



JURNAL RONA TEKNIK PERTANIAN
ISSN : 2085-2614; e-ISSN 2528 2654
JOURNAL HOMEPAGE : <http://www.jurnal.unsyiah.ac.id/RTP>



Rancang Bangun Multi Sensor Pengukur Tinggi Muka Air Untuk Lahan Sawah

Rahmat H. Anasiru¹⁾, Arief Wicaksono¹⁾, Andy Saryoko¹⁾ dan Adi Prayoga¹⁾

¹⁾Politeknik Enjiniring Pertanian Indonesia (PEPI) Serpong
Jln. Sinarmas Boulevard No 1, Tangerang. Banten

*E-mail: rhanasiru@gmail.com

Abstrak

Penghematan air untuk irigasi permukaan adalah salah satu cara mengurangi efek lingkungan dari budidaya tanaman padi. Dalam sistem AWD (*Alternate Wetting Drying*) lahan sawah digenangi secara berselang, ketinggian air dari permukaan tanah dimonitor sesuai dengan rekomendasi AWD. Metode ini terbukti dapat mengurangi penggunaan air tanpa mengurangi hasil panen. Perkembangan saat ini pada platform cloud IOT sensor-sensor dapat berhubungan langsung dengan sistem yang menyimpan data dalam kapasitas yang besar, data ini selanjutnya dapat didownload dan diproses. Penelitian ini bertujuan untuk mendesain sistem multi sensor alat pengukur ketinggian permukaan air yang memiliki catu daya yang bersumber pada energi matahari dan dilengkapi dengan baterai Li-Ion dan berbentuk ringkas. Komunikasi dari masing masing sensor ke rangkaian master dilakukan melalui komunikasi radio. Mode hemat daya yang menonaktifkan sensor dan modul radio pada kondisi stanby dapat menghemat pemakaian baterai, tanpa penyinaran matahari baterai dapat bertahan 11,6 hari dibandingkan dengan 3,2 hari pada mode non hemat daya. Tegangan baterai dan pembacaan ketinggian permukaan air diupload ke ThinkSpeak IoT cloud oleh rangkaian master, untuk dianalisa lebih lanjut.

Kata kunci: AWD, IOT, hemat daya, sensor ketinggian air, sawah

Design of Paddy Field Water Level Multi Censor

Rahmat H. Anasiru¹⁾, Arief Wicaksono¹⁾, Andy Saryoko¹⁾ dan Adi Prayoga¹⁾

¹⁾Politeknik Enjiniring Pertanian Indonesia (PEPI) Serpong

Jln. Sinarmas Boulevard No 1, Tangerang. Banten

*E-mail: rhanasiru@gmail.com

Abstract

Water conservation for field irrigation is an important key to reduce environmental effect from paddy cultivation. In the AWD (Alternate Wet Drying) method, rice field is alternately flooded and non-flooded, water height is always measured to adjust with AWD recommendation. This method proven for reducing water usage without decreasing yield. With recent development from IoT Cloud platform, sensors can interface directly to cloud system and store many data so it can be downloaded and processed latter. In this study, electronic water height multiple sensors based on infrared technology is equipped with solar panel and Li-Ion battery storage designed with compact form. Communication from sensors to master done by radio wave. Power saving method which turnoff sensors and radio power in the standby condition can conserve battery to stand the power without sunlight 11.6 days compared to 3.2 days in non power saving design. Battery voltage and water level reading from each sensor is uploaded to Think Speaks cloud IoT dashboard, this data can be analyzed latter for other purpose.

Keywords : AWD, IOT, powersave, water level censor, paddy field.

PENDAHULUAN

Budidaya padi secara konvensional umumnya masih melakukan transplantasi bibit (pindah tanam) setelah benih berusia 30-35 hari. Hal ini kadang mengalami kendala akan berkurangnya ketersediaan air irigasi yang menurun pada saat pindah tanamnya (Madhusoodhanan *et al.*, 2016).

Selain itu, penggenangan lahan sawah sering dilakukan untuk mengendalikan gulma, namun hal ini membutuhkan jumlah air yang cukup banyak (Nawaz *et al.*, 2019), disamping itu pula, pelumpuran yang berlebihan akan memperburuk struktur tanah (karena pembentukan lapisan bajak (*hard pan*) dan disintegrasi partikel tanah) yang berdampak buruk untuk tanaman pasca-padi (Bhatt *et al.*, 2019). Penggenangan juga dapat menghasilkan emisi metana yang lebih tinggi (Suryavanshi *et al.*, 2013) yang dapat meningkatkan potensi pemanasan global (Linguist *et al.*, 2012; Wassmann *et al.*, 2010).

Oleh karena itu, sistem penggenangan lahan (*continoues flooding*) lambat laun harus dikurangi dengan mempertimbangkan aspek konservasi sumber daya air, yang paling tidak dapat mempengaruhi kesehatan ekosistem yang ramah lingkungan (Godfray dan Garnett, 2014).

Berbagai pendekatan penghematan air telah diuji disebarluaskan untuk meningkatkan produksi beras yaitu; i) tanam benih langsung (Direct seeded Rice/ DSR) (Weerakoon *et al.*, 2011), ii) penerapan basah kering (Alternate Wetting Drying/ AWD) (Carrijo *et al.*, 2017), iv) sistem intensifikasi padi sawah (Zhao *et al.*, 2009), viii) irigasi berselang waktu pembasahan dan pengeringan (Mao, 2001).

AWD terdiri dari tiga elemen kunci dasar: pertama, penggenangan selama dua minggu untuk memulihkan bibit dari efek *shock* setelah penyemaian/transplanting, selain itu untuk menekan munculnya gulma (Liang *et al.*, 2013); kedua, penggenangan setinggi 2–3 cm sejak awal pembungaan sampai akhir berbunga, karena durasi ini sangat sensitif terhadap defisit air, dan yang ketiga, siklus basa kering/ AWD selama periode pertumbuhan (Yang *et al.*, 2017). Praktek AWD harus dipastikan ketersediaan air yang cukup saat dibutuhkan.

