



## **PEMANFAATAN SISTEM IRIGASI POMPA TENAGA SURYA SEBAGAI SOLUSI EFISIEN PENYEDIAAN AIR DALAM MENGANTISIPASI PERUBAHAN IKLIM DI LAHAN KERING**

### **UTILIZATION OF SOLAR WATER PUMP IRRIGATION SYSTEM AS AN EFFICIENT SOLUTION FOR WATER SUPPLY IN ANTICIPATING CLIMATE CHANGE IN DRY LANDS**

**Oleh:**

**Popi Rejekiningrum<sup>1)</sup>✉, Nani Heryani<sup>1)</sup>, Budi Kartiwa<sup>1)</sup>, Hendri Sosiawan<sup>1)</sup>**

<sup>1)</sup>Pusat Riset Limnologi dan Sumber Daya Air, Badan Riset dan Inovasi Nasional  
Kawasan Sains Terpadu Soekarno, Jl. Raya Jakarta Bogor Km 46  
Cibinong, Kabupaten Bogor, Indonesia

✉Komunikasi Penulis, email: [popirejeki@gmail.com](mailto:popirejeki@gmail.com)

Naskah ini diterima pada 7 Agustus 2023; revisi pada 1 November 2023;  
disetujui untuk dipublikasikan pada 11 Desember 2023

#### **ABSTRACT**

*The Solar Water Pump Irrigation System (SIPTS) has been constructed in the dry land located on Imogiri District, Bantul Regency, Yogyakarta Special Region. This irrigation system does not depend on fossil fuels, and could reduce greenhouse gas emissions into the atmosphere, moreover, is able to raise and flow water to agricultural lands through supplementary irrigation. This research aims to design SIPTS by assessing operational duration and service potential SIPTS, conducting SIPTS field tests for shallot irrigation, measure the efficiency of SIPTS, and evaluate the contribution of solar energy utilization in reducing greenhouse gas emissions. The result shows that the optimal operational duration of the pump is 5.42 hour/day, covering an effective irrigation area of 3,630 m<sup>2</sup>. According to water content analysis data, impact sprinkler irrigation with SIPTS resulted in higher moisture levels than farmer's usual irrigation practices, proving that this irrigation system is more effective at distributing water. Furthermore, shallot yield and plant growth reveal greater growth and yields when employing SIPTS as opposed to farmer irrigation. The calculation of pump efficiency indicates that the use of SIPTS during one shallot growing season can save fuel consumption by approximately 316.7%. By reducing greenhouse gas emissions from the usage of hydrocarbon materials from 0.629 to 0.151 tons of CO<sub>2</sub>, the use of SIPTS has the potential to aid in environmental conservation efforts.*

**Keywords:** *solar energy, water pump, water-saving, energy-saving, environmentally friendly*

#### **ABSTRAK**

Sistem Irigasi Pompa Air Tenaga Surya (SIPTS) telah dikembangkan di lahan kering Kecamatan Imogiri, Kabupaten Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta. Sistem irigasi ini tidak bergantung pada bahan bakar fosil, dapat mengurangi emisi gas rumah kaca ke udara dan juga mampu mengalirkan air ke lahan pertanian melalui irigasi suplemen. Penelitian bertujuan merancang SIPTS dengan menghitung durasi operasional dan potensi layanan SIPTS, melakukan uji lapangan SIPTS untuk irigasi tanaman bawang merah, menghitung efisiensi pompa SIPTS, dan menghitung penggunaan tenaga surya terhadap pengurangan emisi gas rumah kaca. Hasil analisis durasi optimal operasional pompa menunjukkan 5,42 jam/hari dengan luas irigasi efektif 3.630 m<sup>2</sup>. Hasil analisis kandungan air menunjukkan bahwa penggunaan SIPTS dengan irigasi *impact sprinkler* memiliki kandungan air yang relatif lebih tinggi dibandingkan dengan pola irigasi petani, hal ini menunjukkan bahwa sistem irigasi ini lebih efektif dalam mendistribusikan air. Selain itu, pertumbuhan tanaman dan hasil bawang merah yang direpresentasikan oleh tinggi tanaman dan total berat bawang merah menunjukkan pertumbuhan dan hasil yang lebih tinggi pada aplikasi irigasi dengan SIPTS dibandingkan dengan pola irigasi petani. Perhitungan efisiensi pompa menunjukkan bahwa penggunaan SIPTS selama satu musim pertumbuhan bawang merah dapat menghemat konsumsi bahan bakar sekitar 316,7%. Dengan mengurangi emisi gas rumah kaca dari penggunaan bahan hidrokarbon dari 0,629 ton menjadi 0,151 ton CO<sub>2</sub>, penggunaan SIPTS berpotensi membantu upaya konservasi lingkungan.

**Kata kunci:** *tenaga surya, pompa air, hemat air, hemat energi, ramah lingkungan*

## I. PENDAHULUAN

Keterbatasan ketersediaan air terutama di musim kemarau menjadi masalah utama pengembangan pertanian di lahan kering. Meningkatkan produktivitas lahan dapat dilakukan dengan mengoptimalkan penggunaan sumberdaya air yang tersedia melalui sistem irigasi suplemen. Dalam praktiknya, petani sering mengandalkan berbagai jenis pompa, termasuk pompa listrik dan pompa Bahan Bakar Minyak (BBM), untuk menggerakkan air (Rejekiingrum, Apriyana, Kartika, Hamdani, & Nandar, 2017).

Pompa air yang sumber energinya bahan bakar fosil atau listrik menyebabkan dampak lingkungan yang merugikan karena tingginya emisi karbon dioksida, yang secara signifikan berperan dalam pemanasan global (Astra, 2010). Persoalan di tingkat lapangan tidak semua lahan memiliki akses ke infrastruktur energi listrik, terutama di daerah terpencil atau yang mengalami keterbatasan pasokan listrik dan kenaikan harga bahan bakar minyak yang signifikan. Oleh karena itu, perlu dicari dan dikembangkan suatu teknologi irigasi menggunakan sumber energi alamiah yang dapat dimanfaatkan secara cuma-cuma dan tersedia setiap saat (Rejekiingrum *et al.*, 2017).

Sehubungan dengan hal tersebut, pemanfaatan radiasi matahari dapat menjadi alternatif sebagai tenaga penggerak pompa irigasi. Pompa tenaga surya memanfaatkan energi dari sinar matahari untuk pengairan (Widodo & Nasution, 2016).

Indonesia terletak di zona tropis yang memiliki potensi energi dari sinar matahari yang sangat besar sekitar 4,8 kWh/m<sup>2</sup>/hari atau setara dengan 112.000 GWp. Namun, penggunaannya baru mencapai sekitar 49 MWp. Berdasarkan data tersebut, potensi energi surya yang sudah dimanfaatkan masih kurang dari 1%. Kondisi geografis Indonesia yang berada di sekitar khatulistiwa memungkinkan matahari bersinar selama 10-12 jam per hari, dan hampir seluruh wilayahnya menerima intensitas penyinaran yang relatif merata (Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, 2015). Potensi energi surya bisa dimaksimalkan untuk mensuplai tenaga listrik yang diperlukan dalam sistem pengairan, yang diharapkan dapat memberikan jaminan pasokan air yang cukup untuk keperluan irigasi. Oleh karena itu, perlu adanya pengembangan pompa menggunakan energi surya (Rahardjo & Fitriana, 2005).

Menurut Malvino & Bates (2016), sel surya adalah elemen aktif yang mengubah energi sinar matahari menjadi energi listrik. Secara umum, sel surya mempunyai ketebalan minimum sekitar

0,3 mm merupakan lapisan bahan semikonduktor yang memiliki kutub positif dan kutub negatif. Prinsip pembuatan sel surya didasarkan pada efek fotovoltaiik, yang dapat mengubah langsung cahaya matahari menjadi energi listrik. Material yang umumnya dipergunakan dalam produksi sel surya adalah silikon kristal.

Salah satu keuntungan penggunaan energi surya adalah sebagai berikut: (1) Indonesia memiliki banyak potensi sinar matahari, (2) membantu kebijakan energi nasional untuk menghemat, diversifikasi, dan pemerataan, dan (3) memungkinkan instalasi di daerah terpencil karena tidak perlu mengangkut energi atau bahan bakar (Sasongko, 2012).

