

Pengembangan Sistem Irigasi Pompa Tenaga Surya Hemat Air dan Energi Untuk Antisipasi Perubahan Iklim di Kabupaten Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta

Development of Solar Water Pump Irrigation System for Water and Energy Efficiency in Anticipation of Climate Change in Bantul District, Daerah Istimewa Yogyakarta

Popi Rejekiningrum* dan Budi Kartiwa

Balai Penelitian Agroklimat dan Hidrologi, Badan Litbang Pertanian, Kementan Jl. Tentara Pelajar No. 1A, Kampus Penelitian Pertanian Cimanggu, Bogor 16124

INFORMASI ARTIKEL

Riwayat artikel:

Diterima: 27 November 2017

Direview: 08 Desember 2017

Disetujui: 30 Januari 2018

Kata kunci:

Lahan kering

Hemat air

Hemat energi

Sistem irigasi pompa tenaga surya

Ramah lingkungan

Keywords:

Upland

Water saving

Energy saving

Solar water pump irrigation system

Environmentally friendly

Abstrak: Sehubungan dengan kendala keterbatasan air di lahan kering, maka diperlukan irigasi suplementer dengan memanfaatkan potensi sumberdaya air yang ada di wilayah tersebut dengan memanfaatkan beragam teknologi yang mampu mengangkat dan mengalirkan air dari sumbernya ke lahan-lahan pertanian. Untuk itu telah dikembangkan sistem irigasi pompa tenaga surya (SI-PTS) yang tidak tergantung pada tenaga listrik atau bahan bakar lainnya. Penggunaan energi matahari tidak memerlukan listrik, ekstra hemat energi, ramah lingkungan, penggunaannya mudah, efisiensi, kinerja stabil, dan dapat digunakan dalam jangka waktu lama. Penelitian bertujuan untuk mendesain SI-PTS yang hemat air dan energi serta menghitung efisiensi irigasi SI-PTS dibandingkan dengan pompa sentrifugal/*jetpump* yang digunakan petani. Hasil analisis kadar air tanah menunjukkan bahwa penggunaan SI-PTS dengan teknik irigasi *impact sprinkler* (irigasi rekomendasi) mempunyai kadar air tanah relatif lebih tinggi dibandingkan dengan irigasi pola petani. Hal ini mengindikasikan bahwa irigasi rekomendasi relatif lebih efektif dalam mendistribusikan air baik secara horizontal (sekeliling pertanaman) dan vertikal (ke lapisan perakaran tanaman). Pertumbuhan tanaman bawang merah yang direpresentasikan melalui tinggi tanaman menunjukkan bahwa perlakuan irigasi rekomendasi mempunyai rata-rata tinggi tanaman lebih tinggi dari perlakuan irigasi pola petani. Adapun bobot bawang merah total pada irigasi rekomendasi lebih berat bila dibandingkan dengan pola petani. Selain itu penggunaan SI-PTS dapat menghemat konsumsi BBM dari 162,5 liter menjadi 58 liter dan biaya pembelian BBM dari Rp. 1.202.000,- menjadi Rp. 425.500 per hektar per musim, sehingga terjadi penghematan 183%. Lebih lanjut penggunaan SI-PTS dapat menekan emisi GRK yang bersumber dari penggunaan bahan hidrokarbon dari 0,409 ton CO₂ menjadi 0,146 ton CO₂ sehingga lebih ramah lingkungan. Penelitian ini merekomendasikan untuk mengembangkan sistem irigasi pompa tenaga surya pada lahan kering terutama pada tanaman ke dua pada musim kering agar distribusi air dari sumbernya dapat dialirkan ke lahan sesuai kebutuhan tanaman dengan efektif, efisien, dan ramah lingkungan.

Abstract. Refers to the limitation of water in upland agriculture, supplementary irrigation is required to utilize potential water resources in the area. Various technology can be utilized to lift water from the sources to agriculture land. For this purpose a solar water pump irrigation system (SI-PTS) has been developed for irrigation. The use of SI-PTS does not required electricity and other fuels. This system is also easy to operate, very efficient, stable performance, environmentally friendly, and can be used for long term. This research aims to design water and energy saving SI-PTS and to calculate the irrigation efficiency of SI-PTS compared to the use of centrifuge/*jetpump* currently used by farmers. Analyzed soil water content showed that the use of impact springkler irrigation technique (recommended irrigation) has increased soil water content compared to others using farmers irrigation system. This fact indicate that recommended irrigation is relatively effective in distributing water horizontally (around the crops), as well as vertically (down the crops) . The performance of shallot plants represented by crops height show that crops with recommended irrigation treatment are averagely taller compared to those using farmers irrigation system. Beside that, the use of SI-PTS has reduced the consumption of fuel from 162.5 liters to 58 liters which translates to the fuel cost reduction from IDR 1,202,000 to IDR 425,500 ha⁻¹ season⁻¹, or with the efficiency of about 183%. Furthermore, the use of SI-PTS has also suppressed the GHG emission from 0.409 ton CO₂ to 0.146 ton CO₂ from the use of hydro-carbon fuels, hence it is more environmentally friendly. This research recommends to develop solar water pump irrigation system on upland especially for the second crop of the dry season for the distribution of water from its source to the land effectively, efficiently, and environmentally friendly.

* Corresponding author: popirejeki@yahoo.com

Pendahuluan

Masalah utama pengembangan pertanian di lahan kering adalah keterbatasan ketersediaan air terutama di musim kemarau. Salah satu upaya untuk meningkatkan produktivitas lahan adalah dengan menyediakan air untuk digunakan sebagai irigasi suplemen dengan memanfaatkan potensi sumberdaya air yang ada di wilayah tersebut. Petani dalam memanfaatkan air untuk irigasi suplemen seringkali menggunakan pompa baik pompa listrik maupun pompa BBM.

Penggunaan pompa air yang digerakkan dengan tenaga listrik atau bahan bakar hidrokarbon mengakibatkan kerusakan lingkungan akibat emisi karbon dioksida yang tinggi, yang berkontribusi besar terhadap pemanasan global (Astra 2010). Jika dilihat dari sisi pembiayaan, baik dalam tahap pengembangan (pembangunan) maupun pengelolaan (pemeliharaan), teknologi irigasi tersebut memunculkan persoalan di tingkat lapangan khususnya bagi petani dan kelompoknya, yaitu ketidakmampuan petani dalam mengoperasikan dan memelihara sarana dan prasarana irigasi yang dimiliki. Oleh karena itu, perlu dicari dan dikembangkan suatu model teknologi irigasi yang hemat energi dan hemat air.

Sehubungan tidak semua lahan memiliki infrastruktur energi listrik berkaitan dengan kendala lokasi yang terpencil maupun keterbatasan pasokan listrik dan semakin tingginya harga BBM, maka radiasi surya dapat menjadi prasarana untuk menggerakkan pompa. Pompa tenaga surya memanfaatkan radiasi surya sebagai sumber energi untuk pengairan (Widodo, Nasution 2016).

Potensi radiasi matahari di Indonesia cukup besar dengan intensitas radiasi rata-rata $4.8 \text{ kWh (m}^2\text{)}^{-1} \text{ hr}^{-1}$ (BMKG) sepanjang tahun, tetapi pemanfaatannya baru mencapai 5 mWp, sehingga dapat dioptimalkan untuk menyediakan listrik bagi pengairan yang diharapkan mampu memberikan kepastian pemenuhan kebutuhan air irigasi, untuk itu telah dikembangkan *solar water pump* (pompa energi surya) (Rahardjo, Ira 2006).

