

LAPORAN PENGABDIAN



PENGGUNAAN ENERGI HIJAU UNTUK KONVERSI BAHAN BAKAR FOSIL SUMBER ENERGI PENGAIRAN TAMBAK GARAM

di Desa Patutreja Kecamatan Grabag Kabupaten Purworejo
Jawa Tengah

Diusulkan oleh:

1. Dr. Kunaifi, S.T., PgDipEnST., M.Sc. [NIP. 197607242007101003, Ketua]
2. Dr. Harris Simaremare, MT. [NIP. 198306252008011008, Anggota]
3. Dr. Liliana, M.Eng. [NIP. 198511152015031003, Anggota]
4. Mulyono, ST., MT. [NIP. 197810122003122003, Anggota]

Lembaga Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat
(LPPM) UIN SULTAN SYARIF KASIM RIAU

2021

PENGESAHAN

Judul : Penggunaan Energi Hijau Untuk Konversi Bahan Bakar Fosil Sumber Energi Pengairan Tambak Garam

Pengabdi Utama : Dr. Kunaifi, S.T., PgDipEnST., M.Sc.

Anggota : Dr. Harris Simaremare, MT.
Dr. Liliana, M.Eng.
Mulyono, ST., MT.

Pangkat/Golongan : Penata/IIIc

Fakultas/Unit : Sains dan Teknologi/Teknik Elektro

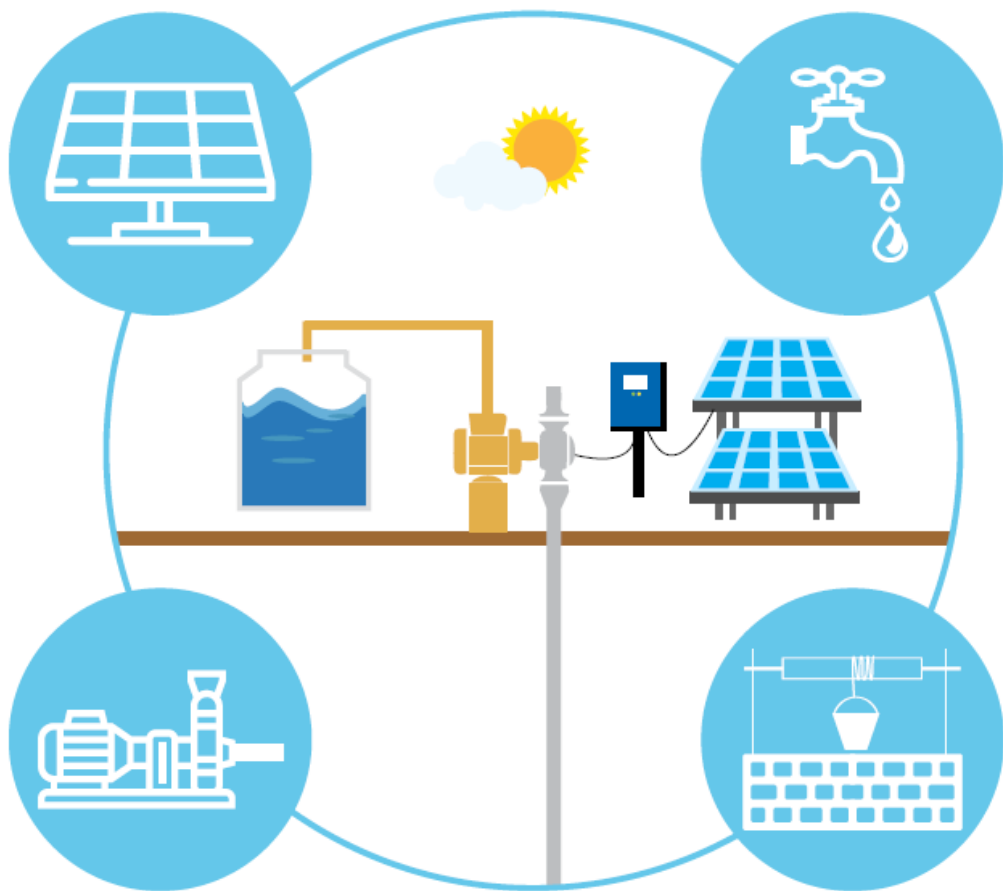
Lokasi : Desa Patutrejo Kecamatan Grabag Kabupaten Purworejo Jawa Tengah

Waktu : 6 Bulan

Telah diseminarkan pada
Hari/Tanggal : Jum'at/27 Agustus 2021

Mengetahui:
Ketua Program Studi,

Dr. Zulfatri Aini, ST., MT.
NIP. 19721021 200604 2 001



Sumber: (Sallam et al. 2019)

DAFTAR ISI

DAFTAR ISI	3
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Analisis Situasi	1
1.2. Perumusan Masalah	8
1.3. Tujuan Pengabdian	10
1.4. Manfaat Pengabdian	10
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	12
2.1. Sistem Irigasi Bertenaga Surya (SITS)	12
2.1.1. Tinjauan Umum	12
2.1.2. SITS dan Tambak Garam adalah Kombinasi yang Cocok	19
2.1.3. Kelebihan dan Kekurangan	19
2.1.4. Komponen SITS dan Prinsip Kerja	21
2.2. Perancangan Irigasi dengan Energi Terbarukan	29
2.2.1. Konsep Umum	30
2.2.2. Konfigurasi SITS	33
2.2.3. Perencanaan dan Ukuran SITS	34
2.2.4. Instalasi SITS	46
BAB III METODOLOGI	49
3.1. Sasaran Strategis	49
3.2. Tahapan-Tahapan Kegiatan Pengabdian Kepada Masyarakat ...	49
3.2.1. Persiapan kegiatan	49
3.2.2. FGD awal	50
3.2.3. Perancangan SITS dan Analisis Ekonomi	50
3.2.4. FGD Tengah	50
3.2.5. Penyempurnaan desain sistem SITS	51
3.2.6. Penyusunan laporan dan proposal	51
3.2.7. FGD akhir	51
3.3. Pelaksanaan kegiatan Pengabdian	51
3.4. Evaluasi Kegiatan	52
3.5. Output kegiatan pengabdian kepada masyarakat	52
BAB IV HASIL	53
4.1. Infomasi Input	53
4.2. Desain Teknis	54
4.3. Analisis Kinerja	54
4.4. Analisis Ekonomi	55
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	57

