



SISTEM KONTROL IRIGASI *SPRINKLER* OTOMATIS BERTENAGA SURYA DI KELOMPOK TANI KECAMATAN MEUREUBO KABUPATEN ACEH BARAT

AUTOMATIC CONTROL SYSTEM OF SPRINKLER IRRIGATION POWERED BY SOLAR PANEL IN MEUREUBO FARMER GROUP, WEST ACEH

Oleh :

Sudirman Sirait¹⁾, Sri Maryati²⁾

¹⁾Program Studi Agroteknologi Fakultas Pertanian Universitas Borneo Tarakan
Jalan Amal Lama Nomor 1 Kelurahan Pantai Amal, Kota Tarakan, 77123

²⁾Program Studi Teknologi Hasil Pertanian Fakultas Pertanian Universitas Teuku Umar
Jalan Alue Peunyareng, Meureubo – Meulaboh, Aceh Barat, Indonesia 23615,

Komunikasi Penulis, email: sudirsirait@gmail.com

Naskah ini diterima pada 28 Maret 2018; revisi pada 23 Oktober 2018;
disetujui untuk dipublikasikan pada 31 Oktober 2018

ABSTRACT

The application of automatic sprinkler irrigation technology powered by solar panel can be designed by utilizing digital technology, microcontroller and sensor network. The aims of this research are to analyze the performance of solar powered automatic sprinkler irrigation control systems on the experimental field. This research was divided into several stages, which are the analysis of experimental land, the design of automatic control systems and the sprinkler irrigation system, the field testing and application, and the performance analysis of automatic sprinkler irrigation. The Arduino Uno ATmega328P microcontroller was used as an automatic control system for the on-off arrangement of irrigation pumps based on soil moisture detected by the YL-69 soil moisture sensor. Based on the results of analysis of soil water content, soil moisture arrangement level of 13.58% as the lower set point value and 28.29% as the upper set point value for reference on irrigation pump on-off control can keep the soil moisture from the water capacity. This technology was powered using solar power consisting of a 30 Wp solar panel, solar charge controller, inverter and battery series therefore it can be operated 24 hours continuously for 7 days. The results showed that the maximum soil water content value was 29.10%, minimum soil water content value was 12.87% and the average soil water content value was 23.55%. The average of time for irrigation pump operation was 13.07 minutes with the total irrigation application was 21.40 m³. The total power to operate an automatic sprinkler irrigation system of 67.0 Watt and can reduce battery consumption of 234.7 Watt.

Keywords: *automatic control system, automatic irrigation, irrigation pump, microcontroller, sprinkler irrigation*

ABSTRAK

Penerapan teknologi irigasi *sprinkler* otomatis berbasis tenaga surya dapat dirancang dengan memanfaatkan teknologi digital, mikrokontroler dan jaringan sensor. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kinerja sistem kontrol irigasi *sprinkler* otomatis bertenaga surya di lahan usaha tani. Penelitian ini dibagi dalam beberapa tahapan yaitu analisa tanah lahan percobaan, perancangan sistem kontrol otomatis dan jaringan irigasi *sprinkler*, pengujian dan penerapan lapang, dan analisis kinerja irigasi *sprinkler* otomatis. Mikrokontroler Arduino Uno ATmega328P digunakan sebagai sistem kendali otomatis untuk pengaturan *on-off* pompa irigasi berdasarkan kelembaban tanah yang dideteksi oleh YL-69 sensor kelembaban tanah. Berdasarkan hasil analisis kadar air tanah, pengaturan tingkat kelembaban tanah 13,58% sebagai nilai *set point* bawah dan 28,29% sebagai nilai *set point* atas untuk acuan pengaturan *on-off* pompa irigasi dapat menjaga kondisi tanah dari kapasitas lapang. Teknologi ini dioperasikan menggunakan tenaga surya yang terdiri dari panel surya 30 Wp, *solar charge controller*, rangkaian inverter dan baterai serta dapat beroperasi 24 jam secara kontinyu selama 7 hari. Hasil percobaan menunjukkan bahwa kadar air tanah maksimum 29,10%, kadar air tanah minimum 12,87% dan rata-rata kadar air tanah 23,55%. Rata-rata waktu pengoperasian pompa irigasi 13,07 menit dengan total aplikasi irigasi 21,40 m³. Total daya untuk mengoperasikan sistem irigasi *sprinkler* otomatis 67,0 Watt dan menghemat penggunaan daya baterai sebesar 234,7 Watt.

Kata kunci: *irigasi otomatis, irigasi sprinkler, mikrokontroler, pompa irigasi, sistem kontrol otomatis*

I. PENDAHULUAN

Kecamatan Meureubo secara geografis terletak antara 4°7'45" – 4°12'10" LU serta antara 96°8'20" – 96°16'40" BT, sebelah utara berbatasan langsung dengan Kecamatan Pante Ceureumen, sebelah selatan dengan Samudera Hindia, sebelah barat dengan Kecamatan Johan Pahlawan, dan sebelah timur dengan Kabupaten Nagan Raya. Luas Kecamatan Meureubo adalah 112,87 km² dengan Ibu Kota Kecamatan Desa Meureubo. Kecamatan Meureubo, Kabupaten Aceh Barat memiliki potensi wilayah yang cukup potensial untuk dapat dikembangkan, sehingga dapat meningkatkan kesejahteraan petani. Namun kelembagaan kelompok tani di Kecamatan Meureubo, Kabupaten Aceh Barat belum dapat berfungsi dengan sempurna dalam menjalankan usaha taninya terutama bidang pengelolaan air dan pemberian air untuk kebutuhan tanaman. Tusi & Lanya (2016) menjelaskan bahwa salah satu kendala yang dihadapi oleh kelompok tani kecil dalam meningkatkan produktivitas tanaman dan pendapatannya adalah lemahnya akses untuk mendapatkan teknologi irigasi.

Air merupakan salah satu faktor mutlak yang diperlukan sektor pertanian untuk pertumbuhan dan perkembangan tanaman yang mempengaruhi produksi tanaman. Produksi hasil pertanian akan menurun jika tanaman mengalami cekaman air. Siebert & Döll (2010) memperkirakan bahwa rata-rata hasil produksi tanaman biji-bijian dengan sistem irigasi adalah 4,4 ton/ha, sedangkan dengan sistem tadah hujan sebesar 2,7 ton/ha. Sebesar 42% dari hasil produksi tanaman biji-bijian pada umumnya berasal dari lahan irigasi dan tanpa sistem irigasi hasil produksi akan menurun sebesar 20%.

Pengelolaan air irigasi yang dilengkapi dengan sistem kontrol otomatis sangat mempengaruhi pertumbuhan tanaman, produktivitas lahan dan produktivitas air, serta pendapatan kelompok petani. Pemberian air irigasi secara berlebihan akan menyebabkan banyaknya air yang terbuang sehingga terjadi inefisiensi di lapangan. Nurfaifah, Setiawan, Arif, & Widodo (2015) menyatakan bahwa sistem kontrol tinggi muka air berdasarkan sistem kendali *on-off* menggunakan mikrokontroler Arduino Uno ATmega328P dengan perlakuan rejim air agak basah untuk budidaya tanaman padi memberikan jumlah anakan tertinggi (138 anakan), hasil tanaman tertinggi 194,7 g/rumpun (setara 21,6 ton/ha dengan asumsi jarak tanam 30 cm × 30 cm), dan produktivitas air tertinggi 3,16 g/m³.