Pemanfaatan energi surya mempunyai berbagai keuntungan antara lain adalah: (1) energi ini tersedia dengan jumlah yang besar di Indonesia, (2) sangat mendukung kebijakan energi nasional tentang penghematan, diversifikasi dan pemerataan energi, (3) memungkinkan dibangun di daerah terpencil karena tidak memerlukan transmisi energi maupun transportasi sumber energi (Sasongko 2012)

Sel surya adalah suatu elemen aktif yang mengubah cahaya matahari menjadi energi listrik. Sel surya pada umumnya memiliki ketebalan minimum 0,3 mm, terbuat dari irisan bahan semikonduktor dengan kutub positif dan kutub negatif. Prinsip dasar pembuatan sel surya adalah memanfaatkan efek fotovoltai, yaitu suatu efek yang dapat mengubah langsung cahaya matahari menjadi energi listrik. Prinsip ini pertama kali ditemukan oleh Becquerel, seorang ahli fisika berkebangsaan Perancis tahun 1839. Apabila sebuah logam dikenai suatu cahaya dalam bentuk foton dengan frekuensi tertentu, maka energi kinetik dari foton akan menembak ke atom-atom logam tersebut. Atom logam yang iradiasi akan

melepaskan elektron-elektronnya. Elektron-elektron bebas inilah yang mengalirkan arus dengan jumlah tertentu. Sel surya adalah semikonduktor dimana radiasi surya langsung diubah menjadi energi listrik. Material yang sering digunakan untuk membuat sel surya adalah silikon kristal. Pada saat ini silikon merupakan bahan yang banyak digunakan untuk pembuatan sel surya. Agar dapat digunakan sebagai bahan sel surya, silikon dimurnikan hingga satu tingkat yang tinggi. Atom merupakan partikel pembentuk suatu unsur. Atom terdiri dari inti dengan muatan positif yang disebut proton dan neutron yang bermuatan netral. Inti atom dikelilingi sejumlah elektron yang bermuatan negatif. Sebuah atom silikon terdiri dari sebuah inti yang berisi 14 proton dan dikelilingi 14 elektron yang beredar dalam lintasan tertentu. Jumlah maksimum elektron dalam masing-masing lintasan mengikuti pola $2n^2$, dengan n adalah nomor lintasan dari atom (Malvino 1986).

Pompa air tenaga surya lebih tepat guna, efisien, dan ekonomis, karena dalam pengelolaannya tidak tergantung pada tenaga listrik atau bahan bakar lainnya, membutuhkan biaya operasi dan pemeliharaan (OP) yang lebih sedikit, dan bahkan tidak membebani petani dan kelompoknya dalam melakukan kegiatan usahanya. Untuk itu akan dikembangkan pompa energi matahari. Penggunaan energi matahari tidak perlu listrik, ekstra hemat energi, dan ramah lingkungan. Selain itu penggunaannya mudah, efisiensi tinggi, kinerja stabil dan dapat digunakan dalam jangka waktu lama (Widodo, Dedy 2016).

Secara garis besar aplikasi Pompa Tenaga Surya digunakan untuk penyiraman kebun salak tersusun atas beberapa rangkaian utama, yaitu: solar cell sebagai penyerap energi surya yang dapat difungsikan menjadi energi listrik, pengontrol penyimpanan dan pemakaian energi listrik melalui Solar Charge Controller, baterai sebagai tempat charging energi listrik dan mensuplai energi listrik ke beban, Inverter sebagai pengubah arus DC ke AC, Pompa air sanyo sebagai penyiraman kebun salak (Subandi, Slamet 2015).

Pemanfaatan tenaga surya untuk menggerakkan pompa air akan mengurangi emisi gas rumah kaca. Gas rumah kaca dari emisi antropogenik berasal dari beberapa sumber, di antaranya dari sektor energi: pemanfaatan bahan bakar fosil seperti minyak bumi, batu bara dan gas secara berlebihan dalam berbagai kegiatan merupakan penyebab utama dilepaskannya emisi gas rumah kaca ke atmosfer. Energi memainkan peranan yang sangat penting dalam kehidupan masyarakat karena energi merupakan parameter penting bagi pembangunan dan pertumbuhan ekonomi. Hampir semua sektor kehidupan (industri, transportasi, rumah tangga, jasa, dll) tidak bisa dipisahkan dari energi. Pada sektor rumah tangga energi digunakan untuk penerangan, memasak, pendingin atau pemanas ruangan serta penggunaan kendaraan untuk aktifitas sehari-hari. Dewasa ini semakin banyak peralatan rumah tangga yang menggunakan energi untuk pemanfaatannya sehingga meningkatkan emisi yang dihasilkan. Di bidang pertanian pemanfaatan pompa untuk irigasi juga menggunakan BBM berjenis premium. (Wulandari 2013).

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mendesain SI-PTS yang hemat air dan energi serta menghitung efisiensi irigasi SI-PTS dibandingkan dengan pompa sentrifugal/*jetpump* yang digunakan petani.

Bahan dan Metode

Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan adalah (1) bahan untuk pembuatan pompa tenaga surya (panel surya, *Solar Charge Controller* (SCC), Master Circuit Board (MCB), baterai kering, inverter, pembagi listrik, lampu penerangan, daya listrik terpasang yang digunakan dalam perakitan pompa tenaga surya, (2) bahan implementasi irigasi (pipa PVC, *impact sprinkler head*, ball valve, SDL, SDD, vlosox, elbow, tee, *water toren*, *water meter*) yang digunakan untuk membangun jaringan irigasi yang terhubung langsung ke pompa tenaga surya, (3) bahan percobaan lapang penanaman bawang merah (bibit, pupuk, pestisida dll) yang digunakan untuk percobaan lapang efisiensi irigasi. Adapun alat yang digunakan adalah seperangkat alat untuk merakit pompa tenaga surya berupa alat kontrol elektronik dan alat untuk pengamatan tanaman (penggaris untuk mengukur tinggi tanaman, jangka sorong untuk mengukur tebal umbi dan timbangan untuk mengukur berat umbi).

Metode

A. Desain Sistem Irigasi Pompa Tenaga Surya

Untuk menentukan kapasitas pompa air tenaga surya diperlukan informasi ketersediaan dan kebutuhan air, beda tinggi antara sumber air dengan lahan (*head*), dan potensi radiasi matahari yang akan ditangkap oleh panel surya. Data ketersediaan air dihitung menggunakan *current meter*, potensi radiasi matahari diukur dari AWS portlog, dan beda tinggi ditentukan melalui pengukuran topografi menggunakan total station (TS). Sedangkan kebutuhan air (dosis dan interval irigasi) dihitung menggunakan model dari FAO.

Sebelum menyusun desain perlu menghitung durasi operasional pompa berdasarkan komponen pompa tenaga surya yang dipasang, yaitu: (1) spesifikasi panel surya, (2) spesifikasi baterai kering, (3) spesifikasi pompa, dan (4) konsumsi arus pompa dan *inverter*. Kemudian melakukan analisis penentuan potensi layanan pompa (luas irigasi efektif) untuk menentukan luas lahan yang dikembangkan untuk aplikasi irigasi tanaman.

B. Aplikasi Sistem Irigasi Pompa Air Tenaga Surya untuk Irigasi Tanaman

Dosis kebutuhan irigasi tanaman dihitung berdasarkan Metode FAO (Doorenbos, Pruitt 1977). Metode ini menghitung kebutuhan air tanaman dengan mempertimbangkan karakteristik fisik tanah serta kedalaman perakaran setiap fase pertumbuhan tanaman.

Optimalisasi interval irigasi dianalisis berdasarkan perbandingan antara kebutuhan irigasi neto atau net

irrigation depth (NID) untuk setiap fase pertumbuhan tanaman dengan Evapotranspirasi tanaman kumulatif.