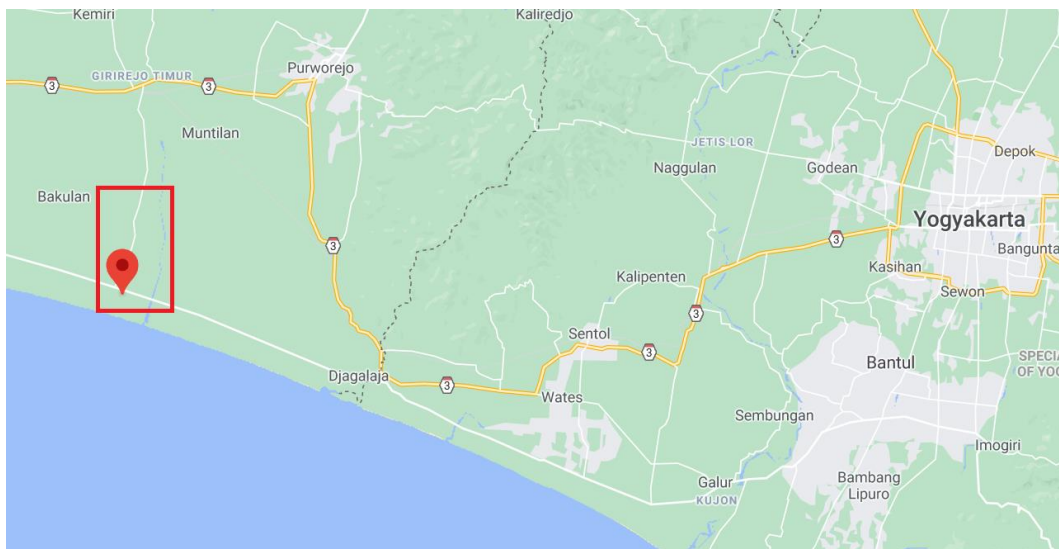
DAFTAR PUSTAKA.....	59
Lampiran 1 Rencana Anggaran Biaya (RAB)	61

BAB I PENDAHULUAN

1.1. Analisis Situasi

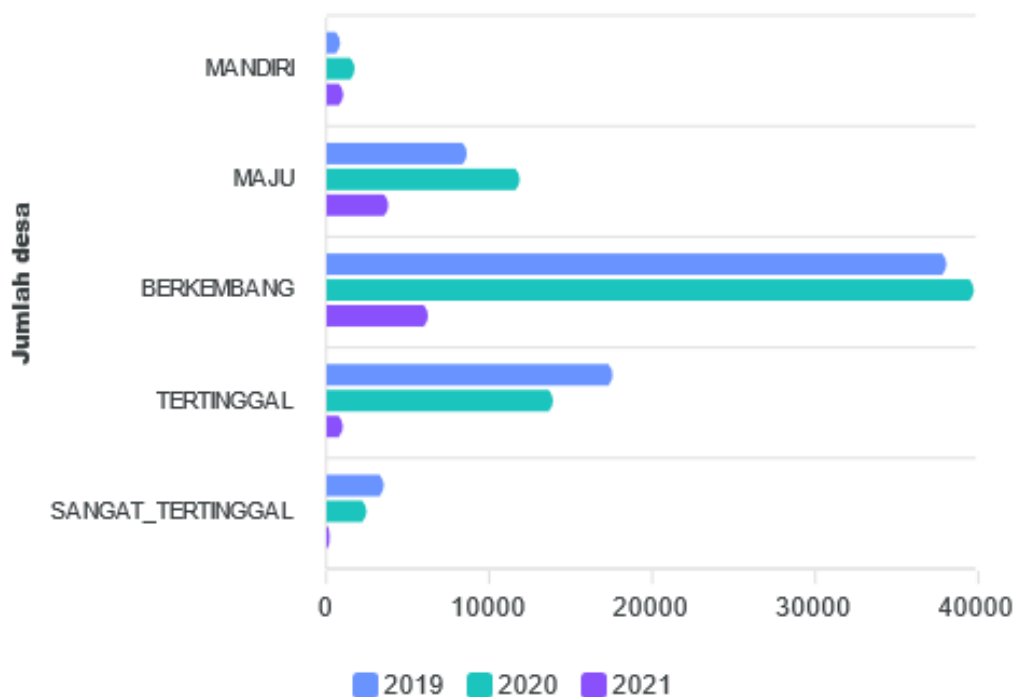
Desa Patutrejo terletak di Kecamatan Grabag, Kabupaten Purworejo, Provinsi Jawa Tengah. Lokasi Desa Patutrejo sekitar 20 Km sebelah Barat Daya kota Purworejo dan sekitar 50 km sebelah Barat Kota Yogyakarta (Gambar 1).

Desa Patutrejo adalah salah satu desa berkembang (Kementerian Desa PDT dan Transmigrasi 2021). Desa berkembang adalah desa yang telah lepas dari status tertinggal, namun belum menjadi desa maju. Desa berkembang atau desa madya berpotensi menjadi desa maju karena telah memiliki potensi sumber daya sosial, ekonomi, dan ekologi, namun belum dikelola secara optimal untuk peningkatan kesejahteraan masyarakat, kualitas hidup manusia dan menanggulangi kemiskinan.