Pompa air tenaga surya merupakan solusi yang lebih efisien dan ekonomis karena tidak bergantung pada pasokan listrik atau bahan bakar lainnya. Operasional dan pemeliharannya lebih murah, tidak memberatkan petani dalam aktivitas pertanian. Pengembangan pompa energi matahari sangat penting, mengingat keunggulannya dalam menghemat energi dan berwawasan lingkungan. Pompa ini mudah digunakan, mempunyai tingkat efisiensi yang tinggi, performa yang stabil, dan dapat dipakai dalam jangka waktu yang lama (Widodo & Nasution, 2016).

Pemanfaatan tenaga surya untuk menggerakkan pompa air adalah langkah yang efektif dalam mengurangi emisi gas rumah kaca, yang sebagian besar berasal dari aktivitas manusia, terutama dari sektor energi yang secara berlebihan menggunakan bahan bakar fosil seperti gas, batu bara, dan minyak bumi.

Hal ini menjadi penyebab utama pelepasan gas rumah kaca ke atmosfer. Energi memegang peran sentral dalam kehidupan masyarakat, menjadi faktor kunci dalam pembangunan dan pertumbuhan ekonomi. Hampir semua sektor kehidupan, seperti industri, transportasi, rumah tangga, dan layanan, sangat bergantung pada energi. Rumah tangga menggunakan energi untuk berbagai keperluan seperti penerangan, memasak, pengaturan suhu ruangan, dan kendaraan sehari-hari. Saat ini, ada peningkatan jumlah peralatan rumah tangga yang bergantung pada pasokan energi, yang pada akhirnya menyebabkan peningkatan emisi gas rumah kaca. Di sektor pertanian, penggunaan pompa air untuk irigasi seringkali bergantung pada bahan bakar minyak berjenis premium. Dengan beralih ke pompa air tenaga surya, kita bisa mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil dan mengurangi dampak negatif pada lingkungan serta iklim (Wiedmann, Minx, & Pertsova, 2008; Wulandari, Hermawan, & Purwanto, 2013). Energi

fosil masih menjadi sumber energi utama Indonesia, khususnya minyak bumi. Dari konsumsi minyak bumi 1,6 juta barrel per hari, Indonesia hanya memproduksi 700.000-800.000 barrel per hari. Sisanya, atau lebih separuhnya diimpor (Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, 2015).

Penelitian bertujuan sebagai berikut: 1) merancang SIPTS yang memiliki efisiensi tinggi dalam penggunaan air dan energi, (2) melakukan uji lapangan SIPTS untuk irigasi tanaman bawang merah, (3) mengukur efisiensi pompa SIPTS dan membandingkannya dengan pompa sentrifugal/*jetpump* yang umum digunakan oleh petani, (4) menghitung emisi gas rumah kaca pada penggunaan SIPTS dan pompa sentrifugal/*jetpump*.

## II. METODOLOGI

### 2.1 Lokasi Penelitian

Penelitian dilakukan di Desa Sriharjo, yang terletak di Kecamatan Imogiri, Kabupaten Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta. Desa ini terletak di sebelah barat dan berbatasan dengan Kecamatan Pundong. Di sebelah selatan, Desa Sriharjo berbatasan dengan Desa Selopamioro dan Kecamatan Pundong. Sementara di sebelah timur, desa ini berbatasan dengan Desa Karangtengah dan Kecamatan Dlingo. Di sebelah utara, Desa Sriharjo berbatasan dengan Desa Kebonagung serta Desa Karangtengah (Gambar 1). Desa Sriharjo merupakan salah satu tempat wisata yang letaknya berjarak sekitar 5 km dari kantor Kecamatan Imogiri yang memiliki keindahan yang eksotik. Di lokasi ini, sumber air utamanya adalah Sungai Oyo yang mengalir sepanjang tahun. Untuk mengirigasi lahannya, umumnya petani mengambil air dari Sungai Oyo menggunakan pompa hidran 5,5 Hp.

### 2.2 Bahan dan Alat

Penelitian menggunakan bahan-bahan sebagai berikut: (1) Untuk pembuatan pompa tenaga surya, bahan yang digunakan meliputi panel surya, *Master Circuit Board* (MCB), *Solar Charge Controller* (SCC), baterai kering, inverter, pembagi listrik, lampu penerangan, dan daya listrik terpasang, (2) Untuk instalasi irigasi, meliputi pipa PVC, *ball valve*, *vlosox*, *elbow*, *tee*, *water tower*, dan *water meter*, yang digunakan untuk membangun jaringan irigasi yang terhubung langsung ke pompa tenaga surya, (3) Untuk percobaan lapang penanaman bawang merah, meliputi bibit, pupuk, pestisida, dan lain sebagainya, yang digunakan untuk percobaan lapang penentuan efisiensi

irigasi. Peralatan yang diperlukan mencakup berbagai perangkat untuk memasang pompa tenaga surya, termasuk perangkat kendali elektronik, dan perlengkapan untuk memantau pertumbuhan tanaman, seperti penggaris untuk mengukur tinggi tanaman, jangka sorong untuk mengukur ketebalan umbi, dan timbangan untuk mengukur bobot umbi. Selain itu, juga digunakan seperangkat komputer dan perangkat lunak analisis data MINITAB untuk menganalisis data hasil penelitian.

### 2.3 Metode

#### 2.3.1 Desain Sistem Irigasi Pompa Tenaga Surya

Untuk menentukan kapasitas pompa air tenaga surya, beberapa informasi yang diperlukan meliputi: (1) ketersediaan dan kebutuhan air, (2) perbedaan ketinggian antara sumber air dan area yang akan disuplai (head), dan (3) potensi radiasi matahari yang dapat ditangkap oleh panel surya. Ketersediaan air dapat diukur menggunakan alat pengukur arus (*current meter*), sementara potensi radiasi matahari dapat diperoleh dari *Automatic Weather Station* (AWS), dan perbedaan ketinggian dapat ditentukan melalui pengukuran topografi dengan menggunakan *total station*. Kebutuhan air, baik volume maupun interval irigasi, dapat dihitung menggunakan persamaan dari FAO (Doorenbos & Pruitt, 1977).

Air permukaan dari sungai yang mengalir melalui lokasi penelitian adalah salah satu sumber daya air yang ada di lokasi penelitian. Potensi aliran sungai diidentifikasi berdasarkan pengukuran kecepatan aliran sungai menggunakan *current meter*. Alat ini dapat mendeteksi kecepatan arus air di dalam sungai atau badan air menggunakan sensor.

Data radiasi matahari diukur dari AWS yang dipasang dekat lokasi penelitian. Alat ini memiliki 7 sensor untuk mengukur suhu udara, curah hujan, kelembaban udara, tekanan udara, kecepatan dan arah angin, radiasi matahari. Analisis dan pembuatan peta kontur untuk menentukan beda tinggi dilakukan melalui pengukuran topografi dengan menggunakan *total station*. Alat ini digunakan untuk mengukur perbedaan ketinggian antara dua titik yang terletak dalam rentang jarak 5 meter hingga 1 kilometer. Secara otomatis, perangkat ini memungkinkan pengukuran yang cepat dan akurat untuk mengestimasi kemiringan lahan serta merinci kontur tanah guna menentukan jalur distribusi air yang optimal melalui jaringan yang akan dibangun untuk mengetahui posisi dan menyusun desain teknik irigasinya

## PETA LOKASI POMPA



Gambar 1 Lokasi Kegiatan Penelitian

Sebelum merancang desain teknik irigasi, langkah awal yang dilakukan adalah menentukan durasi operasional pompa air tenaga surya berdasarkan spesifikasi komponen-komponen yang dipasang. Faktor-faktor yang diperhitungkan meliputi:

- (1) Spesifikasi panel surya: kapasitas panel surya yang dipilih akan memengaruhi seberapa banyak energi matahari yang dapat dihasilkan, yang pada gilirannya akan memengaruhi operasi pompa.
- (2) Spesifikasi baterai kering: kapasitas dan kemampuan baterai kering perlu diperhitungkan karena baterai ini berperan sebagai penyimpan energi surya yang akan digunakan pada saat matahari tidak bersinar.
- (3) Spesifikasi pompa: karakteristik teknis pompa air tenaga surya, seperti daya, tekanan, dan kapasitas aliran, harus dipertimbangkan agar sesuai dengan kebutuhan irigasi.
- (4) Konsumsi arus pompa dan inverter: menghitung konsumsi arus oleh pompa dan inverter adalah langkah penting untuk memahami berapa banyak energi yang dibutuhkan selama operasi.