Pemanfaatan tenaga surya telah banyak digunakan oleh masyarakat luas baik untuk kepentingan pertanian maupun non pertanian, sehingga sangat memungkinkan untuk digunakan sebagai sumber energi untuk penggerak *outlet* irigasi elektromekanis. Berbagai uji coba dan penelitian irigasi otomatis dengan tenaga surya telah dilakukan dengan simulasi komputer untuk mengoperasikan pompa irigasi berdasarkan kelembaban tanah sebagai acuan kendali. Hasil model simulasi tersebut diimplementasikan pada skala laboratorium dan lahan kering untuk bidang pertanian ukuran medium (Abdelkerim, Eusuf, Salami, Aibinu, & Eusuf, 2013; Balaji & Sudha, 2016; Chavan, Pawar, Bhaga, & Somanwad, 2017; Dursun & Ozden, 2012; Ingale & Kasat, 2012).

Pengembangan teknologi sistem nirkabel berbasis tenaga surya sebagai sumber energi untuk pengaturan *on-off* pompa juga telah dikembangkan untuk mengatasi kendala jarak di lahan pertanian yang luas (Bansal, Bhatia, Srivastava, Gupta, & Goyal, 2014; Dhanne, Kedare, & Dhanne, 2014; Nagahage & Dilrukshi, 2012; Alam & Naseem, 2014; Yalla, B.Ramesh, & A.Ramesh, 2013; Uddin, Reza, Newaz, Islam, & Kim, 2012). Pemanfaatan tenaga surya sebagai sumber energi untuk irigasi lahan sawah juga telah dilakukan oleh Sirait, Saptomo, & Purwanto (2015) pada rancang bangun sistem otomatisasi irigasi pipa lahan sawah berbasis tenaga surya. Pengaturan jaringan irigasi secara manual sangat sulit dilakukan di lahan usaha tani dan penggunaan air irigasinya dapat tidak efisien. Pengoperasian jaringan irigasi tanpa dilengkapi sistem kontrol otomatis dapat menyebabkan pemberian air yang tidak sesuai dengan kebutuhan oleh tanaman. Desain jaringan irigasi *sprinkler* yang tepat dan dilengkapi teknologi otomatis berbasis tenaga surya dapat menjadi solusi yang spesifik untuk menjawab permasalahan yang dihadapi oleh kelompok tani Kecamatan Meureubo Kabupaten Aceh Barat.

Tujuan penelitian ini adalah menganalisis kinerja sistem irigasi *sprinkler* otomatis bertenaga surya dengan acuan kendali kelembaban tanah untuk pengaturan *on-off* pompa irigasi dan uji kinerja sistem jaringan irigasi *sprinkler* di lahan Kelompok Tani Gampong Gunong Kleng, Kecamatan Meureubo, Kabupaten Aceh Barat.

Teknologi irigasi *sprinkler* otomatis bertenaga surya dapat digunakan untuk mempermudah pemberian air untuk tanaman berdasarkan tingkat kelembaban tanah di lahan pertanian, meningkatkan efisiensi penggunaan air irigasi dan efisiensi tenaga kerja.

II. METODOLOGI

Penelitian ini dilakukan di lahan Kelompok Tani Makmue Beusare dan Ingin Makmur Kecamatan Meureubo, Kabupaten Aceh Barat pada bulan Juni-Desember 2017. Penelitian dibagi ke dalam beberapa tahapan yaitu analisa tanah lahan percobaan, perancangan sistem kontrol otomatis dan jaringan irigasi *sprinkler*, pengujian dan implementasi lapang, serta pengamatan dan analisis kinerja irigasi *sprinkler* otomatis.

2.1. Analisa Tanah Lahan Percobaan

Tahap analisa tanah lahan percobaan dilakukan di laboratorium untuk mengetahui kondisi dan karakteristik tanah terutama kadar air tanah dan tekstur tanah. Analisa kadar air tanah lahan percobaan dilakukan untuk menentukan nilai *set point* pada sistem irigasi *sprinkler* otomatis. Kadar air tanah dinyatakan dalam persen volume yaitu persentase volume air terhadap volume tanah.

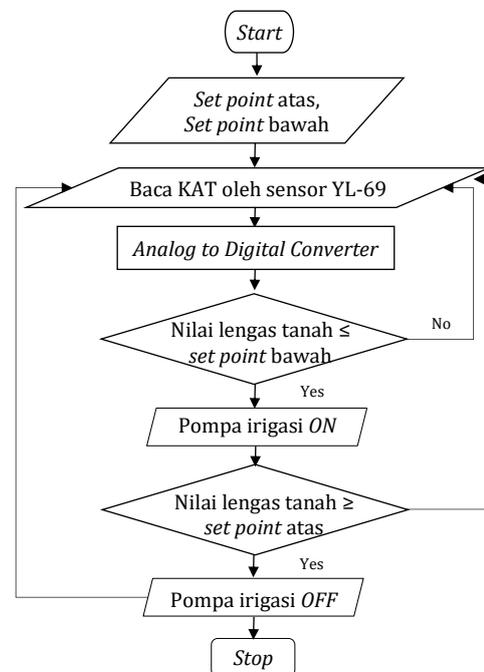
Menurut Hardjowigeno (2007) bahwa tanaman memerlukan air dari tanah dan CO₂ dari udara untuk membentuk gula dan karbohidrat dalam proses fotosintesis. Kelebihan atau kekurangan air dapat mengganggu pertumbuhan tanaman. Fungsi air bagi pertumbuhan tanaman adalah sebagai unsur hara tanaman, sebagai pelarut unsur hara, dan sebagai bagian dari sel-sel tanaman. Air dapat diserap atau ditahan oleh tanah karena adanya gaya-gaya adhesi, kohesi, dan gravitasi. Banyaknya kandungan air dalam tanah berhubungan erat dengan besarnya *moisture tension* (tegangan air) dalam tanah tersebut. Kemampuan tanah menahan air sangat dipengaruhi oleh tekstur tanah. Tanah-tanah bertekstur kasar mempunyai daya menahan air lebih kecil daripada bertekstur halus. Oleh karena itu tanaman yang ditanam pada tanah pasir umumnya lebih mudah mengalami kekeringan daripada tanah-tanah bertekstur lempung atau liat.

2.2. Perancangan Sistem Kontrol Otomatis dan Jaringan Irigasi *Sprinkler*

Pemakaian sistem kontrol otomatis mempunyai banyak keunggulan dibandingkan dengan sistem kontrol konvensional (manual), yaitu dari segi kecepatan, ketepatan dan pemakaian tenaga manusia yang relatif lebih sedikit. Sistem kontrol otomatis, memiliki elemen-elemen penyusun, yaitu sensor/transduser, kontroler, aktuator (Dhanne *et al.*, 2014; Alam & Naseem, 2014). Pada tahap perancangan sistem kontrol otomatis dilakukan analisis yang mencakup segala kebutuhan dalam membangun sistem kontrol irigasi *sprinkler* otomatis berbasis tenaga surya

dengan mengidentifikasi masalah yang meliputi model rancangan jaringan irigasi dan rangkaian *hardware* sistem kontrol otomatis dengan pemanfaatan energi surya. Tahap perancangan yang dilakukan adalah perancangan *software* dan perancangan *hardware*.