Gambar 1. Lokasi Desa Patutrejo Kecamatan Grabag Kabupaten Purworejo Jawa Tengah ditunjukkan dengan kotak merah.

Kategori desa di atas dinilai berdasarkan Indeks Desa Membangun (IDM), yang merupakan indeks komposit yang dibentuk berdasarkan tiga indeks, yaitu: Indeks Ketahanan Sosial, Indeks Ketahanan Ekonomi, dan Indeks Ketahanan Ekologi/Lingkungan (Kementerian Desa PDT dan Transmigrasi 2020b). Pada tahun 2020, sebagian besar desa di Indonesia berada pada kategori desa berkembang (Gambar 2).



Gambar 2. Status Indeks Desa Membangun (IDM), tahun 2019-2021 (Kementerian Desa PDT dan Transmigrasi 2021).

Indeks Ketahanan Sosial mencakup aspek pendidikan, kesehatan, modal sosial, dan permukiman. Indeks Ketahanan Ekonomi diukur dari aspek keragaman produksi masyarakat, akses pusat perdagangan dan pasar, akses logistik, akses perbankan dan kredit, dan keterbukaan wilayah. Sedangkan Indeks Ketahanan Ekologi/Lingkungan fokus pada aspek kualitas lingkungan, bencana alam, dan tanggap bencana.

Salah satu dari keragaman produksi masyarakat di Desa Patutrejo adalah garam organik. Hasil pengujian laboratorium kandungan garam (NaCl) yang diambil dari pantai selatan Jawa, termasuk hasil dari tambak garam di Desa Patutrejo berada di angka 97% sampai 98%. Menurut dinas KKP Kabupaten Purworejo, angka tersebut sudah digolongkan ke dalam garam industri. Garam industri banyak dicari untuk industri kimia untuk pembuatan infus, industri kain, dan lain-lain.

Tambak garam milik KUGAR Pendowo Limo terdiri dari beberapa kolam atau tambak dengan ukuran kolam 3,5 m x 40 m (Gambar 3). Setiap panel ditutup dengan plastic UV berbentuk kubah. Dengan demikian, luas satu tambak adalah 140 m². Ketinggian air laut yang diperlukan untuk menjaga produksi garam optimal adalah 20-25 cm. Dengan demikian, volume air di dalam tambak adalah 35 m³.



Gambar 3. Panel-panel tambak garam di Desa Patutrejo (Foto: Wisnu Anjarjati 2021).

Air laut dimasukkan ke dalam panel. Proses penghangatan yang menyebabkan penguapan menyisakan garam yang siap untuk dipanen (Gambar 4).



Gambar 4. Salah satu tambak garam model panel di Desa Patutrejo (Foto: Wisnu Anjarjati 2021).

KUGAR Pendowo Limo telah menghasilkan berbagai produk garam organi (Gambar 5).



Gambar 5. Contoh produk akhir garam dari kelompok Usaha Garam (KUGAR) Pendowo Limo di Desa Patutrejo (Foto: Wisnu Anjarjati 2021).

Sebelum air laut dimasukkan ke panel-panel, air laut dipompa ke sebuah kolam penampungan (Gambar 6).



Gambar 6. Posisi laut, kolam penampungan, dan panel-panel tambak garam di Desa Patutrejo. Sumber foto sebelah kanan: <https://dinppkp.purworejokab.go.id/alih-fungsi-lahan-tambak-udang-menjadi-tambak-garam-dilakukan-oleh-petani-garam>)

Saat ini, kolam penampungan diisi dengan memompa air dar laut menggunakan pompa yang digerakkan oleh mesin diesel (Gambar 7).



Gambar 7. Mesin pompa berbahan bakar diesel yang saat ini digunakan petambak garam di Desa Patutrejo untuk menarik air dari laut menuju tambak garam di pantai (Foto: Wahyu Anjarjati 2021).

Dalam masa satu tahun ke depan, direncanakan pengembangan lahan tambak garam sekitar seluas 10 kali lipat dibanding luas saat ini dengan membentuk sekitar 10 KUGAR baru. Pengembangan ini didorong oleh permintaan garam yang semakin tinggi dan harga garam yang relatif stabil. KUGAR-KUGAR baru tersebut akan berasal dari petani tambak udang yang berkeinginan melakukan alih fungsi lahan tambak udang menjadi tambak garam. Produk yang akan dikembangkan adalah garam kosmetik mengingat garam pantai selatan Pulau Jawa memiliki kualitas yang sesuai untuk bahan kosmetik (DINPPKP Purworejo 2020).

Berdasarkan informasi dari bapak Marsino, Ketua KUGAR Pendowo Limo, di Desa Patutrejo, produksi garam di tambak beliau dalam satu kali panen mencapai 1 ton. Panen garam biasanya dilakukan dua kali dalam sebulan. Dalam kondisi dengan salinitas tinggi, terutama pada musim kemarau, panen garam bisa mencapai 3 kali dalam satu bulan.

Alas kolam penampungan menggunakan HDPE (*High-density polyethylene*), yaitu polimer termoplastik yang terbuat dari proses pemanasan minyak bumi. Sifat HDPE adalah keras, tahan terhadap suhu tinggi, dan dapat dibentuk menjadi berbagai benda tanpa kehilangan kekuatannya. Lapisan HDPE cenderung terlihat buram setelah diproses, dan dapat didaur ulang. Jarak antara air laut dengan kolam penampungan adalah 75 m saat air laut pasang sampai 125 m saat kondisi air laut surut.

