

## Pemanfaatan Sistem Irigasi Otomatis Berbasis Wireless Sensor Network

Nurhidayatulloh<sup>1\*</sup>, Budi Mulyanti<sup>2\*</sup>, Enjang Akhmad Juanda<sup>3</sup>, Roer Eka Pawinanto<sup>4</sup>, Arjuni Budi Pantjawati<sup>5</sup>, Rafi Jatnika<sup>6</sup>.

### **Kata Kunci:**

Irigasi; Jatisari; Palawija;  
Pengabdian kepada Masyarakat;  
Wireless Sensor Network.

### **Keywords:**

Irrigation; Jatisari; Palawija;  
Community service;  
Wireless Sensor Networks.

### **Correspondensi Author**

Pendidikan Teknik Elektro, Universitas  
Pendidikan Indonesia  
Jl.Dr Setiabudhi No 207 - Bandung  
Email: [bmulyanti@upi.edu](mailto:bmulyanti@upi.edu)

### **History Article**

Received: 03-10-2022;  
Reviewed: 22-12-2022;  
Accepted: 17-04-2023;  
Available Online: 19-04-2023;  
Published: 22-04-2023;

**Abstrak.** Di Desa Jatisari, petani palawija biasa melakukan penyiraman rutin secara konvensional pada pagi dan sore hari terutama pada musim kemarau, yaitu dengan menyisir setiap baris tanaman menggunakan tangki gendong. Hal tersebut tentu saja memiliki berbagai kelemahan, diantaranya membutuhkan banyak waktu dan tenaga, beresiko bagi kesehatan petani, dan terdapat kemungkinan tidak meratanya pengairan. Untuk itu perlu dilakukan kegiatan pengabdian yang bertujuan untuk: (a) Menerapkan sistem pengairan otomatis untuk tanaman palawija di Desa Jatisari, dan (b) Menerapkan sistem aplikasi monitoring pengairan tanaman palawija berdasarkan data sensor kelembapan dan suhu tanah di lahan petani. Tahapan yang digunakan dalam Pengabdian ini dengan menggunakan pendekatan ADDIE (*analysis, design, development, implementation, evaluation*), yang disesuaikan dengan lahan yang tersedia. Sistem ini diimplementasi pada tanaman palawija milik salah satu petani desa Jatisari, kabupaten Garut. Implementasi sistem ini dimulai dari sensor membaca kelembapan tanah dan suhu tanah tanaman yang telah di program kesesuaiannya berdasarkan waktu yang telah ditentukan yaitu pada pukul 07.00 dan pukul 16.00. Dari hasil pengujian node sensor dan pengujian sistem aplikasi monitoring penyiramana, diperoleh hasil bahwa sistem dapat bekerja dengan error  $\pm 5\%$ . Dengan menggunakan sistem yang telah dibangun ini, maka petani dapat melakukan pemantauan kelembapan dan suhu tanah di sejumlah titik yang tersebar di lahan palawija secara kontinyu melalui aplikasi dari jarak jauh secara *real time*.

**Abstract.** Secondary crop (palawija) farmers in Jatisari Village typically water their crops in the morning and evening, especially during the dry season, by combing each row of plants with a carrying tank. Of course, this has a number of disadvantages, including the need for a significant amount of time and effort, risks to farmers' health, and the possibility of unequal irrigation.. For this reason, it is necessary to carry out community service activities that aim to: (a) Implement an automatic irrigation system for secondary crops in Jatisari Village, and (b) Implement an application system for monitoring secondary crops irrigation based on sensor data of humidity and soil temperature on farmers' land. The stages used in this service

use the ADDIE approach (analysis, design, development, implementation, evaluation), which is adapted to the available land. This system is implemented on palawija plants belonging to one of the farmers in Jatisari village, Garut district. The implementation of this system starts from sensors reading soil moisture and soil temperature of plants that have been programmed based on a predetermined time, namely at 07.00 and 16.00. From the results of testing the sensor nodes and testing the watering monitoring application system, it is found that the system can work properly with an error of  $\pm 5\%$ . By using this system that has been built, farmers are able to monitor soil moisture and temperature at several points spreaded over their secondary crops continuously through remote applications in real-time.



