



PAPER – OPEN ACCESS

Kajian Potensi Tenaga Surya Untuk Instalasi Sistem Irigasi Sawah Di Kabupaten Blitar

Author : Muhammad Afnan Habibi dkk.,
DOI : 10.32734/lwsa.v4i1.1176
Electronic ISSN : 2654-7066
Print ISSN : 2654-7058

Volume 4 Issue 2 – 2020 TALENTA Conference Series: Local Wisdom, Social, and Arts (LWSA)



This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/).

Published under licence by TALENTA Publisher, Universitas Sumatera Utara



Kajian Potensi Tenaga Surya Untuk Instalasi Sistem Irigasi Sawah Di Kabupaten Blitar

Muhammad Afnan Habibi^{a,*}, Langlang Gumilar^a, Arya Kusumawardana^a, Mahfud Jiono^a, Febrianto Al Qodri^a, Rinani Nashirina A'malin^a, dan Rizky Yulius Bima Saputra^a

^aFakultas Teknik Universitas Negeri Malang, Malang, Indonesia

E-mail: afnan.habibi.ft@um.ac.id

Abstrak

Beraneka-ragam tanaman secara produktif tumbuh dan berkembang di lahan-lahan Indonesia. Keberlimpahan akan lahan tani memotivasi mayoritas penduduk lokal bercocok tanam menyesuaikan kondisi alamnya. Akan tetapi apabila suplai air kurang, tanaman-tanaman di lokasi sawah mempunyai profil batang yang pendek, berbuahnya cenderung lambat, peranakannya juga tidak sebanyak yang selalu mendapat air. Teknologi pertanian tenaga surya sering berkaitan dengan teori PV. Energi matahari telah menunjukkan harapan yang luar biasa untuk aplikasi pertanian selama beberapa tahun terakhir. Studi ini mengeksplorasi potensial tenaga surya dengan mengeksplorasi data-data yang didapat dari software bebas teknologi energi surya, termasuk temperatur, waktu radiasi matahari, dan tenaga panas matahari. Oleh karena itu, membuat kajian data potensi energi sebelum memasang PV dapat menguntungkan petani sekitar. Desa Bendosewu memiliki potensi energi sinar matahari sepanjang tahun rata-rata sebesar 1831 kWh/m² dan rata-rata suhu udara tahunan sebesar 25.9 °C. Sehingga, modul PV bekerja dengan optimal karena suhu yang sejuk dan intensitas matahari sepanjang tahun.

Kata Kunci: Fotovoltaik, konversi energi listrik, pertanian, radiasi matahari, temperatur udara

1. Pendahuluan

Pertanian merupakan aktivitas pokok non fundamental di bumi ini. Akan tetapi, sektor pertanian belum memberikan kontribusi secara signifikan mengenai mitigasi bencana alam seperti kehilangan keragaman hayati, migrasi aliran air, kekurangan air bersih, dan kekeringan. Untuk mencegah bencana yang terjadi tersebut, Photovoltaic (PV) sering kali menjadi alternatif mengairi lahan pertanian terutama di daerah pedesaan sejak tahun 1970 an [1].

Terdapat hanya sedikit dari para petani yang dapat memaksimalkan hasil panennya. Ada beberapa faktor yang menjadi hambatan petani untuk meningkatkan produktivitasnya. Diantara faktor-faktor itu, faktor yang paling dominan dalam tumbuh kembang tanaman adalah faktor ketersediaan air. Teknologi pompa solar panel perlahan menggantikan pompa air BBM sejak adanya panel PV dengan biaya rendah saat beroperasi. Akan tetapi, PV memiliki biaya investasi tinggi cetakan karbon yang besar. Meskipun begitu, irigasi tenaga solar dapat digunakan pada petani skala kecil pedesaan yang terletak di Sub-Saharan, Afrika [2].

Beraneka-ragam tanaman secara produktif tumbuh dan berkembang di lahan-lahan Indonesia. Keberlimpahan akan lahan tani memotivasi mayoritas penduduk lokal bercocok tanam menyesuaikan kondisi alamnya. Lahan hijau sebagai kunci keberhasilan ketersediaan pangan di negeri manapun, tidak terkecuali di Tiongkok. Perihal ini diakibatkan oleh banyaknya kenaikan penyimpanan makanan. Sebaliknya, tanah hijau sedang menghadapi degradasi akibat transformasi kawasan yang ekstrim. Sistem pompa air PV untuk irigasi menjadi dasar konservasi lahan hijau itu. Hasil yang diperoleh adalah meningkatnya produksi pakan ternak yang sesuai dengan permintaan [3].