Saat ini, pengisian air kolam penampungan dilakukan menggunakan pompa air yang digerakkan oleh genset diesel. Kolam penampungan diisi selama 3 jam dalam satu hari. Pengisian air laut ke kolam yang terdekat dilaksanakan satu kali setiap 3 sampai 4 hari. Jika proses penguapan air sudah berjalan optimal, maka air garam yang telah terbentuk dipindahkan ke panel-panel selanjutnya. Panen akan dilaksanakan jika penguapan berjalan sempurna.

Genset yang digunakan saat ini memiliki daya sebesar 3 PK (setara 2237 Watt). Kebutuhan bahan bakar minyak (diesel/solar) sekitar 40 liter per bulannya.

Budidaya tambak garam di Desa Purworejo semakin berkembang. Dengan demikian, kebutuhan air laut semakin tinggi. Dampaknya, biaya operasional, terutama bahan bakar untuk pompa juga akan semakin meningkat. Harga bahan bakar diesel Rp. 10 ribu sedangkan bensin (premium) Rp. 7 ribu per liter. Kondisi tersebut memberatkan bagi pemilik tambak dari segi biaya.

Selain itu, kesulitan dalam mendapatkan bahan bakar diesel juga menjadi kendala. Sejak pembatasan produksi premium awal 2021, petambak kesulitan mendapatkan bahan bakar yang lebih murah, sehingga lebih banyak menggunakan diesel yang lebih mahal. Namun, diesel juga tidak selalu tersedia.

Penggunaan pompa secara terus menerus di lokasi yang sama, sejauh ini juga berdampak terhadap pencemaran lingkungan. Sumber pencemaran tanah dan air adalah tumpahan bahan bakar dan minyak pelumas. Selain itu, pembakaran bahan bakar minyak juga menghasilkan partikel bebas dan gas rumah kaca.

Selain program dalam sektor pertanian yang diuraikan di atas, Pemerintah Desa Patutrejo juga berupaya untuk menjadi pelopor sebagai Desa Hijau (*green village*). Program Desa Hijau merupakan salah satu aspek dalam SDG Desa. SDG atau sustainable development goals adalah program global yang dimotori oleh perserikatan bangsa-bangsa (PBB) yang terdiri dari 17 sasaran, 169 target, 3006 kegiatan, 1254 publications, dan 5400 aksi (United Nations 2020). SDGs telah diratifikasi oleh Indonesia untuk diterapkan mulai dari skala nasional hingga level desa.

SDGs Desa adalah upaya terpadu untuk mewujudkan desa yang searah dengan pencapaian tujuan pembangunan berkelanjutan (Jatilor 2021). SDGs terdiri dari 17 sasaran. Salah satu di antaranya adalah energi bersih yang terbeli (*affordable clean energy*) yang merupakan sasaran ke tujuh dalam SDGs. Program SDG Desa terdiri dari 18 sasaran (Gambar 8). Dalam konteks desa di Indonesia, sasaran ke tujuh dinamakan Desa Berenergi Bersih dan Terbarukan (Kementerian Desa PDT dan Transmigrasi 2020a).



Gambar 8. Delapan belas sasaran SDG Desa (Kementerian Desa PDT dan Transmigrasi 2020a).

1.2. Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, maka petani tambak garam di Desa Patutrejo perlu melakukan inovasi lebih jauh dalam rangka mengatasi

persoalan biaya bahan bakar, sekaligus mengurangi penggunaan bahan bakar minyak. Sejalan dengan sasaran ke tujuh dari SDG Desa, yaitu Desa Berenergi Bersih dan Terbarukan, maka sumber energi terbarukan dipandang sebagai pilihan yang tepat sebagai sumber energi pengganti untuk sistem irigasi tambak garam di Desa Patutrejo. Berbeda dengan energi fosil, energi terbarukan tidak habis jika dipakai dan bersih saat digunakan.

Namun demikian, terdapat beberapa persoalan untuk melakukan transformasi dari energi fosil ke energi terbarukan di Desa Patutrejo. Di satu sisi, sumber daya manusia di kalangan petani tambak garam di Desa Patutrejo tidak terbiasa dengan energi terbarukan sehingga menyulitkan dalam merencanakan, melaksanakan, dan memantau proses perubahan tersebut. Di sisi lain, Jurusan Teknik Elektro UIN Suska Riau memiliki SDM yang berpengalaman dengan sistem energi terbarukan. Kedua hal tersebut dapat dipertemukan dalam sebuah kegiatan pengabdian kepada masyarakat yang produktif.

Berdasarkan latar belakang diatas maka di bawah ini dirangkum rumusan masalah melalui beberapa pertanyaan sebagai berikut:

1. Bagaimana profil penggunaan energi fosil yang digunakan untuk pengairan tambak garam di Desa Patutrejo ditinjau dari aspek biaya dan emisi karbon dioksida, saat ini dan proyeksi ke masa depan?
2. Bagaimana sistem energi terbarukan dapat mengatasi persoalan biaya tersebut tanpa mengurangi suplai air dibanding menggunakan energi fosil.
3. Apa keuntungan ekonomi langsung yang akan diperoleh petani dan manfaat lingkungan hidup dari penggantian BBF menjadi ET.
4. Apa rekomendasi praktis supaya peralihan dari BBF ke ET berjalan secara berkelanjutan, termasuk resiko dari pengambilan air tanah yang

berlebihan pada lingkungan mengingat pengisian kembali (*recharge*) dari air hujan jauh lebih lambat dibanding kecepatan pemompaan dari dalam tanah. Hal ini pada musim kemarau dapat menyebabkan sumur-sumur dan aliran sungai akan kekurangan air. Dengan demikian, irigasi air tanah sebaiknya difungsikan sebagai pendukung irigasi air permukaan atau jika tidak ada pilihan lain.

1.3. Tujuan Pengabdian

1. Mengusulkan penggantian sumber energi sistem irigasi tambak garam di Desa Patutrejo dari energi fosil menjadi energi terbarukan tanpa mengurangi kapasitas produksi.
2. Menganalisis potensi manfaat dari penggantian sumber energi tersebut ditinjau dari aspek ekonomi petani tambak garam Desa Patutrejo dan aspek lingkungan hidup.