Pada tahap perancangan *software*, dilakukan pembuatan dan penyesuaian program untuk melakukan serangkaian pengujian sistem otomatisasi. Program kendali dibenamkan pada Arduino Uno. Pada tahap perancangan *hardware*, disusun rangkaian komponen yang terdiri atas sensor kelembaban tanah, mikrokontroler Arduino Uno ATmega328P, pompa, baterai DC 12 Volt, *inverter*, *relay*, panel surya dan *solar charge controller*, *terminal barrier*, modul *Real Time Clock* (RTC), dan *micro SD*. Gambar 1 menunjukkan bagan alir sistem kendali otomatis pada irigasi *sprinkler*.



Gambar 1 Diagram Alir Sistem Kendali Otomatis

Nilai *set point* ditentukan berdasarkan hasil analisis kadar air tanah pada lahan percobaan dan menjaga kondisi tanah dari kapasitas lapang. Saptomo, Isnain, & Setiawan (2013) mengatakan bahwa pengondisian lengas tanah volumetrik diantara 38,5% dan 28,7% sebagai acuan untuk mengoperasikan *solenoid valve* pada irigasi curah dapat mencegah kekurangan air dan sekaligus menghindari perkolasi. Pada penelitian ini nilai kelembaban tanah sebesar 13,58% diatur sebagai nilai *set point* bawah dan 28,29% sebagai nilai *set point* atas. Ketika kondisi kelembaban tanah berada di bawah 13,58%, maka mikrokontroler akan memberikan sinyal untuk mengaktifkan

relay yang akan mengaktifkan motor pompa untuk *on*. Demikian juga sebaliknya ketika kelembaban tanah berada di atas 28,29%, maka mikrokontroler akan memberikan sinyal untuk mengaktifkan *relay* dan menggerakkan motor pompa untuk *off*.

Kelembaban tanah dideteksi oleh YL-69 sensor kelembaban tanah dan mengirimkan ke mikrokontroler. Sensor kelembaban tanah berkomunikasi dengan komputer melalui USB *serial port*. Komputer berfungsi sebagai antarmuka pengguna untuk memonitor dari hasil pembacaan sensor, waktu dan aktivitas sistem kendali irigasi, serta untuk mengubah *setting* pengendalian yang diinginkan. Komponen mikrokontroler ATmega328P berfungsi sebagai pengolah keseluruhan data *input analog* sensor kelembaban tanah, sehingga didapatkan nilai kadar air tanah pada lahan percobaan.

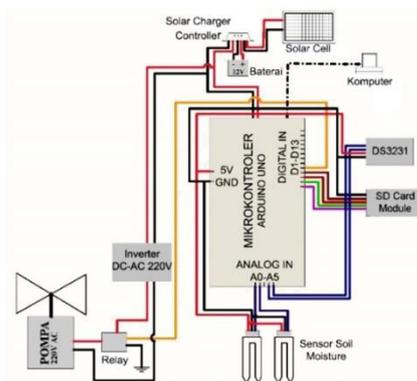
Pada penelitian ini digunakan sensor kelembaban tanah sebanyak 2 (dua) buah dengan tipe YL-69 *soil moisture sensor* yang dilengkapi dengan PCB modul sensor YL-69. Sensor YL-69 mendeteksi kelembaban tanah dengan memberikan keluaran voltase yang menunjukkan *level* lengas tanah basis volume (*volumetric water content/vwc*). Sensor kelembaban tanah memiliki tiga pin yaitu *bare*, *red*, dan *black*. Pin *bare* sebagai *ground*, pin *red* sebagai V_{in} (3,3 V-5 VDC) dan pin *black* sebagai *output* sensor (0-3 V). Tabel 1 menunjukkan spesifikasi YL-69 *soil moisture sensor*.

Tabel 1 Spesifikasi Sensor Kelembaban Tanah YL-69

Uraian	Spesifikasi
Tegangan suplai	3,3 V atau 5 V
Current	35 mA
Signal tegangan output	0 - 4,2 V
Digital output	0 atau 1
Analog	Resistance (Ω)
Dimensi panel	1,6 - 3,0 cm
Dimensi probe	3,0 - 6,0 cm

Pada blok mikrokontroler juga dipasang modul RTC dan micro SD sehingga dapat merekam data hasil pembacaan sensor yang disertai dengan waktu pengukuran. Modul *RTC* dan micro SD dipasang pada *port 3 volt*, *port ground*, *port digital 10*, *port digital 11*, *port digital 12*, dan *port digital 13* yang terdapat pada mikrokontroler. Pada blok mikrokontroler terdapat beberapa rangkaian, antara lain *inverter* sebagai pengubah arus DC menjadi AC untuk mengoperasikan pompa listrik, relay sebagai saklar otomatis untuk menghidupkan atau mematikan sistem, terminal *barrier*, panel surya dan *solar charge controller* sebagai pendukung sistem

dengan pemanfaatan tenaga surya, baterai 12 Volt sebagai sumber tegangan listrik yang akan dialirkan melalui *relay* untuk menggerakkan motor pompa listrik yang berfungsi sebagai buka-tutup aliran air yang akan mengalir ke jaringan irigasi (*outlet irigasi*) berupa *sprinkler*. Panel surya bekerja dengan cara mengubah energi panas dari sinar matahari ke energi listrik yang kemudian disimpan dalam sebuah baterai. Gambar 2 menunjukkan rangkaian *hardware* sistem kontrol irigasi *sprinkler* otomatis bertenaga surya.



Gambar 2 Skema Rangkaian *Hardware*

Sel surya pada dasarnya adalah suatu elemen aktif yang mengubah cahaya matahari menjadi energi listrik. Konversi ini didasarkan pada fenomena efek *Photovoltaic*. Sinar matahari terdiri dari foton dengan tingkat energi yang berbeda tergantung spektrum dari mana sinar berasal. Ketika sinar matahari menerangi permukaannya, bahan *Photovoltaic* menyemburkan elektron yang menghasilkan tegangan listrik. Sel surya dapat mengonversi sekitar 30% dari energi radiasi matahari menjadi listrik (Balaji & Sudha, 2016; Chavan *et al.*, 2017; Ingale & Kasat, 2012; Uddin *et al.*, 2012). Tabel 2 menunjukkan spesifikasi panel surya yang digunakan pada penelitian. *Sprinkler* yang digunakan pada penelitian ini adalah jenis *moonar spray nozzle 1/2 inchi*. Tabel 3 menunjukkan spesifikasi *sprinkler moonar spray nozzle*.

Tabel 2 Spesifikasi Panel Surya

Uraian	Spesifikasi
Daya Max (Pmax)	30 Watt
Power Tolerance (%)	+/- 3%
Max. Power Voltage (Vmp)	17,60 V
Max. Power Current (Imp)	1,70 A
Open Circuit Voltage (Voc)	22,50 V
Short Circuit Current (Isc)	1,82 A
Max. System Voltage	700 V
Ketahanan suhu (C)	-40 C ~ +85 C
Ukuran (mm)	540 x 350 x 20

Tabel 3 Spesifikasi *Sprinkler Moonar Spray Nozzle*

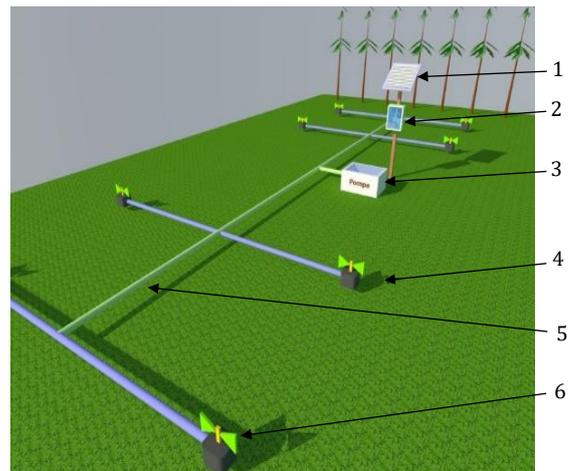
Uraian	Spesifikasi
Bahan	kuningan + plastik
Ukuran Drat	½ inchi
Tekanan	150 - 300 Kpa
Debit	180 - 920 l/h
Radius Penyiraman	6 - 8 m

Komponen utama pada sistem irigasi *sprinkler* meliputi sumber air, pompa dan tenaga penggerak sebagai sumber tekanan, pipa utama dan pipa lateral, dan *sprinkler* (Keller & Bliesner, 1990). Irigasi *sprinkler* adalah suatu metode pemberian air pada lahan yang akan diirigasi dengan menggunakan pipa yang bertekanan melalui *nozzle*. Sistem ini dapat diklasifikasikan menjadi sistem permanen, *portable/semi portable, traveling irrigator, center pivot* atau *linear move* (Merkley & Allen, 2004).