Selanjutnya, dilakukan analisis untuk menentukan potensi layanan pompa, yaitu luas irigasi efektif yang dapat dilayani oleh pompa air tenaga surya. Hal ini akan membantu dalam menentukan luas lahan yang dapat digunakan untuk irigasi pertanian dan memastikan bahwa sistem irigasi dapat secara efektif memenuhi kebutuhan air tanaman.

Pengujian lapangan dilakukan untuk mengevaluasi kinerja pompa air tenaga surya sebagai alternatif sumber daya dalam sistem irigasi, menggantikan sumber energi konvensional. Pengujian ini dilaksanakan di lapangan dengan menerapkan perlakuan tertentu, termasuk pemasangan instalasi jaringan irigasi yang menggunakan air dari Sistem Irigasi Tenaga Surya (SIPTS).

Instalasi jaringan irigasi yang dikembangkan disesuaikan dengan jenis tanaman yang akan dibudidayakan. Untuk tanaman bawang merah, digunakan teknik irigasi curah *impact sprinkler*. Hal ini dilakukan agar pengujian mencerminkan kondisi nyata di lapangan dan dapat menilai sejauh mana SIPTS dapat memenuhi kebutuhan air tanaman secara efektif dan efisien. Spesifikasi *impact sprinkler* (*low angle nozzle*, tinggi pancaran 0,9 m) yang dinyatakan dalam debit, laju dan radius penyiraman disajikan pada Tabel 1 berikut.

Tabel 1 Spesifikasi *Impact Sprinkler*

Bars- Nozzle	NOZZLE SIZE METRIC					
	2,78 Mm (7/64") Black			3,97 mm (5/32") Yellow		
	Rad. (m)	Flow (lps)	Flow (m <sup>3</sup> /h)	Rad. (m)	Flow (lps)	Flow (m <sup>3</sup> /h)
1.7	6.7	0.09	0.34	7.6	0.21	0.77
2.0	6.8	0.10	0.38	8.1	0.23	0.83
2.5	7.1	0.12	0.44	8.9	0.26	0.92
3.0	7.5	0.13	0.47	9.4	0.28	1.01
3.5	7.6	0.14	0.50	9.6	0.30	1.09
4.0	7.6	0.15	0.54	9.8	0.33	1.19
4.1	7.6	0.15	0.54	9.8	0.34	1.23

Pengamatan Kadar Air Tanah (KAT) dilakukan untuk melihat efektifitas SIPTS dalam mendistribusikan air secara horizontal dan vertikal. Pengamatan yang dilakukan:

- (1) Aspek spasial, dengan membuat petak pengamatan dengan ukuran 1 m x 0,5 m yang ditempatkan di tengah-tengah petak perlakuan dengan kedua sisi memanjang berada di tengah antara 2 emiter berdekatan. Petak pengamatan dibagi menjadi *grid* berukuran 10 cm, sehingga terdapat 50 titik sampling kadar air. Pengambilan sampel KAT dilakukan kurang lebih 30 menit setelah irigasi selesai dilakukan pada kedalaman 20 cm.
- (2) Aspek temporal, dengan mengukur pada 1 (satu) titik tengah antara 2 (dua) jalur *sprinkler* sejajar dengan tanaman, dilakukan 30 menit sebelum irigasi, 30 menit setelah irigasi, 6 jam setelah irigasi, dan 12 jam setelah irigasi. Selanjutnya semua sampel pengamatan di oven selama 30 menit sampai 1 jam kemudian ditimbang sebelum dan sesudah dioven.

### 2.3.2 Uji Lapangan Sistem Irigasi Tanaman dengan Pompa Air Tenaga Surya

Penerapan SIPTS dalam irigasi tanaman melibatkan serangkaian langkah, dimulai dengan analisis kebutuhan air tanaman, termasuk perhitungan volume air yang diperlukan dan interval irigasi yang optimal. Hasil dari analisis ini kemudian diaplikasikan dalam menentukan skenario irigasi tanaman di lapangan. Dengan demikian, implementasi SIPTS didasarkan pada pemahaman yang akurat tentang kebutuhan air tanaman dan menerapkannya dengan cara yang paling efisien.

Perhitungan kebutuhan irigasi tanaman dilakukan dengan mengacu pada metode FAO berdasarkan persamaan dari Doorenbos dan Pruitt (Doorenbos & Pruitt, 1977). Metode ini merupakan sebuah pendekatan yang memperhitungkan karakteristik fisik tanah serta kedalaman perakaran pada setiap tahap pertumbuhan tanaman untuk menghitung kebutuhan air tanaman secara lebih akurat. Dengan demikian, perhitungan ini memberikan landasan yang lebih komprehensif untuk menentukan jumlah air yang harus disalurkan ke tanaman selama tahap pertumbuhannya.

Untuk mengoptimalkan interval irigasi, dilakukan analisis dengan membandingkan kebutuhan irigasi neto (*Net Irrigation Depth/NID*) pada setiap tahap pertumbuhan tanaman dengan akumulasi jumlah evapotranspirasi tanaman. Dengan cara ini, interval irigasi dapat ditentukan dengan

mempertimbangkan sejauh mana kebutuhan air tanaman dan kehilangan air melalui penguapan dan transpirasi seiring dengan pertumbuhan tanaman. Hal ini membantu dalam menentukan kapan dan seberapa sering irigasi perlu dilakukan untuk mendukung pertumbuhan tanaman yang optimal.

Perhitungan evapotranspirasi tanaman menggunakan Persamaan 1:

$$ET_c = K_c \times ET_o \dots\dots\dots (1)$$

Keterangan:

ET<sub>c</sub> = evapotranspirasi tanaman

ET<sub>o</sub> = evapotranspirasi referensi

K<sub>c</sub> = koefisien tanaman

Tahapan perhitungan evapotranspirasi tanaman:

- (1) Melakukan identifikasi tahap pertumbuhan tanaman, menentukan lama setiap periode pertumbuhan dan memilih K<sub>c</sub> yang sesuai dengan periode pertumbuhan.
- (2) Mengidentifikasi fase pertumbuhan tanaman, menghitung durasi masing-masing fase pertumbuhan, dan memilih nilai K<sub>c</sub> yang tepat sesuai dengan periode pertumbuhan.
- (3) Menghitung nilai K<sub>c</sub> pada pertengahan periode pertumbuhan tanaman sesuai dengan kondisi iklim harian menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$K_{c \text{ mid}} = K_{c \text{ mid(Tab)}} + [0,04(U_2 - 2) - 0,004(RH_{\text{min}} - 45)] \left[ \frac{h}{3} \right]^{0,3} \dots\dots\dots (2)$$

Keterangan:

K<sub>c mid(Tab)</sub> : nilai K<sub>c</sub> pada pertengahan periode pertumbuhan berdasarkan tabel

U<sub>2</sub> : rata-rata harian kecepatan angin selama pertengahan periode pertumbuhan tanaman (km/jam)

RH<sub>min</sub> : rata-rata harian kelembaban relatif minimum (%)

h : tinggi tanaman selama pertengahan periode pertumbuhan tanaman (m)

- (4) Menetapkan kurva koefisien tanaman yang dapat menentukan nilai K<sub>c</sub> yang sesuai untuk setiap tahap pertumbuhan tanaman.
- (5) Menetapkan interval pemberian irigasi optimal dari nilai evapotransporasi potensial (ETP) tanaman harian kumulatif berdasarkan jumlah kebutuhan irigasi neto.

Interval optimal pemberian irigasi ditentukan dengan mengacu pada nilai ETP kumulatif yang kurang dari atau sama dengan kebutuhan irigasi neto. Dengan demikian, interval pemberian irigasi dapat disesuaikan sedemikian rupa sehingga tanaman menerima cukup air untuk pertumbuhannya tanpa adanya kelebihan irigasi.