Evapotranspirasi tanaman dihitung berdasarkan persamaan sebagai berikut:

$$ET_c = K_c \times ET_o$$

dimana :

ET_c: evapotranspirasi tanaman

ET_o: evapotranspirasi referensi

K_c : koefisien tanaman

Untuk menghitung evapotranspirasi tanaman, dilakukan melalui beberapa tahapan :

- Mengidentifikasi tahap pertumbuhan tanaman, menentukan lama setiap periode pertumbuhan dan memilih K_c yang sesuai dengan periode pertumbuhan.
- Menghitung K_c pada pertengahan periode pertumbuhan berdasarkan kondisi iklim harian dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$K_{c\text{mid}} = K_{c\text{mid}(\text{Tab})} + [0.04(U_2 - 2) - 0.004(RH_{\text{min}} - 45)] \left(\frac{h}{3}\right)^{0.3}$$

dimana:

K_{c mid (Tab)} : nilai K_c pada pertengahan periode pertumbuhan berdasarkan tabel

u₂ : rata-rata harian kecepatan angin selama

RH_{min} : rata-rata harian kelembaban relatif minimum

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

- Menentukan kurva koefisien tanaman yang dapat menentukan nilai K_c untuk setiap periode pertumbuhan.

Interval pemberian irigasi optimal ditetapkan apabila ETP tanaman harian kumulatif kurang atau sama dengan jumlah kebutuhan irigasi neto.

Pengujian lapang untuk uji kemampuan pompa air tenaga surya yang dapat berfungsi sebagai pengganti energi konvensional untuk irigasi dilakukan di Desa Sriharjo, Kecamatan Imogiri, Kabupaten Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta.

Rancangan yang digunakan adalah faktorial RAK dua faktor. Faktor pertama adalah irigasi yang terdiri dari irigasi konvensional sesuai kebiasaan petani dengan di leb dan disiram sampai tergenang dan irigasi rekomendasi menggunakan pompa radiasi surya dengan impact sprinkler masing masing dengan dosis 100%, 85 %; dan 70% sesuai kebutuhan tanaman berdasarkan perhitungan FAO (Doorenbos and Pruitt 1977). Faktor kedua adalah varietas lokal Bantul dan varietas Bima Brebes. Masing-masing perlakuan diulang 3 kali. Perlakuan yang diuji adalah sebagai berikut:

- 1 T₀₁ = varietas lokal Bantul pola petani
- 2 T₀₂ = varietas Bima Brebes pola petani
- 3 T₁₁ = varietas lokal Bantul dengan dosis irigasi 100%
- 4 T₁₂ = varietas lokal Bantul dengan dosis irigasi 85%
- 5 T₁₃ = varietas lokal Bantul dengan dosis irigasi 70%
- 6 T₂₁ = varietas Bima Brebes dengan dosis irigasi 100%
- 7 T₂₂ = varietas Bima Brebes dengan dosis irigasi 85%
- 8 T₂₃ = varietas Bima Brebes dengan dosis irigasi 70%

C. *Perhitungan Efisiensi Air dari Pompa Radiasi Surya Dibandingkan dengan Pompa Sentrifugal/ Jetpump*

Untuk optimalisasi pemanfaatan air di lokasi terpasangnya alat, maka dilakukan perhitungan efisiensi irigasi dari SI-PTS dengan pompa sentrifugal yang telah digunakan oleh petani. Efisiensi dilakukan dengan menghitung kebutuhan biaya BBM dalam satu musim tanam (MT), dengan beberapa persamaan untuk menghitung sebagai berikut: (1) total volume kebutuhan irigasi selama MT, (2) volume air pompa selama waktu tertentu, (3) durasi total operasional pompa untuk memenuhi kebutuhan irigasi, dan (4) total biaya kebutuhan BBM selama MT. Persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut:

a. Perhitungan total volume kebutuhan irigasi selama MT:

$$K_V = \frac{K_I}{A}$$

Dimana:

- KV = total volume kebutuhan irigasi selama MT per satuan luas (m³)
- Kt = total kebutuhan irigasi (mm)
- A = luas lahan terairi (m²)

b. Perhitungan volume air pompa selama 1 jam

$$R_D = \frac{K_P}{O_t}$$

Dimana:

- RD = volume air pompa selama 1 jam (m³ jam⁻¹)
- Kp = kemampuan pompa sesuai spesifikasinya (l dt⁻¹)
- Ot = waktu operasional pompa yang dicobakan (jam)

c. Perhitungan durasi total operasional pompa untuk memenuhi kebutuhan irigasi

$$D_o = \frac{K_V}{R_D}$$

dimana:

- D_o = durasi total operasional pompa untuk memenuhi kebutuhan irigasi (jam)
- Kv = total volume kebutuhan irigasi selama MT per satuan luas (m³)
- RD = volume air pompa selama 1 jam (m³ jam⁻¹)

d. Total biaya kebutuhan BBM selama MT

$$B_o = D_o \times K_B \times H_B$$

Dimana:

- 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.)

D. *Perhitungan Emisi Gas Rumah Kaca (GRK)*

Formula perhitungan nilai emisi CO₂ dari bahan bakar bensin sebagai berikut (Kementerian Lingkungan Hidup 2012):

$$Emisi\ CO_2 = \text{Penggunaan}_{energi} \times \text{Kandungan\ Karbon}_{energi} \times \text{Rasio\ Oksidasi} \times (44/12)$$

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

Dimana:

- E_{CO₂} = Emisi CO₂
- P_e = penggunaan energi/bahan bakar
- CC_e = kandungan karbon energi/bahan bakar
- RO = rasio oksidasi

Pada Gambar 1 tahapan penanaman dari mulai pengolahan tanah, pembuatan plot percobaan, penyiraman, penanaman, dan perlakuan irigasi.

Hasil dan Pembahasan

Desain Sistem Irigasi Pompa Tenaga Surya

Dalam mendesain pompa tenaga surya diperlukan peralatan sistem sebagai berikut: (1) *Solar Panel Array*, (2) *Power Inverter*, (3) *Solar Charge Controller*, (4) *Battery Array* dari aki kering, (5) *Timer*, (6) *Contactora*, (7) *Centrifugal Pump*. Peralatan sistem disajikan pada Gambar 2.

Prinsip kerja sistem adalah sinar matahari diubah oleh solar panel menjadi energi listrik, energi listrik disalurkan melalui *solar cotroller* untuk mengisi arus listrik ke aki kering, kemudian energi listrik di aki kering diubah dari tegangan arus searah menjadi tegangan arus bolak balik oleh *inverter*, selanjutnya *inverter* menyalurkan energi listrik AC ke pompa berdasarkan kontrol timer.

Adapun konfigurasi sistem pompa tenaga surya disajikan pada Gambar 3 dan desain pompa tenaga surya disajikan pada Gambar 4.



Gambar 1. Tahapan penanaman bawang merah mulai pengolahan tanah, pembuatan plot percobaan, penyiraman, penanaman, perlakuan irigasi, dan panen

Figure 1. Stages of shallot planting from tillage, plotting, planting, irrigation, and harvesting

SILICON SOLAR PV MODULE	
P _m	100W
V _{oc}	21.2V
I _{sc}	6.46A
V _{mp}	17.1V
I _{mp}	5.84A
Max system voltage	1000V
Dimension	800*992*35mm
TEST CONITION	AM1.5 1000W/m ² 25°C

Solar panel



Pover Inverter



Solar charge control



Pompa sentrifugal

Gambar 2. Komponen penyusun pompa tenaga surya

Figure 2. Components of solar powered pumps



Gambar 3. Konfigurasi pompa tenaga surya

Figure 3. Configuration of solar powered pumps



Gambar 4. Desain pompa tenaga surya

Figure 4. Design of solar powered pumps

Pompa tenaga surya perlu diaplikasikan di lahan pertanian untuk irigasi, sehingga perlu dilengkapi dengan desain jaringan irigasi yang sesuai untuk komoditas yang akan dikembangkan. Untuk irigasi tanaman bawang merah telah dikembangkan teknik irigasi *impact sprinkler*, sehingga pompa tenaga surya terhubung langsung dengan sistem irigasi dan menjadi suatu sistem irigasi pompa tenaga surya (SIPTS). Pada Gambar 5 disajikan desain dan instalasi sistem irigasi pompa tenaga surya.