Transformasi cuaca berlangsung akibat hampir 45 juta ton CO₂ ditambahkan ke atmosfer oleh diesel serta pompa air setiap tahunnya, yang setara dengan 8% sampai dengan 12% dari total emisi gas rumah kaca. Untuk mengatasinya, pemerintah India meluncurkan sebuah program pompa surya untuk instalasi irigasi dan saluran air minum untuk 0.1 juta Photovoltaic Water Pump (PVWP) di 2014-2015 dengan target mencapai 1 juta instalasi hingga 2020-2021 [4].

Teknologi solar semakin marak karena merupakan salah satu penghasil energi yang ramah lingkungan dan digemari oleh industri manajemen air. Negara yang mempunyai radiasi matahari tinggi, seperti Spanyol, ketersediaan energi surya merupakan alternatif berkarakteristik tanpa biaya dan kerusakan lingkungan yang rendah. Akan tetapi cuaca tidak menentu setiap harinya, sehingga rotasi penjadwalan pompa dilakukan untuk menambah nilai ekonomis (menurunkan nilai diskontinu air) dan penghematan energi (pendapatan) [5].

Penggunaan PV sebagai pompa air dapat dibedakan menjadi dua jenis yakni secara off-grid (mandiri), on-grid (terkoneksi), maupun hybrid (gabungan). PV umumnya mempunyai usia pemakaian 30 tahun. Tetapi, PV mempunyai kebutuhan sumber abiotik lebih mahal untuk produksinya. Kelebihan energi on-grid PV dapat diekspor sehingga berdampak enam kali lebih rendah dari off-grid PV. Perluasan penggunaan PV dapat mengurangi antara 54-77% dari dampak lingkungan yang beragam [6]. Sehingga, PV adalah sumber energi irigasi yang menjaga keberlangsungan ekonomi dan lingkungan.

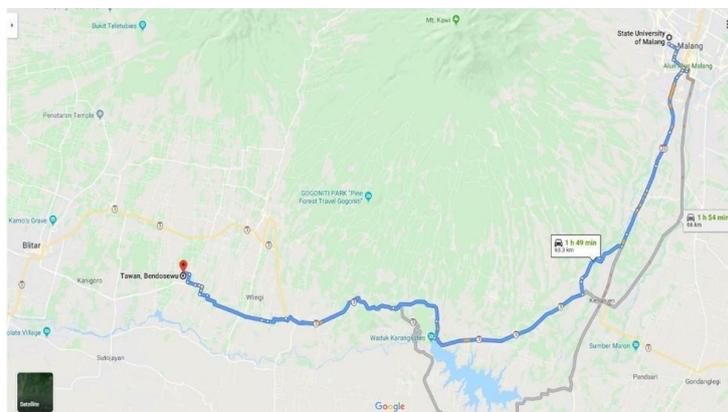
Teknologi pertanian tenaga surya sering berkaitan dengan teori PV, teori kontrol dan algoritma optimasi dalam sistem pengairan [7]-[8]. Dengan mengacu pada analisis situasi yang telah dikemukakan, sistem PVWP lebih diunggulkan karena selain dapat menyuplai beban elektronik secara langsung tetapi juga dapat mengurangi rugi daya pada sistem. Pengabdian ini berfokus dalam memberikan data/fakta berdasarkan hasil simulasi untuk memvalidasi kelayakan dari sistem PVWP untuk pengairan tanaman di Desa Bendosewu.