*This work is licensed under a Creative Commons Attribution  
4.0 International License*



## PENDAHULUAN

Industri pertanian merupakan sumber utama untuk memenuhi kebutuhan pangan di Indonesia. Sebagian besar rakyat Indonesia berprofesi sebagai petani dan berdasarkan data Badan Pusat Statistik (BPS, 2018), volume ekspor pertanian sudah mencapai angka 31 juta ton pada September 2018 (BPS). Sebagian besar petani Indonesia menanam padi sebagai tanaman utama, namun para petani juga menanam tanaman lain yang dikenal sebagai tanaman kedua atau tanaman palawija untuk membantu kecukupan pangan bagi masyarakat Indonesia (Dinas Tanaman Pangan dan Hortikultura, 2018).

Pertanian sangat dipengaruhi oleh perubahan lingkungan, iklim dan bencana alam. Pertanian sayuran dan tanaman hortikultura merupakan salah satu jenis pertanian yang cukup bergantung dengan musim. Jenis tanaman ini sangat membutuhkan air yang cukup untuk dapat hidup dengan intensitas yang perlu dipertimbangkan (Nurhemi et al., 2014). Menurunnya ketersediaan air, merupakan salah satu masalah yang sering dihadapi petani di Indonesia, namun demikian pada umumnya mereka masih menggunakan sistem tradisional dalam menangani permasalahan perairan di lahan pertaniannya (Mubarakah, 2019). Sementara itu, kebutuhan perairan tiap lahan pertanian

bergantung pada kondisi kelembaban lahan tersebut, sehingga pengairan yang dilakukan harus disesuaikan dengan kelembaban tanah dan dengan takaran pengairan yang tidak kurang maupun lebih (Awad et al., 2021; Niu et al., 2015). Namun demikian, karena proses pengairan dilakukan secara tradisional, maka menghabiskan banyak waktu, tenaga, biaya, dan pemborosan air yang tidak perlu (Amuddin et al., 2019) dan O'Shaughnessy et al., 2019)

Desa Jatisari, Kecamatan Karangpawitan, Kabupaten Garut, Jawa Barat, Indonesia, terletak sekitar 69 km dari pusat pemerintahan provinsi. Secara geografis, kelurahan Jatisari berada di ketinggian 700 m di atas permukaan laut, dengan suhu rata-rata 21°C dan curah hujan sebanyak 120 mm. Daerah di kelurahan tersebut didominasi oleh lahan pertanian, dengan perbandingan lahan pertanian terhadap perumahan adalah sekitar 5:1. Mata pencaharian di kelurahan Jatisari mayoritas bergantung pada pertanian padi dan palawija. Pertanian padi pada umumnya menggunakan sistem irigasi terasering (Nadzir, 2019), sedangkan palawija memerlukan perawatan dan pengairan yang berbeda dan relatif lebih rumit (Waha et al., 2020). Petani palawija biasanya melakukan penyiraman rutin secara konvensional pada pagi dan sore hari terutama pada musim kemarau, yaitu dengan menyisir setiap baris tanaman menggunakan tangki gendong. Hal tersebut tentu saja

memiliki berbagai kelemahan, diantaranya membutuhkan banyak waktu dan tenaga, beresiko bagi kesehatan petani, dan terdapat kemungkinan tidak meratanya pengairan.

