

Kajian:
Pembelajaran PPKn

Penerapan Teknologi dan Desain IoT-LoRa pada saluran irigasi untuk meningkatkan kualitas Produk pertanian di Batu Indonesia
Junita,¹ rahman arifuddin², dwi arman prasetya³

Fakultas keguruan dan ilmu pendidikan (fkip) Universitas Labuhanbatu (ULB)
neetamawar@gmail.com

ABSTRAK

Salah satu faktor yang menyebabkan keunggulan dalam hal kualitas tanaman adalah bagaimana merawat tanaman dengan baik dengan memberikan air yang tepat, tidak berlebihan dan tidak kurang. Kelemahan petani adalah kurangnya rutinitas dalam menyiram tanaman, ditambah dengan faktor cuaca buruk yang akan merusak tanaman dan jenis air yang digunakan untuk menyiram tanaman. Pemantauan dilakukan pada lahan pertanian di daerah aliran sungai yang menggunakan sistem irigasi. Penelitian ini memantau dan melakukan pemantauan pH air, pH tanah, dan kelembaban tanah menggunakan mikrokontroler Arduino Atmega 328p dengan LoRa 915 MHz. Otomasi berbasis internet dilakukan pada pemantauan tanaman dengan menggunakan sensor pH tanah, pH air, dan kelembaban tanah. Perangkat yang digunakan adalah Long Range Radio Frequency 915 MHz. Salah satu tumbuhan yang digunakan untuk percobaan adalah Pakcoy. Air dibedakan dengan dua wadah yang telah terintegrasi dengan LoRa 915 MHz, dan dipastikan air tersebut memiliki pH rata-rata yang dialirkan ke lahan pertanian secara otomatis. Data tersebut ditampilkan secara real-time di dalam aplikasi Server Thingspeak IoT

Kata Kunci : pemantauan, *Internet of Things*, Jarak Jauh, Irigasi

ABSTRACT

One factor that leads to excellence in terms of plant quality is how to treat plants well by giving the proper water, neither abundantly nor lacking. The weakness of farmers is their lack of routine in watering plants, coupled with lousy weather factors that will damage plants and the type of water used for watering plants. Monitoring is carried out on agricultural land in watersheds utilizing an irrigation system. This study monitors and conducts water pH, soil pH, and soil moisture using an Arduino Atmega 328p microcontroller with LoRa 915 MHz. Internet-based automation was carried out on plant monitoring using soil pH sensors, water pH, and soil moisture. The device used is Long Range Radio Frequency 915 MHz. One of the plants used for the experiment is Pakcoy. Water is distinguished by two containers that have been integrated with LoRa 915 MHz, and the water is ensured to have an average pH that is flowed to agricultural land automatically. The data is displayed in real-time in the application Server the Thingspeak IoT.

Keywords: *monitoring, Internet of Things, Long Range, Irrigation*

Kajian:
Pembelajaran PPKn

PENDAHULUAN

Saat ini pertanian terus meningkat dengan teknologi tanaman menggunakan dan berbasis IoT. Hidroponik memiliki keunggulan salah satunya efektif pada lahan pertanian. Keunggulan lainnya adalah dari segi kemudahan dalam proses penanaman hingga pemanenan. Pada beberapa jenis ubi jalar atau ubi jalar, proses penanamannya dilakukan dengan menempatkannya di dalam karung berisi tanah subur dengan pH tanah rata-rata 6,5-7,5. Kemudian tanam dan lubangi dalam karung dengan jarak sekitar 20 cm antara bibit ubi jalar yang satu dengan lainnya. Selain efektifitas lahan pertanian, kemudahan panen, masalah yang harus dipecahkan dalam proses penanaman adalah melihat letak lahan pertanian. Pada penelitian ini lahan pertanian yang diujikan berada di daerah Batu Jawa Timur. Yang notabene memang memiliki lahan agraris yang cukup besar. Dan berada di DAS, dapat dikatakan kebutuhan akan air sudah terpenuhi. Namun penelitian ini akan membuktikan bahwa ketersediaan air masih belum mencukupi untuk menghasilkan hasil panen yang baik. Sehingga perlu adanya pemantauan dalam hal pH air, pH tanah, dan sensor kelembaban tanah yang menentukan output yaitu Solenoid valve melalui pemrograman Relay menggunakan mikrokontroler.

PH air yang tidak normal ini menyebabkan kemungkinan gagal panen atau infertilitas tanah. Pada penelitian ini diharapkan dapat membantu masalah infertilitas tanaman dengan pemberian air yang tidak sesuai pH yang sesuai. Sistem yang dibangun pada penelitian ini memberikan pH air yang akurat dengan membuat dua wadah penyaringan air dari sungai yang penuh dengan bahan pencemar air cair. Pencemaran ini tidak dapat dihindari dan pasti terjadi di beberapa titik aliran sungai di kota Batu. Dan untuk kemudahan pemantauan, sistem pada penelitian ini dilengkapi dengan server internet yaitu LoRa Transceiver dan gateway LoRa, Server Aplikasi Thingspeak, dan jenis server aplikasi berbasis IoT lainnya. Dan dengan pengiriman data sensor seperti pH tidak memerlukan bit rate yang signifikan atau tidak lebih dari 15 kbps, penelitian menyebutkan bahwa sensor pH mengirimkan data rate sebesar 0,595 Kbps melalui wireless bit transfer.