Untuk memproduksi satu kilogram beras dibutuhkan penggunaan air sebanyak 3000-5000 liter air (Hossain *et al.*, 2016), untuk menghemat pemakaian air metode AWD atau irigasi berselang digunakan sebagai teknologi penghematan air yang dapat mengurangi penggunaan air irigasi, dalam teknik AWD, irigasi diberikan ke lahan sawah dalam rentang beberapa hari setelah air tidak terlihat di permukaan, rentang pemberian air dapat bervariasi dari satu hingga lebih dari sepuluh Hari (Setyanto, *et al.*, 2018)

Sejak sistem irigasi berselang dikenalkan pada masyarakat, belum ada pedoman yang pasti mengenai sistem irigasi berselang yang harus diterapkan. Hal ini membuat para petani masih sulit menerapkan di lapangan seperti ketepatan waktu interval penggenangan dan interval pengeringan lahan yang terbaik serta ketinggian genangan air di lahan.

Hal ini akan menimbulkan dampak bahwa akan ada petak yang kelebihan air dan ada pula yang kekurangan air. Selain itu pemakaian air jadi kurang efisien. Pengaruh yang paling dirasakan petani tentu saja pada produktifitas tanaman padi atau palawija yang dibudidayakan. Baik Kelebihan air maupun kekurangan air sama-sama menimbulkan kerugian bagi petani. Oleh karena itu pengaturan air sangat penting sekali dalam budidaya pertanian, khususnya pada tanaman padi dan palawija. Berkembangnya teknologi dan platform cloud IoT (*Internet of Things*), dimungkinkan untuk melakukan antarmuka sensor-sensor yang dapat ditampilkan dalam antarmuka (Foughalia *et al.*, 2018). Berdasarkan kondisi di atas perlu dirancang suatu sistem monitoring irigasi berselang (*intermittent*) yang termonitor secara online. Studi untuk sistem sensor irigasi elektronik AWD dari beberapa sumber dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Beberapa penelitian terhadulu tentang Alternate Wetting Drying (AWD) elektronik

Sumber Penelitian	Sensor Ketinggian Air	Sel Surya	Baterai	Tipe Sensor	Komuni kasi Sensor Ke Master	Komuni kasi Master Ke Internet
Masseroni,Uddin, Tyrell, Mareels, Gandolfi, Facchi (2017)	FlodTech Ultrasonik	Solar Panel 10W	Lead Acid	Multi Sensor	2.4 Ghz Zigbee Commercial Module	Farm Connect gateway GSM
Shufian,Haider, Hasibuzzaman. (2021)	Ultrasonik HC-SR04	Solar Panel Polikristal 60W	Lead Acid	Modul Tunggal	-	GPRS Modem
Tolentino,Bacaltos, Cruz,Cruz,Medina ,Panergalin, Velasco (2021)	Ultrasonik	Solar Panel Kompak	Lead Acid	Multi Sensor	2.4 Ghz Zigbee Commercial Module	Wifi Modul
Liu, Ismail,Wang,Lin (2021)	Waterlevel konduktif	Solar Panel Kompak	Lead Acid	Modul Tunggal	-	NB-IOT

Penelitian tentang AWD elektronik yang dilakukan sebelumnya menggunakan sensor pendeteksi ketinggian air dengan sensor bertipe ultrasonik dan konduktor, untuk penempatan alat di lahan tanpa terhubung kebel listrik mengharuskan pemakaian sel surya sebagai sumber daya mandiri dengan penyimpanan baterai.

Untuk penempatan alat di lapang dengan sumber energi matahari, diperlukan adanya kajian karakteristik alat dari variasi iradiasi, dan juga ketahanan penyimpanan baterai sehingga dalam kondisi iradiasi matahari yang minimum selama beberapa hari alat tetap dapat berjalan. Penggunaan sensor ketinggian air dengan tipe selain ultrasonik juga perlu dilakukan.

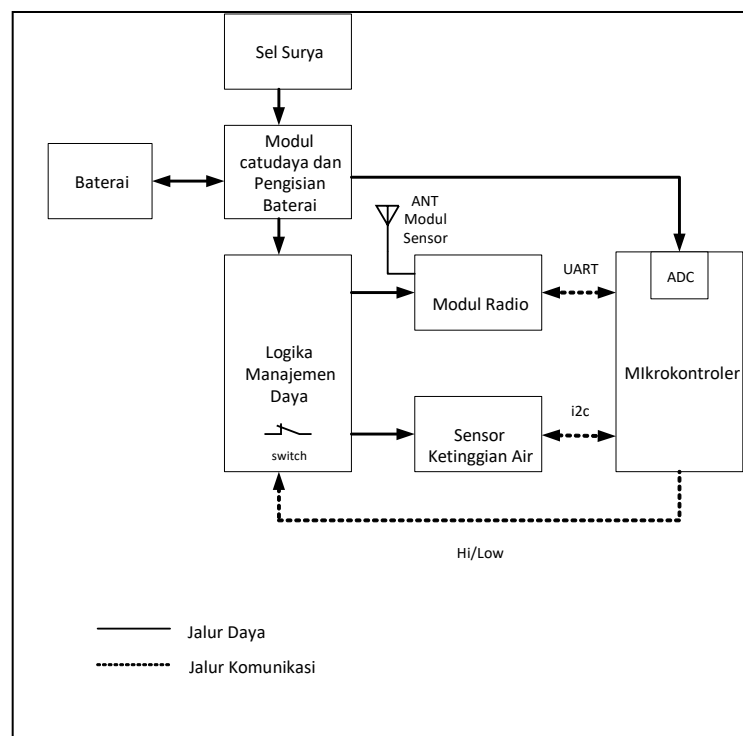
METODE PENELITIAN

Proses monitoring ketinggian air di lahan sawah dirancang melalui suatu sistem multisensor pengukur ketinggian air yang memiliki sistem sumber daya mandiri berasal dari matahari dan tahan terhadap cuaca untuk selanjutnya mengirimkan data ke Cloud IoT. Berikut ini beberapa komponen yang terdapat pada sistem multisensory ketinggian air.