Berdasarkan permasalahan di atas, penulis dan tim pengabdian kepada masyarakat berfokus pada “Pemanfaatan Wireless Sensor Network (WSN) untuk Mendukung Kinerja Pemantauan Sistem Otomasi Pengairan Palawija Berbasis Web pada Kelompok Tani Di Desa Jatisari”. Dengan penerapan sistem ini petani dapat melakukan perawatan tanaman palawija secara otomatis menggunakan teknologi WSN dan berbagai node sensor yang diletakkan di sejumlah titik pada lahan palawija (Savić & Radonjić, 2018; Prodanovic et al., 2020; Ojha et al., 2015; Atmaja et al., 2021; Zhang and Meng, 2021). Arsitektur yang akan dirancang menggunakan metode *scalable* sehingga dapat menjangkau lahan yang luas meskipun di luar jangkauan *gateway*. Dengan demikian tujuan pelaksanaan PkM dapat diklasifikasikan sebagai berikut;

- 1) Menerapkan sistem pengairan otomatis untuk tanaman palawija di Desa Jatisari.
- 2) Menerapkan sistem aplikasi monitoring pengairan tanaman palawija berdasarkan data sensor kelembapan dan suhu tanah di lahan petani.

Dengan menggunakan sistem berbasis WSN diharapkan petani dapat melakukan pemantauan kelembapan dan suhu tanah di sejumlah titik yang tersebar di lahan palawija secara kontinyu melalui aplikasi dari jarak jauh secara *real time*. Dengan demikian, diharapkan petani dapat meningkatkan produktivitas dan kualitas hasil tanaman.

## METODE

Tahapan yang digunakan dalam Pengabdian ini dengan menggunakan pendekatan ADDIE (analysis, design, development, implementation, evaluation) Branch, 2009) yang disesuaikan dengan lahan yang tersedia. Mula-mula melakukan analisis kebutuhan lahan pertanian. Ada beberapa hal yang harus dipertimbangkan dalam memutuskan dalam pengembangan (development) alat otomasi ini diantaranya, melakukan perancangan dan perencanaan yang matang terkait struktur sistem, desain instalasi listrik, pembuatan komponen listrik, juga manufacturing komponen. Setelah komponen terintegrasi, dilakukan implementasi di lapangan dan dilakukan beberapa evaluasi. Setelah dilakukan evaluasi terhadap sistem otomasi di lapangan, kemudian sistem dilengkapi dengan aplikasi monitoring, sehingga petani dapat melakukan pemantauan lahan pertaniannya dari jarak jauh secara *real time*.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### 1. Tahap Evaluasi Kebutuhan;

Untuk mengetahui kebutuhan petani, mula-mula dilakukan survei langsung ke lahan pertanian di desa Jatisari, seperti pada Gambar 1a. Dari hasil survei diperoleh gambaran lahan objek pengabdian seperti pada Gambar 1b. Pada tahap ini dilakukan pengumpulan data dan kemudian menganalisis data yang tersedia dengan cara melakukan wawancara dengan petani tentang kebutuhan petani dalam menanam tanaman palawija. Selanjutnya dilakukan analisa kebutuhan hardware dan software yang mendukung kebutuhan petani.



**Gambar 1a:** Tim melakukan survei lapangan



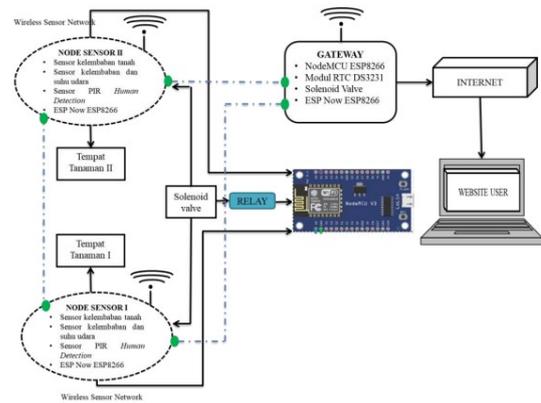
**Gambar 1b:** Lahan objek pengabdian

## 2. Tahap Perancangan

Setelah melakukan survei langsung ke lahan pertanian, Tim Pelaksana segera membuat skema disain implementasi sistem seperti pada Gambar 2a dan disain arsitektur sistem seperti Gambar 2b.