Rancangan jaringan irigasi *sprinkler* dipasang pada lahan usaha tani berukuran 50 m × 50 m dengan menggunakan sistem perpipaan dan sistem pengaliran menggunakan pompa. Pipa utama yang berdiameter ¾ inchi mengalirkan air ke pipa *lateral* yang berdiameter ½ inchi dan merupakan *outlet* irigasi. Pemberian air untuk tanaman dilakukan dengan metode penyiraman menggunakan *sprinkler*. Pada tahap pengujian digunakan *sprinkler* sebanyak 20 buah dengan jarak 6 m. Air irigasi bersumber dari air tanah (sumur bor) yang terdapat di bagian tengah lahan percobaan dan juga tempat penempatan boks panel sistem kendali. Pada penelitian pompa yang digunakan adalah PS-130 Bit dengan spesifikasi pompa ditunjukkan pada Tabel 4. Sistem kontrol mengatur *on-off* pompa secara otomatis berdasarkan *set point* kelembaban tanah di lahan usaha tani dan menjaga kelembaban tanah agar berada pada rentang yang dikehendaki. Sensor kelembaban tanah YL-69 ditanam pada lahan usaha tani Kelompok Tani Makmue Beusare dan Ingin Makmur dengan kedalaman antara 5-10 cm (Cardenas-Lailhacar & Dukas, 2010). Gambar 3 menunjukkan tata letak penelitian.

Tabel 4 Spesifikasi Pompa Irigasi

Uraian	Spesifikasi
Seri produk	PS-130 Bit
Voltage/Hz	220/50
Daya Output Motor	125 Watt
Daya Input Motor	0,3 kW
Panjang pipa hisap	9 m
Daya dorong max	40 m
Head / Kapasitas	10 / 18 l/min
Head / Kapasitas	22 / 10 l/min
Pipa hisap	1 inch
Pipa dorong	1 inch



Keterangan :

- 1) Panel surya untuk menangkap energi matahari sebagai sumber daya listrik
- 2) Panel sistem kendali yang terdiri dari mikrokontroler, *inverter*, saklar magnetis, baterai dan *charge controller*
- 3) Pompa yang dilengkapi dengan *by pass* pompa manual
- 4) Sensor kelembaban tanah untuk mendeteksi tingkat kelembaban tanah
- 5) *Sprinkler* sebagai *outlet* irigasi
- 6) Pipa digunakan untuk sistem pengaliran

Gambar 3 Tata Letak Penelitian

2.3. Pengujian dan Implementasi Lapangan

Pada tahap ini dilakukan pengujian terhadap sistem kontrol otomatis dan implementasi lapangan pada jaringan irigasi *sprinkler* di lahan usaha tani dengan bidang usaha taninya hortikultura. Selanjutnya dilakukan pengaturan penggunaan sistem kontrol dengan memasukkan nilai *set point* sebagai acuan untuk pengaturan *on-off* motor pompa.

Pengujian lapangan dilakukan selama 7 hari secara kontinyu dimulai pada tanggal 15-21 Oktober 2017 dan interval waktu pengukuran setiap 5 menit. Pada antarmuka *serial port* akan ditampilkan nilai dari sensor kelembaban tanah dan status pompa, sehingga kita dapat mengetahui dan mengamati nilainya. Jika sistem mengalami masalah maka petani dapat mengalirkan air irigasi melalui jaringan *by pass*.

2.4. Pengamatan dan Analisis Hasil Percobaan

Analisis ini dilakukan agar data hasil pengujian dapat digunakan dan dijadikan rujukan untuk penyempurnaan sistem lebih lanjut. Data yang diambil merupakan data pembacaan waktu menyalakan dan mematikan pompa, data sensor kelembaban tanah, dan status pompa terhadap interval waktu pengukuran setiap 5 menit.

Data hasil percobaan yang diperoleh akan dianalisis dan dapat menggambarkan kurva

kinerja sistem kontrol otomatis pada irigasi *sprinkler* dengan *set point* yang diinginkan. Pada tahap ini juga dilakukan analisis konsumsi daya (total energi) sistem kontrol otomatis.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Analisa Tanah Lahan Percobaan

Tekstur tanah sangat berpengaruh terhadap kemampuan daya serap air, ketersediaan air di dalam tanah, besar aerasi, infiltrasi dan perkolasi (Hardjowigeno, 2007). Secara tidak langsung tekstur tanah juga dapat mempengaruhi perkembangan perakaran dan pertumbuhan tanaman serta efisiensi dalam pemakaian air irigasi. Sifat fisik tanah lahan percobaan dianalisis di Laboratorium Penelitian Tanah dan Tanaman Fakultas Pertanian Universitas Syiah Kuala Banda Aceh (Tabel 5).

Tabel 5 Sifat Fisik Tanah Lahan Percobaan

Sifat fisika tanah	Unit	Hasil analisis
Tekstur Tanah		
Pasir	%	56
Debu	%	22
Liat	%	22
<i>Bulk density</i>	g/cm ³	1,26
<i>Particle density</i>	g/cm ³	2,36
Ruang pori total	%	46,53
Kadar air		
pF0	%	46,53
pF2,54	%	28,29
pF3	%	21,17
pF4,2	%	13,58
Indeks stabilitas agregat	%	51,88
Permeabilitas	cm/jam	12,24

Hasil analisis tanah lahan percobaan menunjukkan bahwa lahan percobaan memiliki tekstur yang didominasi pasir yaitu sebesar 56% sehingga menyebabkan *water holding capacity* (kapasitas menahan air) yang relatif rendah dan memiliki permeabilitas sedang sebesar 12,24 cm/jam, serta memiliki ruang pori kasar yang lebih banyak. Hal ini dapat berpotensi terjadinya pemborosan air irigasi oleh laju infiltrasi dan perkolasi.

Pemberian air irigasi diharapkan dapat mengisi air tanah pada kondisi pF (retensi lengas tanah) antara 2,54 (kapasitas lapang) sampai dengan 4,2 (titik layu permanen). Pada kondisi kapasitas lapang keadaan tanah cukup lembab yang menunjukkan jumlah air terbanyak yang dapat ditahan oleh tanah terhadap gaya tarik gravitasi. Air yang dapat ditahan oleh tanah tersebut terus menerus diserap oleh akar-akar tanaman atau menguap sehingga tanah makin lama semakin kering. Pada suatu saat akar tanaman tidak

mampu lagi menyerap air tersebut sehingga tanaman menjadi layu (titik layu permanen). Pengaturan kelembaban tanah antara nilai *set point* pada irigasi *sprinkler* otomatis dapat menjaga kelembaban tanah berada pada kondisi yang sesuai dengan kebutuhan oleh tanaman.