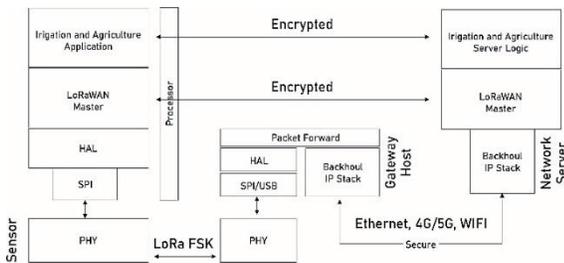
METODE PENELITIAN

A. Arsitektur LoRa

LoRa merupakan perangkat LPWA dan LPWAN dengan spesifikasi modul khusus untuk pengiriman bit rate kecil (250 bps -5.5 kbps) dengan jangkauan 3-15 km (tergantung daerah pengiriman data). Sensor pH air, pH tanah, suhu tanah, dan kelembaban. Selain itu, Gambar 1 merupakan Arsitektur Kerja LoRa berbasis IoT, dimana terdapat peran Network Server untuk data real-time pada perangkat berbasis internet untuk menampilkan data real-time dari sensor. Perangkat modul dengan pemancar disebut Aplikasi Irigasi dan Aplikasi

Kajian:
Pembelajaran PPKn

Pertanian atau disebut end-node. Perangkat ini kemudian berkomunikasi dan mengirimkan data dengan logika server yang disebut proses Terenkripsi.



Gambar 1 Arsitektur Kerja LoRa berbasis IoT

Sedangkan modulasi sinyal yang digunakan adalah LoRa FSK (Frequency Shift Keying) yang digunakan untuk memberi sinyal antar layer PHY. Dalam komunikasi data LoRa menggunakan perangkat Ethernet, 4G/5G, WiFi dengan sistem keamanan data. Penelitian sebelumnya

B. Desain Irigasi dan Pertanian



Gbr.2 Irigasi dengan teknik tradisional

Gambar 2 adalah irigasi dengan teknik tradisional. Gambar ini diambil dari lokasi penelitian di Temas, Batu, Jawa Timur; daerah ini cocok untuk pengelolaan irigasi pertanian. Gambar 3, Gambar 4, Gambar 5, dan Gambar 6 merupakan gambar rangkaian sensor (pH air, pH tanah, suhu tanah, dan kelembaban) dan aktuator (Solenoid valve) yang digunakan dalam penelitian di saluran irigasi dan pertanian, dan Gambar 2 menunjukkan sensor pH air yang ditempatkan di reservoir air sungai. Selanjutnya sensor pH air akan mendeteksi nilai pH air, dan data ini dikirimkan ke LoRa Gateway atau server LoRa [17,18,19]. Sedangkan air akan mengalir ke lahan pertanian jika pH air diharapkan, aktuator yang ada adalah Solenoid valve

Kajian:
Pembelajaran PPKn

yang bertugas membuka tutup air yang akan mengalir. Gambar 6 adalah Dimensi Transmitter LoRa yang digunakan untuk mengirimkan data sensor ke server LoRa

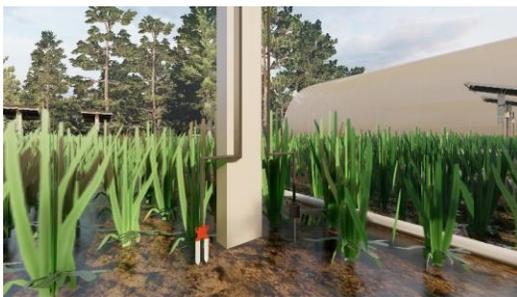


Gambar 3 Sensor pH air pada penampung air sungai



Gambar 4 Pompa air yang digunakan untuk mengalirkan air ke lahan pertanian

Transmitter LoRa yang digunakan ada di beberapa titik yaitu di titik wadah pertama sebagai filter awal, titik wadah kedua pada pH normal, dan titik di lahan pertanian untuk mendeteksi pH tanah, serta cara penyampaiannya ditunjukkan pada gambar 8. Gambar 9 adalah metode pengiriman berbasis Adaptive. Data Rate (ADR) mengatur pengiriman data dengan menambah jumlah Gateway untuk mendapatkan LoRa Gateway ID agar beban gateway tidak terlalu berat.