Pengujian lapangan untuk menguji kinerja pompa air tenaga surya sebagai alternatif pengganti sumber energi konvensional dalam sistem irigasi dilakukan dengan menggunakan rancangan percobaan. Rancangan percobaan yang diterapkan dalam penelitian ini adalah Rancangan Petak Terbagi (RPT) atau *split plot design*. Faktor pertama yang diuji adalah volume irigasi yang terdiri dari irigasi konvensional sesuai dengan praktik petani dengan sistem leban dan penyiraman sampai tergenang ( $R_0$ ) dan irigasi rekomendasi menggunakan pompa tenaga surya dengan sistem irigasi *impact sprinkler* masing-masing dengan volume irigasi 100% ( $R_1$ ), irigasi 85% ( $R_2$ ), dan irigasi 70% ( $R_3$ ) sesuai kebutuhan tanaman berdasarkan perhitungan FAO. Faktor kedua adalah penggunaan mulsa, yaitu tanpa mulsa ( $M_0$ ) dan dengan mulsa plastik hitam ( $M_1$ )

Masing-masing perlakuan diulang 4 kali, dengan kombinasi perlakuan yaitu:

1.  $R_0M_0$  = Irigasi petani + tanpa mulsa
2.  $R_0M_1$  = Irigasi petani + dengan mulsa
3.  $R_1M_0$  = Irigasi rekomendasi (SIPTS) 100% + tanpa mulsa
4.  $R_1M_1$  = Irigasi rekomendasi (SIPTS) 100% + dengan mulsa
5.  $R_2M_0$  = Irigasi rekomendasi (SIPTS) 85% + tanpa mulsa
6.  $R_2M_1$  = Irigasi rekomendasi (SIPTS) 85% + dengan mulsa
7.  $R_3M_0$  = Irigasi rekomendasi (SIPTS) 70% + tanpa mulsa
8.  $R_3M_1$  = Irigasi rekomendasi (SIPTS) 70% + dengan mulsa

Pemberian irigasi sesuai dengan kebutuhan tanaman yang dihitung berdasarkan data  $E_{Tc}$  dan air tanah tersedia hasil analisis fisika tanah. Taraf 100% merupakan 100% air yang diberikan dari kebutuhan tanaman hasil analisis FAO, irigasi 85% adalah 85% dari kebutuhan air, dan irigasi 70% adalah 70% air yang ditambahkan dari kebutuhan air tanaman. Volume irigasi dikonversi dalam satuan waktu untuk memudahkan pemberian irigasi.

Pengamatan pertumbuhan tanaman bawang merah terdiri dari berbagai parameter, yaitu: (1) tinggi tanaman, (2) jumlah anakan, (3) jumlah umbi, (4) diameter umbi. Pengamatan dilakukan dalam rentang waktu antara 10 hingga 60 hari setelah tanam (HST). Sementara itu, pengamatan panen meliputi pengukuran berat umbi, baik dalam keadaan basah maupun setelah dikeringkan. Pengukuran ini dilakukan pada hari ke-70 setelah tanam.

Untuk mengevaluasi dampak dari perlakuan irigasi dan mulsa terhadap parameter pertumbuhan dan panen, telah dilaksanakan analisis sidik ragam dengan uji P. Untuk menentukan perbedaan antara berbagai perlakuan dilakukan uji Tukey dengan tingkat signifikansi sebesar 5%.

### 2.3.3 Perhitungan Efisiensi Pompa SIPTS dan Pompa Sentrifugal/Jetpump

Uji optimalisasi penggunaan pompa di lokasi penelitian, dilakukan dengan membandingkan efisiensi antara SIPTS dengan pompa sentrifugal yang umumnya digunakan oleh petani. Efisiensi dievaluasi melalui perhitungan total biaya BBM yang dibutuhkan selama satu musim tanam (MT).

Perhitungan ini melibatkan empat parameter penting, yaitu:

- (1) Total volume air yang dibutuhkan untuk irigasi selama satu musim tanam (MT)
- (2) Volume air yang dihasilkan oleh pompa selama periode tertentu
- (3) Durasi total waktu operasional pompa untuk memenuhi kebutuhan irigasi
- (4) Total biaya BBM yang dibutuhkan selama satu MT. Hasil perhitungan akan membantu dalam mengevaluasi dan memilih metode irigasi yang paling efisien dari segi penggunaan BBM.

Perhitungan efisiensi pompa menggunakan persamaan sebagai berikut:

- (1) Perhitungan total volume kebutuhan irigasi selama MT:

$$K_V = \frac{K_i}{A} \dots \dots \dots (3)$$

Keterangan:

$K_V$  = total volume kebutuhan irigasi selama MT per satuan luas ( $m^3$ )

$K_i$  = total kebutuhan irigasi (mm)

$A$  = luas lahan terairi ( $m^2$ )

- (2) Perhitungan volume air pompa selama 1 jam

$$R_D = \frac{K_p}{O_t} \dots \dots \dots (4)$$

Keterangan:

$R_D$  = volume air pompa selama 1 jam ( $m^3$ /jam)

$K_p$  = kemampuan pompa sesuai spesifikasi ( $l/dt$ )

$O_t$  = waktu operasional pompa yang dicobakan (jam)

- (3) Perhitungan durasi total operasional pompa untuk memenuhi kebutuhan irigasi

$$D_o = \frac{K_v}{R_D} \dots\dots\dots (5)$$

Keterangan:

$D_o$  = durasi total operasional pompa untuk memenuhi kebutuhan irigasi (jam)

$K_v$  = total volume kebutuhan irigasi selama MT per satuan luas ( $m^3$ )

$R_D$  = volume air pompa selama 1 jam ( $m^3$ /jam)

- (4) Total biaya kebutuhan BBM selama MT

$$B_o = D_o \times K_B \times H_B \dots\dots\dots (6)$$

Keterangan:

$B_o$  = total biaya kebutuhan BBM selama MT (Rp)

$D_o$  = durasi total operasional pompa untuk memenuhi kebutuhan irigasi (jam)

$K_B$  = kebutuhan BBM per jam (liter)

$H_B$  : harga BBM saat itu (Rp)

#### 2.3.4. Perhitungan Emisi Gas Rumah Kaca (GRK)

Persamaan perhitungan nilai emisi CO<sub>2</sub> dari bahan bakar bensin sebagai berikut (Kementerian Lingkungan Hidup, 2012):

$$E_{CO_2} = P_E \times CC_e \times RO \times \left(\frac{44}{12}\right) \dots\dots\dots (7)$$

Keterangan:

$E_{CO_2}$  = emisi CO<sub>2</sub> (ton)

$P_e$  = penggunaan energi/bahan bakar (liter)

$CC_e$  = kandungan karbon energi/bahan bakar (gr/liter)

$RO$  = rasio oksidasi

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1 Desain Sistem Irigasi Pompa Tenaga Surya

Proses perancangan pompa tenaga surya, meliputi berbagai peralatan sistem yang diperlukan, yaitu: (1) panel surya, (2) inverter, (3) solar charge controller, (4) rangkaian baterai dengan menggunakan aki kering, dan (5) pompa sentrifugal. Komponen-komponen ini ditampilkan secara detil dalam Gambar 2, sementara konfigurasi dan desain SIPTS masing-masing disajikan dalam Gambar 3 dan 4.

Panel surya mengonversi sinar matahari menjadi energi listrik, energi listrik tersebut mengalir melalui solar charge controller untuk mengisi aki kering dengan arus listrik. Setelah proses tersebut, energi listrik yang tersimpan di aki kering diubah dari tegangan arus searah menjadi tegangan arus bolak-balik oleh inverter. Arus bolak-balik tersebut selanjutnya dikirimkan ke pompa sesuai dengan pengaturan waktu yang telah diatur sebelumnya.



Solar Panel



Battery Array dari Aki dan Power Inverter



Pompa Sentrifugal



Solar Charge Controller

Gambar 2 Komponen Penyusun Pompa Tenaga Surya



Gambar 3 Konfigurasi Pompa Air Tenaga Surya



Gambar 4 Desain Pompa Tenaga Surya

Implementasi pompa tenaga surya memiliki peran yang sangat penting dalam irigasi pertanian, khususnya untuk mengairi lahan pertanian. Oleh karena itu, diperlukan desain jaringan irigasi yang sesuai dengan jenis tanaman yang akan ditanam. Dalam kasus penanaman bawang merah, berdasarkan hasil penelitian telah ditemukan teknik irigasi yang efektif dengan menggunakan *impact sprinkler*.

Dalam konteks ini, pompa tenaga surya diintegrasikan secara langsung dengan sistem irigasi, menghasilkan suatu sistem irigasi berbasis pompa tenaga surya. Informasi lebih lanjut

mengenai desain dan instalasi sistem irigasi dengan pompa tenaga surya disajikan pada Gambar 5.