Gambar 5. Desain dan instalasi SIPTS dengan teknik irigasi *impact sprinkler*

Figure 5. SIPTS design and installation with *impact sprinkler irrigation technique*

Aplikasi Pompa Air Tenaga Surya untuk Irigasi Tanaman Bawang Merah

Untuk menghitung kebutuhan irigasi (dosis dan interval) tanaman bawang dilakukan dengan menggunakan persamaan FAO (Doorenbos and Pruitt 1977) dengan data input air tersedia yang dihitung berdasarkan hasil analisis sampel fisika tanah di lokasi penelitian. Hasil analisis fisika tanah dan perhitungan kebutuhan air bawang merah disajikan pada Tabel 1 dan 2. Adapun perhitungan interval irigasi yang optimal untuk pertanaman bawang merah yang disajikan pada Tabel 3.

Hasil analisis dosis dan interval irigasi menggunakan metode FAO (Doorenbos and Pruitt 1977) menunjukkan bahwa total kebutuhan irigasi sebesar total 123,8 mm setara $1238 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ musim}^{-1}$, adapun total kebutuhan air yang diaplikasikan untuk mengairi tanaman bawang merah dengan teknik irigasi *impact sprinkler* riil di lapangan berdasarkan angka penunjukan *water meter* selama pertumbuhan tanaman sebesar 103,5 mm setara dengan $1035 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ musim}^{-1}$ dengan interval irigasi masing-masing dua harian dengan rata-rata pemberian 2,2-3,7 mm atau $22-37 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ musim}^{-1}$. Sehingga hal ini menunjukkan antara prediksi dan realisasi relatif tidak berbeda, perbedaan sekitar 20,3 mm terjadi karena pengaruh angin dan *overlapping* teknik penyiraman pada putaran *impact sprinkler* (Gambar 6) (Rejekiningrum *et al.* 2015).

Kadar Air Tanah pada Percobaan Lapangan

Meskipun tidak menghendaki banyak hujan, tetapi tanaman bawang merah memerlukan air yang cukup selama pertumbuhannya melalui penyiraman. Pertanaman di musim kemarau memerlukan penyiraman yang cukup, biasanya satu kali dalam sehari pada pagi atau sore hari, sejak tanam sampai menjelang panen. Penyiraman yang dilakukan pada musim hujan umumnya hanya ditujukan untuk membasil daun tanaman, yaitu untuk menurunkan percikan tanah yang menempel pada daun bawang merah.

Tabel 1. Hasil analisis fisika tanah untuk menghitung air tersedia

Table 1. Results of soil physical analysis to calculate water availability

Tanggal Tanam		8-Sep-15								
Fase Pertumbuhan	Panjang Fase Tumbuh	Periode	ETo	Kc	ETc	Kandungan Air (%)			Air Tersedia	
						Kapasitas Lapang (0.3 bar)	Titik Layu Perma-nen (15 bar)	Kerapatan Jenis		
			Mm hari ⁻¹		Mm hari ⁻¹			g (cm ³) ⁻¹	%	
Inisiasi	15	9-Sep-15	24-Sep-15	4,1	0,7	2,89	35,4	23,7	1,26	14,7
Vegetatif	20	25-Sep-15	15-Oct-15	4,2	0,9	3,77				
Pembungan	10	16-Oct-15	26-Oct-15	3,9	1,1	4,07				
Pembentukan Biji	25	27-Oct-15	21-Nov-15	4,2	0,8	3,17				

Tabel 2. Hasil perhitungan kebutuhan air irigasi untuk tanaman bawang merah

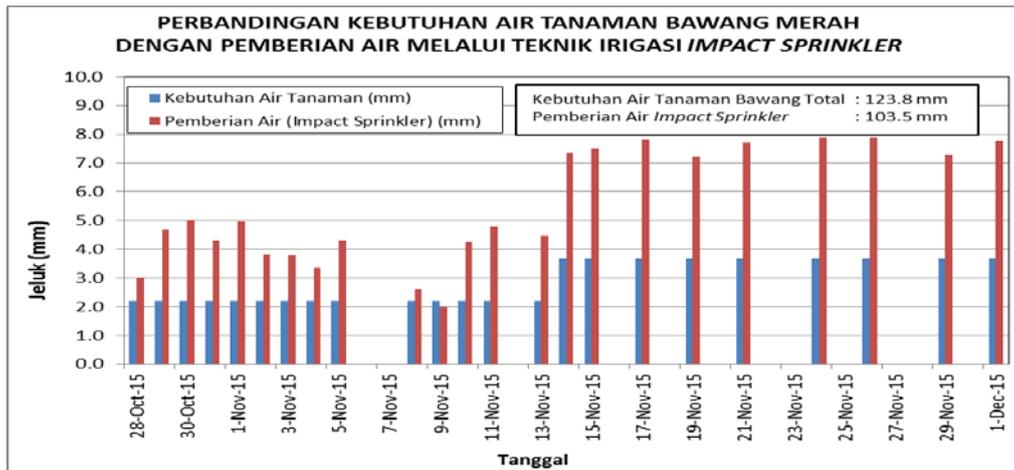
Table 2. The calculation of crop water requirement of shallot plants

Fase Pertumbuhan	Panjang Fase Tumbuh	Periode		ET _o (mm/hari)	Air Tersedia	Kedalaman Perakaran Maksimum	Air Tersedia Total, TAW	Fraksi Penurunan Air Tanah	Kebutuhan Irigasi Neto	Interval Irigasi
	hari			mm hari ⁻¹	mm m ⁻¹	m	mm	p	mm	hari
Inisiasi	15	9-Sep-15	24-Sep-15	4,1		0,15	22		7	3
Vegetatif	20	25-Sep-15	15-Oct-15	4,2	146,7	0,25	37	0,3	11	3
Pembungan	10	16-Oct-15	26-Oct-15	3,9		0,30	44		13	4
Pembentukan Biji	25	27-Oct-15	21-Nov-15	4,2		0,35	51		15	5

Tabel 3. Volume irigasi, dosis irigasi, dan waktu irigasi untuk bawang merah

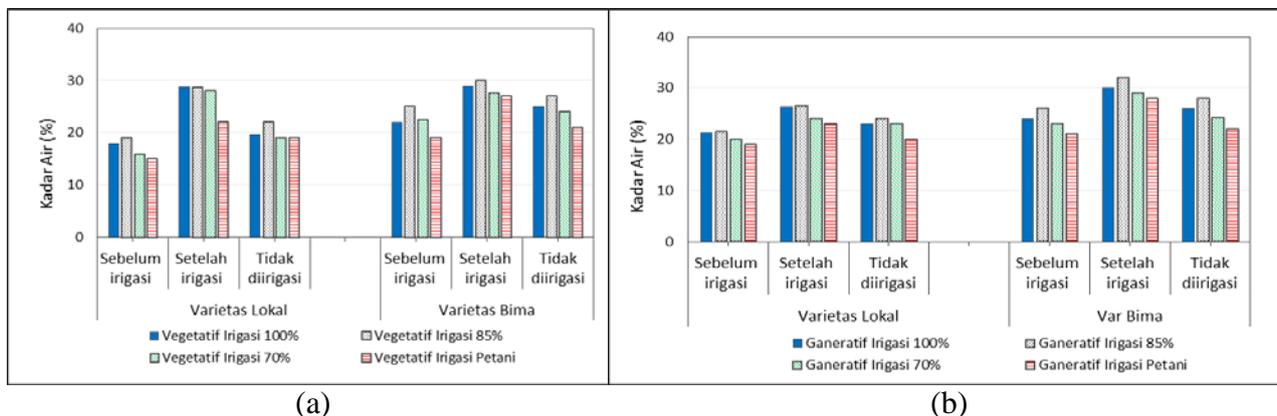
Table 3. Irrigation volume, irrigation dosage, and irrigation scheduling of shallot plants