1.4. Manfaat Pengabdian

1. Membuka wawasan penduduk desa tentang energi terbarukan sebagai pilihan yang lebih ramah lingkungan untuk sumber energi kegiatan ekonomi penduduk.
2. Mendukung upaya memperlambat habisnya sumber energi fosil dengan mengurangi penggunaannya dalam aktivitas ekonomi masyarakat desa.
3. Mendukung program pemerintah untuk meningkatkan pemanfaatan energi terbarukan.
4. Mendukung upaya pemerintah dan desa dalam pencapaian SDG Desa, khususnya sasaran ke-tujuh, yaitu Desa Berenergi Bersih dan Terbarukan.

5. Tergantung tingkat keberhasilan kegiatan pengabdian ini, dapat direplikasi di desa-desa lain di Indonesia yang memiliki karakteristik serupa.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Irigasi adalah elemen utama dalam produksi garam laut. Irigasi yang baik sering dipandang sebagai mesin yang membantu memastikan keamanan produksi garam, menghasilkan pendapatan, menyediakan pekerjaan, dan mendorong pembangunan pedesaan. Energi adalah input utama untuk menggerakkan irigasi air laut di tambak garam laut.

2.1. Sistem Irigasi Bertenaga Surya (SITS)

2.1.1. Tinjauan Umum

Harga bahan bakar minyak (BBM) diesel dan bensin serta listrik semakin mahal. Ketersediaan BBM dan listrik di pedesaan tidak selalu terjamin. Hal tersebut mempengaruhi kinerja merupakan beban biaya irigasi bagi petani yang menggunakan pompa bertenaga BBM dan listrik (Gambar 9). Menggunakan energi matahari untuk memompa air irigasi adalah potensi yang menjanjikan dibanding menggunakan listrik konvensional dan pompa berbasis BBM.

Menggunakan SITS adalah alternatif yang menjanjikan dibanding pompa dengan listrik konvensional atau berbasis mesin diesel. SITS bekerja berdasarkan teknologi fotovoltaik (PV), yang mengubah energi matahari menjadi energi listrik untuk menggerakkan pompa air motor arus searah (DC) atau arus bolak-balik (AC).

Biaya investasi untuk sistem irigasi bertenaga surya (SITS) semakin murah terutama disebabkan oleh harga modul surya yang turun secara dramatis. Biaya investasi untuk sistem irigasi bertenaga surya (SITS) semakin murah terutama disebabkan oleh harga modul surya yang turun secara dramatis.

Modul surya pernah berharga sekitar \$ 5/Wp (watt-peak); sekarang, harganya kurang dari \$ 0,75/Wp (Welsien et al. 2018). Selain itu, skema-skema subsidi untuk SITS banyak diluncurkan, terutama di negara-negara berkembang. Hal tersebut mendorong teknologi surya menjadi pilihan sumber energi irigasi yang terbeli dan layak, baik untuk petani skala besar maupun kecil (Gambar 10). SITS berpotensi menyediakan energi yang andal dan mengurangi biaya energi untuk irigasi. Di daerah pedesaan, di mana harga solar mahal atau di mana sedangkan akses ke jaringan listrik jauh, SITS dapat menyediakan sumber energi pilihan yang fleksibel dan ramah lingkungan.



Gambar 9. Pompa air laut berbahan bakar diesel (Sumber: <http://lengkong-batangan.desa.id/2020/07/13/pompa-diesel-alat-penting-bagi-petani-tambak-desa-lengkong-batangan-pati/>).

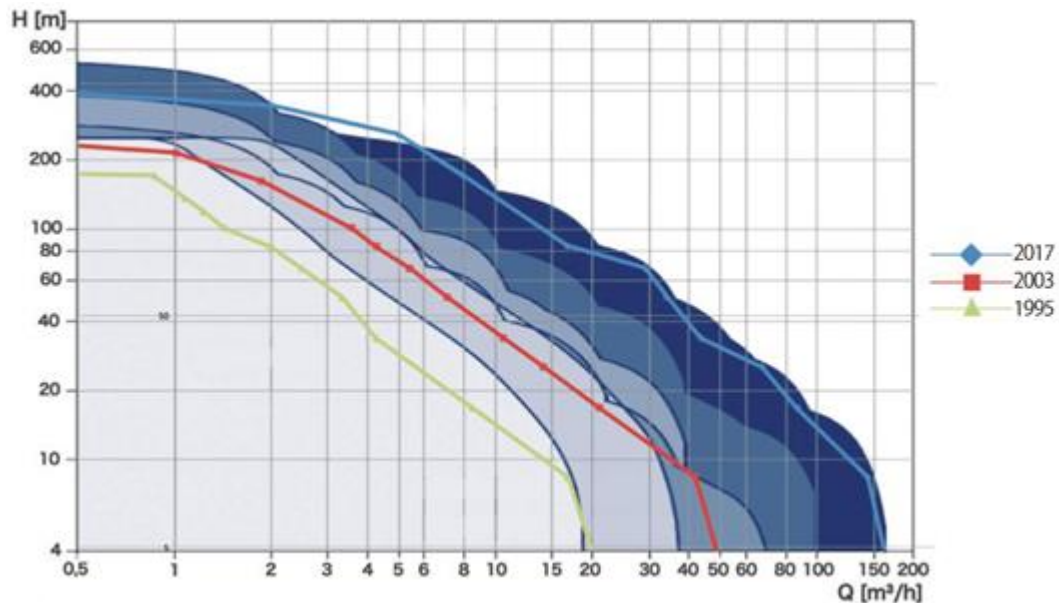
Minat pada solusi irigasi bertenaga surya di seluruh dunia meningkat, terlihat dalam permintaan yang semakin sering dari lembaga pertanian di negara berkembang untuk instalasi, keuangan dan pelatihan SITS (Hartung and Pluschke 2018). Peningkatan tersebut didorong oleh pertumbuhan kebutuhan irigasi karena kebutuhan akan produksi pangan yang lebih tinggi sebagai konsekuensi logis dari populasi dunia yang meningkat sehingga sementara pasokan air tawar berkurang disebabkan oleh perubahan iklim.