Analisis potensi layanan SIPTS dapat dilakukan dengan melakukan uji operasional SIPTS. Uji operasional dilakukan melalui perhitungan durasi operasional pompa berdasarkan spesifikasi komponen SIPTS yang telah dipasang, melalui: (1) karakteristik panel surya, (2) karakteristik baterai kering, (3) karakteristik pompa, dan (4) konsumsi arus oleh pompa dan inverter. Hasil analisis durasi operasional pompa dan potensi layanan irigasi terdapat pada Tabel 2 dan 3.



**Gambar 5** Desain dan Instalasi SIPTS Berbasis Teknik Irigasi *Impact Sprinkler*

**Tabel 2** Analisis Durasi Operasional Pompa

Parameter	Satuan	Simbol	Nilai
Analisis Durasi Operasional Pompa			
Spesifikasi Panel Surya			
Watt Peak (WP)	Watt	W	100
Arus pada saat daya maksimum	Ampere	A	5,8
Durasi Radiasi Optimal untuk Pengisian	Jam	h	3
Baterai			
Rata-rata kapasitas harian	Amper Jam	Ah	17,4
Jumlah panel	Unit		20
Total kapasitas arus	Amper Jam	Ah	348
Spesifikasi Baterai Kering			
Arus Baterai	Amper Jam	Ah	100
Daya Baterai	Volt DC	VDC	12
Jumlah	Unit		10
Total kapasitas baterai	Amper Jam	Ah	1000
Spesifikasi Pompa			
Tipe	-	-	Submersible
Merk	-	-	Grundfos SP3A 12
Voltage/Hz	Volt/Hz	V/Hz	230/50
Daya output motor	Watt	W	750
Head	meter	m	50
Debit Optimal	l/det	l/dt	1,00
Konsumsi Arus Pompa dan Inverter			
Daya Pompa (input)	Watt	Maksimum	750
Perkiraan daya Internal Inverter	Watt	W	20
Total Daya Sistem	Watt	W	770
Total konsumsi arus pada aki 12V	Amper	A	64,17
Durasi Optimal Operasional Pompa	Jam/hari	h/d	5,42

**Tabel 3** Luas Layanan Irigasi Efektif

Parameter	Satuan	Simbol	Nilai
Analisis Luas Irigasi Efektif			
Sistem Irigasi			
Tipe			Impact Sprinkler
Merk			Rainbird 2045 PJ
Diameter Pipa Inlet	inchi		0,5
Tekanan Operasional: Minimum	Bar	b	1,7
Tekanan Operasional: Maksimum	Bar	b	4,1
Diameter Cakupan Irigasi: Minimum	meter	m	13,6
Diameter Cakupan Irigasi: Maksimum	meter	m	27,4
Kapasitas Debit: Minimum	liter per detik	l/dt	0,09
Kapasitas Debit: Maksimum	liter per detik	l/dt	0,53
Rotasi, Durasi dan Luas Irigasi Efektif			
Diameter Cakupan Irigasi Sprinkler	meter	m	13,60
Luas Cakupan Irigasi Sprinkler	meter persegi	m <sup>2</sup>	145,27
Persentasi Luas Cakupan Efektif Irigasi Sprinkler	persen	%	83,29
Luas Irigasi Efektif 1 Unit Sprinkler	meter persegi	m <sup>2</sup>	121,0
Jarak Antar Sprinkler	meter	m	11,0
Kapasitas Debit Sprinkler	liter per detik	l/dt	0,10
Kapasitas Debit Pompa	liter per detik	l/dt	1,00
Jumlah Unit Sprinkler per Rotasi Irigasi	unit		10
Luas Irigasi Efektif per Rotasi Irigasi	meter persegi	m <sup>2</sup>	1210,0
Volume Irigasi Puncak	milimeter per hari	mm/hari	3,67
Volume Kebutuhan Air per Rotasi Irigasi	meter kubik	m <sup>3</sup>	4,44
Durasi Irigasi per Rotasi Irigasi	Jam	min	1,48
Durasi Maksimum Operasional Pompa	Jam	jam	4,9
Jumlah Total Rotasi Irigasi	Rotasi	Rot	3
Luas Irigasi Efektif Total	meter persegi	m <sup>2</sup>	3.630

Berdasarkan hasil analisis, durasi operasional pompa yang optimal adalah sekitar 5,42 jam per hari, yang mampu mengirigasi lahan dengan luas efektif mencapai 3.630 m<sup>2</sup>.

Penelitian di Desa Bleberan, Kecamatan Playen, Kabupaten Gunung Kidul menunjukkan bahwa pompa air tenaga surya yang terpasang mempunyai durasi operasional 7,59 jam/hari dengan luas irigasi efektif 2.333 m<sup>2</sup> (Rejekiningrum, Apriyana, & Harmanto, 2021).

Hasil penelitian di lahan pertanian Thailand menunjukkan bahwa pompa tenaga surya dapat memompa air sebanyak 3000 l/jam dan mentransfer air sejauh 200 m ke area pertanian dengan biaya perawatan yang mudah dan murah oleh petani (Cha-ar-mart, Jeebkaew, Mameekul, Singsoog, & Seetawan, 2021).

### 3.2 Uji Lapangan Pompa Air Tenaga Surya untuk Irigasi Tanaman Bawang Merah

#### 3.2.1 Pengamatan Kadar Air Tanah

Pengamatan Kadar Air Tanah (KAT) dilakukan 30 menit sebelum irigasi dan 6 jam setelah irigasi. Hasil analisis perhitungan kadar air tanah pada fase inisiasi dan vegetatif terdapat pada Gambar 6 dan 7.

Hasil analisis kadar air menunjukkan bahwa penambahan air irigasi sesuai kebutuhan air tanaman terhadap kadar air tanah sebelum irigasi terlihat perbedaan yang jelas. Fase inisiasi rata-rata KAT 30 menit sebelum irigasi pada perlakuan irigasi rekomendasi tanpa dan dengan mulsa rata-rata 23,68% dan 23,87%; setelah 6 jam diirigasi rata-rata KAT tanpa dan dengan mulsa 27,94% dan 28,13%. Irigasi pola petani sebelum irigasi tanpa dan dengan mulsa rata-rata 21,60% dan 23,40%, kemudian meningkat menjadi 27,30% (tanpa mulsa) dan 27,38% (dengan mulsa) setelah irigasi.

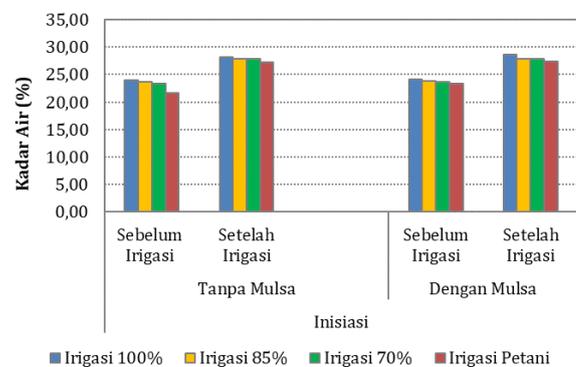
Fase vegetatif rata-rata KAT 30 menit sebelum irigasi pada rata-rata KAT 30 menit sebelum irigasi pada perlakuan irigasi rekomendasi tanpa dan dengan mulsa rata-rata 27,13% dan 27,36%; setelah 6 jam diirigasi rata-rata KAT tanpa dan dengan mulsa 29,50% dan 29,74%. Adapun pada irigasi pola petani sebelum irigasi tanpa dan dengan mulsa rata-rata 25,57% dan 27,16, kemudian meningkat menjadi 26,10 % (tanpa mulsa) dan 28,20% (dengan mulsa) setelah irigasi.

Umumnya jika dibandingkan antara perlakuan dengan dan tanpa mulsa, perlakuan dengan mulsa mempunyai KAT lebih besar.

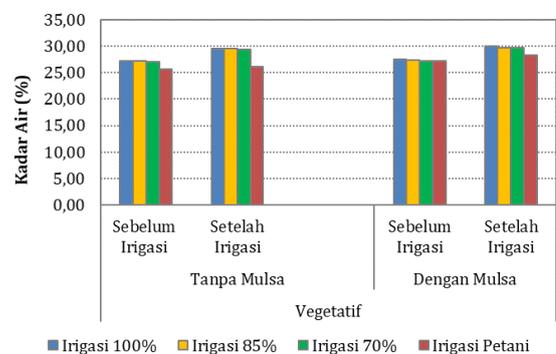
Noorhadi & Sudadi (2003) menemukan bahwa penggunaan mulsa anorganik memiliki beberapa manfaat, seperti meningkatkan laju produksi tanaman yang dibudidayakan, mengoptimalkan penggunaan air, serta meminimalkan risiko erosi, serangan hama dan penyakit.