Periode Pertumbuhan	Hari Setelah Tanam	Tanggal Irigasi (Interval 1 Hari)	Dosis Irigasi (mm) 100%	Volume Irigasi (m ³)	Lama Irigasi pada Dosis 100 %		Lama Irigasi pada Dosis 85 %		Lama Irigasi pada Dosis 70 %	
					Jam	Menit	Jam	Menit	Jam	Menit
					Tanam	0	26-Oct-15	2,2	0,424	0
Periode Vegetatif Pertama	1	27-Oct-15	2,2	0,424	0	27	0	23	0	19
	2	28-Oct-15	2,2	0,424	0	27	0	23	0	19
	3	29-Oct-15	2,2	0,424	0	27	0	23	0	19
	4	30-Oct-15	2,2	0,424	0	27	0	23	0	19
	5	31-Oct-15	2,2	0,424	0	27	0	23	0	19
	6	1-Nov-15	2,2	0,424	0	27	0	23	0	19
	7	2-Nov-15	2,2	0,424	0	27	0	23	0	19
	8	3-Nov-15	2,2	0,424	0	27	0	23	0	19
	9	4-Nov-15	2,2	0,424	0	27	0	23	0	19
	10	5-Nov-15	2,2	0,424	0	27	0	23	0	19
	11	6-Nov-15	2,2	0,424	0	27	0	23	0	19
	12	7-Nov-15	2,2	0,424	0	27	0	23	0	19
	13	8-Nov-15	2,2	0,424	0	27	0	23	0	19
	14	9-Nov-15	2,2	0,424	0	27	0	23	0	19
	Periode Vegetatif Kedua	15	10-Nov-15	2,2	0,424	0	27	0	23	0
16		11-Nov-15	3,7	0,706	0	45	0	39	0	32
17		12-Nov-15	3,7	0,706	0	45	0	39	0	32
18		13-Nov-15	3,7	0,706	0	45	0	39	0	32
19		14-Nov-15	3,7	0,706	0	45	0	39	0	32
20		15-Nov-15	3,7	0,706	0	45	0	39	0	32
21		16-Nov-15	3,7	0,706	0	45	0	39	0	32
22		17-Nov-15	3,7	0,706	0	45	0	39	0	32
23		18-Nov-15	3,7	0,706	0	45	0	39	0	32
24		19-Nov-15	3,7	0,706	0	45	0	39	0	32
25		20-Nov-15	3,7	0,706	0	45	0	39	0	32
26		21-Nov-15	3,7	0,706	0	45	0	39	0	32
27		22-Nov-15	3,7	0,706	0	45	0	39	0	32
28		23-Nov-15	3,7	0,706	0	45	0	39	0	32
29		24-Nov-15	3,7	0,706	0	45	0	39	0	32
30		25-Nov-15	3,7	0,706	0	45	0	39	0	32
31		26-Nov-15	3,7	0,706	0	45	0	39	0	32
32		27-Nov-15	3,7	0,706	0	45	0	39	0	32
33		28-Nov-15	3,7	0,706	0	45	0	39	0	32
34		29-Nov-15	3,7	0,706	0	45	0	39	0	32
35		30-Nov-15	3,7	0,706	0	45	0	39	0	32
Pembungaan	36	1-Dec-15	3,3	0,636	0	41	0	35	0	29
	37	2-Dec-15	3,3	0,636	0	41	0	35	0	29
	38	3-Dec-15	3,3	0,636	0	41	0	35	0	29
	39	4-Dec-15	3,3	0,636	0	41	0	35	0	29
	40	5-Dec-15	3,3	0,636	0	41	0	35	0	29
	41	6-Dec-15	3,3	0,636	0	41	0	35	0	29
	42	7-Dec-15	3,3	0,636	0	41	0	35	0	29
	43	8-Dec-15	3,3	0,636	0	41	0	35	0	29
	44	9-Dec-15	3,3	0,636	0	41	0	35	0	29
	45	10-Dec-15	3,3	0,636	0	41	0	35	0	29
	46	11-Dec-15	2,6	0,494	0	32	0	27	0	22
Pembentukan Umbi	47	12-Dec-15	2,6	0,494	0	32	0	27	0	22
	48	13-Dec-15	2,6	0,494	0	32	0	27	0	22
	49	14-Dec-15	2,6	0,494	0	32	0	27	0	22
	50	15-Dec-15	2,6	0,494	0	32	0	27	0	22
	51	16-Dec-15	2,6	0,494	0	32	0	27	0	22
	52	17-Dec-15	2,6	0,494	0	32	0	27	0	22
	53	18-Dec-15	2,6	0,494	0	32	0	27	0	22
	54	19-Dec-15	2,6	0,494	0	32	0	27	0	22
	55	20-Dec-15	2,6	0,494	0	32	0	27	0	22
	56	21-Dec-15	2,6	0,494	0	32	0	27	0	22
	57	22-Dec-15	2,6	0,494	0	32	0	27	0	22
	58	23-Dec-15	2,6	0,494	0	32	0	27	0	22
	59	24-Dec-15	2,6	0,494	0	32	0	27	0	22
	60	25-Dec-15	2,6	0,494	0	32	0	27	0	22
61	26-Dec-15	2,6	0,494	0	32	0	27	0	22	
62	27-Dec-15	2,6	0,494	0	32	0	27	0	22	
63	28-Dec-15	2,6	0,494	0	32	0	27	0	22	
64	29-Dec-15	2,6	0,494	0	32	0	27	0	22	
65	30-Dec-15	2,6	0,494	0	32	0	27	0	22	
66	31-Dec-15	2,6	0,494	0	32	0	27	0	22	
67	1-Jan-16	2,6	0,494	0	32	0	27	0	22	
68	2-Jan-16	2,6	0,494	0	32	0	27	0	22	
69	3-Jan-16	2,6	0,494	0	32	0	27	0	22	
70	4-Jan-16	2,6	0,494	0	32	0	27	0	22	



Gambar 6. Kebutuhan air tanaman bawang merah antara hasil analisis FAO dengan pemberian riil dengan teknik irigasi *impact sprinkler*

Figure 6. Water requirement of onion based on FAO analysis and the actual amount of water application under the *impact sprinkler* irrigation technique



(a)

(b)

Gambar 7. Kadar air tanah pada fase vegetatif pada dosis rekomendasi dan pola petani pada fase vegetatif (a) dan generatif (b)

Figure 7. Soil water content in the vegetative and generative phase at the recommended dosage and farmer pattern on the vegetative (a) and generative phases (b)

Pada bawang merah periode kritis karena kekurangan air terjadi saat pembentukan umbi, sehingga dapat menurunkan produksi (Splittosser 1979 dalam Sumarni dan Ahmad 2005). Untuk menanggulangi masalah ini perlu adanya pengaturan ketinggian muka air tanah (khusus pada lahan bekas sawah) dan frekuensi pemberian air. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pemberian air dengan ketinggian 7,5 – 15 mm dengan frekuensi satu hari sekali rata-rata memberikan bobot umbi bawang merah tertinggi.

Pada percobaan aplikasi irigasi pada tanaman bawang merah telah dilakukan perhitungan kadar air tanah yang diukur pada setiap fase pertumbuhan tanaman pada saat sebelum dan sesudah dilakukan perlakuan irigasi, serta pada hari tidak diirigasi. Fluktuasi kadar air tanah

disajikan pada Gambar 7.