3.2. Perancangan Sistem Kontrol Otomatis dan Jaringan Irigasi *Sprinkler*

Secara umum perangkat *hardware* teknologi irigasi otomatis berbasis tenaga surya terdiri dari panel surya, panel sistem kendali, rangkaian sensor kelembaban tanah, dan catu daya. Sistem kontrol otomatis dibangun dengan memanfaatkan teknologi digital, mikrokontroler dan jaringan sensor. Mikrokontroler Arduino Uno ATmega328P digunakan sebagai sistem kendali otomatis untuk menggerakkan sistem aktuasi pompa irigasi berdasarkan kelembaban tanah di lahan percobaan yang dideteksi oleh sensor.

Panel sistem kendali terdiri dari mikrokontroler, inverter, *relay*, rangkaian sensor, *RTC* modul dan micro SD, baterai dan *solar charge controller*. Mikrokontroler Arduino Uno ATmega328P dapat diaktifkan melalui koneksi USB atau dengan catu daya eksternal. Daya eksternal (non-USB) berasal dari baterai dan dihubungkan dengan menancapkan *plug jack* ukuran 2,1 mm ke konektor *power*. Konsumsi daya yang dibutuhkan untuk *board* Arduino Uno adalah 7 sampai dengan 12 Volt, jika diberi daya kurang dari 7 Volt kemungkinan *pin* 5 Volt Arduino Uno dapat beroperasi tetapi tidak stabil. Jika diberi daya lebih dari 12 Volt, maka regulator tegangan akan panas dan dapat merusak *board* Arduino Uno.

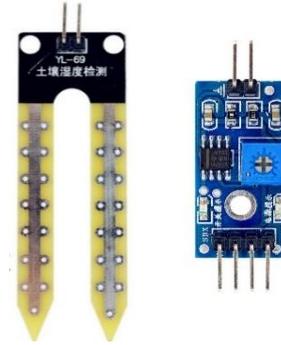
RTC dapat dioperasikan pada tegangan 3,3 sampai dengan 5 Volt yang dapat disuplai *port Vcc* sebagai sumber tegangan utama. Jika sumber tegangan terhubung dengan baik, maka pengaksesan data dan pembacaan data dapat dilakukan dengan baik. Ketika tegangan 5 Volt diberikan dalam batas yang normal, data dapat ditulis atau dibaca. Ketika *Vcc* dibawah 3,3 Volt, maka proses baca dan tulis tidak dapat dilakukan. Akan tetapi, *time keeping* (ketepatan waktu) tetap dilakukan oleh *RTC* tanpa dipengaruhi oleh tegangan masukan yang rendah. Saat *Vcc* turun dibawah 3 Volt, catu daya untuk RAM dan pewaktu dipindahkan ke *internal lithium* baterai yang terdapat pada *RTC*. Gambar 4 menunjukkan perangkat sistem kendali irigasi *sprinkler* otomatis bertenaga surya.



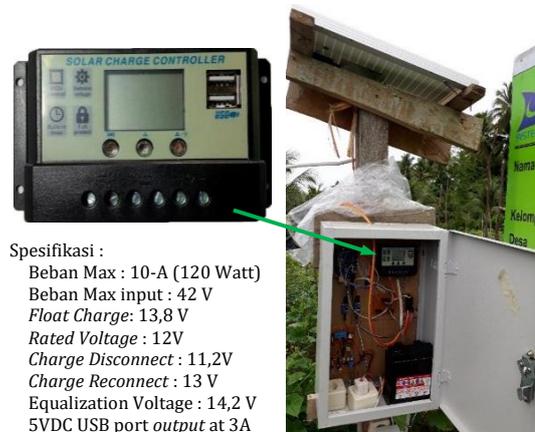
Gambar 4 Panel Sistem Kendali

Kalibrasi sensor kelembaban tanah dilakukan dengan mengonversi keluaran data besaran tegangan listrik (Volt). Perubahan kelembaban adalah sebanding dengan jumlah tegangan yang mengalir melalui tanah (Harishankar *et al.*, 2014; Shiraz & Yogesha, 2014). Hal ini menyebabkan ketika kelembaban meningkat maka output voltase yang ditampilkan pada *serial monitor* menghasilkan nilai yang tinggi. Uji kalibrasi sensor kelembaban tanah YL-69 dilakukan dengan menguji sensor pada kadar air tanah kapasitas lapang dan titik layu permanen. Nilai frekuensi pembacaan sensor sistem kontrol dikalibrasikan dengan kondisi kadar air tanah yang diukur dengan metode gravimetri. Selanjutnya persamaan terbaik dari hasil kalibrasi dimasukkan ke program sistem kontrol untuk merubah tampilan pada display dari frekuensi menjadi persen (%) kadar air tanah. Sensor kelembaban tanah YL-69 dapat dilihat pada Gambar 5.

Sistem kontrol dioperasikan dengan pemanfaatan energi matahari yang telah dikonversi ke tegangan DC 12 Volt melalui *solar charge controller* dan melakukan pengisian secara otomatis. Tegangan 12 Volt yang bersumber dari baterai dikonversi ke tegangan AC 220 Volt melalui rangkaian *inverter* untuk mengoperasikan sistem aktuasi pompa irigasi berbasis tenaga surya. Pada rancangan teknologi ini, penggunaan tenaga matahari tidak hanya untuk panel otomatis saja tetapi sekaligus sebagai sumber energi penggerak pompa irigasi. Gambar 6 menunjukkan *solar charge controller* dan solar panel untuk menangkap energi matahari sebagai sumber daya listrik pengoperasian sistem irigasi *sprinkler* otomatis.



Gambar 5 Sensor Kelembaban Tanah YL-69 dan PCB-YL 69 dengan Komparator LM393



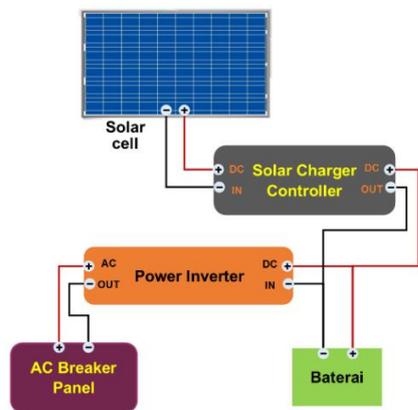
Spesifikasi :
 Beban Max : 10-A (120 Watt)
 Beban Max input : 42 V
 Float Charge: 13,8 V
 Rated Voltage : 12V
 Charge Disconnect : 11,2V
 Charge Reconnect : 13 V
 Equalization Voltage : 14,2 V
 5VDC USB port output at 3A
 Ukuran : 13,3×7×3,5 cm
 Berat : 200 gram

Gambar 6 Solar Charge Controller dan Solar Panel sebagai Sumber Powering

Penggunaan *solar charge controller* tipe LCD 12V 24V 10A EL3-230 juga dapat menjaga agar baterai tidak kelebihan (*over charge*) dan kehabisan tegangan (*under charge*) dengan begitu maka umur dari baterai bertambah lama. Tegangan *charger* yang dibutuhkan untuk pengisian baterai 12 Volt antara 13,2 – 13,4 Volt dan jika sudah mencapai tegangan tersebut, maka rangkaian ini otomatis akan menghentikan proses pengisian tegangan baterai. Apabila tegangan baterai turun/*drop* hingga 11 Volt, maka *controller* akan memutuskan tegangan sehingga baterai tidak sampai kosong/habis.