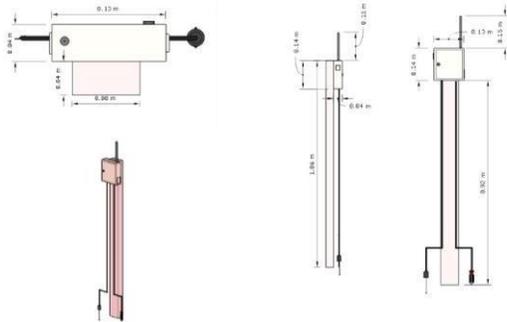


Gambar 5 Posisi sensor pH tanah dan kelembaban tanah



Kajian:
Pembelajaran PPKn

Gambar 6 penempatan sensor di seluruh bidang pertanian dan pengairan



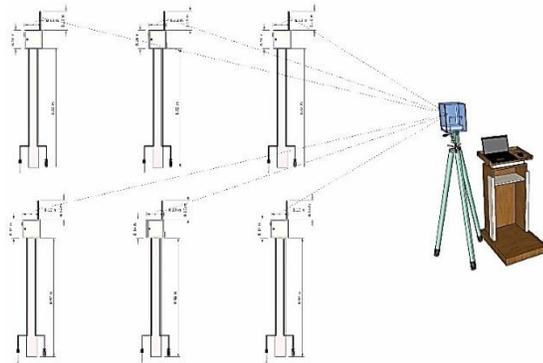
Gbr.7 Desain Pemancar LoRa

Penelitian ini lebih menekankan pada sistem komunikasi yang digunakan. Ada beberapa metode yang digunakan dalam komunikasi data LoRa dalam penelitian ini. Tabrakan data tidak dapat dihindari jika sistem komunikasi built-in multipoint. Setiap sensor mengirimkan data ke satu ID penerima LoRa, yang menyebabkan terjadinya bottleneck data sehingga data akan tersebar dan hilang, yang menyebabkan nilai throughput kecil dan nilai packet loss yang signifikan. Metode yang digunakan sederhana yaitu proses Master-Slave, dengan memberikan ID yang berbeda atau menambah jumlah penerima atau Gateway ID penerima.

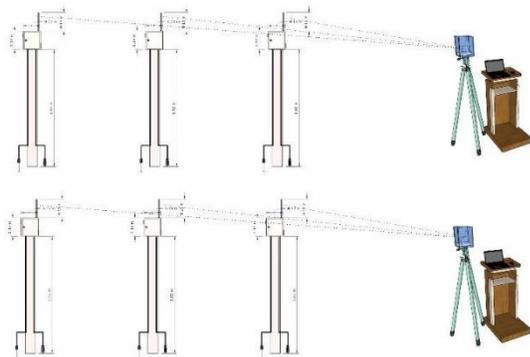
Gambar 8 menunjukkan metode LoRa Master-Slave, yaitu metode transmisi data per end-node yang akan dikirimkan ke LoRa Receiver atau Gateway. Kecenderungan sistem pemancar LoRa Master-Slave adalah tabrakan data, maka master-slave ini dikembangkan dengan menambahkan ID penerima LoRa agar data dapat diterima lebih baik dengan mengurangi tabrakan data dan kehilangan paket data. Seperti pada Gambar 9. Gambar 9 juga dikenal dengan metode Adaptive Data Rate (ADR). Mekanisme ADR mudah dengan menambahkan ID penerima LoRa untuk mengurangi beban penerima dan kontrol. Ini akan meminimalkan kehilangan paket data (byte).

Dalam Mekanisme Adaptive Data Rate, tiga parameter digunakan sebagai pertimbangan untuk menentukan kualitas transmisi data, yaitu Faktor Penyebaran, Bandwidth, dan Daya Transmisi. Mekanisme ADR berfungsi untuk mengoptimalkan konsumsi daya LoRa Gateway. Namun ADR dapat dilakukan dengan kondisi Radio Frequency (RF) yang stabil, artinya ED tidak dalam keadaan fluks. Atau ED harus dalam posisi tetap.

Kajian:
Pembelajaran PPKn



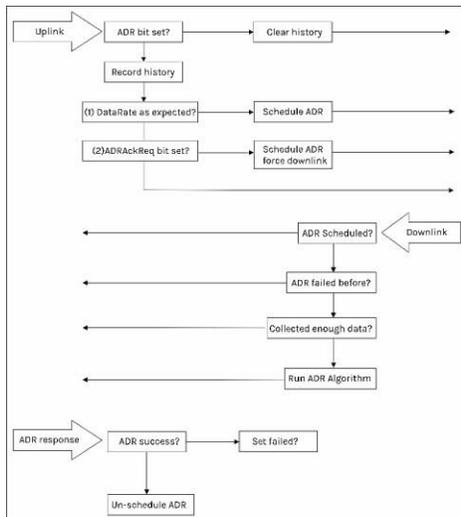
Gambar 8 Metode LoRa Master-Slave



Gambar 9 Mekanisme Adaptive Data Rate

Gambar 10 menunjukkan Penjadwalan Kecepatan Data Adaptif; tiga mekanisme, yaitu Uplink, Downlink, dan ADR Response. Mekanisme di atas hanya untuk perangkat ujung statis; semakin jauh dari gateway, semakin kecil atau semakin rendah data (byte), semakin besar data rate, semakin kecil nilai spread factor; Tabel 1 berikut menunjukkan hubungan antara faktor penyebaran dan kecepatan data (byte).