**Gambar 2a:** Skema disain penerapan sistem di lahan objek pengabdian. Pompa air irigasi dapat dipasang tepat di sebelah sumber air



**Gambar 2b:** Arsitektur Desain Sistem

Nampak pada Gambar 2 (b) arsitektur perancangan purwarupa sistem yang terdiri dari 2 node sensor, yang masing-masing akan membaca kelembaban tanah serta kelembaban dan suhu udara. Tahap pertama gateway akan memproses sistem sesuai program modul timer RTC yang telah diatur untuk memberikan pengairan secara otomatis pada tanaman dimasing-masing lahan tanaman yaitu dua titik pada pagi dan sore hari. Tahap kedua node sensor akan memberikan data pada lahan yang telah diberikan pengairan, jika kelembaban dan suhu cukup maka pengairan akan otomatis berhenti. Tahap ketiga semua proses yang sedang berjalan akan terpantau secara real time melalui aplikasi, dengan begitu server akan mengetahui sistem berjalan dengan baik atau tidak. Selain itu web akan menerima informasi dari pembacaan sensor PIR.

## 3. Tahap Pengembangan Sistem

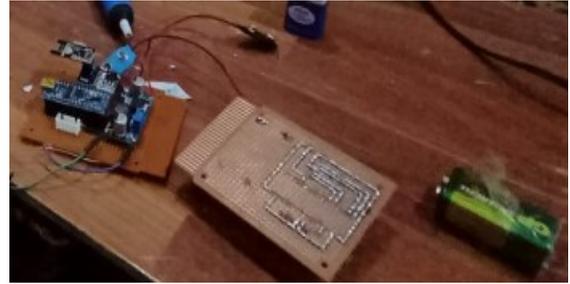
Pengembangan sistem ini dibagi menjadi dua tahapan yaitu tahapan perakitan rangkaian gateway dan tahapan perakitan rangkaian pada node sensor. Rangkain gateway sebagai penerima data dan pengirim data dirangkai dengan beberapa komponen yaitu mikrokontroler ESP32, modul timer RTC DS3231, relay, solenoid valve, power supply, buzzer dan jumper. Pada rangkain gateway ini, komponen dihubungkan ke mikrokontroler ESP32 seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.



**Gambar 3:** Gateway sistem

Dalam perakitan node sensor dibuat menjadi dua node yang dapat berkomunikasi satu sama lain antar node dan node ke gateway menggunakan teknologi ESP32 yang dihubungkan melalui beberapa komponen lainnya seperti mikrokontroler, sensor-sensor, jumper dan kabel USB. Node-node sensor akan dipasang disekitar tanaman palawija untuk membaca dan mengambil data secara otomatis serta bisa mengatur buka tutup aliran air pada solenoid valve. Penggunaan sensor ultrasonik juga dipasang di pintu gerbang untuk membantu pengukuran ketinggian air pada katup solenoida.

Informasi pada setiap node-node sensor tersebut dikirimkan ke gateway dengan menggunakan modul NRF24L01. Dengan demikian, antar node sensor bisa saling berkomunikasi dari sensor satu dengan sensor terdekat atau bisa disebut dengan *scalable*. Pada penelitian ini menggunakan dua titik/*nodes* WSN, dan tiap *nodes* terdiri dari modul NRF24L01, ketiga sensor, dan ESP32. Sementara di *gateway* pusat data terkumpul terdiri dari modul NRF24L01 dan modul wifi ESP32. MCU yang akan dipakai pada masing-masing *nodes* menggunakan Arduino, sementara pada pusat *gateway* menggunakan Arduino nano. Arduino nano sudah dilengkapi dengan IC USB to serial CHG340, sehingga tidak perlu memasang *board* lagi dan menyediakan USB loader untuk mengunggah program pada perangkat ESP32. Parameter-parameter tersebut diukur berdasarkan QoS (*Quality of Service*) pada jaringan komunikasi yang akan diijalankan, yaitu komunikasi antar *nodes* satu ke *nodes* lainnya dan *nodes* ke *gateway*, seperti pada Gambar 4.