Gambar 6 menunjukkan bahwa kaki atau kutub negatif panel surya dihubungkan ke kaki negatif *solar charge controller*, dan ujung kaki atau kutub positif panel surya dihubungkan ke kaki positif *solar charge controller*. Tegangan panel surya yang dihasilkan akan digunakan oleh *solar charge controller* untuk mengisi baterai, sehingga listrik dapat digunakan pada malam hari.

Sel surya dapat dianalogikan sebagai perangkat dengan dua terminal atau sambungan, dimana saat kondisi gelap atau tidak cukup cahaya berfungsi seperti dioda, dan saat disinari dengan cahaya matahari dapat menghasilkan tegangan. Ketika disinari, umumnya satu sel surya komersial menghasilkan tegangan DC sebesar 0,5-1 Volt, dan arus *short-circuit* dalam skala miliamper per cm². Satu modul surya biasanya terdiri dari 28-36 sel surya, dan total menghasilkan tegangan DC sebesar 12 V dalam kondisi penyinaran standar (*air mass* 1,5). Pada saat sinar matahari cukup terik menghasilkan 20-23v / 1,9-2,4 A (38-50 Watt) atau sekitar 350 Watt.hour/hari. Gambar 7 menunjukkan diagram pembangkit listrik panel surya.



Gambar 7 Diagram Pembangkit Listrik Panel Surya

Bahan dan cara kerja yang aman terhadap lingkungan menjadikan sel surya sebagai salah satu hasil teknologi pembangkit listrik yang efisien dan alternatif sumber energi. Tenaga surya dapat memberikan daya yang cukup untuk menggerakkan sistem dan dapat mengatasi

masalah kebutuhan listrik (Harishankar, Kumar, Sudharsan, Vignesh, & Viveknath, 2014; Nagahage & Dilrukshi, 2012). Hidayah & Prihantoko (2017) menyatakan bahwa penggunaan tenaga surya dengan daya 150 Wp per satu sistem dan baterai 152 Ah, dapat mengoperasikan pintu air elektromekanis secara otomatis dengan acuan kendali data debit pada saluran dengan ketinggian maksimal satu meter.

Sebuah panel surya menghasilkan tegangan $\pm 0,5$ Volt. Jadi sebuah panel surya 12 Volt terdiri dari ± 36 sel. Panel surya yang digunakan pada penelitian ini adalah panel surya 30 Wp artinya panel surya tersebut mempunyai 30 Watt peak (saat matahari terik) dimana 1 peak diasumsikan 4,5 jam sehingga kapasitas maksimal untuk pemakaian 1 hari adalah 135 Watt.hour/hari. Total daya untuk mengoperasikan sistem irigasi *sprinkler* otomatis adalah 67,0 Watt.hour dan total daya untuk mengoperasikan irigasi *sprinkler* tanpa dilengkapi sistem kontrol otomatis adalah 301,7 Watt.hour sehingga penggunaan 1 unit panel surya 30 Wp mampu mencukupi daya yang dibutuhkan untuk mengoperasikan sistem irigasi *sprinkler* otomatis. Penggunaan tenaga surya juga dapat mengurangi konsumsi energi lebih dari 35% sehingga dapat membantu meningkatkan pendapatan petani (Alam & Naseem 2014). Analisis konsumsi daya yang digunakan irigasi *sprinkler* otomatis bertenaga surya ditunjukkan pada Tabel 6.

Hasil analisis menunjukkan bahwa tanpa penggunaan sistem kontrol otomatis dan tanpa pemanfaatan energi matahari, maka baterai dengan kapasitas 12V-45Ah tidak mampu mengoperasikan sistem selama 24 jam secara kontinyu.

Tabel 6 Analisis Konsumsi Daya pada Sistem Irigasi *Sprinkler* Otomatis Bertenaga Surya

Uraian	Konsumsi Daya	
	Tanpa sistem kontrol	Aplikasi sistem kontrol
Daya Output (beban)		
Pompa irigasi	300 Watt	65,4 Watt
Arduino Uno ATmega 328P	-	1,08 Watt
Sensor kelembaban tanah	0,24 Watt	0,24 Watt
RTC dan Micro Sd	0,008 Watt	0,008 Watt
Relay 12 V	0,90 Watt	0,20 Watt
Relay 5 V	0,54 Watt	0,12 Watt
Daya Input		
Kapasitas max. solar cell 1 hari	135 Watt	135 Watt
Baterai 12V 45Ah	540 Watt	540 Watt
Lama daya tahan baterai tanpa suplai dari solar cell	2 Jam	8 Jam
Kebutuhan solar cell	2 buah	0,5 buah
Kebutuhan baterai 7 hari tanpa sinar matahari	7,8 buah	1,74 buah

Aplikasi sistem kontrol pada jaringan irigasi *sprinkler* selama percobaan dapat menghemat penggunaan daya baterai sebesar 234,7 Watt. Joubert, Ridwan, & Pratiwi (2017) menyatakan bahwa biaya operasi pompa dapat ditekan sampai 94,92% jika dibandingkan dengan biaya operasi pompa berbahan bakar minyak pada kinerja jaringan irigasi air tanah serta potensi pengurangan CO₂ mencapai 4.506 ton dalam setahun. Analisis kelayakan finansial terhadap penggunaan tenaga surya untuk suatu investasi dapat dikatakan layak karena memenuhi kriteria sebagai berikut: *Internal Rate of Interest* (IRR) lebih besar dari *discount rate* yang sedang berlaku dan *Benefit Cost Ratio* (BCR) lebih besar dari 1.

Rejekiningrum & Saptomo (2015) menyatakan bahwa sistem irigasi cakram otomatis bertenaga surya untuk pengembangan komoditas mangga, srikaya, anggur, dan cabe sangat layak untuk dilaksanakan karena memiliki nilai BCR lebih besar dari 1 yaitu 1,34-3,78, dan nilai IRR antara 17,38% - 34,10%. Teknologi irigasi otomatis berbasis tenaga surya merupakan inovasi dalam upaya peningkatan efisiensi penggunaan air irigasi sekaligus merupakan teknologi otomatisasi yang lebih aplikatif. Teknologi inovasi ini akan memudahkan dalam pengaturan penggunaan air irigasi agar dapat mencapai peningkatan produktivitas air, tenaga kerja dan lahan pertanian (Shiraz Pasha & Yogesha, 2014).

3.3. Pengujian dan Kinerja Sistem Irigasi Otomatis

Pemanfaatan teknologi irigasi *sprinkler* otomatis berbasis tenaga surya dapat meningkatkan efisiensi penggunaan energi dan dapat meminimalkan dampak terhadap lingkungan hidup jika dibandingkan dengan operasi pompa berbahan bakar minyak serta dapat mengatasi masalah kebutuhan listrik. Produk teknologi ini merupakan inovasi dalam upaya peningkatan efisiensi irigasi sekaligus merupakan teknologi otomatisasi yang lebih aplikatif serta memudahkan dalam pengaturan irigasi agar dapat mencapai peningkatan produktivitas air, tenaga kerja dan lahan pertanian. Inovasi teknologi ini memperkenalkan sistem otomatis yang akan menjadi daya tarik untuk pengembangan pertanian yang modern, yang mengatasi keterbatasan sumberdaya manusia di bidang pertanian serta tuntutan efisiensi penggunaan air dengan pengaturan otomatis sesuai pengaturan yang diinginkan.