Pada fase generatif (36-70 HST) pada varietas lokal Bantul dengan dosis rekomendasi 100%, 85%, dan 70% kadar air tanah sebelum irigasi berkisar antara 20-21%, setelah diirigasi meningkat menjadi 24-26%, sedangkan pada saat tidak diirigasi pada hari berikutnya berkisar 23-24%. Adapun untuk varietas Bima dengan dosis rekomendasi 100%, 85%, dan 70% kadar air tanah sebelum irigasi berkisar antara 23-26%, setelah irigasi 29-32%, dan pada saat tidak diirigasi berkisar 24-28%. Sedangkan irigasi pola petani mempunyai kadar air yang relatif lebih rendah pada kondisi sebelum, setelah, dan tidak diirigasi sebesar 19, 23, dan 20 % untuk varietas lokal Bantul, untuk varietas Bima sebesar 21, 28, dan 22%.

Kadar air pada SI-PTS dosis rekomendasi relatif lebih tinggi dibandingkan dengan irigasi pola petani. Tingginya kadar air setelah irigasi mengindikasikan bahwa SI-PTS relatif lebih efektif dalam mendistribusikan air baik secara horizontal (sekeliling pertanaman) dan vertikal (ke lapisan perakaran tanaman) (Rejekiingrum *et al.* 2015).

Pengaruh SI-PTS pada Kadar Air dan Pertumbuhan serta Hasil Bawang Merah

Ketersediaan air merupakan syarat penting untuk mendapatkan hasil dan kualitas umbi yang optimal. Pemberian air yang tepat selain dapat mengefisienkan penggunaan air, juga dapat terhindar dari kemungkinan berkembangnya penyakit jamur terutama pada kondisi kelembapan yang tinggi. Hasil penelitian Limbongan dan Maskar (2003) menunjukkan bahwa sistem pengairan pada tanaman bawang merah menunjukkan jumlah air yang diperlukan untuk mengairi tanaman sangat tergantung pada sistem pengairan yang digunakan. Sistem pengairan pada kondisi air tanah 100% kapasitas lapang (A1) memerlukan air irigasi terbanyak ($83,60 \text{ m}^3$) dan menerima curah hujan sebesar 248 mm selama satu musim tanam. Dengan sistem pengairan 80% kapasitas lapang (A2), air irigasi yang diperlukan sebesar $58,60 \text{ m}^3$, lebih kecil dibandingkan dengan sistem pengairan A1. Kedua sistem pengairan ini menghasilkan umbi basah yang tidak berbeda nyata, yaitu $8,58 \text{ t ha}^{-1}$ untuk sistem pengairan A1 dan $8,88 \text{ t ha}^{-1}$ untuk sistem pengairan A2. Demikian juga hasil umbi kering tidak memperlihatkan perbedaan yang nyata, yaitu masing-masing $6,44 \text{ t ha}^{-1}$ dan $6,57 \text{ t ha}^{-1}$. Dengan demikian, sistem pengairan A2 lebih efisien daripada A1 karena hasil yang diperoleh sama tetapi kebutuhan airnya lebih sedikit.

Selanjutnya Bakhri *et al.* (1999) dan Limbongan dan Maskar (2003) menyatakan bahwa sistem pengairan yang digunakan petani bawang merah Palu ialah sistem pengairan alur (*furrow system*). Dengan sistem tersebut, selama dua bulan dilakukan pengairan tujuh kali dengan interval 6 hari dan total pemakaian air $140 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$. Dengan demikian, sistem pengairan petani memerlukan air lebih banyak dibandingkan dengan sistem pengairan A1 yang hanya memerlukan air irigasi $83,60 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ atau setara dengan $0,16 \text{ m}^3 \text{ alur}^{-1}$ yang diberikan melalui sistem pengairan alur.

Sistem pengairan petani di lokasi penelitian umumnya menggunakan cara disiram dengan selang yang sumber airnya dari sungai Oyo di sekitar lokasi yang diambil ke permukaan dengan menggunakan pompa sentrifugal (*jet pump*) menggunakan bahan bakar bensin. Konsumsi bahan bakar yang digunakan petani untuk mengairi lahannya pada saat musim kemarau sebesar $4-5 \text{ l ha}^{-1} \text{ hari}^{-1}$.

Selanjutnya persyaratan kesesuaian agroekologi untuk usahatani bawang merah terutama ditentukan oleh

kelembaban, tekstur, struktur dan kesuburan tanah. Secara umum tanaman bawang merah memerlukan bulan kering 4-5 bulan, curah hujan 1000-1500 mm tahun⁻¹, drainase dan kesuburan baik, tekstur lempung berpasir, dan struktur tanah remah (Warintek 2010).

Pada Gambar 8 disajikan tren tinggi tanaman pada 4 minggu setelah tanam (MST), 6 MST, dan 8 MST selama masa pertumbuhan, yang terlihat cenderung berbeda antara perlakuan irigasi rekomendasi SI-PTS dengan irigasi petani. Tinggi tanaman bawang pada irigasi rekomendasi 100, 85, dan 70% lebih tinggi dibandingkan dengan pola petani. Pada varietas Bima Brebes dengan dosis irigasi 85% mempunyai rata-rata tinggi tanaman bawang merah paling tinggi dibandingkan perlakuan lainnya, sedangkan yang terpendek terdapat pada bawang merah varietas lokal Bantul dengan irigasi pola petani (Rejekiingrum *et al.* 2015).

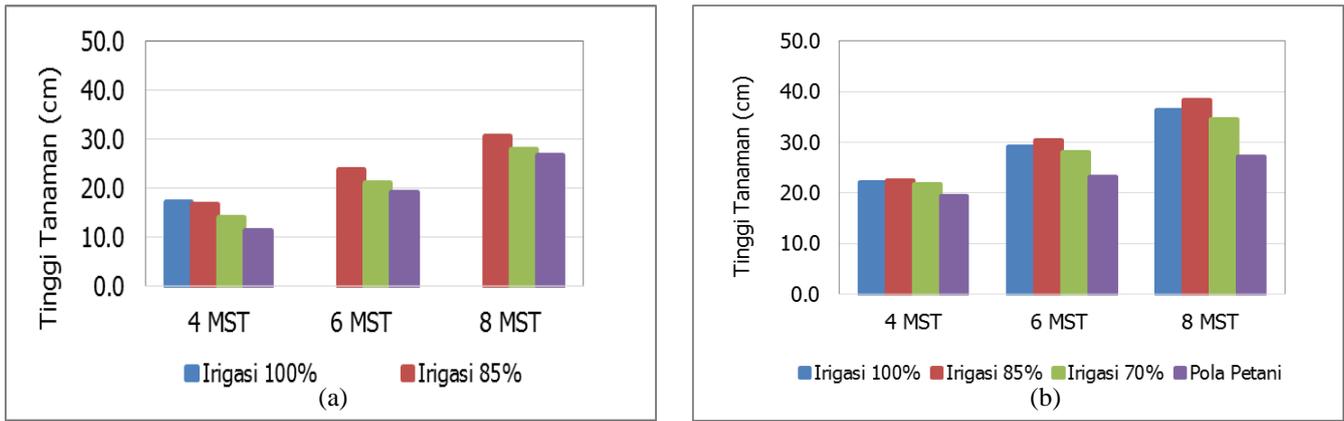
Pada Gambar 9 disajikan tren bobot bawang merah. Bawang merah dapat dipanen setelah umurnya cukup tua, biasanya pada umur 60 – 70 hari. Tanaman bawang merah dipanen setelah terlihat tanda-tanda 60% leher batang lunak, tanaman rebah, dan daun menguning (Suwandi 2013).