#### 3.2.2 Analisis Kebutuhan Air Tanaman (Volume dan Interval Irigasi)

Perhitungan kebutuhan irigasi untuk tanaman bawang merah (volume dan interval) dilakukan menggunakan persamaan FAO dengan data input ketersediaan air sesuai hasil analisis sampel fisika tanah di lokasi penelitian. Detil hasil analisis fisika tanah disajikan pada Tabel 4. Adapun perhitungan kebutuhan air, volume dan interval irigasi yang optimal untuk tanaman bawang merah yang disajikan pada Tabel 5.



Gambar 6 Kadar Air Tanah 30 Menit Sebelum Irigasi dan 6 Jam Setelah Irigasi pada Fase Inisiasi



Gambar 7 Kadar Air Tanah 30 Menit Sebelum Irigasi dan 6 Jam Setelah Irigasi pada Fase Vegetatif

**Table 4** Hasil Analisis Fisika Tanah untuk Menghitung Air Tersedia

Tanggal Tanam	9-May-17									
Fase Pertumbuhan	Panjang Fase Tumbuh (Hari)	Periode		ETo (mm/hari)	Kc	ETc (mm/hari)	Kandungan Air (%)		Kerapatan Jenis (g/cm <sup>3</sup> )	Air Tersedia (%)
							Kapasitas Lapang (0,3 bar)	Titik Layu Permanen (15 bar)		
Inisiasi	10	10-May-17	19-May-17	3,20	0,72	2,30				
Vegetatif	20	20-May-17	8-Jun-17	3,30	0,88	2,90				
Pembentukan Umbi	15	9-Jun-17	23-Jun-17	3,10	1,18	3,66	35,37	23,68	1,26	14,67
Pemasakan	10	24-Jun-17	3-Jul-17	3,20	1,15	3,68				
Rendemen	5	4-Jul-17	8-Jul-17	3,30	0,50	1,65				

**Tabel 5** Hasil Perhitungan Kebutuhan Air Irigasi

Fase Pertumbuhan	Panjang Fase Tumbuh (Hari)	Periode		ETo (mm/hari)	Air Tersedia (mm/m)	Kedalaman Perakaran Maksimum (m)	Air Tersedia Total, TAW (mm)	Fraksi Penurunan Air Tanah (p)	Kebutuhan Irigasi Neto (mm)	Interval Irigasi (Hari)
Inisiasi	10	10-May-17	19-May-17	2,30		0,10	14,67		4,40	2,00
Vegetatif	20	20-May-17	8-Jun-17	2,90		0,10	14,67		4,40	2,00
Pembentukan Umbi	15	9-Jun-17	23-Jun-17	3,66	146,74	0,20	29,35	0,30	8,80	3,00
Pemasakan	10	24-Jun-17	3-Jul-17	3,68		0,20	29,35		8,80	3,00
Rendemen	5	4-Jul-17	8-Jul-17	1,65		0,20	29,35		8,80	6,00

Pemberian irigasi disesuaikan dengan kebutuhan tanaman yang telah diestimasi berdasarkan data ETc serta hasil analisis fisika tanah terkait ketersediaan air tanah. Taraf irigasi 100% mengacu pada pemberian 100% kebutuhan air tanaman sesuai dengan standar FAO, sementara irigasi 85% dan irigasi 70% masing-masing mencakup 85% dan 70% dari total volume air yang ditambahkan berdasarkan kebutuhan air tanaman sesuai standar FAO.

Berdasarkan analisis menggunakan persamaan FAO, diperoleh hasil bahwa total kebutuhan irigasi untuk tanaman bawang merah per musim tanam mencapai 154,0 mm atau setara dengan 163,5 m<sup>3</sup>. Interval irigasi yang direkomendasikan adalah satu kali sehari, dengan volume air yang diberikan berkisar antara 2,2 mm hingga 2,9 mm (Tabel 6).

### 3.2.3 Analisis Pengaruh SIPTS pada Pertumbuhan dan Hasil Tanaman

Ketersediaan air adalah faktor krusial dalam mencapai hasil dan kualitas umbi tanaman yang optimal. Pemberian air yang sesuai selain meningkatkan efisiensi penggunaan air, juga mampu mengurangi risiko perkembangan penyakit jamur, terutama dalam kondisi kelembapan tinggi. Penelitian yang dilakukan oleh Limbongan & Maskar (2003) menunjukkan bahwa jumlah air yang diperlukan untuk mengairi

tanaman bawang merah sangat bergantung pada jenis sistem pengairan yang digunakan.

Secara umum, petani di lokasi penelitian menerapkan sistem pengairan dengan metode penyiraman menggunakan selang, dengan sumber air dari sungai di sekitar lokasi penelitian dan dinaikkan ke permukaan tanah menggunakan pompa sentrifugal (*jet pump*) yang berbahan bakar bensin. Bahan bakar yang diperlukan oleh petani untuk mengirigasi lahan mereka selama musim kemarau berkisar antara 2 hingga 3 liter per hektar per hari.

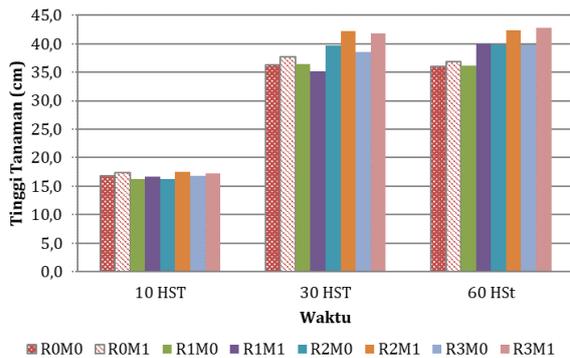
Tren pertumbuhan tinggi tanaman bawang merah pada 10 hari setelah tanam (MST), 30 HST, dan 60 HST selama periode pertumbuhan disajikan pada Gambar 8. Tren menunjukkan perbedaan yang signifikan antara perlakuan irigasi berdasarkan rekomendasi SIPTS dan metode irigasi yang umum digunakan oleh petani. Tinggi tanaman bawang merah pada perlakuan irigasi rekomendasi dengan tingkat kecukupan air sebesar 70%, 85%, dan 100% secara konsisten lebih tinggi dibandingkan dengan tanaman yang ditanam dengan metode irigasi yang biasa digunakan oleh petani. Secara khusus, perlakuan dengan volume irigasi sebesar 85% memiliki tinggi tanaman bawang merah rata-rata yang paling tinggi dibandingkan dengan perlakuan lainnya, sedangkan tinggi tanaman terendah terlihat pada tanaman yang diirigasi dengan metode irigasi yang digunakan oleh petani.

**Tabel 6** Volume dan Interval Irigasi

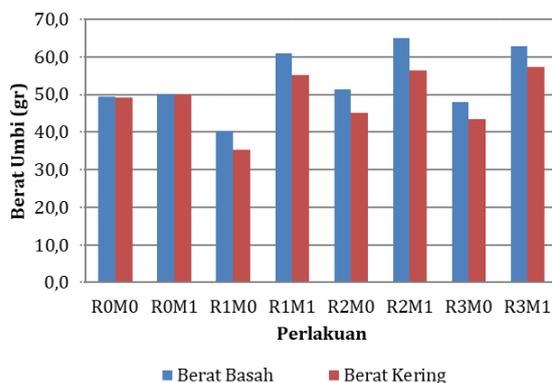
Periode Pertumbuhan	Hari Setelah Tanam	Tanggal Irigasi	Rata-Rata Volume Irigasi per Hari (mm)	Rata-Rata Volume Irigasi per Hari (m <sup>3</sup> )	Rata-Rata Irigasi per Hari (100%)		Rata-rata Irigasi per Hari (85%)		Rata-Rata Irigasi per Hari (70%)	
					Jam	Menit	Jam	Menit	Jam	Menit
Tanam	0	09/05/2017 <sup>*)</sup>	2,2	2,336	0	56	0	47	0	39
Vegetatif Pertama	1-10	10/05/2017 s.d. 19/05/17	2,2	2,337	0	56	0	47	0	39
Vegetatif Kedua	11-30	20/05/2017 s.d. 08/06/2017	2,2	2,337	0	56	0	47	0	39
Pembungaan	31-45	09/06/2017 s.d. 23/06/2017	2,9	3,116	1	14	1	3	0	52
Pembentukan Umbi	46-55	24/06/2017 s.d. 03/07/2017	2,9	3,116	1	14	1	3	0	52
Pemasakan	56-60	04/07/2017 s.d. 08/07/2017	2,5	2,629	1	3	0	53	0	44

Ket:\*) interval irigasi 1 hari

Setelah tanaman bawang merah menunjukkan tanda-tanda 60% leher batang lunak, tanaman rebah, dan daun menguning, maka tanaman dipanen (Suwandi, 2014). Gambar 9 menyajikan *trend* bobot bawang merah. Bawang merah dapat dipanen setelah umurnya 60 – 70 hari.