Rangkaian Sensor.

Rangkaian sensor akan mendeteksi ketinggian air dari atas permukaan tanah, bentuk desain rangkaian ini haruslah kompak secara ukuran agar dapat ditempatkan ditengah sawah tanpa membutuhkan struktur tambahan. Ketersediaan daya di baterai yang ditunjukkan dengan tegangan baterai dalam satuan Volt dimonitor datanya untuk dikirim ke master.

Desain rangkaian sensor terdiri dari tujuh bagian modul yang terdiri dari Sel surya, Modul pengisian,baterai, modul radio sensor ketinggian air, mikrokontroler dan logika manajemen daya dapat dilihat pada Gambar 1. Rangkaian sensor tersebut dimasukan ke dalam kemasan tahan cuaca yang memiliki rating IP66.



Gambar 1. Desain rangkaian sensor

Sel Surya

Berdasarkan (Mirzaei dan Mohiabadi, 2017), penggunaan panel monokristal akan lebih efisien untuk menghasilkan daya yang lebih besar dibandingkan dengan panel polikristal. Panel surya Monokristal 5.6V, 350mA berukuran 13x15 cm dengan pelapis kaca digunakan dalam penelitian ini

Modul Catu Daya dan Pengisian Baterai

Modul catu daya menggunakan DFrobot Solar Power Manager dengan keluaran tegangan 5V dan arus maksimum 1A, modul ini bertipe MPPT (Maximum Power Point Tracking). Pengisian daya dapat dilakukan selagi menyalurkan tegangan ke modul lainnya.

Baterai

Baterai menggunakan sel tunggal dengan kapasitas 5200 mAh berjenis Li-ion dengan ukuran 26650, tegangan normal baterai 3,7V dan tegangan maksimum 4,4V

Modul Radio

Komunikasi antar slave dan master menggunakan Modul Radio HC-12 yang bekerja pada frekuensi 433,4-473 MHz, modul ini bekerja dengan perintah AT melalui serial UART (*Universal Asynchronous Receiver Transmitter*). Komunikasi antar modul multipoint to point didesain secara sederhana untuk penelitian ini.

Sensor Ketinggian Air

Untuk membaca ketinggian air di penelitian ini menggunakan sensor inframerah TOF10120 yang bertipe *Time of flight sensor* dengan panjang gelombang sumber 940 nm. Modul ini bekerja dengan perintah i2c (*Inter Integrated Circuit*). sebagai pemantul digunakan material reflektif berwarna abu abu yang diapungkan diatas permukaan air

Mikrokontroler

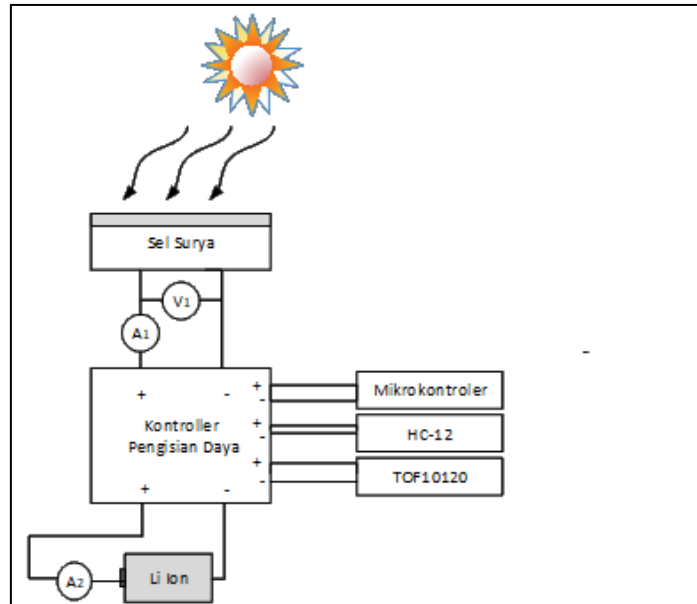
Mikrokontroler untuk modul sensor menggunakan platform Arduino Nano yang menggunakan chip ATmega328P-15MZ yang memiliki frekuensi clock 16 MHz. Penggunaan ADC (*Analog to Digital Converter*) internal dengan resolusi 10 bit dilakukan untuk mengukur tegangan baterai, dalam operasinya, mikrokontroller diperintahkan untuk masuk dalam mode hemat daya dengan mematikan ADC di system internal dan *brownout detector* (BDO) apabila berada pada keadaan standby.

Logika Manajemen Daya.

Manajemen daya akan menonaktifkan modul HC-12 dan TOF 10120 ketika rangkaian sensor tidak aktif dan juga akan mengubah keadaan Mikrokontroler ATmega328P ke mode hemat daya dengan menonaktifkan ADC dan BDO. Sistem akan menyala kembali pada selang waktu dalam satuan menit yang ditentukan oleh perintah dari master.

Pengukuran Daya Rangkaian Sensor

Untuk mengukur kebutuhan daya rangkaian sensor disusun suatu perangkat pengukuran yang terdiri dari amperemeter yang mengukur arus masukan dari sel surya dan arus keluar masuk baterai, bentuk rangkaian pengukuran dapat dilihat pada Gambar 2. Voltmeter diletakkan secara paralel dengan sel surya untuk mengukur variasi tegangan sel surya pada iradiasi matahari tertentu.