Menurut (Hartung and Pluschke 2018), SITS pertama dipasang pada akhir 1970-an. Sejak itu, SITS menunjukkan kemajuan yang signifikan. Sistem SITS generasi pertama menggunakan pompa sentrifugal, biasanya digerakkan oleh motor DC atau motor AC frekuensi variabel. Dalam jangka panjang telah terbukti keandalan dan efisiensi hidrolis yang bervariasi dari 25 % hingga 35 %. Generasi kedua SITS memperkenalkan pompa perpindahan positif (*positive displacement pump*), pompa rongga progresif dan pompa diafragma untuk jumlah air yang lebih kecil, yang pada umumnya memiliki persyaratan daya *photovoltaic* (PV) yang lebih kecil, biaya modal lebih rendah, dan efisiensi hidrolis lebih tinggi. Teknologi SITS saat ini menggunakan sistem elektronik yang dapat menyesuaikan daya yang tersedia dari modul surya dengan pompa. Jika dibutuhkan, sistem elektronik juga dapat melakukan pemantauan waktu nyata (*real time*) berbagai parameter, seperti ketinggian air pada sumur bor dan ketinggian air pada tangki penyimpanan, kecepatan pompa, dan sebagainya. SITS generasi terbaru juga dapat dilengkapi perangkat lunak cerdas untuk meningkatkan daya keluaran, kinerja dan efisiensi SITS secara keseluruhan.



Gambar 10. Sistem irigasi bertenaga surya (<https://scroll.in/article/898066/how-the-use-of-solar-pumps-is-brightening-the-lives-of-kutchs-salt-farmers>).

Kapasitas dan kemampuan sistem SITS telah berkembang. Pompa tenaga surya awal memiliki kinerja yang terbatas dengan sumber air yang dangkal dan kebutuhan air yang rendah. Saat ini, pompa dapat mencapai sumur yang lebih dalam (500 m), dibandingkan 200 m sebelumnya, dan mendorong volume air yang lebih besar (1500 m³/hari, dibandingkan dengan 500 m³/hari sebelumnya pada head rendah (Welsien et al. 2018) (Gambar 11).



Gambar 11. Kapasitas pompa tenaga surya meningkat karena inovasi teknologi. Kredit gambar: Grundfos (Welsien et al. 2018).

Penggunaan pompa bertenaga surya untuk keperluan irigasi dapat dilakukan menggunakan konfigurasi yang berbeda tergantung pada aplikasi. Tabel 1 merangkum konfigurasi SITS yang paling sering digunakan (Hartung and Pluschke 2018).

Tabel 1. Ringkasan konfigurasi SITS

Konfigurasi	Keterangan	Kerumitan	Adaptasi	Catatan
Pompa langsung	Panel PV dan pompa (dengan motor DC atau AC) dan pengontrol dengan atau tanpa tangki penyimpanan air (ditinggikan) atau waduk dan sistem irigasi (penggenangan, sprinkler, microirrigation [tetes], dan mesin irigasi). Pelacakan Pelacak Titik Daya	Lumayan sederhana	Beradaptasi dengan semua ukuran dan metode irigasi serta persyaratannya. Fertigasi (injeksi pupuk, perbaikan tanah dan produk larut air lainnya ke dalam sistem irigasi) dapat dengan mudah diintegrasikan,	Sistem yang paling banyak digunakan di seluruh dunia. Harus digunakan berdasarkan volume. Memerlukan kontrol kecepatan untuk mesin irigasi.

	<p>Maksimum (MPPT) dan fitur elektronik/perangkat lunak lainnya meningkatkan efisiensi. Kecepatan motor dan volume pompa bervariasi sepanjang hari menurut matahari dan awan. Pengontrol irigasi surya menggunakan pengukur volume (bukan pengatur waktu).</p>		<p>begitu juga dengan pengolahan air dan bahan kimia pembersih - mis. untuk drip.</p>	
<p>Sistem multi-guna (di lahan pertanian)</p>	<p>Sama seperti di atas ditambah kegunaan lain pada waktu-waktu saat tidak diperlukan pemompaan (saat penggilingan, penggergajian, pemrosesan makanan, pendinginan, dll.)</p>	<p>Menengah hingga rumit</p>	<p>Kontroler biasanya dioptimalkan untuk sistem pemompaan - kebutuhan energi untuk penggunaan lain harus secara logis mengikuti pompa; Motor harus memiliki tegangan yang sama dengan motor pompa dan mode DC / AC.</p>	<p>Gunakan baterai hanya dengan sistem terpisah!</p>
<p>Pompa grid mini (komunitas)</p>	<p>Panel PV (generator) memasok daya untuk berbagai penggunaan yang berbeda (pemompaan, sistem rumah surya, dll.)</p>	<p>Solusi teknologi yang lebih kompleks</p>	<p>Kompromi penting terkait efisiensi dan kebutuhan. Energi matahari juga dapat dikirim ke jaringan PLN jika tidak diperlukan untuk penggunaan lain.</p>	<p>Akankah hilangnya efisiensi sistem pompa yang cukup besar sebanding dengan keuntungannya?</p>
<p>Sistem hibrida</p>	<p>Sistem pompa tenaga surya bekerja secara paralel dengan jaringan listrik dan/atau pompa diesel.</p>	<p>Menengah hingga rumit</p>	<p>Various configurations exist, e.g. 1. Simple switching over to an external</p>	<p>Sering digunakan untuk mengurangi biaya listrik / bahan bakar.</p>