Kajian:
Pembelajaran PPKn



Gambar 10 Penjadwalan Adaptive Data Rate

TABEL I. TINGKAT DATA LORA DAN FAKTOR PENYEBARAN

Index Number	Spreading Factor (SF)	Bandwidth (BW)	Bit Rate (bps)
0	12	125 kHz	250 bps
1	11	125 kHz	440 bps
2	10	125 kHz	980 bps
3	9	125 kHz	1760 bps
4	8	125 kHz	3125 bps
5	7	125 kHz	5470 bps
6	7	250 kHz	11000 bps

LoRa [10,11] memiliki beberapa persamaan untuk menentukan kualitas data pancaran berdasarkan parameter yaitu Time on Air (ToA), T_{Preamble} , T_{Payload} , n_{payload} , SNR, CR, SF, R_s, R_c , and RSSI.

$$T_{\text{preamble}} = N_b \text{ Preamble (8)+symbols added by radio (4.25) } \times T_{\text{symbol}} \quad (1)$$

$$T_{\text{payload}} = N_b \text{ PayloadSymbol } \times T_{\text{symbol}} \quad (2)$$

$$R_c = \text{BW chips/s} \quad (3)$$

$$\text{RSSI (dBm)} = 10 \log (\text{Pr}) \quad (4)$$

$$\text{RSSI (-dBm)} = -(10N \log 10d + A) \quad (5)$$

Persamaan 1 sampai 5 adalah semua parameter yang digunakan untuk menentukan kualitas pengiriman data menggunakan Long Range. Selanjutnya dalam uji coba yang dilakukan menggunakan LoRa 915 MHz dan 920 MHz, pengujian kualitas sinyal menggunakan LoRa Analyzer dan untuk mendapatkan indikator kekuatan sinyal menggunakan RSSI (-dBm) yang dilakukan pada jarak 1 meter ke 1 km, dalam kondisi di

Kajian:
Pembelajaran PPKn

dalam area bangunan dan Free Space Path Loss. (FSPL). Nilai SNR dipengaruhi oleh Chip Rate (RC), Symbol Rate (RS), dan Bandwidth (BW). Sedangkan Bandwidth akan menentukan kecepatan pengiriman data (detik), hal ini juga dipengaruhi oleh Spreading Factor (SFs), RC, dan RS menentukan Spreading Factor. Pada penelitian sebelumnya telah dibahas secara detail dengan menggunakan perhitungan, grafik, dan analisis. Selain itu, Gambar 11 merupakan contoh kondisi tanaman pada pemantauan LoRa.

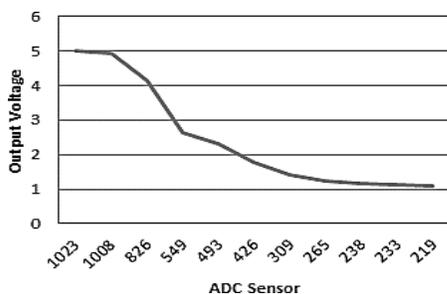


Gambar 11 kondisi tanaman pada pemantauan LoRa

HASIL DAN PEMBAHASAN PENELITIAN

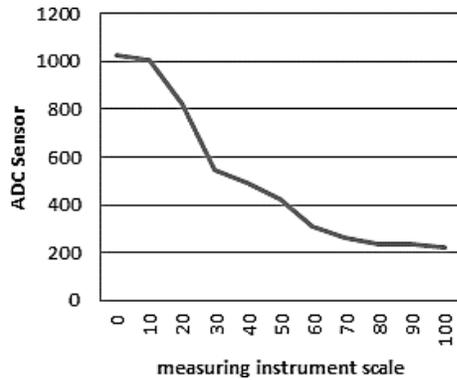
Hasil Penelitian

Beberapa parameter penting yang dianalisis dalam penelitian ini diuraikan dalam bab ini. Parameter tersebut antara lain membandingkan tegangan output dengan Sensor Analog and Digital Converter (ADC) seperti pada gambar 12. Analisis pada gambar 12 adalah semakin rendah tegangan output maka nilai ADC akan semakin rendah. Misal nilai ADC 219 menunjukkan tegangan keluaran 1 volt DC, sedangkan jika Sensor ADC menunjukkan nilai 1023 maka tegangan keluaran 5 Volt DC. Ini menunjukkan nilai digital pada kondisi dimana nilai Digital 1 sama dengan tegangan keluaran 5 Volt dan nilai Sensor ADC adalah 1024.