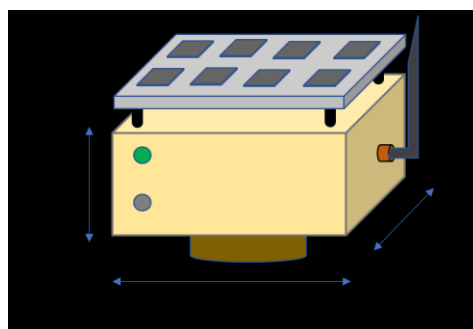


Gambar 2. Rangkaian Pengukuran

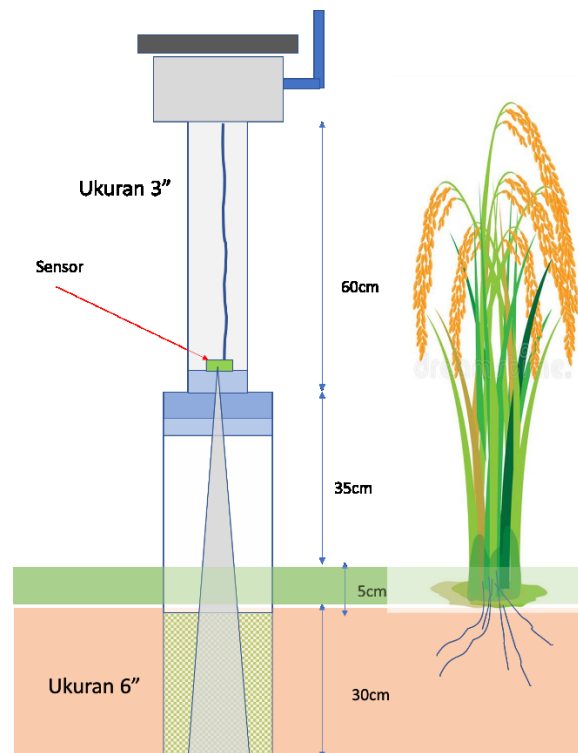
Sistem di rangkaian sensor akan bekerja pada tiga keadaan: mode 3 saat mikrokontroler, HC-12 dan TOF10120 menyala dan melakukan pengukuran ketinggian air, mode 2 saat rangkaian sensor menunggu data dari master dengan modul radio menyala dan bersiap melakukan pengukuran ketinggian air, dan mode 1 dimana mikrokontroler ATmega328P berada dalam keadaan hemat daya. Kinerja mode hemat daya untuk rangkaian sensor akan dibandingkan dengan metode non hemat daya dimana rangkaian hanya bekerja pada mode 2 dan mode 3.

Desain Rangkaian Sensor dan Bagian Pendukung

Bentuk rangkaian sensor beserta bagian pendukung terlihat pada Gambar 3, bagian yang ditancapkan ke tanah memiliki lubang lubang untuk air masuk berdiameter 5,5 mm dengan jarak antar lubang sebesar 2 cm. bagian pendukung dapat dilihat pada Gambar 4.



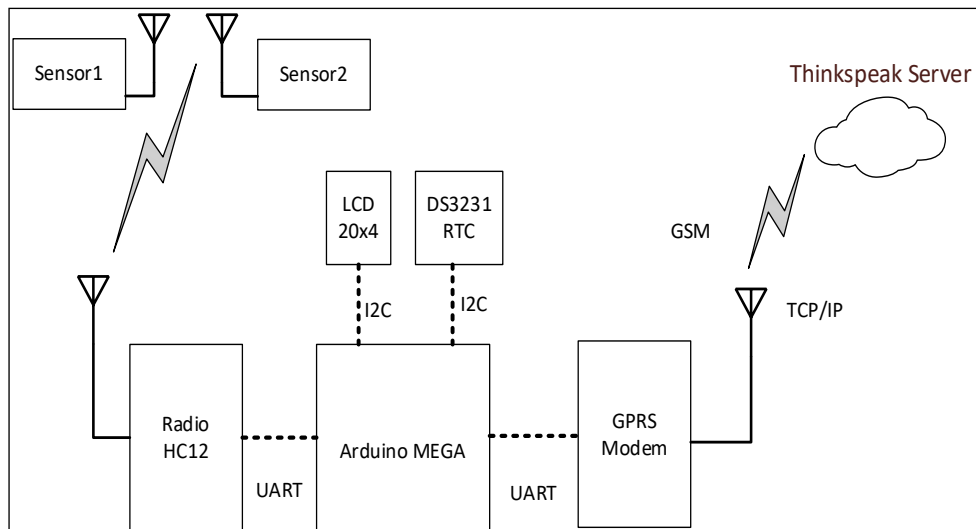
Gambar 3. Desain rangkaian sensor



Gambar 4. Desain pendukung rangkaian sensor untuk pengukuran ketinggian air

Rangkaian Master

Untuk mengumpulkan data dari beberapa sensor diperlukan rangkaian master, rangkaian ini memerintahkan rangkaian sensor mengirimkan data, jeda waktu stanby rangkaian, menangkap data dan selanjutnya mengirimkan data tersebut ke platform Cloud IOT ThinkSpeak. ThinkSpeak merupakan salah satu platform Cloud IOT yang dilengkapi dengan Analisa dan dimiliki oleh Mathworks (Tapakire dan Patil 2019), Rangkaian master terdiri dari lima bagian, yaitu Radio HC-12, mikrokontroler platform Arduino Mega, penampil LCD 20x4, Real Time Clock DS3231 dan GPRS modem, gambar rangkaian keseluruhan dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Desain rangkaian master

Keterangan bagian bagian rangkaian master dapat dijelaskan sebagai berikut:

Mikrokontroler

Untuk mengakomodir dua komunikasi UART untuk radio HC-12 dan modem digunakan platfor mikrokontroler pkatform arduino Mega dengan chip ATMega 25560 yang bekerja pada frekuensi 16 MHz dan memiliki kapasitas tiga komunikasi UART.