**Gambar 8** *Trend* Tinggi Tanaman Bawang Merah pada Perlakuan Irigasi dan Pemberian Mulsa



**Gambar 9** *Trend* Bobot Umbi Basah dan Kering pada Perlakuan Irigasi dan Pemberian Mulsa

Bobot umbi basah dan kering pada perlakuan irigasi berdasarkan rekomendasi dengan tingkat kecukupan air sebesar 70%, 85%, dan 100% secara konsisten lebih tinggi dibandingkan dengan tanaman yang ditanam dengan metode irigasi yang biasa digunakan oleh petani. Secara khusus, perlakuan dengan volume irigasi sebesar 85% memiliki rata-rata bobot umbi yang paling tinggi dibandingkan dengan perlakuan lainnya, sementara bobot umbi yang paling kecil terdapat pada tanaman yang ditanam dengan metode irigasi yang digunakan oleh petani.

Hasil penelitian yang dilakukan oleh (Sumarna, 1992) mengungkapkan bahwa periode kritis dalam pertumbuhan tanaman bawang merah yang dipengaruhi oleh kekurangan air terutama terjadi saat tahap pembentukan umbi. Kondisi kekurangan air pada tahap ini berdampak negatif pada produksi tanaman. Oleh karena itu, untuk mengatasi masalah ini, sangat penting untuk mengatur dengan baik tinggi muka air tanah dan frekuensi pemberian air yang sesuai. Hasil penelitian tersebut menyarankan bahwa pemberian air dengan ketinggian antara 7,5 hingga 15 mm dengan frekuensi satu kali sehari rata-rata menghasilkan bobot umbi yang tertinggi.

### 3.3 Perhitungan Efisiensi Pompa SIPTS dan Pompa Sentrifugal/ *Jet pump*

Efisiensi dihitung dengan membandingkan biaya BBM yang digunakan selama satu musim tanam antara penggunaan SIPTS dan pompa sentrifugal (*jet pump*), seperti yang tercantum dalam Tabel 6.

**Tabel 6** Biaya yang Dibutuhkan untuk Pembelian BBM dalam Satu Musim Tanam Bawang Merah untuk SIPTS dan Pompa Sentrifugal (*Jet Pump*)

No	Parameter	SIPTS		Pompa <i>jet pump</i>	
		Nilai	Satuan	Nilai	Satuan
1	Total Kebutuhan Irigasi	404	mm		
2	Luas Lahan	5.000	m <sup>2</sup>		
3	Total Volume Kebutuhan Irigasi selama MT	404	m <sup>3</sup>		
4	Kemampuan Pompa 5,5 HP	2	l/dt		
5	Volume air pompa selama 1 jam	7	m <sup>3</sup> /jam		
6	Durasi total operasional pompa untuk memenuhi kebutuhan irigasi	14	jam		
7	Kebutuhan BBM per jam	2,5	l/jam		
8	Kebutuhan BBM selama MT	60	l/MT	250	l
9	Harga BBM saat implementasi	5.150 <sup>*)</sup>	Rp/l	5.150	Rp/l
10	Total Biaya	309.000	Rupiah	1.287.500	Rupiah

Sumber: <https://migas.esdm.go.id/post/read/harga-bbm-april-juni--2017>

Irigasi yang dilakukan oleh petani tidak menghitung komponen nomor 1-7, yang dilakukan petani hanya mengairi lahannya sampai cukup bahkan tergenang.

Dari data yang ada, mengindikasikan bahwa pompa jet pump yang digunakan oleh para petani memerlukan waktu sekitar 2 jam untuk mengairi lahan, dengan kebutuhan sekitar 2,5 liter BBM per jam. Oleh karena itu, dalam rentang waktu 2 jam, dibutuhkan sekitar 5 liter BBM untuk menjalankan pompa tersebut. Sehingga selama musim tanam petani memerlukan 250 liter BBM dengan biaya sekitar Rp. 1.287.500,-. Adapun dengan implementasi SIPTS hanya memerlukan 60 liter BBM dengan biaya Rp. 309.000,- untuk biaya tambahan membeli BBM sebagai substitusi saat produksi air dari pompa berkurang pada saat cuaca mendung sehingga harus disuplai dari pompa *jetpump*. Hasil perhitungan efisiensi pompa menunjukkan bahwa dengan menggunakan pompa radiasi surya, konsumsi BBM dapat dihemat dari 250 liter menjadi 60 liter, dan biaya pembelian BBM dapat dikurangi dari Rp. 1.287.500,- menjadi Rp. 309.000,-, sehingga terjadi penghematan sebesar 316,7% (Rejekiningrum *et al.*, 2017). Hal ini sejalan dengan hasil penelitian di Desa Bleberan, Kecamatan Playen, Kabupaten Gunung Kidul yang menunjukkan bahwa pompa tenaga surya untuk satu musim tanam bawang merah bisa menghemat konsumsi BBM sebesar 400% (Rejekiningrum & Apriyana, 2021; Rejekiningrum *et al.*, 2021)

### 3.4 Perhitungan Emisi Gas Rumah Kaca (GRK)

Salah satu cara untuk mengurangi emisi gas rumah kaca adalah dengan mengaplikasikan sumber energi alternatif yang tidak menghasilkan emisi seperti tenaga matahari, air, angin, dan tenaga nuklir. Hasil penelitian yang dilakukan oleh Gustavsson *et al.* (2007) juga menunjukkan bahwa penggunaan biomassa memiliki potensi untuk mengurangi emisi gas rumah kaca. Sebagai contoh, kendaraan listrik hibrida telah terbukti mampu mengurangi emisi gas rumah kaca yang dihasilkan sebagai hasil pembakaran bahan bakar kendaraan. Penggunaan bahan bakar fosil dapat dilakukan dengan bijak dan efisien untuk mengurangi emisi gas rumah kaca. Salah satu caranya adalah dengan menghemat penggunaan listrik dan energi. Sebagai contoh, kita dapat mematikan peralatan listrik saat tidak digunakan, menggunakan lampu hemat energi, dan memanfaatkan panel surya sebagai sumber energi alternatif. Pola hidup yang hemat dalam penggunaan energi dari bahan bakar fosil dapat secara signifikan mengurangi jumlah emisi gas rumah kaca yang dihasilkan dari konsumsi energi tersebut.

Meningkatkan efisiensi energi dianggap sebagai salah satu langkah paling berpotensi dalam upaya mengurangi emisi gas rumah kaca secara global dan mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar fosil.

Konsumsi energi per hari untuk satu orang petani/kelompok tani dalam satu MT rata-rata 5 lt sehingga dalam satu MT setara 250 lt bensin untuk menggerakkan pompa, maka akan menghasilkan emisi karbon sebanyak 0,629 ton CO<sub>2</sub>. Sedangkan untuk SIPTS hanya memerlukan 60 liter BBM sebagai substitusi saat mendung untuk menghidupkan pompa, total emisi yang dihasilkan sebanyak 0,151 ton CO<sub>2</sub>.

Hasil perhitungan dapat menjadi landasan untuk memilih penggunaan SIPTS yang menghasilkan emisi CO<sub>2</sub> yang relatif lebih rendah, menjadikannya pilihan yang lebih ramah lingkungan dibandingkan dengan pompa berbahan bakar bensin (Rejekiningrum *et al.*, 2017).

Hasil penelitian Joubert, Ridwan & Pratiwi (2016) menunjukkan bahwa pengurangan emisi CO<sub>2</sub> untuk operasi satu pompa tenaga surya dari jaringan irigasi air tanah dengan panel surya sebanyak 51 unit di lahan seluas 120 m<sup>2</sup> selama 10 bulan berturut-turut mencapai 1,29 ton.