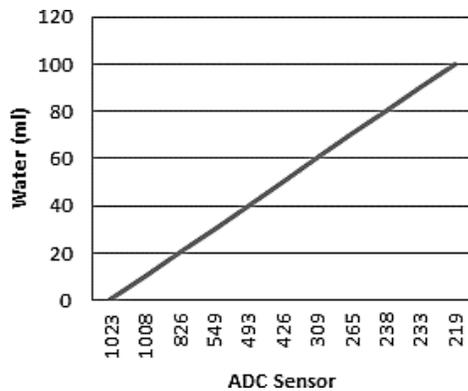


Kajian:
Pembelajaran PPKn

Gambar 12 Sensor ADC dan Tegangan Keluaran



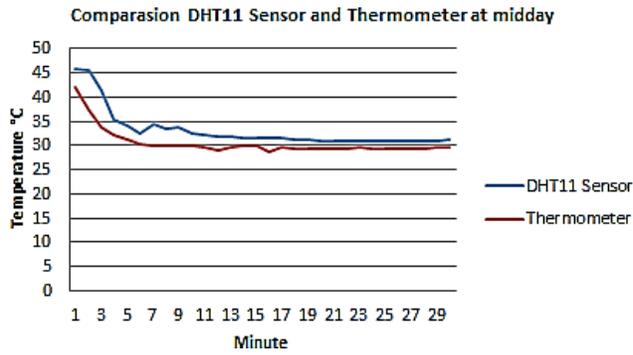
Gambar 13 Alat Ukur Skala dan Sensor ADC



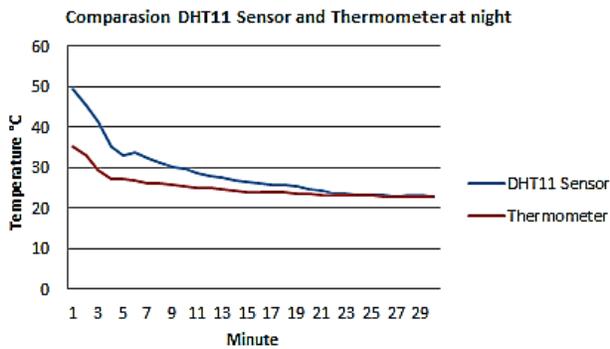
Gbr. 14 Sensor Air dan ADC

Pada Gambar 13, jika skala alat ukur lebih besar maka nilai sensor ADC semakin kecil, misal pada Sensor ADC dengan nilai ~1000, nilai skala alat ukur adalah 0, dan pada sensor ADC nilai 200, nilai skala alat ukur skala adalah 100. Selain itu, Gambar 14 menunjukkan hubungan antara air (ml) dan Sensor ADC. Jika volume air (ml) bertambah, nilai sensor ADC menunjukkan penurunan. Misal pada volume air 20 ml nilai sensor ADC 826, pada volume 40 ml nilai sensor ADC 493, pada volume 60 ml nilai sensor ADC 309, pada volume 80 ml nilai sensor ADC adalah 238, pada 100 ml nilai sensor ADC adalah 219.