Sumarna (1992) menyatakan bahwa pada tanaman bawang merah periode kritis karena kekurangan air terjadi saat pembentukan umbi sehingga dapat menurunkan produksi. Untuk menanggulangi masalah ini perlu adanya pengaturan ketinggian muka air tanah dan frekuensi pemberian air yang tepat, pemberian air dengan ketinggian 7,5 – 15 mm dengan frekuensi satu hari sekali rata-rata bobot umbi bawang merah tertinggi.

Perhitungan Efisiensi Air dari SI-PTS dan Pompa Sentrifugal/Jetpump

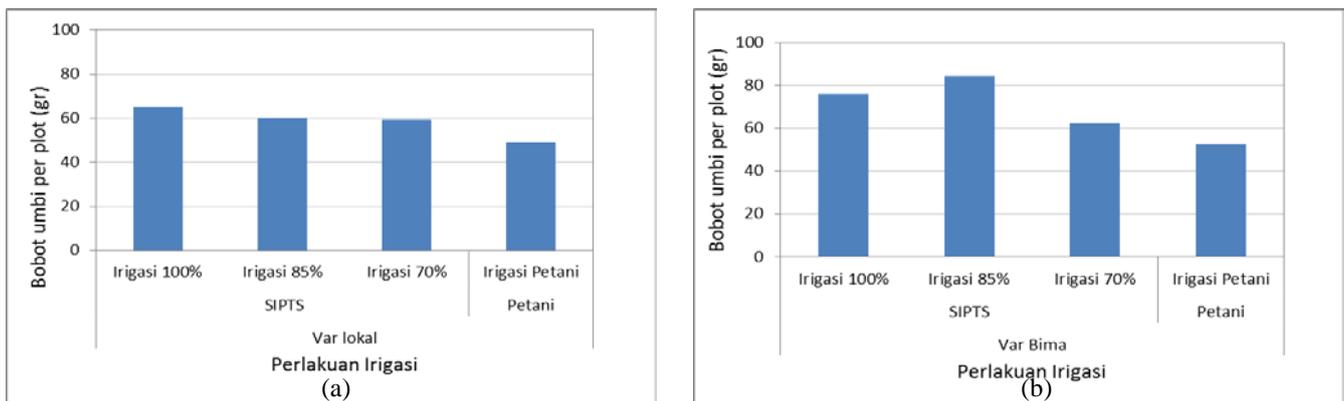
Perhitungan efisiensi dilakukan dengan menghitung kebutuhan biaya BBM dalam satu musim tanam bawang merah dengan membandingkan antara penggunaan SI-PTS dan pompa sentrifugal (*jet pump*) (Tabel 4).

Petani dalam melakukan irigasi tidak menghitung komponen nomor 1-7, yang dilakukan petani hanya mengairi lahannya sampai cukup bahkan tergenang. Data menunjukkan bahwa pompa *jetpump* yang digunakan petani, sehari memerlukan kurang lebih 2,5 liter BBM untuk menghidupkan pompa. Sehingga selama musim tanam (65 hari) petani memerlukan 162,4 liter BBM dengan biaya sekitar Rp. 1.202.500,-. Sedangkan dengan SI-PTS bila hanya perlu 58 liter BBM dengan biaya Rp. 425.500,- yang diperlukan sebagai biaya tambahan untuk beli BBM sebagai substitusi saat produksi air dari pompa berkurang pada saat mendung sehingga harus di suplai dari pompa *jetpump* yang menggunakan BBM. Perhitungan efisiensi pompa menunjukkan bahwa dengan



Gambar 8. Tren tinggi tanaman tanam bawang merah pada perlakuan rekomendasi irigasi dengan SI-PTS dan pola petani varietas lokal Bantul (a) dan varietas Bima Brebes (b)

Figure 8. Trend of shallot plant height on irrigation recommendation with SI-PTS and farmer pattern of local varieties of Bantul (a) and Bima Brebes (b)



Gambar 9. Tren bobot basah bawang merah per plot pada perlakuan rekomendasi irigasi SI-PTS dan pola petani pada varietas lokal Bantul (a) dan varietas Bima Brebes (b)

Figure 9. Trend of shallot weight under different rates of water application using the SI-PTS and farmer pattern on local varieties of Bantul (a) and Bima Brebes varieties (b)

menggunakan pompa radiasi surya dapat menghemat konsumsi BBM dari 162,5 liter menjadi 58 liter dan biaya pembelian BBM dari Rp. 1.202.500,- menjadi Rp. 425.500, sehingga terjadi penghematan 183% (Rejekiningrum *et al.* 2015).

Dampak Penggunaan Tenaga Surya terhadap Pengurangan Emisi Gas Rumah Kaca (GRK)

Mengurangi emisi gas rumah kaca dapat dilakukan dengan cara menggunakan energi alternatif yang tidak menghasilkan emisi gas rumah kaca seperti tenaga matahari, air, angin dan nuklir. Hasil studi Gustavsson *et al.* (2007) menunjukkan bahwa biomassa dapat mengurangi emisi gas rumah kaca. Sebagai contoh kendaraan listrik hibrida ternyata mampu mengurangi emisi gas rumah kaca sebagai gas buang kendaraan.

Menggunakan bahan bakar fosil yang akan menghasilkan emisi gas rumah kaca dengan bijak dan efisien. Hal ini dapat dilakukan dengan cara menghemat listrik dan energi. Sebagai contoh, matikanlah peralatan listrik ketika tidak digunakan, gunakan lampu hemat energi dan gunakanlah panel surya sebagai energi alternatif. Pola hidup hemat dalam penggunaan energi asal bahan bakar fosil akan dapat menurunkan jumlah emisi gas rumah kaca yang dihasilkan dari proses pemakaian energi asal bahan bakar fosil. Peningkatan efisiensi energi dipandang sebagai salah satu langkah paling menjanjikan dalam mengurangi emisi gas rumah kaca secara global dan mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar asal fosil.

Perhitungan untuk satu orang petani/kelompok tani dalam satu MT (65 hari tanam bawang merah) mengkonsumsi energi per hari rata-rata 5 lt sehingga

Tabel 4. Kebutuhan biaya BBM dalam satu musim tanam bawang merah dengan membandingkan penggunaan SI-PTS dan pompa sentrifugal (*jet pump*)

Table 4. Fuel cost in one growing season of shallot by comparing the use of SI-PTS and centrifugal pump (*jet pump*)

No	Parameter	SI-PTS		Pompa jet pump	
		Nilai	Satuan	Nilai	Satuan
1	Total Kebutuhan Irigasi	104	mm		
2	Luas Lahan	1.000	m ²		
3	Total Volume Kebutuhan Irigasi selama MT	104	m ³		
4	Kemampuan Pompa 5.5 HP	2	l dt ⁻¹		
5	Volume air pompa selama 1 Jam	7	m ³ jam ⁻¹		
6	Durasi total operasional pompa untuk memenuhi kebutuhan irigasi	14	jam		
7	Kebutuhan BBM per jam	4	l jam ⁻¹		
8	Kebutuhan BBM selama MT	58	liter	162,5	liter
9	Harga BBM saat implementasi	7.400	Rp l ⁻¹	7.400	Rp l ⁻¹
10	Total Biaya	425.500	Rupiah	1.202.500	Rupiah
11	Total Kebutuhan Irigasi	104	mm	?	
12	Luas Lahan	1.000	m ²	?	

dalam satu MT setara 162,5 lt bensin untuk menggerakkan pompa, maka akan mengemisi karbon sebanyak:

$$GCE = 162,5 \text{ lt} \times 693,63 \text{ gr/lt} \times 0,99 \times (44/12) = 409,155 \text{ gram} = 0,409 \text{ ton CO}_2$$

Dari perhitungan di atas menunjukkan bahwa emisi CO₂ langsung dari bahan bakar bensin adalah sebesar 409,155 g CO₂ petani/MT atau 0,409 ton CO₂ (ton CO₂/MT/petani atau kelompok tani).