**Gambar 4:** Sistem sensor node

#### 4. Tahap Implementasi di Lapangan

Pada tahap implementasi ini, anggota tim mula-mula membuat pondasi sistem untuk menempatkan alat sesuai dengan layout yang sudah disesuaikan dengan kondisi lahan dan perakitan PCB seperti pada Gambar 5



**Gambar 5a:** Pembuatan pondasi sistem



**Gambar 5b:** Perakitan PCB

Sistem ini diimplementasi ke tanaman palawija milik salah satu petani desa Jatisari, kabupaten Garut. Implementasi sistem ini dimulai dari sensor membaca kelembaban tanah dan suhu tanah tanaman yang telah di program kesesuaiannya berdasarkan waktu yang telah ditentukan yaitu pada pukul 07.00 dan pukul 16.00. Selanjutnya data-data tersebut akan diproses NodeMCU dan mengirimkan data tersebut ke gateway yang akan ditampilkan melalui aplikasi Pemantauan Penyiraman Perkebunan Sistem WSN 2022 terkait informasi sistem berjalan baik. Selanjutnya tangki air akan terisi dan sensor water level on sebagai indikator ketinggian air telah cukup yang pada akhirnya solenoid valve akan membuka pada waktu

yang telah ditentukan dan membuka sesuai data pembacaan sensor ketika tanaman perlu di siram. Pada proses lainnya diidentifikasi dari data hasil pembacaan sensor kelembaban dan suhu tanah, jika kurang dari 40% maka akan mengirimkan data ke aplikasi sebagai pemberitahuan agar membuka solenoid valve dan dilakukan pengairan secara otomatis sesuai perintah



Gambar 6: Implementasi sistem ke lapangan

berjalan dengan baik. Pengujian ini dilakukan di beberapa titik dengan beberapa tahap. Tahapan pertama yaitu pengujian pengukuran sensor kelembaban tanah dan suhu pada area node yang ditetapkan. Sensor yang digunakan pada sistem ini adalah sensor *soil moisture capacitive* dan sensor DHT-11. Pengujian ini dilakukan dengan cara menancapkan sensor ke dalam tanah yang kemudian secara otomatis akan membaca suhu dan kelembaban pada tempat tersebut. Untuk menentukan sebuah area pertanian basah atau kering, penulis menentukan *set point* sebagai berikut:

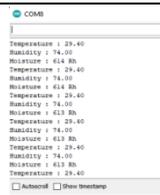
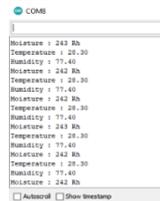
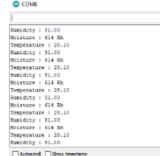
- 0-100: tanah basah
- 100 – 300: tanah lembab
- 300 – 700: tanah kering

Ketika nilai sensor menunjukkan angka di bawah 300 maka solenoid valve akan membuka dan air mengalir untuk menyirami tanaman, dan jika nilai sensor mencapai 700 maka solenoid akan menutup aliran air sehingga penyiraman tanaman berhenti. Pengujian pengukuran sensor soil moisture dan DHT-11 ini dilakukan sebanyak 2 kali percobaan yang menghasilkan nilai seperti pada Tabel 1.

#### 5. Tahap Evaluasi/Pengujian Sistem

Selanjutnya dilakukan pengujian sistem untuk memastikan sebuah sistem

Tabel 1. Hasil pengujian node sensor

Sensor	Test	Condition	Results	Notes
Soil moisture capacitive	1	Sensor dibiarkan di udara bebas dan kondisi tanah kering/udara bebas.		Pada list moisture data ditampilkan yaitu angka 613 dan 614 secara berulang-ulang.
	2	Sensor dimasukkan ke dalam tanah yang telah disiram air dan tanah lembab.		Pada list moisture data ditampilkan yaitu angka 242 dan 243 secara berulang-ulang.
DHT-11	1	Sensor dibiarkan di udara bebas suhu ruangan, suhu, dan kelembapan udara normal untuk tanaman.		Pada list temperature dan humidity data ditampilkan yaitu angka 28,10° dan 81,00° secara berulang-ulang.