	<p>Penggunaan malam hari atau gabungan energi pada saat radiasi rendah untuk kebutuhan air yang tinggi. Permintaan puncak untuk ukuran generator surya berkurang.</p>		<p>energy source when solar is not producing the required energy; 2. Supplementing the missing power (from solar) gradually as needed. Automatic and manual systems. Often used with old existing diesel pumps.</p> <p>Berbagai konfigurasi tersedia, mis. 1). Switching sederhana ke sumber energi eksternal saat matahari tidak menghasilkan energi yang dibutuhkan; (2. Daya yang hilang (dari solar) secara bertahap disesuaikan dengan kebutuhan. Sistem otomatis dan manual. Sering digunakan dengan pompa diesel lama yang sudah ada</p>	<p>Dimungkinkan masuk ke jaringan listrik.</p>
<p>Penggunaan tambahan (non energi)</p>	<p>Ruang di bawah panel PV dapat digunakan untuk berbagai tanaman bernilai tinggi, (mis. Bayam, tanaman obat) atau sebagai naungan bagi hewan. Sebagai alternatif, panel PV dapat ditempatkan</p>	<p>Sederhana</p>	<p>Bahkan kandang hewan dapat dibangun di bawah panel PV.</p>	<p>Sistem terapung meningkatkan efisiensi karena memiliki efek pendinginan pada panel (dan mengurangi penguapan</p>

	mengapung di atas air. Generator tenaga surya di atap gedung atau di atas tangki air.			badan air).
--	---	--	--	-------------

2.1.2. SITS dan Tambak Garam adalah Kombinasi yang Cocok

SITS adalah teknologi pompa air yang cocok diterapkan untuk irigasi tambak garam karena beberapa kesesuaian sifat sebagai berikut:

(a) Untuk produksi garam yang lebih banyak dengan kualitas yang lebih tinggi, maka diperlukan sumber air dengan salinitas tinggi. Air laut dengan salinitas tinggi terdapat di badan laut, bukan di dalam sumur yang dibuat di pantai. Dengan demikian, net head antara kolam penampungan dan sumber badan laut lebih kecil dibanding net head antara kolam penampungan dengan titik pengambilan air di dalam sumur. SITS dengan net head yang pendek akan membutuhkan ukuran pompa air yang lebih kecil, sehingga ukuran modul surya dan biaya akan lebih murah.

(b) Salinitas air laut meningkat pada musim panas, sehingga kapasitas produksi di musim panas dapat ditingkatkan dari dua kali panen menjadi 3 kali panen dalam satu bulan. Meningkatkan frekuensi panen per bulan dan kapasitas produksi dilakukan dengan memompa lebih banyak air laut ke kolam penampungan. pada musim panas, radiasi matahari yang mencapai permukaan bumi lebih tinggi dibanding pada musim hujan. Dengan demikian, sumber energi matahari di musim panas mendukung upaya peningkatan produksi pada musim tersebut.

2.1.3. Kelebihan dan Kekurangan

SITS dapat memberikan manfaat lingkungan dan sosial ekonomi yang signifikan, baik di tingkat petani maupun di tingkat nasional.

Di tingkat petani, teknologi PV dapat menjadi sumber energi yang andal untuk memompa irigasi air di daerah terpencil, terutama di daerah yang tidak terhubung dengan jaringan listrik atau di mana pasokan bahan bakar cair dan layanan pemeliharaan rutin tidak dijamin. Bahkan, pompa tenaga surya dapat membantu meningkatkan akses ke air. Di negara-negara dengan kelangkaan air, ini dapat membantu menahan dampak kekeringan dan mengatasi kelangkaan air selama musim kemarau, ketika air tanah adalah satu-satunya sumber air yang tersedia, atau ketika air permukaan harus diangkut jarak jauh. Melalui peningkatan akses ke energi dan air, SITS dapat membantu menstabilkan, meningkatkan dan mendiversifikasi produksi (misalnya produksi sayuran termasuk selama musim kemarau untuk melengkapi tanaman pokok). Produk berlebih dapat dijual di pasar dan menghasilkan pendapatan. Peningkatan ketersediaan pangan dapat meningkatkan ketahanan pangan dan khususnya bagi asupan gizi petani skala kecil dan komunitasnya.

Secara teknis, SITS memiliki berbagai keunggulan, antara lain:

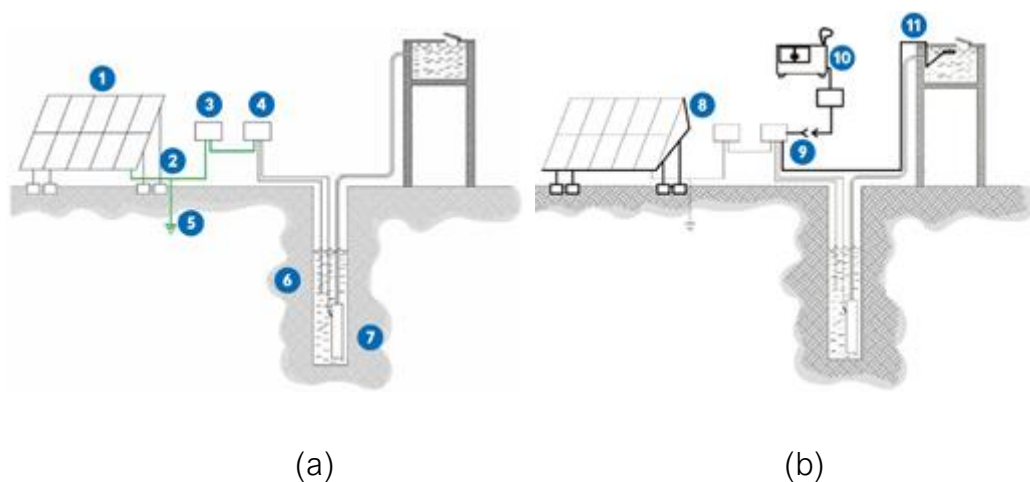
- a) Biaya operasional rendah, karena tidak membutuhkan bahan bakar untuk menggerakkan pompa seperti listrik atau solar. SITS menggunakan energi dari cahaya matahari yang gratis.
- b) Pemeliharaan rendah, desain SITS yang baik hanya membutuhkan sedikit perawatan, yaitu pembersihan panel seminggu sekali.
- c) Harmonis dengan alam, memberikan lebih banyak air pada saat musim kemarau ketika air paling dibutuhkan.
- d) Fleksibel, bisa dipasang di mana saja ada matahari, tidak harus di samping sumur. Selain itu, kapasitasnya bisa diturunkan atau dinaikkan sesuai kebutuhan.