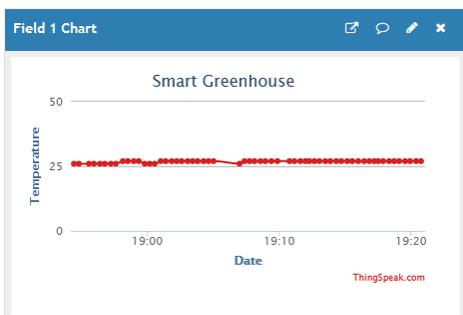
Kajian:
Pembelajaran PPKn



Gambar 15 Perbandingan DHT11 dan Termometer pada Tengah Hari

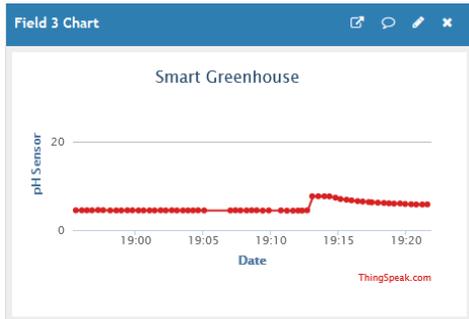


Gambar 16 Perbandingan DHT11 dan Thermometer pada malam hari

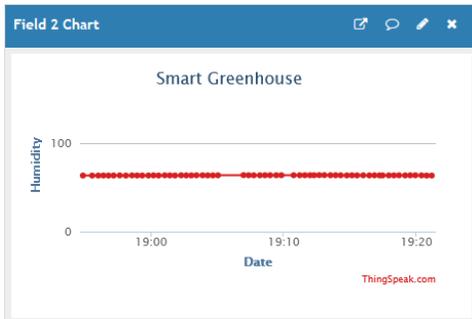


Gambar 17 Data real-time Thingspeak Suhu

Kajian:
Pembelajaran PPKn



Gambar 18 pH data real-time Thingspeak



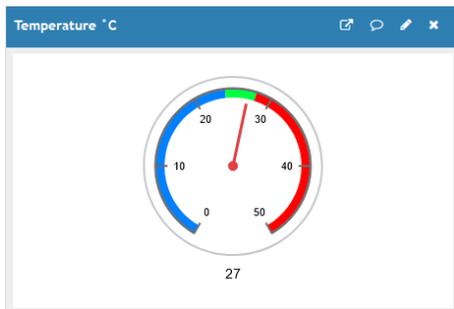
Gambar 19 Kelembaban data real-time Thingspeak

Gambar 15 dan 16 membandingkan sensor DHT11 dan termometer analog pada siang dan malam hari, hal ini diperlukan untuk mendapatkan perbedaan suhu yang signifikan pada siang dan malam hari. Gambar 15 menunjukkan nilai DHT11, dan termometer memiliki kesalahan 5 derajat Celcius. Dan pada siang dan malam hari memiliki suhu sekitar 30 derajat Celcius. Selanjutnya, pada malam hari suhu cenderung turun hingga 22-23 derajat Celcius. Pada malam hari suhunya lebih sejuk, sekitar 7 hingga 8 derajat Celcius. Dan kesalahan antara DHT11 dan termometer adalah sekitar 5 derajat Celcius.

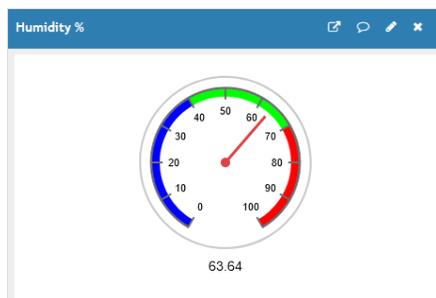
Gambar 17 sampai Gambar 19 merupakan data server aplikasi thingspeak yang menunjukkan data pH, kelembaban, dan suhu yang digunakan dalam penelitian ini. Node akhir sensor LoRa mengirimkan data ini ke server pada jarak tertentu. Fungsi dari node akhir LoRa adalah mengirimkan data untuk ketiga sensor tersebut.

Yaitu data sensor kelembaban, data sensor suhu, dan sensor pH tanah. Ketiga data sensor tersebut dikirim ke internet melalui server aplikasi dan dengan mudah dan mudah diterima oleh pengguna melalui aplikasi internet atau server aplikasi Thingspeak.

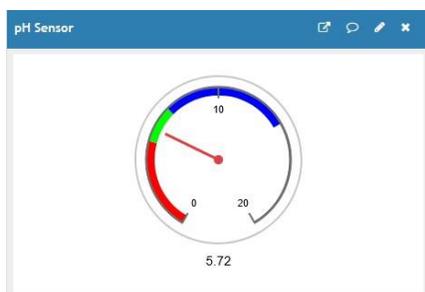
Kajian:
Pembelajaran PPKn



Gbr. 20 Indikator Suhu Real-time



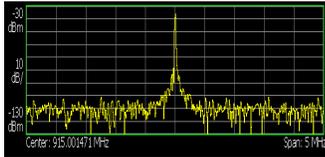
Gbr. 21 Indikator Kelembaban Real-time



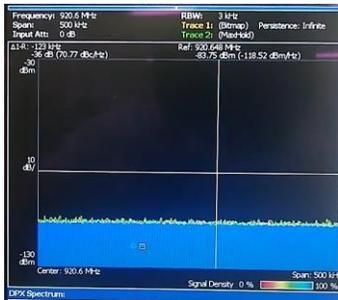
Gbr. 22 Indikator pH waktu nyata

Gambar 20 s/d Gambar 22 merupakan contoh bentuk indikator lain yang dapat ditampilkan oleh thingspeak yaitu berupa pengukuran sensor suhu, kelembaban dan pH tanah secara bersamaan. Pada gambar diatas dapat dilihat bahwa data dapat dengan mudah dilihat dan disimpulkan dengan nilai digital, dan angka 20 sampai 22 lebih mudah dipahami oleh pengguna hanya dengan melihat angka atau digit yang tertera pada parameter sensor.