Data pembacaan sensor kelembaban tanah diperoleh dari hasil uji rancangan sistem irigasi otomatis di lahan percobaan yang dilakukan

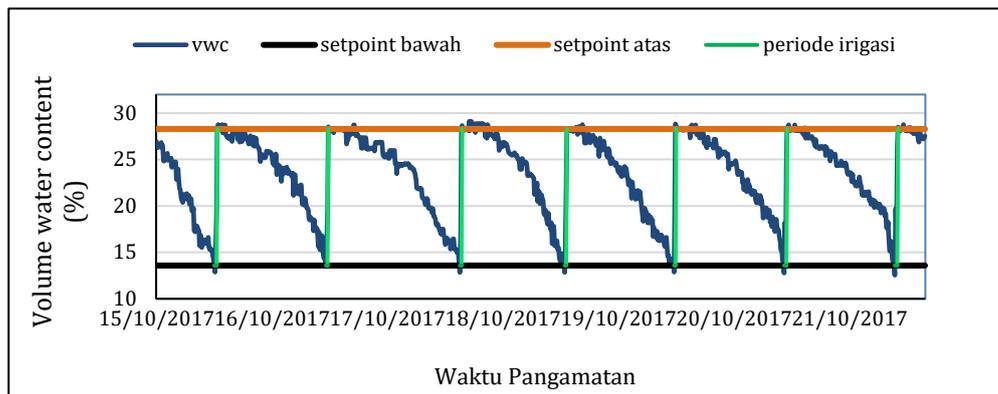
selama 7 hari secara kontinyu. Gambar 8 memperlihatkan kinerja sistem kontrol otomatis dalam menjaga tingkat kelembaban tanah di lahan percobaan sesuai dengan batas rentang *set point* yang telah ditentukan.

Sumbu *x* pada kurva menunjukkan waktu pengambilan data dan sumbu *y* ordinat primer di sebelah kiri gambar menunjukkan perubahan kelembaban tanah/*volume water content* (% volume).

Hasil percobaan menunjukkan *volume water content* berfluktuasi setiap hari, namun sistem kontrol otomatis dapat mengontrol sistem *on-off* pompa irigasi pada *set point* yang diinginkan. Pengoperasian irigasi *sprinkler* membutuhkan tekanan yang cukup untuk menyalurkan air melalui perangkat penyiram (*sprinkler*) yang bersumber dari gravitasi atau sistem pemompaan. Penyiram (*sprinkler*) biasanya terletak pada pipa yang disebut lateral. Air disemprotkan ke udara dan kemudian jatuh masuk ke dalam tanah, menyirami tanaman yang ada di sekitarnya.

Gambar 8 memperlihatkan bahwa pada saat pompa irigasi *on* maka kadar air tanah meningkat dan menjaga kondisi tanah dari kapasitas lapang, sehingga dapat menghindari tanaman dari kekurangan air maupun kelebihan air. Hal ini dapat dilihat dari peningkatan nilai kadar air tanah pada sensor kelembaban tanah. Sensor kelembaban tanah menggunakan dua *probe* yang terbuat dari tembaga untuk melewatkan arus yang melalui tanah dan kemudian membaca resistansi untuk mendapatkan tingkat kelembaban. Lebih banyak air (basah) membuat tanah menghantarkan listrik lebih mudah (resistansi berkurang), sedangkan tanah kering (tidak basah) sangat sulit untuk menghantarkan listrik (resistansi meningkat). Ketika proses pengisian air tanah ke pori-pori tanah maka tanah dalam keadaan jenuh, atau dalam proses menuju jenuh sehingga nilai kadar air tanah meningkat.

Hasil percobaan menunjukkan bahwa kadar air tanah maksimum 29,10% dan kadar air tanah minimum 12,87%. Selama percobaan rata-rata tingkat kelembaban tanah di lahan percobaan adalah 23,55%, hal ini menunjukkan bahwa kinerja sistem kontrol otomatis bertenaga surya dapat bekerja pada rentang *set point* yang ditentukan dan menjaga kelembaban tanah pada kondisi pF antara 2,54 (kapasitas lapang) sampai dengan 4,2 (titik layu permanen). Tabel 7 menunjukkan hasil analisis kinerja irigasi *sprinkler* otomatis bertenaga surya selama percobaan.



Gambar 8 Hasil Percobaan Irigasi Otomatis Bertenaga Surya di Lahan Kelompok Tani

Tabel 7 Analisis Kinerja Irigasi *Sprinkler* Otomatis

Date	rata-rata vwc (%)	Curah Hujan (mm)	Penyinaran matahari (jam)	T (°C)	Radiasi (MJ/m ² /day)	ETc (mm/day)	Debit (m ³)	Waktu irigasi (menit)	Aplikasi irigasi (m ³)
15/10/2017	23,58	0,00	3,5	32,0	14,5	3,43	0,18	15,25	2,79
16/10/2017	23,97	0,00	6,0	31,8	18,3	4,41	0,18	10,17	1,86
17/10/2017	23,02	0,00	10,7	21,6	25,5	4,19	0,09	10,17	0,93
18/10/2017	24,04	0,00	10,5	32,4	25,2	5,74	0,27	15,25	4,19
19/10/2017	22,90	0,00	8,0	32,6	21,3	3,97	0,27	15,25	4,19
20/10/2017	23,65	0,00	8,0	32,2	21,3	4,88	0,18	10,17	1,86
21/10/2017	23,68	0,00	9,5	31,9	23,6	5,28	0,37	15,25	5,58

Hasil analisis menunjukkan bahwa selama percobaan rata-rata durasi waktu untuk pengoperasian pompa irigasi adalah 13,07 menit dan total aplikasi air irigasi sebesar 21,40 m³. Penggunaan irigasi *sprinkler* dapat menghemat waktu operasi menjadi lebih singkat karena dengan irigasi *sprinkler* air langsung sampai pada tanaman.

Aplikasi irigasi *sprinkler* otomatis di lahan usaha tani dapat meningkatkan efisiensi penggunaan air jika dibandingkan dengan irigasi konvensional dan dapat mengurangi jumlah air yang terbuang atau banyaknya kehilangan air di saluran dan tidak sampai pada tanaman. Susanawati & Suharto (2017) melakukan uji kinerja desain irigasi curah menggunakan kombinasi tekanan pompa dan tinggi pipa riser terhadap keseragaman air, menyatakan bahwa nilai koefisien keseragaman air terendah sebesar 92,46% dan koefisien keseragaman air tertinggi sebesar 97,23%. Nilai distribusi keseragaman air terendah sebesar 88,01% dan tertinggi sebesar 95,59%.

Seluruh kombinasi perlakuan layak untuk diaplikasikan ke lahan karena nilai koefisien keseragaman air melebihi 85%. Faridah, Suhardi, & Waris (2014) menyatakan bahwa kinerja sistem kontrol kadar air tanah pada operasi sistem irigasi

sprinkler memiliki distribusi keseragaman air 74,32% dan koefisien keseragaman air 81,8%.

Biaya pemeliharaan jaringan irigasi *sprinkler* relatif kecil, jika tidak terjadi kerusakan pada jaringan atau komponen *sprinkler*. Biaya pemeliharaan cukup besar pada jaringan irigasi *sprinkler* adalah untuk perawatan pompa, seperti penggantian suku cadang dan pencucian sumur.

