga PDR lebih rendah jika paket dihasilkan dengan kecepatan tinggi. Interval lebih tinggi dari 300 ms memungkinkan paket untuk dikirim tanpa harus antri sehingga kemungkinan *packet dropped* sangat kecil.

Grafik *throughput* pada Gambar 15 menunjukkan bahwa semakin besar interval maka nilai *throughput* cenderung semakin besar namun terdapat sedikit penurunan pada interval 50 ms, hal tersebut dapat disebabkan oleh limitasi kecepatan transfer data (*data rate*) pada *physical layer* atau *hardware* serta semakin menurunnya nilai PDR karena nilai *throughput* hanya dihitung berdasarkan paket data yang telah diterima.

4. KESIMPULAN

Prototipe *node* sensor dan *node* koordinator telah diimplementasikan pada sistem JSN. Sistem tersebut dapat bekerja pada dua jaringan radio BLE dan Wi-Fi. *Node* sensor dapat mengirimkan data suhu, kelembapan, level baterai dan penanda waktu melalui jaringan BLE kepada *node* koordinator. *Node* koordinator dapat mengirimkan data RSSI serta meneruskan data dari *node* sensor ke dalam satu paket data melalui jaringan Wi-Fi. Dalam pengujian jarak jangkauan, bahwa dengan jarak antara *node* sensor dengan *node* koordinator sejauh 10 m didapatkan jarak terjauh yang dapat dicapai antara *node* koordinator dengan *gateway* adalah sebesar 50 m. Melalui pengujian kinerja jaringan sistem JSN didapatkan nilai PDR 100% saat interval waktu pengiriman antar paket lebih tinggi dari 300 ms serta dapat diketahui pula nilai *throughput* tertinggi sebesar 5.28 Kbps yang dapat dicapai pada interval waktu pengiriman antar paket 100 ms. Dengan demikian, prototipe perangkat JSN dengan kombinasi dua jaringan radio BLE dan Wi-Fi yang telah dihasilkan dapat diterapkan pada aplikasi *smart farming* untuk menyediakan layanan sistem *monitoring* suhu udara, kelembapan udara dan level baterai *node* sensor di lingkungan pertanian dengan radius sejauh 60 m.

Sistem JSN yang dihasilkan masih memiliki potensi pengembangan terutama dari aspek implementasi *multi-node* sensor, analisis konsumsi energi, kombinasi teknologi komunikasi lain seperti LoRa yang memiliki potensi peningkatan jarak jangkauan serta penggunaan SoC BLE lain seperti nRF51822 yang berpotensi dapat mengurangi konsumsi energi pada sistem JSN yang dapat dilakukan pada penelitian yang akan datang.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan atas dukungan pendanaan dan fasilitas yang diberikan oleh Fakultas Teknik Universitas Mulawarman dalam kegiatan penelitian dibawah Perjanjian Kontrak No. 6900/UN17.9/PT/00.03/2023.