2 Sensor diberi suhu panas dari korek api. Suhu dan kelembapan udara sekitar panas.



Pada list temperature dan humidity data ditampilkan yaitu angka 32,80° dan 99,90° secara berulang-ulang.

Hasil pengujian sensor pada sistem ini selanjutnya ditampilkan melalui aplikasi, yang disebut sebagai “Monitoring Penyiraman Perkebunan Sistem WSN 2022”, agar memudahkan petani dalam memonitoring kelembapan dan suhu pada area pertanian secara *real-time*. Dalam aplikasi terdapat beberapa fitur mulai dari monitoring

*real-time*, penggunaan alat, cara perawatan alat, spesifikasi alat dan kontak informasi. Pembuatan aplikasi ini menggunakan database firebase yang dapat menyimpan data secara *real-time* dan aman, selanjutnya menggunakan web kodular aplikasi untuk membuat tampilan aplikasi, seperti pada Gambar 7.

Setelah integrasi sistem, terakhir dilakukan pengujian sistem pemantauan irigasi secara otomatis yang dapat ditampilkan melalui aplikasi Monitoring Penyiraman Perkebunan Sistem WSN 2022 dan hasilnya seperti pada Tabel 2. Pengujian secara rata-rata menghasilkan error yang sangat rendah, yaitu  $\pm 5\%$ .



Gambar 7. Main menu aplikasi

Tabel 2.. Hasil pengujian aplikasi sistem monitoring

No	Waktu	Kelembapan Tanah (Rh)	Suhu dan Kelembapan Udara	Hasil
1	07.00 WIB	60%	25°C & 94%	
2	16.00 WIB	55%	27°C & 92%	
3	07.00 WIB	60%	24°C & 94%	



Kegiatan berlanjut dengan sosialisasi penggunaan dan pemeliharaan alat oleh Tim Pelaksana dan mahasiswa. Dimulai dari penjelasan spesifikasi alat, cara merawat, hingga rincian biaya yang harus dikeluarkan untuk operasional alat tersebut. Kegiatan ini dihadiri oleh warga setempat dan pemuda Karang Taruna setempat. “Kami dari karang taruna jujur sangat menyambut baik kegiatan seperti ini karena dapat menjadi nilai tambah bagi desa ini di mata pemerintahan kabupaten” – kata perwakilan dari Pemuda Karang Taruna setempat. Sambutan hangat pun diberikan oleh pemilik lahan “Saya ucapkan terima kasih banyak kepada para dosen dan adik – adik mahasiswa. Saya harap alat ini dapat bermanfaat untuk ladang ini”.

## SIMPULAN DAN SARAN

Sebuah sistem pemantauan irigasi secara otomatis berbasis WSN telah diimplementasikan di Desa Jatisari, Garut-Jawa Barat, untuk mengoptimalkan produksi pertanian, khususnya palawija. Sensor *soil moisture capacitive* dan sensor DHT-11 menjadi kombinasi yang baik untuk menciptakan sistem yang dapat mendeteksi kelembapan dan suhu area pertanian. Sistem ini juga dilengkapi dengan WSN untuk memantau pertanian dari jarak jauh dan mengotomatiskan sistem pengairan sehingga dapat meningkatkan efisiensi produksi, kualitas produk, menghemat energi, dan melindungi lingkungan. Implementasi sistem ini dimulai dari sensor membaca kelembapan tanah dan suhu tanah tanaman yang telah di program kesesuaiannya berdasarkan waktu yang telah ditentukan yaitu pada pukul 07.00 dan pukul 16.00. Dari hasil pengujian node sensor dan pengujian sistem aplikasi monitoring penyiramana, diperoleh hasil bahwa sistem dapat bekerja dengan error  $\pm 5\%$ . Dari pengalaman di lapangan, Tim Pelaksana merekomendasikan agar sistem yang telah

dikembangkan ini dapat digunakan dan dilakukan perawatan secara berkala oleh masyarakat dengan sebaik-baiknya