2. Metode Penelitian

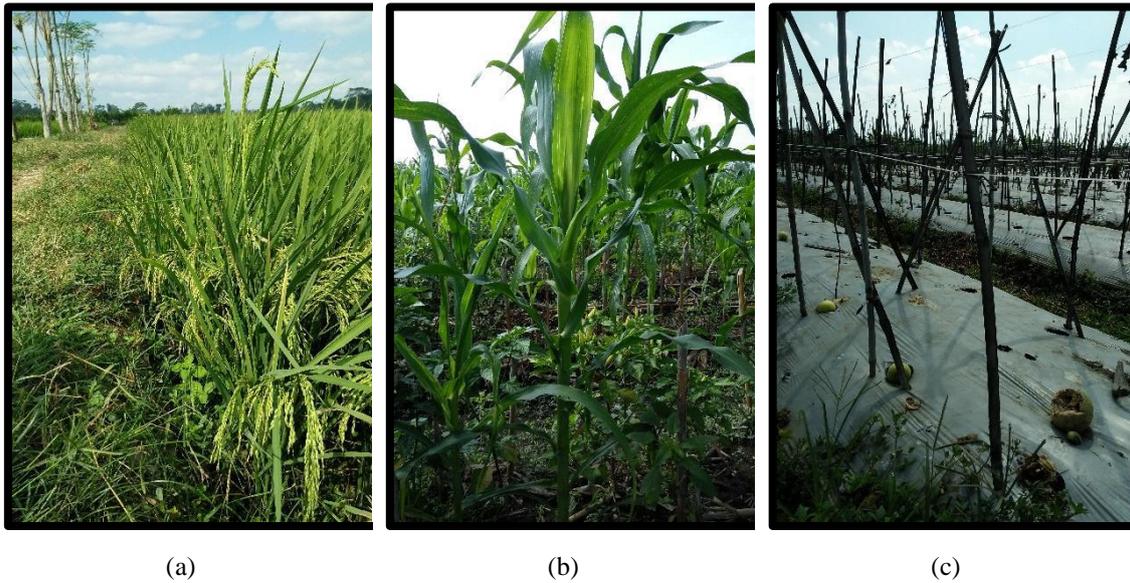
2.1. Waktu dan Lokasi

Pengabdian dilakukan pada bulan Juli hingga Oktober 2020, di Desa Bendosewu, Kabupaten Blitar, yang berjarak 63 km dari Universitas Negeri Malang. Para petani membentuk sebuah asosiasi dengan nama Kelompok Tani Tawang Makmur (KTTM) yang dipimpin oleh Drs. H. Moh. Chilmi. Ada lebih dari 20 orang yang merupakan anggota dari asosiasi ini. Asosiasi ini berfungsi sebagai wadah para petani menyalurkan aspirasi kepada dinas pertanian setempat. Total luas sawah yang dikerjakan kelompok itu kurang lebih lima ha seperti seperti pada Gambar 1.

Jenis tanaman yang ditanami masyarakat disana umumnya adalah sayur dan buah. Jenis sayur yang ditanam yaitu sawi, kangkung, kubis, lombok, brambang, buncis, dan kacang. Sedangkan jenis tanaman buahnya adalah tomat, jeruk dan melon. Selain itu, terdapat tanaman penghasil makanan pokok masyarakat seperti Gambar 2, yakni jagung, padi, serta gandum.



Gambar 1. Lokasi mitra dari Universitas Negeri Malang (UM).



Gambar 2. Ragam tanaman di lingkungan Desa Bendosewu: a) padi, b) lombok, dan c) melon

2.2. Simulator PV

Software yang digunakan dalam pengabdian ini adalah simulator bebas pakai yang ada dalam jaringan internet seperti Solargis, BlueSol, PV Lighthouse, dan Polysun. Untuk melengkapi data dari selain software, pengukuran parameter meteorologi juga dihimpun dari data BMKG terdekat yakni BMKG Karangates. Adapun peralatan penunjang yang digunakan dalam kegiatan ini antara lain: meteran, multimeter, dan alat tulis.

2.3. Prosedur Kerja

2.3.1. Observasi Lapangan

Tanah pedesaan memiliki jalur untuk mengalirkan air ke area tertentu tidak terkecuali lahan kelompok ini. Sistem pengairannya biasa dilakukan dalam rentang dua minggu, artinya dua minggu dalam kondisi on (irigasi), dan dua minggu lainnya dalam kondisi off (non-irigasi). Sistem pengairan berasal dari air kali dan pompa aktif berbahan bakar. Pengairan dilakukan secara bergiliran. Pengairan lahan KTTM dijadwalkan setiap hari jumat jam 03.00 WIB dengan membuka dam. Pengairan berakhir hari sabtu sore, sekitar jam 17.00 WIB. Total pengeluaran untuk membuka pintu air setiap jamnya yakni lima ribu hingga tujuh ribu rupiah.