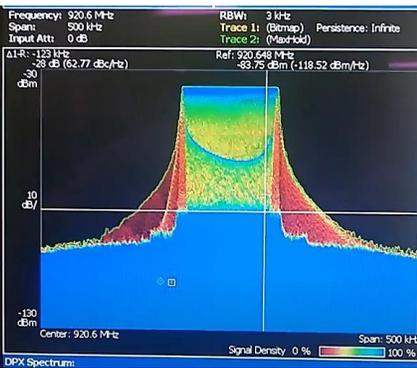
Kajian:
Pembelajaran PPKn



(23 sebuah)



(23b)



(23c)

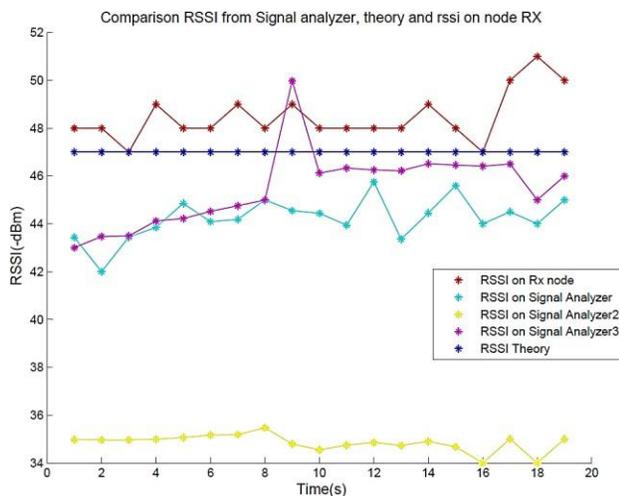
Gbr.23 (a,b,c) Daya Sinyal LoRa dari Signal Analyzer

Gambar 23 a, b, dan c menampilkan alat analisa sinyal Tektronix yang digunakan untuk melihat kekuatan sinyal LoRa 915 MHz dan 920 MHz. Jika sinyal kuat maka akan terlihat seperti gambar 23c, dan jika tidak ada sinyal yang terdeteksi terlihat pada gambar 23b. Sebagai perbandingan, gambar 23a dan gambar 23c merupakan kondisi sinyal terbaca dengan baik. Terjadi proses pengiriman data dari LoRa transmitter dan LoRa Receiver pada jarak tertentu.

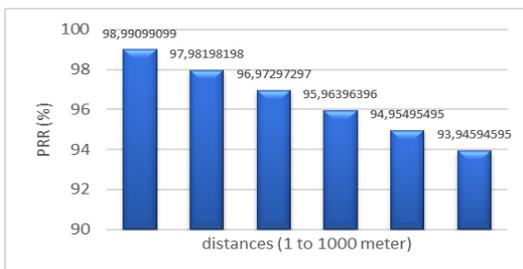
Kajian:
Pembelajaran PPKn

Selanjutnya berdasarkan penelitian ini, jika penerima LoRa tidak aktif, namun proses

transmisi data dari pemancar LoRa tetap dilakukan atau terus berjalan, maka Gambar 23a dan Gambar 23c akan tetap menunjukkan kondisi pembacaan sinyal seperti itu. Analisis berikut ditunjukkan pada Gambar 24. Pada Gambar 24, kajian kembali melihat dari sisi kekuatan sinyal. Sinyal yang diperoleh memiliki beberapa parameter RSSI yaitu RSSI dari Rx node, RSSI dari signal analyzer 1, 2, dan 3, dan RSSI Theory. Dari analisis dan pengamatan, ditemukan bahwa RSSI dengan penganalisa sinyal mendeteksi sinyal yang lebih kuat daripada RSSI dari transmisi TX-RX dan Teori RSSI. Selain itu, RSSI terlemah antara 48-49 dBm adalah RSSI komunikasi TX-RX; faktor pelemahan sinyal menyebabkan hal ini. Selain itu, pelemahan sinyal disebabkan oleh beberapa faktor, antara lain antena, penghalang propagasi, dan material end-node seperti kabel, jenis antena, dll.



Gbr.24 Indikator Kekuatan Sinyal Penerimaan LoRa (-dBm)



Gbr.25 Rasio Penerimaan Paket LoRa (%) pada 1 km

Gambar 25 memperluas analisis dari gambar 24, namun pengujian RSSI TX-RX dilakukan pada jarak yang lebih jauh, dari jarak 1 meter hingga 1 km. Dan terjadi pelemahan sebesar 5 dBm. Hal ini dikarenakan material pada end node terdiri dari beberapa kabel yang dapat