## DAFTAR RUJUKAN

- Amuddin, A. and Sumarsono, J., 2015. Rancang Bangun Alat Penyiraman Tanaman Dengan Pompa Otomatis Sistem Irigasi Tetes Pada Lahan Kering. *Jurnal Ilmiah Rekayasa Pertanian dan Biosistem*, 3(1), pp.95-101.
- Atmaja, A.P., Hakim, A.E., Wibowo, A.P.A., and Pratama, L.A. (2021). Communication Systems of Smart Agriculture Based on Wireless Sensor Networks in IoT. *Journal of Robotics and Control.*, 2(4), pp. 297-301.
- Awad, A., Wan, L., El-Rawy, M., and Eltarabily, M.G. (2021). Proper predictions of the water fate in agricultural lands: Indispensable condition for better crop water requirements estimates. *Ain Shams Engineering Journal*. 12 (1), pp. 2435-2442.
- BPS. 2018. Data Statistik Pertanian Indonesia 2018
- Branch, R. M. (2009). *Instructional design: The ADDIE approach* (Vol. 722). Springer Science & Business Media.
- Dinas Tanaman Pangan dan Hortikultura 2018.
- Mubarakah, M., 2019. *Rancang Bangun Otomasi Sistem Irigasi Permukaan Untuk Pertanian Menggunakan Wsn* (Doctoral dissertation, Institut Teknologi Nasional Malang)
- Nadzir, N. (2019). Pemanfaatan Aliran Air Terasering Sebagai Sumber Energi Pembangkit Listrik Tenaga Piko hidro di Desa Kadongdong Kabupaten Garut Jawa Barat. *Jurnal Rekayasa Elektro Sriwijaya*, 1(1), 1-7.

- Niu, C.Y., Musa, A., and Liu, Y. (2015). Analysis of soil moisture condition under different land uses in the arid region of Horqin sandy land, northern China. *Solid Earth*, 6(1), pp. 1157–1167.
- Nurhemi, S.R., Soekro, G.S.R. and Suryani, R., 2014. Pemetaan ketahanan pangan di Indonesia: Pendekatan TFP dan indeks ketahanan pangan. *Jakarta: Bank Indonesia*.
- Ojha, T., Misra, S., and Raghuvanshi, S. (2015). Wireless sensor networks for agriculture: The state-of-the-art in practice and future challenges. *Computers and Electronics in Agriculture*, 118, (1), pp. 66-84.
- O'Shaughnessy, S. A., Evett, S. R., Colaizzi, P. D., Andrade, M. A., Marek, T. H., Heeren, D. M., ... & LaRue, J. L. (2019). Identifying advantages and disadvantages of variable rate irrigation: An updated review. *Applied Engineering in Agriculture*, 35(6), pp. 837-852.
- Prodanović, R., Rančić, D., Vulić, I., Zorić, N., Bogičević, D., Ostojić, G., Sarang, S., and Stankovski, S. (2020). Wireless Sensor Network in Agriculture: Model of Cyber Security. *Sensors*, 20(23), pp. 6747.
- Savić, T., & Radonjić, M. (2018, February). WSN architecture for smart irrigation system. In 2018 23rd International Scientific-Professional Conference on Information Technology (IT) (pp. 1-4). IEEE.
- Waha, K., Dietrich, J.P., Portmann, F.T., Siebert, S., Thornton, P.K., Bondeau, A., and Herrero, M. (2020). Multiple cropping systems of the world and the potential for increasing cropping intensity. *Global Environmental Change*, 64(1), pp. 102131.
- Zhang, B., and Meng, L. (2021). Energy Efficiency Analysis of Wireless Sensor Networks in Precision Agriculture Economy. *Scientific Programming*, 2021, (Article ID 8346708) pp. 1-7