IV. KESIMPULAN

Mikrokontroler Arduino Uno ATmega328P dapat digunakan sebagai sistem kendali otomatis untuk menggerakkan sistem aktuasi pompa irigasi berdasarkan kelembaban tanah sesuai dengan *set point* yang telah ditentukan. Selama percobaan nilai kadar air tanah maksimum 29,10%, kadar air tanah minimum 12,87% dan kadar air tanah rata-rata 23,55%. Rata-rata waktu yang dibutuhkan untuk pengoperasian pompa irigasi sampai *set point* atas adalah 13,07 menit dan total penggunaan air irigasi selama percobaan adalah 21,40 m³. Total daya yang dibutuhkan untuk mengoperasikan irigasi *sprinkler* otomatis adalah 67,0 Watt dan penggunaan sistem kontrol otomatis selama percobaan dapat menghemat daya baterai sebesar 234,7 Watt.

Untuk selanjutnya, diperlukan pengembangan algoritma yang lebih baik lagi untuk mengontrol

sistem *on/off* pompa sesuai dengan fase pertumbuhan tanaman secara otomatis berbasis tenaga surya.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Direktorat Riset dan Pengabdian Masyarakat (DRPM), Ditjen Penguatan Riset dan Pengembangan, Kementerian Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi melalui Hibah Skema Program Pengabdian Kepada Masyarakat Tahun 2017. Selain itu, ucapan terima kasih juga disampaikan kepada Kelompok Tani Makmue Beusare dan Ingin Makmur Kecamatan Meureubo, Kabupaten Aceh Barat sebagai mitra kegiatan Pengabdian kepada Masyarakat (PkM).

DAFTAR PUSTAKA

- Abdelkerim, A., Eusuf, M.S., Salami, M., Aibinu, A., & Eusuf, M.A. (2013). Development of solar powered irrigation system. Dalam *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (hal. 1–13). Kuala Lumpur: IOP Publishing. <https://dx.doi.org/10.1088/1757-899X/53/1/012005>
- Alam, N., & Naseem, A. (2014). Solar powered auto irrigation system. *Journal Sci. Int*, 26, 1515–1517.
- Cardenas-Lailhacar, B., & Dukes, M.D. (2010). Conditions, precision of soil moisture sensor irrigation controllers under field. *Agricultural Water Management*, 97(5), 666–672. <https://dx.doi.org/10.1016/j.agwat.2009.12.009>
- Balaji, V.R., & Sudha, M. (2016). Solar powered auto irrigation system. *International Journal of Emerging Technology in Computer Science & Electronics*, 20(2), 203–206.
- Bansal, M., Bhatia, T., Srivastava, S., Gupta, S., & Goyal, T. (2014). Automatic solar powered water pumping using zigbee technology. *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, 4(4), 812–816.
- Chavan, M.S., Pawar, P., Bhaga, R., & Somanwad, N. (2017). Solar powered auto irrigation system. *International Journal of Recent Innovation in Engineering and Research*, 02, 19–24.
- Dhanne, B.S., Kedare, S., & Dhanne, S.S. (2014). Modern solar powered irrigation system by using ARM. *International Journal of Research in Engineering and Technology*, 3(2), 20–25.
- Dursun, M., & Ozden, S. (2012). Application of solar powered automatic water pumping in Turkey. *International Journal of Computer and Electrical Engineering*, 4(2), 161–164. <https://doi.org/10.7763/IJCEE.2012.V4.471>
- Faridah, S.N., Suhardi, & Waris, A. (2014). Kinerja sistem kontrol kadar air tanah pada operasi sistem irigasi sprinkler. *Jurnal AgriTechno*, 6(2), 1–9.
- Hardjowigeno, S. (2007). *Ilmu Tanah*. Jakarta: Akademika Pressindo.
- Harishankar, S., Kumar, R.S., Sudharsan, K.P., Vignesh, U., & Viveknath, T. (2014). Solar powered smart irrigation system. *Advance in Electronic and Electric Engineering*, 4(4), 341–346.
- Hidayah, S., & Prihantoko, A. (2017). Pintu air irigasi elektromekanis kombinasi aliran atas dan bawah. *Jurnal irigasi*, 11(2), 113–124. <http://dx.doi.org/10.31028/ji.v11.i2.113-124>
- Ingale, H., & Kasat, N.N. (2012). Automated solar based agriculture pumping. *International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering*, 2(11), 407–410.
- Joubert, M.D., Ridwan, D., & Pratiwi, R.M. (2017). Kinerja jaringan irigasi air tanah pada irigasi hemat air berbasis pompa air tenaga surya. *Jurnal Irigasi*, 11(2), 125–132. <http://dx.doi.org/10.31028/ji.v11.i2.125-132>
- Keller, J., & Bliesner, R.D. (1990). *Sprinkle and Trickle Irrigation*. Caldwell: The Blackburn Press.
- Merkley, G.P., & Allen, R.G. (2004). *Sprinkle & Trickle Irrigation: Lecture Notes*. Logan, Utah: Biological and Irrigation Engineering Department.
- Nagahage, I.S.P., & Dilrukshi, E.A.A. (2012). Solar powered automated irrigation system. Dalam *Asian Conference on Electrochemical Power Sources*. Diperoleh dari <http://dl.lib.mrt.ac.lk/handle/123/9076>
- Nurfaijah, Setiawan, B.I., Arif, C., & Widodo, S. (2015). Sistem kontrol tinggi muka air untuk budidaya padi. *Jurnal Irigasi*, 10(2), 97–110. <http://dx.doi.org/10.31028/ji.v10.i2.97-110>
- Rejekiningrum, P., & Saptomo, S.K. (2015). Analisis kelayakan finansial pengembangan sistem irigasi cakram otomatis bertenaga surya di Nusa Tenggara Barat. *Jurnal Irigasi*, 10(2), 125–136.
- Saptomo, S.K., Isnain, R., & Setiawan, B.I. (2013). Irigasi curah otomatis berbasis sistem pengendali mikro. *Jurnal Irigasi*, 8(2), 115–125.
- Shiraz Pasha, B.R., & Yogesha, D.B. (2014). Microcontroller based automated irrigation system. *The International Journal of Engineering and Science*, 3(7), 6–9.
- Siebert, S., & Döll, P. (2010). Quantifying blue and green virtual water contents in global crop production as well as potential production losses without irrigation. *Journal of Hydrology*, 384(3), 198–217.
- Sirait, S., Saptomo, S.K., & Purwanto, M.Y.J. (2015). Rancang bangun sistem otomatisasi irigasi pipa lahan sawah berbasis tenaga surya. *Jurnal Irigasi*, 10(1), 21–32. <http://dx.doi.org/10.31028/ji.v10.i1.21-32>

- Susanawati, L.D., & Suharto, B. (2017). Uji kinerja desain irigasi curah menggunakan kombinasi tekanan pompa dan tinggi pipa riser terhadap keseragaman air. Dalam *Prosiding Seminar Nasional FKPT-TPI 2017* (hal. 163–171).
- Tusi, A., & Lanya, B. (2016). Rancangan irigasi sprinkler portable tanaman pakchoy. *Jurnal Irigasi*, 11(1), 43–54. <http://dx.doi.org/10.31028/ji.v11.i1.43-54>
- Uddin, J., Reza, S., Newaz, Q., Islam, T., & Kim, J. (2012). Automated irrigation system using solar power. Dalam *2012 7th International Conference on Electrical and Computer Engineering* (hal. 228–231). <https://doi.org/10.1109/ICECE.2012.6471527>
- Yalla, S.P., Ramesh, B. & Ramesh, A. (2013). Autonomous solar powered irrigation system. *International Journal of Engineering Research and Applications*, 3(1), 60–65.