Kajian:
Pembelajaran PPKn

melemahkan sinyal, terutama jenis antena yang digunakan. Serta adanya kendala atau kondisi cuaca pada gambar 25 dilakukan pada saat kondisi cuaca sedang hujan ringan sehingga menjadi salah satu penyebab terjadinya redaman. Selain itu, pada Gambar 26, data server aplikasi thingspeak dapat diunduh dan diimpor ke dalam bentuk pdf atau excel untuk pelaporan yang lebih detail.

```
2021-08-11 02:30:32 +08,8861,23.00,66.57,4.16,.....  
2021-08-11 02:30:36 +08,8862,23.00,66.57,4.16,.....  
2021-08-11 02:31:21 +08,8863,23.00,66.57,4.19,.....  
2021-08-11 02:31:45 +08,8864,23.00,66.57,4.16,.....  
2021-08-11 02:32:09 +08,8865,23.00,66.86,4.16,.....  
2021-08-11 02:32:34 +08,8866,23.00,66.67,4.19,.....  
2021-08-11 02:32:58 +08,8867,23.00,66.57,4.19,.....  
2021-08-11 02:33:22 +08,8868,23.00,66.67,4.16,.....  
2021-08-11 02:33:46 +08,8869,23.00,66.57,4.16,.....  
2021-08-11 02:34:11 +08,8870,23.00,66.57,4.19,.....  
2021-08-11 02:34:35 +08,8871,23.00,66.57,4.16,.....  
2021-08-11 02:34:59 +08,8872,23.00,66.57,4.16,.....
```

Gbr.26 Mengimpor data real-time dari server aplikasi

Kajian:
Pembelajaran PPKn

KESIMPULAN

Teknologi IoT LoRa untuk pertanian telah menunjukkan hasil produksi pertanian, terlihat pada tanaman Pak Choy yang memiliki daun lebih lebar. Perkembangan selanjutnya dapat dilihat pada jenis bawang merah dan bawang putih yang terdapat pada lahan pertanian. IoT-LoRa masih memiliki kelemahan dalam hal keterbatasan dalam mengirimkan sinyal LoRa pada jarak lebih dari 1 km, dan hal ini menyebabkan pelemahan sebesar 5 dB. Pada saat yang bersamaan pengiriman tiga sensor yaitu sensor kelembaban tanah, sensor pH tanah, dan sensor pH air akan menyebabkan packet loss. Algoritma Adaptive Data Rate (ADR) mengatur pengiriman data berdasarkan waktu agar tidak ada data yang tersebar akibat packet loss. Secara keseluruhan sistem dapat bekerja dengan baik. Keluaran solenoid valve dapat bekerja on/off berdasarkan kondisi pH dan sensor lainnya. Air dengan pH rata-rata berhasil dialirkan ke area pertanian berkat teknologi IoT-LoRa ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Saikat Mondal, et al., "ID Integrated Batteryless Wireless Digital pH Sensor," IEEE Sensors Journal (Volume: 19, Issue: 24, Dec.15, 15 2019), DOI: 10.1109/JSEN.2019.2939926
- Jian-Xiong Wang, et al., "Smart Water Lora IoT System," ICCET '18: Proceedings of the 2018 International Conference on Communication Engineering and Technology February 2018 Pages 48– 51 <https://doi.org/10.1145/3194244.3194260>
- Muhamad Ghadafi, "Water Analysis (pH, Water Level, and Total Nitrogen) of the Downstream Tokachi River Basin," Conference: PARE - Hokkaido Summer Institute, August 2018, DOI: 10.13140/RG.2.2.27140.96647
- Hudiono Kasral, et al., "Digital centralized water meter using 433 MHz LoRa", August 2021, Bulletin of Electrical Engineering and Informatics 10(4):2062-2071, DOI: 10.11591/eei.v10i4.2950
- Caner Baydur, Savas Sahin., et al., "ARM-Based Smart Water Meter with LoRa for Soilless Agriculture Application," June 2021, European Journal of Science and Technology, DOI: 10.31590/ejosat.957639
- Yulu Ye et al., "A LoRa-based Low-power Smart Water Metering System," 2021 IEEE International Conference on Consumer Electronics and Computer Engineering (ICCECE), January 2021, DOI: 10.1109/ICCECE51280.2021.9342327
- Fusang Zhang et al., "Exploring LoRa for Sensing," September 2021 GetMobile Mobile Computing and Communications 25(2):33- 37, DOI: 10.1145/3486880.3486890, 2021
- Thenuka Karunathilake et al., "LoRa-DuCy: Duty Cycling for LoRa- Enabled Internet of Things Devices," 2021 Twelfth International Conference on Ubiquitous and Future Networks (ICUFN), DOI: 10.1109/ICUFN49451.2021.9528805, August 2021
- Aisha Junejo, et al., "LoRa-LiSK: A Lightweight Shared Secret Key Generation Scheme for LoRa Networks," July 2021 IEEE Internet of Things Journal, DOI: 10.1109/JIOT.2021.3103009
- Rami Hamdi, et al., "LoRa-RL: Deep Reinforcement Learning for Resource Management in Hybrid Energy LoRa Wireless Networks," September 2021 IEEE Internet of Things Journal PP(99), DOI: 10.1109/JIOT.2021.3110996

Kajian:
Pembelajaran PPKn

Norlezah Hashim, et al., "Location tracking using LoRa," August 2021 International Journal of Electrical and Computer Engineering 11(4):3123, DOI: 10.11591/ijece.v11i4.pp3123-3128
Dudam Sumanth, "LoRa based Wireless Weather Station," June 2021 DOI: 10.22214/ijraset.2021.35289