Jadwal tersebut sangat tidak mencukupi kebutuhan air, sehingga pompa bertenaga solar pun digunakan untuk menambah debit air. Terdapat biaya untuk sewa motor sebesar Rp. 15.000,00/jam. Selain itu, ongkos operator pompa biasanya Rp. 10.000,00/jam. Ditambah lagi biaya pembelian solar tiap liternya Rp. 7.500,00. Setiap 8 jam pompa diperkirakan mengkonsumsi solar 10 L. Sehingga, biaya solar menjadi Rp. 225.000,00/hari. Semua biaya tersebut walaupun dipikul bersama, tetapi masih terasa berat bagi para petani.

Apabila suplai air kurang, tanaman-tanaman di lokasi sawah mempunyai profil batang yang pendek (kecentet), berbuahnya cenderung lambat, peranakannya juga tidak sebanyak yang selalu mendapat air. Oleh karena itu, instalasi PVWP ini dilakukan kepada masyarakat pedesaan yang mayoritas penduduknya bermata pencaharian sebagai petani KTTM.

Permasalahan yang telah disebutkan menimbulkan dampak negatif kepada hasil pertanian. Jika pengairan bergiliran terjadi hanya hari jum'at dan sabtu saja, maka petani harus sabar menunggu giliran pengairannya mulai dari awal sampai akhir. Mutu produk menjadi kurang baik sebab kekurangan air. Dampaknya profit menurun 30-40%, ataupun terlebih lagi gagal total. Selain itu, waktu masa panen bisa jadi tertunda karena kekurangan air, tanaman kurang sehat dan bahkan mati. Saat musim kemarau, aliran air sungai menyusut, kondisi tanah menjadi lebih cepat kering, dan sedotan pompa kurang karena terdapat lumpur. Pengairan banyak tertunda karena debit kecil, padahal tanaman pasti butuh air dan tidak boleh telat. Biasanya, irigasi satu hingga tiga petak sawah butuh 3 jam saja, akan tetapi di musim kemarau bisa 4-5 jam lamanya. Oleh karena itu, membuat kajian data potensi energi sebelum memasang PV dapat menguntungkan petani sekitar.

2.3.2. Simulasi Radiasi Sinar Matahari

Energi matahari telah menunjukkan harapan yang luar biasa untuk aplikasi pertanian selama beberapa tahun terakhir. Studi ini mengeksplorasi potensial tenaga surya dengan mengeksplorasi data-data yang didapat dari software bebas teknologi energi surya, termasuk temperatur, waktu radiasi matahari, dan tenaga panas matahari. Dari literatur, modul PV yang dipasang di atap atau dinding rumah kaca menimbulkan corak yang dapat berdampak buruk pada peningkatan pola tanaman budidaya di dalam

ruangan. Masalah ini dapat diatasi dengan menggunakan modul PV bifacial atau menggunakan pelacak matahari untuk membuat bayangan dinamis. Modul Photovoltaic-Thermal (PVT) lebih efektif dalam memproses panas dan energi, dan lebih sedikit naungan yang terjadi saat modul yang dikondensasi digunakan [9]. Dalam hal penggunaan pengumpul panas matahari, nilai keluaran yang lebih tinggi telah dicatat untuk rumah kaca yang dibangun dalam kondisi iklim sedang.

Laju energi dalam suatu benda sebanding dengan pangkat empat suhu absolutnya. Ini dikenal sebagai hukum Stefan dan dinyatakan sebagai persamaan 1.

$$P = \sigma A e T^4 \quad (1)$$

Dimana P adalah daya dalam watt yang terpancar oleh benda, nilai konstanta σ adalah $5.6696 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$, A merupakan area permukaan benda dalam meter persegi, e adalah konstanta emisivitas, dan T adalah suhu permukaan dalam kelvin [10]. Nilai dari e dapat bervariasi antara nol dan satu, bergantung pada sifat permukaan benda. Emisivitas setara dengan fraksi radiasi terpancar yang diserap oleh permukaan.