Real time Clock

Untuk melakukan pecatatan waktu dan merubah waktu pengiriman data digunakan RTC DS3231,data yang dikirimkan ke modul sensor memiliki informasi interval pengiriman data. Hal ini dilakukan untuk menghemat daya karena saat malam hari tidak ada radiasi matahari yang diterima.

GPRS Modem

Pengiriman data ke server Thinkspeak dilakukan dengan menggunakan modul modem Sim800L yang bekerja di jaringan GSM 2G. Dengan perintah AT.

Lokasi dan Bentuk Alat

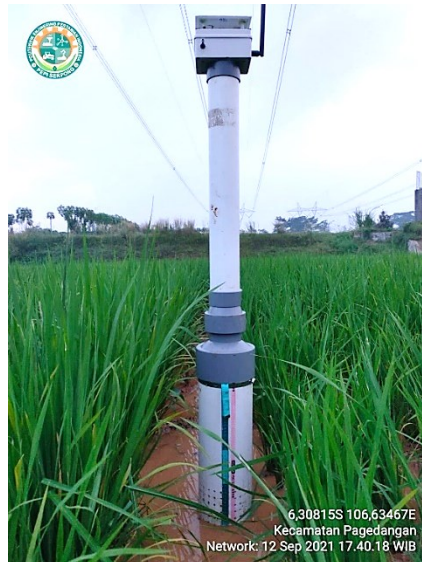
Lokasi pengambilan data berada di sawah penelitian BBP Mekanisasi Pertanian (Gambar 6), Situ Gadung Pagedangan Serpong dengan luasan sawah berukuran 28mx38m penempatan alat dilakukan dengan menacapkan dua sensor di kedalaman 30 cm dari bawah bagian pipa.



Gambar 6. Lokasi penempatan alat



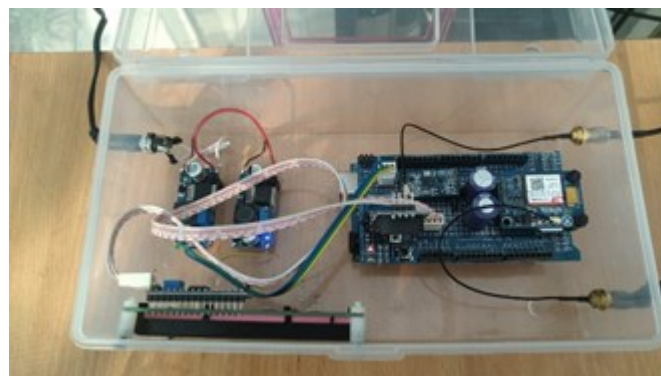
Gambar 7. Bentuk fisik rangkaian sensor



Gambar 8. Rangkaian sensor dan pendukungnya



Gambar 9. Tampilan layer lcd dari master



Gambar 10. Rangkaian Master

HASIL DAN PEMBAHASAN

Setelah perancangan alat rangkaian sensor dan master, pengujian dilakukan untuk kebutuhan arus modul dalam rangkaian sensor tanpa iradiasi matahari dan dengan iradiasi matahari, selanjutnya dihitung kinerja ketahanan baterai untuk kondisi hemat daya dan non hemat daya, Tegangan baterai dan pembacaan sensor ketinggian air.

Pengukuran Kebutuhan Arus Tanpa Iradiasi Matahari

Tanpa Adanya Iradiasi Matahari maka besarnya arus yang dikonsumsi oleh rangkaian dapat diukur dengan Amperemeter A2 dengan 3 mode berbeda, ditambah dengan mengukur Arus A2 dengan mikrokontroler digunakan tanpa menjalankan mode hemat daya.

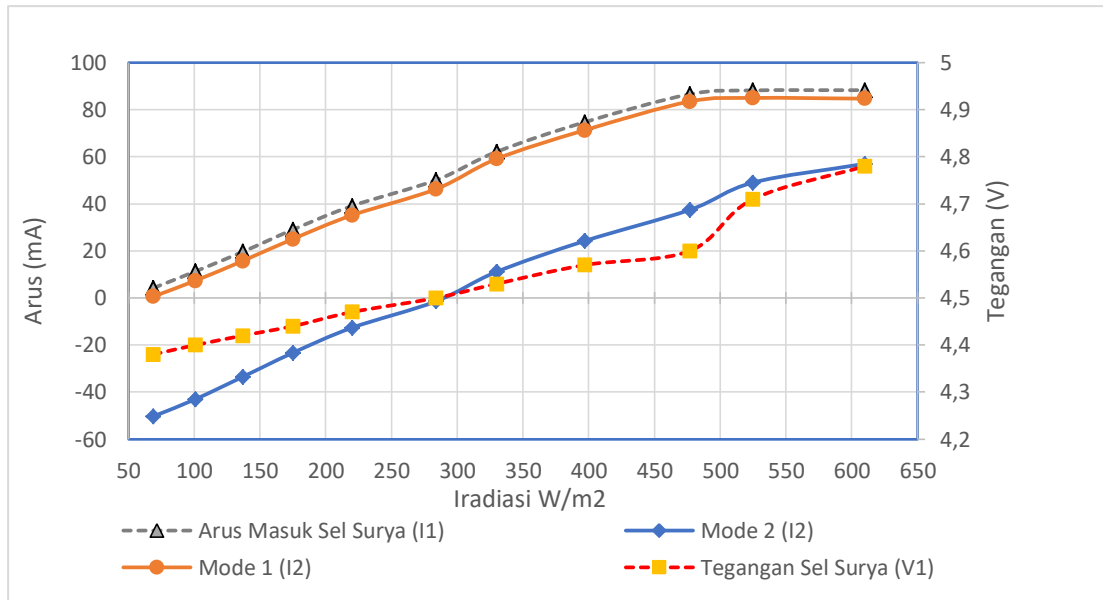
Tabel 1. Pengukuran Kebutuhan Arus Rangkaian Sensor