REFERENSI

- [1] R. Setiawan and D. Hariyono, "Pengaruh Beberapa Unsur Iklim (Curah Hujan, Suhu Udara, dan Kelembaban Udara) Terhadap Produktivitas Tanaman Jahe (*Zingiber officinale*)," *Jurnal Produksi Tanaman*, vol. 10, no. 12, pp. 659-667, Dec. 2022, doi: 10.21776/ub.protan.2022.010.12.01.
- [2] M. Dhanaraju, P. Chenniappan, K. Ramalingam, S. Pazhanivelan, and R. Kaliaperumal, "Smart Farming: Internet of Things (IoT)-Based Sustainable Agriculture," *Agriculture*, vol. 12, no. 10, p. 1745, Oct. 2022, doi: 10.3390/agriculture12101745.
- [3] J. Xu, B. Gu, and G. Tian, "Review of agricultural IoT technology," *Artificial Intelligence in Agriculture*, vol. 6, pp. 10-22, 2022, doi: 10.1016/j.aiia.2022.01.001.
- [4] A. Khalifeh, F. Mazunga, A. Nechibvute, and B. M. Nyambo, "Microcontroller Unit-Based Wireless Sensor Network Nodes: A Review," *Sensors*, vol. 22, no. 22, p. 8937, Nov. 2022, doi: 10.3390/s22228937.
- [5] É. Morin, M. Maman, R. Guizzetti, and A. Duda, "Comparison of the Device Lifetime in Wireless Networks for the Internet of Things," in *IEEE Access*, vol. 5, pp. 7097-7114, 2017.
- [6] A. Muttaqin, R. A. Setyawan, and Muslichin, "Optimasi Daya Baterai Menggunakan Bluetooth Low Energy pada Routing di Wireless Sensor Network," *Jurnal EECCIS*, vol. 15, no. 2, pp. 62-67, 2021.
- [7] A. P. Wirawan and H. Nugroho, "Perancangan Node Sensor Nirkabel Bluetooth Low Energy Bertenaga Baterai menggunakan ESP32 untuk Aplikasi Pertanian Cerdas," *TELEKONTRAN*, vol. 11, no. 1, pp. 12-22, April 2023.
- [8] A. M. Haka, V. P. Alaksieva, H. G. Valchanov, "Deployment and analysis of Bluetooth low energy network," *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 1032, no. 1, 2021, doi: 10.1088/1757-899X/1032/1/012016.
- [9] T. Nurhidayat, Harjono, Sugiarto, and T. Ginting, "Implementasi Teknologi iBeacon (Bluetooth Low Energi BLE) di Politama," in *Prosiding SNST ke-9*, 2018.
- [10] L. García L, S. Viciano-Tudela, S. Sendra, and J. Lloret, "Practical Design of a WiFi-based Wireless Sensor Network for Precision Agriculture in Citrus Crops," in *Proceedings of the 19th International Conference on Wireless Networks and Mobile Systems (WINSYS)*, vol. 1, pp. 107-114, 2022, doi: 10.5220/0011355300003286.
- [11] D. J. Managas, I. A. Supriyono, dan H. Junianto, "Perancangan Sistem Pencegahan Pencurian Kendaraan Bermotor Berbasis ESP32 pada PT. Suwarna Dwipa Maju," *Technomedia Journal (TMJ)*, vol. 7, no.2, hlm. 216-230, 2022.
- [12] A. Thoriq, L. H. Pratopo, R. M. Sampurno, and S. H. Shafiyullah, "Rancang Bangun Sistem Monitoring Suhu dan Kelembaban Tanah Berbasis Internet of Things," *Jurnal Keteknik Pertanian (JTEP)*, vol. 10, no. 3, pp. 268-280, 2022.
- [13] S. W. Nourildean, "ZigBee-Based wireless sensor network topologies using one and multiple coordinators," *Peoridicals of Engineering and Natural Sciences*, vol. 8, no. 3, pp. 1625-1640, August 2020.
- [14] K. T'Jonck, B. Pang, H. Hallez, and J. Boydens, "Optimizing the Bluetooth Low Energy Service Discovery Process," *Sensors*, vol. 21, no. 11, p. 3812, May 2021, doi: 10.3390/s21113812.
- [15] A. Ehsan, M. A. M. E. Abuhaliqa, C. Catal, and D. Mishra, "RESTful API Testing Methodologies: Rationale, Challenges, and Solution Directions," *Applied Sciences*, vol. 12, no. 9, p. 4369, Apr. 2022, doi: 10.3390/app12094369.
- [16] M. K. U. Khan, K. S. Ramesh, "Effect on Packet Delivery Ratio (PDR) & Throughput in Wireless Sensor Networks Due to Black Hole Attack," *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering (IJITEE)*, vol. 8, no. 12S, pp. 428-432, Oct. 2019, doi: 10.35940/ijitee.L1107.10812S19.