Setiap detik atmosfer bumi diisi secara tegak lurus dengan sekitar 1.340 J radiasi elektromagnetik dari Matahari, masing-masing 1 m^2 . Radiasi yang sebagian besar terlihat adalah inframerah, dengan radiasi ultraviolet yang substansial. Saat awan mengelilingi planet, uap air di atmosfer menyerap sebagian radiasi inframerah bumi dan mengembalikannya ke permukaan bumi. Namun, tingkat suhu di tanah tetap moderat. Tidak ada yang akan mencegah radiasi ini menyebar ke luar angkasa, tanpa penutup di awan ini; suhu turun lebih jauh pada malam yang cerah daripada pada malam yang berawan.

Setiap simulator mempunyai keunikan dalam menghitung dan menjabarkan informasi penting. Meskipun begitu, setiap software mewajibkan user untuk registrasi akun. Cara registrasinya tidaklah rumit, hanya memberikan data diri dan email yang aktif. Kemudian, email aktivasi akun akan dikirim oleh sistem secara otomatis. User membuka email dan melakukan verifikasi dan aktivasi, sehingga akun aktif dan siap digunakan. Lalu, user dapat masuk ke dalam simulator menggunakan email dan password yang telah didaftarkan. Dengan demikian, user dapat melakukan simulasi energi surya sesuai dengan standar perhitungan yang ditetapkan simulator.

3. Hasil dan Pembahasan

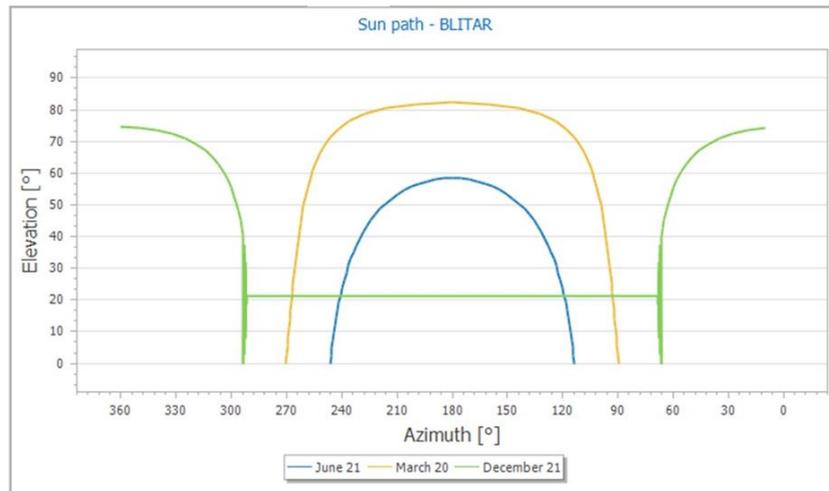
Pada tahun 2014 terdapat 36 orang yang terdiri dari 20 laki-laki dan 16 perempuan, dengan mempertimbangkan sumber daya manusia Dinas Pertanian Kabupaten Blitar. Organisasi pertanian akan melaksanakan operasi yang meliputi 22 sub-departemen dan 248 desa. Untuk jumlah pekerja yang relatif terbatas ini. Untuk operasi lapangan, hanya 3 tiga petani definitif yang dipekerjakan oleh Dinas Pertanian Kabupaten Blitar. Sisanya dipekerjakan sebagai pembantu petani PPL dari BP4K. Namun, meski sumber daya manusia kurang, operasional menjadi efisien. Kedua operasi di bawah Program Peningkatan Keamanan Pangan terbukti dilakukan dengan baik [10].

Tabel 1. Profil desa bendosewu berdasarkan letak geografi dan astronominya.