Mode, Notasi Arus	Modul	ArusA2 (mA)
1, I_1	Mikrokontroler dengan metode hemat daya	2.72
-	Mikrokontroler	20.17
2, I_2	Mikrokontroler ,HC12, TOF10120 Standby	54
3, I_3	Mikrokontroler ,HC12, TOF10120 Aktif	121

Pengukuran Arus dan Tegangan Terhadap Iradiasi Matahari

Pengukuran iradiasi matahari dalam satuan W/m² dilakukan dengan menggunakan solar radiation meter yang berada pada bidang normal sejajar dengan sel surya. Tegangan sel surya (V1) , arus yang masuk ke rangkaian charger (V1) dan arus keluar masuk baterai (V2) diukur untuk dua kondisi (mode 1 dan 2), data untuk mode 3 tidak diukur dengan variasi Iradiasi, karena pengambilan ketinggian dengan sensor TOF10120 hanya dilakukan dalam waktu yang singkat (2 detik).

Hasil pengukuran terlihat pada Gambar 11. Arus negatif menunjukkan adanya arus yang keluar dari baterai, sedangkan nilai arus positif menunjukkan arus masuk untuk mengisi baterai. Dari Gambar, sistem akan selalu mengisi baterai pada operasional di mode 2 untuk nilai iradiasi yang lebih besar dari 300 W/m².



Gambar 11. Grafik arus masuk sel surya, tegangan sel surya, arus keluar masuk baterai pada mode 1 dan mode 2

Perhitungan Daya Tahan Baterai Pada Kondisi Tanpa Iradiasi.

Dengan desain pengiriman data yang bergantung pada waktu, sistem diset untuk jam 06:00 sampai jam 17:59 sensor akan melakukan pengiriman data dengan interval 6 menit (120 data), dan dari jam 18:00 hingga jam 05:59 sensor akan mengirimkan data dalam interval 20 menit (36 data), total pengiriman data perhari adalah 156 kali.

Untuk pengambilan data dengan interval tunggu sensor maksimum 2 menit (mode 2) maka sensor akan berada pada mode 2 sebanyak $t_{ps2} = 330$ menit, dan berada pada mode 3 selama 330 detik ($t_{ps3} = 5,2$ menit). Kebutuhan arus rata-rata dalam satu hari dalam sistem hemat daya ($\bar{I}_{ps}$) dapat dihitung dengan persamaan:

$$\bar{I}_{ps} = \frac{I_1 t_{ps1} + I_2 t_{ps2} + I_3 t_{ps3}}{t_{ps1} + t_{ps2} + t_{ps3}} \quad (1)$$

Dimana I_n adalah konsumsi arus, adalah waktu interval hemat daya pada mode $n=1,2,3$. $t_{ps1} + t_{ps2} + t_{ps3}$ adalah jumlah menit dalam satu hari (1440 menit). Hasil perhitungan untuk data di Tabel 1 menghasilkan nilai $\bar{I}_{ps}$ sebesar 8,45 mA. Dengan kapasitas baterai sebesar 5200 mAh maka dalam kondisi tanpa adanya Iradiasi matahari, dengan asumsi baterai efisiensi sebesar 80%, maka kapasitas baterai akan habis dalam waktu 279.22 Jam atau 11.63 Hari.

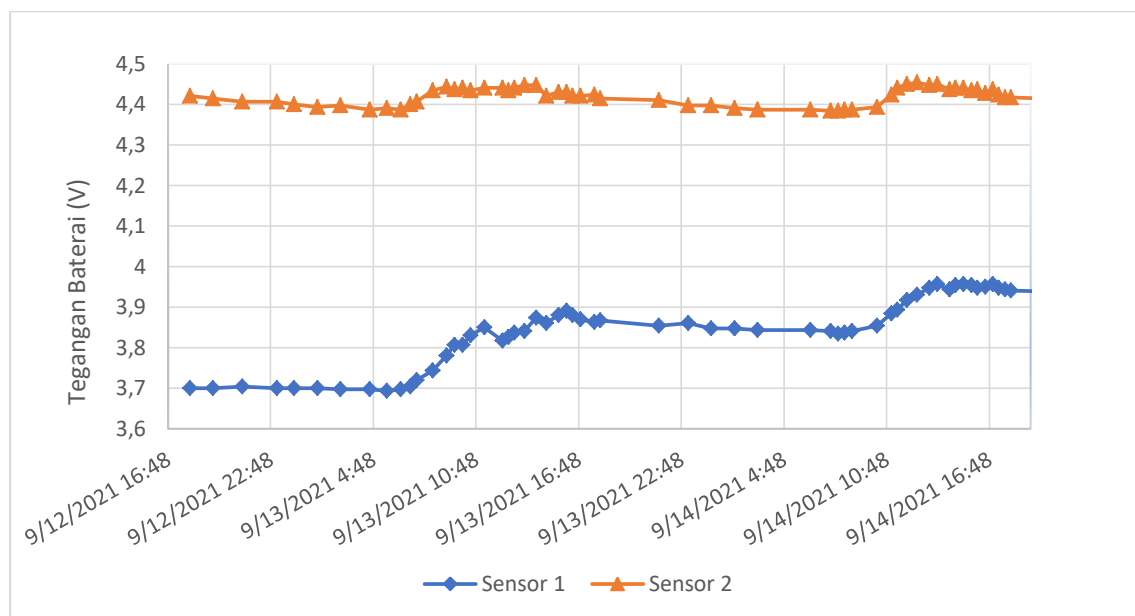
Tanpa mode hemat daya, mikrokontroler dan rangkaian logika manajemen daya, rangkaian sensor akan bekerja hanya pada mode 2 dan 3, sehingga kebutuhan arus rata-rata dalam satu hari dalam sistem non hemat daya ($\bar{I}_{nps}$) pada desain yang sama dapat dihitung dengan persamaan:

$$\bar{I}_{nps} = \frac{I_2 t_{nps2} + I_3 t_{nps3}}{t_{nps2} + t_{nps3}} \quad (2)$$

Nilai $t_{nps3}=5,2$ menit, nilai t_{nps2} ditentukan dari $1440-t_{nps3} = 1434.8$ menit. Hasil perhitungan arus rata-rata non hemat daya $\bar{I}_{nps}$ adalah 54,24 mA. Dengan kapasitas baterai dan efisiensi yang sama maka ketahanan baterai adalah 76,69 Jam atau 3,2 hari.