Hasil penelitian Eshra & Salem (2020) menunjukkan bahwa penggunaan energi surya untuk pompa-pompa drainase di Mesir mengakibatkan pengurangan emisi CO<sub>2</sub> dalam

operasi pompa maksimum sekitar 737,23 hingga 2689,95 ton/tahun dibandingkan solar. Namun, nilai emisi CO<sub>2</sub> berkisar antara 523,29 hingga 1909,34 ton/tahun jika menggunakan gas alam.

Hasil penelitian di Iran menunjukkan bahwa penggunaan pompa tenaga surya mengakibatkan penurunan sekitar 4,8 ton emisi karbon dioksida ke atmosfer setiap tahunnya (Chahartaghi & Nikzad, 2021).

#### IV. KESIMPULAN DAN SARAN

Durasi optimal pompa pada SIPTS sebesar 5,42 jam/hari dengan luas irigasi efektif 3.630 m<sup>2</sup>. Tren kadar air tanah dalam SIPTS irigasi rekomendasi menunjukkan kadar air yang relatif lebih tinggi jika dibandingkan dengan irigasi pola petani, hal ini mengindikasikan bahwa SIPTS memiliki tingkat efisiensi yang lebih baik dalam mendistribusikan air baik secara horizontal maupun vertikal. Tren tinggi tanaman dan bobot umbi pada perlakuan irigasi dan mulsa lebih tinggi dan lebih berat dibandingkan irigasi dengan pola petani. Perlakuan kombinasi irigasi 85% dan mulsa berpengaruh signifikan pada pertumbuhan dan hasil bawang merah. Perhitungan efisiensi pompa menunjukkan bahwa penggunaan pompa tenaga surya selama satu musim tanam bawang merah dapat menghasilkan penghematan konsumsi BBM sekitar 316,7%. Emisi GRK yang dikeluarkan pada penggunaan pompa BBM selama musim tanam sebesar 0,629 ton CO<sub>2</sub>, sedangkan dengan SIPTS 0,151 ton CO<sub>2</sub> ha/musim.

Sistem sel surya cenderung mengalami penurunan daya saat cuaca mendung. Oleh karena itu, di daerah dengan curah hujan yang tinggi, disarankan untuk mempertimbangkan penggunaan sistem lain yang dapat menghasilkan listrik secara handal tanpa terpengaruh oleh kondisi cuaca, seperti pompa air yang menggunakan tenaga penggerak kincir air tanpa bahan bakar minyak dan listrik. Untuk mengoptimalkan pengembangan sel surya guna mendapatkan produksi energi yang lebih besar, disarankan untuk memasang sistem penjejak matahari otomatis yang dapat mengikuti pergerakan arah cahaya matahari.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih disampaikan Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian, Kementerian Pertanian yang telah berkontribusi dalam pendanaan penelitian, dan Balai Pelatihan Pertanian (BPP) Imogiri, serta Kelompok Tani Sedyo Mulyo yang telah berpartisipasi aktif dalam implementasi lapang dan pengamatan penelitian.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Astra, I. M. (2010). Energi dan dampaknya terhadap lingkungan. *Jurnal Meteorologi dan Geofisika*, 11(2). <https://doi.org/10.31172/jmg.v11i2.72>
- Cha-ar-mart, K., Jeebkaew, K., Mameekul, A., Singsoog, K., & Seetawan, T. (2021). Solar Cell Water Pump Mobile for Agriculture in Thailand. *Journal of Physics: Conference Series*, 2013(1), 012019. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2013/1/012019>
- Chahartaghi, M., & Nikzad, A. (2021). Exergy, environmental, and performance evaluations of a solar water pump system. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 43, 100933. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2020.100933>
- Doorenbos, J., & Pruitt, W. O. (1977). *Guidelines for Predicting Crop Water Requirements* (FAO Irrigation and Drainage Paper No. 24). Rome, Italy: Food and Agriculture Organization.
- Eshra, N. M., & Salem, M. G. (2020). Solar Energy Application in Drainage Pumping Stations to Save Water and Reducing CO<sub>2</sub> Emission. *Energy Reports*, 6, 354–366. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2020.08.056>
- Gustavsson, L., Holmberg, J., Dornburg, V., Sathre, R., Eggers, T., Mahapatra, K., & Marland, G. (2007). Using biomass for climate change mitigation and oil use reduction. *Energy Policy*, 35(11), 5671–5691. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2007.05.023>
- Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. (2015). *Rencana Strategis Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (Renstra KESDM) Republik Indonesia 2015-2019*. Jakarta, Indonesia: Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. Diperoleh dari <http://prokum.esdm.go.id/renstra%2015>
- Kementerian Lingkungan Hidup. (2012). *Metodologi Penghitungan Tingkat Emisi Gas Rumah Kaca—Kegiatan Pengadaan dan Penggunaan Energi* (Pedoman Penyelenggaraan Inventarisasi Gas Rumah Kaca Nasional, Buku II, Vol I). Jakarta, Indonesia: Kementerian Lingkungan Hidup.
- Limbongan, J. & Maskar. (2003). Potensi pengembangan dan ketersediaan teknologi bawang merah Palu di Sulawesi Tengah. *Jurnal Litbang Pertanian*, 22(3), 103–108.
- Malvino, A. P., & Bates, D. J. (2016). *Electronic principles* (eighth edition). New York, USA: McGraw-Hill Education.
- Noorhadi & Sudadi. (2003). Kajian pemberian air dan mulsa terhadap iklim mikro pada tanaman cabai di tanah entisol. *Jurnal Ilmu Tanah dan Lingkungan*, 4(1), 41–49.

- Rahardjo, I., & Fitriana, I. (2005). Analisis potensi pembangkit listrik tenaga surya di Indonesia. Dalam I. Nurdyastuti & M. S. Boedoyo (Ed.), *Strategi Penyediaan Listrik Nasional Dalam Rangka Mengantisipasi Pemanfaatan PLTU Batubara Skala Kecil, PLTN, dan Energi Terbarukan* (hlm. 43–52). Pusat Pengkajian dan Penerapan Teknologi Konversi dan Konservasi Energi, Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi.
- Rejekiningrum, P., & Apriyana, Y. (2021). Design and implementation of solar pump irrigation systems for the optimization of irrigation and increase of productivity. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 622(1), 012046. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/622/1/012046>
- Rejekiningrum, P., Apriyana, Y., & Harmanto. (2021). The application of solar water pump for drip irrigation to increase shallot yield on dry land. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 648(1), 012091. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/648/1/012091>
- Rejekiningrum, P., Apriyana, Y., Kartika, B., Hamdani, A., & Nandar, W. T. (2017). *Penelitian dan Pengembangan Teknologi Inovatif dan Adaptif Pengelolaan Sumberdaya Iklim dan Air untuk Mendukung Pertanian Modern*. Bogor, Indonesia: Balai Penelitian Agroklimat dan Hidrologi.
- Sasongko, T. R. (2012). *Perhitungan Radiasi Surya Menggunakan Reference Evaluation of Solar Transmittance, 2 Bands (Rest 2) Model* (Tesis). Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumihan, Institut Teknologi Bandung, Bandung, Indonesia.
- Sumarna, A. (1992). Pengaruh ketinggian dan frekuensi pemberian air terhadap pertumbuhan dan produksi bawang merah. *Buletin Penelitian Hortikultura*, 24(1), 6–15.
- Suwandi. (2014). *Teknologi Budidaya Bawang Merah di Luar Musim*. Jakarta, Indonesia: IAARD Press.
- Widodo, P., & Nasution, D. A. (2016). Rekayasa disain pompa tenaga surya untuk irigasi budidaya bawang merah di lahan kering. Dalam *Prosiding Seminar Nasional Pengembangan Teknologi Pertanian* (hlm. 292–299). Lampung, Indonesia: Politeknik Negeri Lampung.
- Wiedmann, T., Minx, J., & Pertsova, C. (2008). A definition of 'carbon footprint.' Dalam *Ecological Economics Research Trends: Chapter 1* (Vol. 1, hlm. 1–11). New York, USA: Nova Science Publishers.
- Wulandari, M. T., Hermawan, & Purwanto. (2013). Kajian Emisi CO2 berdasarkan penggunaan energi rumah tangga sebagai penyebab pemanasan global (studi kasus Perumahan Sebantengan, Gedang Asri, Susukan RW 07 Kab. Semarang). Dalam *Prosiding Seminar Nasional Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan* Prosiding Seminar Nasional Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan. Semarang, Indonesia: Universitas Diponegoro.