Parameter	Nilai	Satuan
Garis bujur	-8.124577	Derajat
Garis lintang	112.262223	Derajat
Elevasi	196	Meter
Daya keluaran PV	4.015	kWh/kWp/hari
Radiasi global	5.017	kWh/m ² /hari
Radiasi langsung	3.592	kWh/m ² /hari
Difusi	2.416	kWh/m ² /hari
Rasio difusi pada radiasi global	0.48	
Sudut kemiringan optimal radiasi global	5.099	kWh/m ² /hari
Kemiringan optimal PV	12 / 0	Derajat
Suhu	25.9	Celsius
Derajat pendinginan	2702	Derajat hari
Derajat pemanasan	0	Derajat hari
Kepadatan penduduk	652	inh./km ²
Tampak permukaan	Tertutup pohon, berdaun lebar, hijau selalu	(>15%)
Kemiringan lahan	1	Derajat
Azimut	Cenderung datar	

Kemiringan iradiasi global menunjukkan bagaimana permukaan dengan kemiringan optimum dari modul PV mempengaruhi ketersediaan rata-rata dari sumber matahari untuk produksi tenaga selama rata-rata sehari. Profil harian rata-rata pada Tabel 1

didasarkan pada konsep teoritis. Sebagaimana beberapa data umum lainnya profil tersebut bersifat spesifik untuk setiap satuan hari dalam setahun dikarenakan variabilitas cuaca.

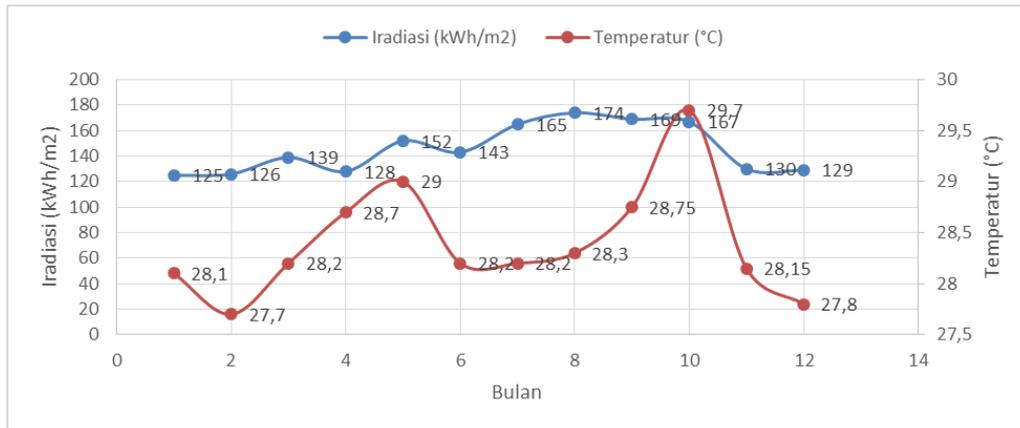


Gambar 3. Elevasi jalur matahari di Kabupaten Blitar.

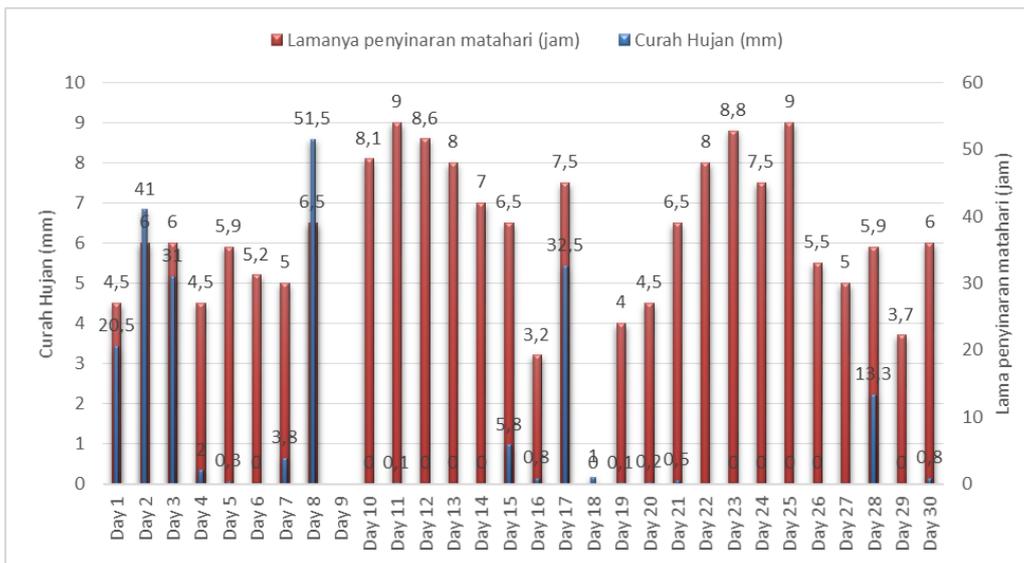
Matahari sebagai pusat tata surya dikelilingi oleh planet-planet yang melintas sesuai dengan jalur orbitnya masing-masing. Tidak hanya berevolusi terhadap matahari, bumi pun juga berotasi terhadap porosnya. Hal ini menyebabkan pergeseran lintasan matahari yang relatif terhadap penduduk di bumi yang terlihat di Gambar 3. Gerak matahari semu tahunan adalah gerak semu matahari yang tampak bergeser setiap tahun dari matahari ke selatan dan kembali ke selatan. Hal ini dikarenakan bumi berputar mengelilingi matahari (revolusi) dengan sumbu miring, yang terkadang terletak di kutub utara dan terkadang kutub selatan. Matahari tidak terbit dan menetap pada posisi yang sama sepanjang tahun dan perubahan musim di belahan utara dan selatan (bergeser dari utara ke selatan atau dari hari ke hari). Jika bumi bagian utara condong ke matahari, siang hari menjadi lebih cerah, sehingga butuh empat musim di musim panas.