Tegangan Baterai

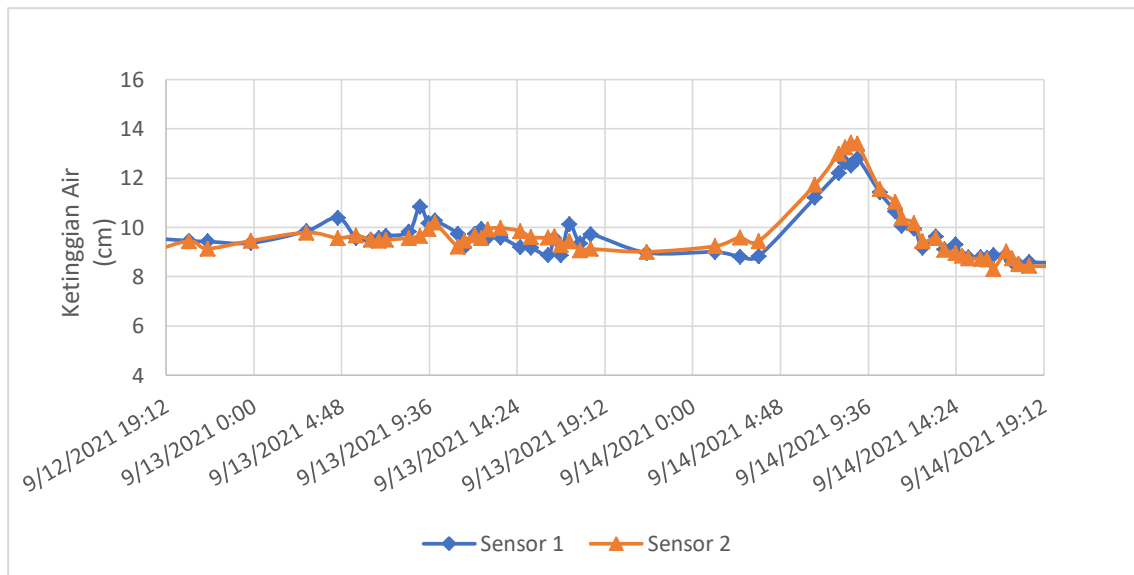
Data tegangan baterai pada sensor 1 dan sensor 2 dikirim ke master dan diupload ke Thinkspeak dan didownload untuk interval dua hari terdapat pada Gambar 12, kondisi awal baterai berbeda untuk kedua rangkaian sensor ini, nilai awal baterai di sensor 1 sebesar 4,4 V, dan nilai awal tegangan baterai di sensor 2 sebesar 3,7 V. Pada grafik pola pengisian baterai dimulai dari pagi hingga sore hari, yang ditunjukkan dengan naiknya tegangan baterai.



Gambar 12. Tegangan baterai pada sensor 1 dan sensor 2

Ketinggian Air

Data pengukuran ketinggian air diambil untuk rentang 2 hari, dimana terjadi kondisi hujan lebat di lahan pada hari kedua, dimana tinggi air rata rata dilahan mengalami kenaikan 4,45 cm dari nilai awal sebesar 8,8 cm diatas permukaan tanah hingga 13,25 cm. Untuk luasan sawah 896 m² maka setiap perubahan ketinggian air sebesar 1cm akan terdapat perubahan volume sebesar 8.960 liter, sehingga untuk kenaikan air sebesar 4,45cm akan terdapat penambahan volume air sebesar 39.870 liter



Gambar 13. Pengukuran ketinggian air di sensor 1 dan sensor 2

KESIMPULAN

Rancang bangun alat AWD elektronik pada penelitian ini telah sukses dilakukan, sistem penghematan daya menunjukkan rangkaian sensor dapat bekerja sehari-hari dengan kondisi tanpa iradiasi matahari dibandingkan dengan desain tanpa pengematan daya. Dengan adanya iradiasi matahari, pengisian baterai bekerja dengan baik untuk kedua sensor Ketika terdapat iradiasi matahari yang cukup.

Pengukuran ketinggian air dengan pengiriman data ke sistem ThinkSpeak Cloud IOT diharapkan dapat mempermudah pembacaan data untuk analisa data selanjutnya dengan data yang berjumlah besar.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada Pusat Pendidikan Pertanian, Badan Pengembangan Penyuluhan dan Sumberdaya Manusia Pertanian (BPP SDMP) sebagai penyedia dana dalam penelitian ini, serta tak lupa pula disampaikan kepada Harry Hartono, Azis, Husaini dan Mas Dony atas dukungan tenaga lapangan.