Adapun untuk SI-PTS yang menggunakan 58 liter BBM sebagai substitusi saat mendung untuk menghidupkan pompa, total emisi yang dihasilkan sebanyak:

$$GCE = 58 \text{ lt} \times 693,63 \text{ gr/lt} \times 0,99 \times (44/12) = 146,036 \text{ gram} = 0,146 \text{ ton CO}_2$$

Hal ini bisa menjadi bahan pertimbangan untuk penggunaan SI-PTS yang relatif sedikit menghasilkan emisi CO₂, sehingga SI-PTS lebih ramah lingkungan dibandingkan pompa berbahan bakar bensin (Rejekiingrum *et al.* 2015).

Kesimpulan dan Saran

Hasil analisis dosis dan interval irigasi menggunakan metode FAO menunjukkan bahwa total kebutuhan irigasi untuk tanaman bawang merah di lahan sebesar (123,8 mm atau 1238 m³ ha⁻¹ musim⁻¹), adapun realisasi total kebutuhan air yang diaplikasikan untuk mengairi tanaman bawang merah dengan teknik irigasi *impact sprinkler* di

lapangan sebesar 103,5 mm atau 1035 m³ ha⁻¹ musim⁻¹) dalam interval irigasi masing-masing dua harian dengan rata-rata pemberian 2,2-3,7 mm. Perbedaan sekitar 19,8 mm antara hasil prakiraan dan realisasi irigasi terjadi karena pengaruh angin dan *overlapping* teknik penyiraman pada putaran *impact sprinkler*.

Dengan menggunakan pompa radiasi surya dapat dihemat konsumsi BBM dari 162,5 menjadi 58 liter liter/ha/musim dan biaya pembelian BBM dari Rp. 1.202.500,- menjadi Rp. 425.500, sehingga terjadi penghematan sekitar 183%.

Emisi GRK yang dikeluarkan untuk menghidupkan mesin pompa berbahan bakar bensin selama musim tanam bawang merah di Imogiri sebesar 0,409 ton CO₂ sedangkan dengan SI-PTS petani dapat mengurangi emisi GRK menjadi 0,146 ton CO₂ ha⁻¹ musim⁻¹.

Sistem *solar cell* menurun dayanya pada kondisi cuaca mendung. Untuk itu disarankan pada daerah yang banyak curah hujannya, sebaiknya menggunakan sistem lain yang dapat menghasilkan listrik dengan baik tanpa dipengaruhi cuaca. Untuk pengembangan selanjutnya agar mendapatkan energi yang besar pada sel surya, maka sebaiknya dipasang sistem penjejak matahari otomatis yang dapat mengikuti arah cahaya matahari.

Daftar Pustaka

- Astra I M. Energi dan Dampaknya Terhadap Lingkungan. 2010. Jurnal Meteorologi dan Geofisika Vol. 11 No.2, November 2010: 131-139.

- Bakhri S, Chatidjah, Ardjanhar, A. 1999. Pengaruh penggunaan varietas dalam paket teknologi terhadap pendapatan usaha tani bawang merah. *Prosiding Seminar Nasional Hasil Pengkajian dan Penelitian Teknologi Pertanian Menghadapi Era Otonomi Daerah*, Palu, 3–4 November 1999. hlm. 343–349. Boer R dan Las I. 1994. Koefisien pemadaman tanaman kedelai pada beberapa tingkat radiasi. *Jurnal Agromet X(1 dan 2)* : 29-34.
- Doorenbos J, Pruitt WO. 1977. *Crop water requirements*. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 24. Food and Agric. Organiz. of the U.N. Rome.
- Gustavsson L, Holmberg J, Dornburg R, Sathre R, Eggers T, Mahapatra K, Marland G. 2007. *Using Biomass for Climate Change Mitigation and Oil Use Reduction*. *Energy Policy* 35: 5671–5691.
- Kementerian Lingkungan Hidup. 2012. *Pedoman Penyelenggaraan Inventarisasi Gas Rumah Kaca Nasional. Metodologi Penghitungan Tingkat Emisi Gas Rumah Kaca. Kegiatan Pengadaan dan Penggunaan energi*. Kementerian Lingkungan Hidup, Buku II Volume 1. 143 hal
- Limbongan J, Maskar. 2003. Potensi Pengembangan dan Ketersediaan Teknologi Bawang Merah Palu di Sulawesi Selatan. *Jurnal Litbang Pertanian* 22(3): 103–108.
- Malvino. 1986. *Prinsip – Prinsip Elektronika*, Jilid I, Edisi Ketiga, Erlangga, Jakarta.
- Rahardjo I, Ira F. 2016. Analisis Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Surya di Indonesia. Strategi Penyediaan Listrik Nasional dalam Rangka Mengantisipasi Pemanfaatan PLTU Batubara Skala Kecil, PLTN, dan Energi Terbarukan: 43-51.
- Rejekiningrum P, Kartiwa B, Apriyana Y, Wihendar T. 2015. *Pengembangan Pompa Air Tenaga Surya untuk Irigasi dalam Upaya Peningkatan Produksi Pertanian di Lahan Kering*. Laporan Hasil Penelitian. Balai Penelitian Agroklimat dan Hidrologi. 67 hal (tidak dipublikasikan).
- Sasongko TR. 2012. *Perhitungan Radiasi Surya Menggunakan Reference Evaluation of Solar Transmittance, 2 Bands (Rest 2) Model*. Tesis Program Studi Meteorologi, Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumihan, Institut Teknologi Bandung
- Subandi, Slamet H. 1979. Pembangkit Listrik Energi Matahari sebagai Penggerak Pompa Air Dengan Menggunakan Solar Cell. *Jurnal Teknologi Technoscintia* ISSN: 1979-8415 Vol. 7. pp. 157-163.
- Sumarna, A. 1992. Pengaruh ketinggian dan frekuensi pemberian air terhadap pertumbuhan dan produksi bawang merah. *Bull. Penel. Hort.* XXIV(1): 6-15.
- Sumarni N, Hidayat A. 2005. *Budidaya Bawang Merah*. Panduan Teknis PTT Bawang Merah No.3. Pusat Penelitian dan Pengembangan Hortikultura. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian. ISBN : 979-8304-49-7. 22 hal.
- Suwandi, 2013. *Teknologi Budidaya Bawang Merah Di Luar Musim (Off-Season)*. //balitsa.litbang.pertanian.go.id/ind/index.php/berita-terbaru/172-bm-2.html (21 Juli 2013)
- Warintek Bantul. 2010. *Perbenihan Bawang Merah (Allium ascalonicum) varietas Tiron Bantul*. www.warintek.bantulkab.go.id. (Diunduh tanggal 10 Desember 2015)
- Widodo P, Nasution DA. 2016. *Rekayasa Disain Pompa Tenaga Surya untuk Irigasi Budidaya Bawang Merah di Lahan Kering*. *Prosiding Seminar Nasional Pengembangan Teknologi Pertanian Politeknik Negeri Lampung*, 08 September 2016. ISBN 978-602-70530-4-5. pp. 292-299
- Wiedmann T, Minx J. 2008. A Definition of 'Carbon Footprint'. In: C. C.Pertsova, *Ecological Economics Research Trends: Chapter 1*, pp. 1-11, Nova Science Publishers, Hauppauge NY, USA. (Italy) as acase study “. *Environmental Impact Assesmen t Review*, Vol 29, pp. 39-50.
- Wulandari MT. 2013. *Kajian Emisi CO2 Berdasarkan Penggunaan Energi Rumah Tangga Sebagai Penyebab Pemanasan Global*. *Seminar Nasional Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan* (ss. 434-440). ISBN 978- 602-17001-1-2.