Sebaliknya, musim dingin di bagian selatan planet itu terjadi secara bersamaan. Saat matahari mencapai titik akhirnya dalam pergerakan yang terlihat, peristiwa tersebut dikenal sebagai ekuinoks antara 20 dan 22 Juni. Sebaliknya, dari tanggal 20-23 Desember. Pusatnya dikenal sebagai ekuinoks. Ketersediaan Energi Surya tentunya merupakan elemen utama dalam produksi PV. Untuk produksi dan penggunaan energi matahari dan kelayakan ekonomi, radiasi matahari yang cukup sangat penting. Radiasi minimum yang diizinkan untuk sistem fotovoltaik surya belum diterima. Baseline untuk analisis ini adalah 5400 MJ /m². Gerak semu tahunan matahari adalah rotasi semu matahari antara 23,5° lintang utara dan lintang selatan setiap tahun bolak-balik dari khatulistiwa. Bahwa setelah garis lintang 23,5° matahari masih terbalik, hal ini disebut garis balik. 23.5° LU disebut Garis Balik Utara (GBU) dan Garis Balik Selatan (GBS) disebut 23.5° LS. Garis lintang adalah sumbu paralel ekuator. Setiap tahun setiap 21 Maret dan 23 September, semua lokasi di Bumi (kecuali kutub) memiliki waktu 12 jam siang dan malam. Kedua area memiliki 12 jam dan bukan 12 jam sinar matahari. Belahan Bumi Utara melihat siang yang lebih panjang daripada malam ketika Matahari berada di titik paling utara pada 23,5° LU (GBU). Panjang siang hari di sisi lain, akan lebih pendek dari malam hari di belahan bumi selatan. Daerah di lingkaran kutub utara diberi sinar matahari selama 24 jam, sehingga siang hari tetap seperti itu. Tidak ada sinar matahari selama 24 jam di lingkaran kutub selatan, di sisi lain, sehingga kegelapan masih ada saat ini.

Radiasi sinar matahari dan temperatur udara yang ditunjukkan pada Gambar 4, dihitung sebagai rata-rata dari data setiap jam pada setiap harinya. Grafik tersebut mengindikasikan adanya perubahan pola dari parameter penting dalam meteorologi siang hari. Pola-pola tersebut ditentukan oleh astronomi matahari dan letak geografis di titik tertentu. Titik ini adalah titik desa Bendosewu yang mempunyai lintang -8.1245774° dan bujur 112.2622231° .



Gambar 4. Kurva radiasi matahari dan temperatur permukaan di Bendosewu, Blitar



Gambar 5. Histogram curah hujan dan durasi penyinaran matahari BMKG Karangates.