DAFTAR PUSTAKA

- Bhatt, R., Kaur, R., Ghosh, A., 2019. Strategies to practice climate-smart agriculture to improve the livelihoods under the rice-wheat cropping system in south asia. *Sustainable Management Of Soil And Environment*. Springer, Singapore, pp. 29–71.
- Carrijo, D.R., Lundy, M.E., Linquist, B.A., 2017. Rice yields and water use under alternate wetting and drying irrigation: a meta-analysis. *Field Crops Res.* 203, 173–180. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2016.12.002>
- FAO Rice Market Monitor Volume XXI issue No 1 Apr 2018, Food and Agriculture Organization of the United Nations
- Foughalia, K., Karim Fathallahb, Ali Frihidab, 2018. Using Cloud IOT for disease prevention in precision agriculture, *The 9th International Conference on Ambient Systems, Networks and Technologies Publication* (ANT 2018)
- Godfray, H.C.J., Garnett, T., 2014. Food security and sustainable intensification. *Philos.Trans. R. Soc. B. Biol. Sci.* 369, 20120273. <https://doi.org/10.1098/rstb.2012.0273>
- Hossain, M., Roy, D., Paul, P., & Islam, M., 2016. Water Productivity Improvement Using Water Saving Technologies in Boro Rice Cultivation. *Bangladesh Rice Journal*, 20(1), 17–22. <https://doi.org/10.3329/brj.v20i1.30625>
- Liang, X.Q., Chen, Y.X., Nie, Z.Y., Ye, Y.S., Liu, J., Tian, G.M., Wang', G.H., Tuong, T.P., 2013. Mitigation of nutrient losses via surface runoff from rice cropping systems with alternate wetting and drying irrigation and site-specific nutrient management practices. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 20, 6980–6991.
- Linquist, B.A., Adviento-Borbe, M.A., Pittelkow, C.M., van Kessel, C., van Groenigen, K.J., 2012. Fertilizer management practices and greenhouse gas emissions from rice systems: a quantitative review and analysis. *Field Crops Res.* 135, 10–21. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2012.06.007>
- Liu, L.-W., Ismail, M. H., Wang, Y.-M., & Lin, W.S., (2021). Internet of things based smart irrigation control system for paddy field. *AGRIVITA Journal of Agricultural Science*, 43(2), 378-389.
- Madhusoodhanan, C.G., Sreeja, K.G., Eldho, T.I., 2016. Climate change impact assessments on the water resources of India under extensive human interventions. *Ambio.* 45, 725–741. <https://doi.org/10.1007/s13280-016-0784-7>
- Mao, Z., 2001. Water efficient irrigation and environmentally sustainable irrigated rice production in China. International Commission on Irrigation and Drainage. . [http:// www.icid.org/watmao.pdf](http://www.icid.org/watmao.pdf).
- Masseroni, D., Jasim Uddin, Reece Tyrell, Iven Mareels, Claudio Gandolfi, Ariana Facchi, (2017), Towards a smart automated surface irrigation management in rice-growing areas in Italy, *Journal of Agricultural Engineering* No 48
- Mirzaei, M., MZ Mohiabad. 2017. A comparative analysis of long-term field test of monocrystalline and polycrystalline PV power generation in semi-arid climate conditions, *Energy for Sustainable Development* Volume 38
- Nawaz, A., Farooq, M., Nadeem, F., Siddique, K.H.M., Lal, R., 2019. Rice–wheat cropping systems in South Asia: issues, options, and opportunities. *Crop Past. Sci.* 70, 395–427. <https://doi.org/10.1071/CP18383>

- Setyanto, P., Ali Pramono, Terry Ayu Adriany, Helena Lina Susilawati, Takeshi Tokida, Agnes T. Padre & Kazunori Minamikawa. 2018. Alternate wetting and drying reduces methane emission from a rice paddy in Central Java, Indonesia without yield loss, *Soil Science and Plant Nutrition*, 64:1, 23-30
- Shufian, A., Md. Rifad haider, Md. Hasibuzzaman, 2021. Results of a simulation to propose an automated irrigation & monitoring system in crop production using fast charging & solar charge controller, *Journal of Cleaner Engineering and Technology* No 4
- Suryavanshi, P., Singh, Y.V., Prasanna, R., Bhatia, A., Shivey, Y.S., 2013. Pattern of methane emission and water productivity under different methods of rice crop establishment. *Paddy Water Environ.* 11, 321–329. <https://doi.org/10.1007/s10333-012-0323-5>
- Tapakire, Bhagyashree A.. and Manasi M. Patil, 2019, "IoTbased Smart Agriculture using Thingspeak", *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*, vol. 8, no. 12.
- Tolentino, Lean Karlo S., Patrick Carlos Bacaltos, Rica Mikaela V. Cruz, Neal Jhon S. Dela Cruz, Leah Ruth S. Medina, John Vincent Panergalin, Maria Victoria C. Padilla, Jessica S. Velasco, 2021. Autogation: An Alternate Wetting and Drying-Based Automatic Irrigation and Paddy Water Level Control System through Internet of Things, *AGRIVITA Journal of Agricultural Science*, 43(3)
- Wassmann, R., Nelson, G.C., Peng, S.B., Sumfleth, K., Jagadish, S.V.K., Hosen, Y., Rosegrant, M.W., 2010. Rice and global climate change. Rice in the Global Economy: Strategic Research and Policy Issues for Food Security. International Rice Research Institute, Los Baños Philippines, pp. 411–432
- Weerakoon, W.M.W., Mutunayake, M.M.P., Bandara, C., Rao, A.N., Bhandari, D.C., Ladha, J.K., 2011. Direct-seeded rice culture in Sri Lanka: lessons from farmers. *Field Crops Res.* 121, 53–63. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2010.11.009>
- Yang, J., Zhou, Q., Zhang, J., 2017. Moderate wetting and drying increases rice yield and reduces water use, grain arsenic level, and methane emission. *Crop J.* 5, 151–158. <https://doi.org/10.1016/j.cj.2016.06.002>.
- Zhao, L.M., Wu, L.H., Li, Y.S., Lu, X.H., Zhu, D.F., Uphoff, N., 2009. Influence of the system of rice intensification on rice yield and nitrogen and water use efficiency with different N application rates. *Exp. Agric.* 45, 275–286. <https://doi.org/10.1017/S0014479709007583>