Gambar 5 menunjukkan tersedianya matahari sepanjang hari. Curah hujan adalah tinggi air hujan yang dicatat, tidak menguap, tidak menyerap dan tidak mengalir pada suatu daerah yang datar. Curah hujan 1 (satu) milimeter berarti dapat mengendapkan satu milimeter udara atau satu liter air yang ditampung dalam satu meter persegi dalam ruangan datar. Volume hujan yang diterima selama jangka waktu rata-rata adalah curah hujan kumulatif. Dalam satu musim, periode waktu rata-rata pada setiap daerah musim adalah periode waktu rata-rata. Volume curah hujan ditentukan lebih dari 50 milimeter dalam satu dekade (10 hari), diikuti beberapa dekade berikutnya. Awal musim hujan mungkin lebih dulu (maju), sama atau lebih lambat (mundur).

4. Kesimpulan

4.1. Kesimpulan

Studi ini mendapatkan hasil spesifik sebagai bahan pertimbangan melakukan instalasi PV. Radiasi merupakan parameter meteorologi yang menentukan produksi listrik sinar matahari. Desa Bendosewu memiliki potensi energi sinar matahari sepanjang tahun rata-rata sebesar 1831 kWh/m². Desa ini sangat disarankan untuk mengembangkan sistem pengairan sawah dari PV sebagai sumber tenaga. Produksi daya juga dapat dipengaruhi oleh temperatur udara. Semakin panas cuaca sekitar, maka PV memproduksi daya semakin kecil. Hal ini tidak berlaku di Bendosewu karena desa ini mempunyai rata-rata suhu udara tahunan sebesar 25.9°C. Sehingga, modul PV bekerja dengan optimal karena suhu yang sejuk dan intensitas matahari yang tinggi.

4.2. Saran

Kendati beberapa permasalahan menghadang setiap kegiatan ini, semua personil akan berupaya membuat teknologi pompa air bertenaga surya guna memberikan tambahan aliran air untuk lahan hijau di Desa Bendosewu, Kabupaten Blitar.

Ucapan Terima Kasih

Serangkaian kegiatan pengabdian dari tim akademik Universitas Negeri Malang telah dilakukan dengan sangat baik. Kegiatan tersebut secara finansial didukung oleh PNBPN UM 2020 yang dikelola oleh tim yang telah bekerja sama dengan Kelompok Tani Tawang Makmur (KTTM).

Referensi

- [1] A. Mérida García, J. Gallagher, A. McNabola, E. Camacho Poyato, P. Montesinos Barrios, and J. A. Rodríguez Díaz, (2019) "Comparing the environmental and economic impacts of on- or off-grid solar photovoltaics with traditional energy sources for rural irrigation systems," *Renew. Energy* **140**: 895–904.
- [2] P. E. Campana et al., (2017) "Suitable and optimal locations for implementing photovoltaic water pumping systems for grassland irrigation in China," *Appl. Energy*, **185**: 1879–1889.
- [3] S. M. Wazed, B. R. Hughes, D. O'Connor, and J. K. Calautit, (2017), "Solar Driven Irrigation Systems for Remote Rural Farms," *Energy Procedia*, **142**: 184–191.
- [4] P. K. S. Rathore, S. S. Das, and D. S. Chauhan, (2018) "Perspectives of solar photovoltaic water pumping for irrigation in India," *Energy Strateg. Rev.*, **22**: 385–395.
- [5] M. Á. Pardo, J. Manzano, J. Valdes-Abellan, and R. Cobacho, (2019) "Standalone direct pumping photovoltaic system or energy storage in batteries for supplying irrigation networks. Cost analysis," *Sci. Total Environ.*, **673**: 821–830.
- [6] J. Reca-Cardena and R. López-Luque, (2018) Design Principles of Photovoltaic Irrigation Systems, vol. 1.
- [7] A. P. Wibawa and S. Wibawanto, (2015) "A Promising Off-Grid Solar-Powered Water Pumping System for Indonesian Rural House," pp. 134–136.
- [8] R. Kumar and B. Singh, (2017) "Solar PV-battery based hybrid water pumping system using BLDC motor drive," 1st IEEE Int. Conf. Power Electron. Intell. Control Energy Syst. ICPEICES 2016.
- [9] S. Gorjian et al., (2020) "A review on opportunities for implementation of solar energy technologies in agricultural greenhouses," *J. Clean. Prod.*, p. 124807.
- [10] K. Oka, W. Mizutani, and S. Ashina, (2020) "Climate change impacts on potential solar energy production: A study case in Fukushima, Japan," *Renew. Energy*, **153**: 249–260.