- e) Tidak selalu membutuhkan baterai, karena daripada menyimpan listrik di dalam baterai supaya pompa bekerja malam hari, bisa juga menyimpan air berlebih di siang hari untuk dipakai di malam hari.

Meski demikian, SITS memiliki biaya investasi awal yang relatif tinggi dan membutuhkan model pembiayaan yang inovatif (atau subsidi) untuk mengatasi hambatan biaya ini, terutama bagi petani skala kecil. Pengetahuan teknis diperlukan untuk memastikan bahwa sistem berjalan dan dipelihara secara efektif. Selain itu, SITS- jika tidak dikelola dan diatur secara memadai - mendorong risiko penggunaan air yang tidak berkelanjutan karena biaya energi surya yang rendah dapat menyebabkan pemborosan penggunaan air dan pengambilan air tanah yang berlebihan.

2.1.4. Komponen SITS dan Prinsip Kerja

Komponen dan konfigurasi SITS sederhana diperlihatkan pada Gambar 12. Komponen wajib diperlihatkan pada Gambar 12 (a) sedangkan Gambar 12 (b) memperlihatkan komponen tambahan. Untuk aplikasi di dekat laut, komponen dipilih



Gambar 12. Komponen sebuah SITS: (a) penting, (b) tambahan. (1) Generator surya, (2) Dudukan panel dengan pondasi beton dan anti pencurian, (3) Kotak

proteksi dengan sekring, kontaktor utama dan perangkat pelindung lonjakan arus (proteksi petir), (4) Kotak pengontrol pompa atau inverter pompa surya, (5) Arde (kawat) tanah terhubung ke ground sirkuit, termasuk panel, dudukan, kotak, pengontrol, dan pompa, (6) Sensor air level rendah (untuk menghentikan pompa saat pompa kering, tidak diperlukan jika sumber air adalah sungai atau danau yang tidak pernah kering), (7) Pompa celup (bisa juga pompa permukaan), (8) Pelacak matahari, 1 atau 2 sumbu, (9) input untuk penyambungan generator cadangan, yang akan digunakan jika generator surya rusak (generator cadangan tidak terhubung secara permanen), (10) pembangkit listrik permanen untuk cadangan atau sumber pelengkap (saat berawan / musim hujan atau jam matahari terbit / terbenam), dan (11) sensor ketinggian air di tangki utama untuk start / stop otomatis pompa. (Action Against Hunger International 2020).

Semua logam, kecuali emas, dapat berkarat disebabkan paparan garam. Untuk instalasi SITS di dekat laut, dalam jarak kurang dari 200 meter dari pantai, perlu diperhatikan standar ketahanan garam untuk panel surya. Sebagian besar panel surya tingkat satu (Tier 1) sekarang menyatakan "ketahanan korosi kabut garam" pada lembar spesifikasi. Sebagian panduan, standar IEC 61701 mengatur tentang tantangan ini agar sebuah sistem tenaga surya sesuai untuk dipasang di dekat laut.

Ada enam tingkat ketahanan korosi dalam standar IEC 61701. Level 1 cocok untuk lingkungan laut seperti di sebuah atap di tepi pantai. Level 2 tidak digunakan, sedangkan level 3 hingga 6 menunjukkan peningkatan level ketahanan korosi. Modul peringkat level 6 dapat bertahan selama beberapa puluh tahun dengan penurunan output daya kurang dari 2%.

Untuk menghindari berkaratnya komponen lain karena kadar garam, seperti dudukan panel, kotak proteksi, kotak kontaktor utama, kotak pelindung lonjakan arus, kotak pengontrol pompa, inverter pompa surya, arde tanah, pompa, dan generator cadangan, dapat diatasi dengan pengecatan. Pengecatan dapat melindungi komponen dari pengkaratan karena paparan garam selama bertahun-tahun.

a) Generator Tenaga Surya

Generator surya adalah modul surya menyediakan energi yang diperlukan untuk mengoperasikan motor pompa. Saat cahaya matahari jatuh ke permukaan modul surya, tegangan listrik DC akan terbentuk pada ujung-ujung kabel di bagian belakang modul surya, yang menyebabkan arus mengalir saat dihubungkan ke motor. Bergantung pada keluaran listrik yang dibutuhkan (tegangan, arus dan daya), beberapa modul surya disambung secara seri dan/atau paralel untuk membentuk generator surya.

Rating daya modul surya dinyatakan dalam watt puncak (W_p). Modul surya akan menghasilkan daya sebesar rating dayanya dalam kondisi lingkungan sama dengan kondisi uji standar (STC) yaitu jika radiasi 1.000 W/m^2 ; suhu sel = 25° C dan massa udara (AM) = 1,5.

Daya listrik modul surya sangat bergantung pada radiasi matahari yang ditangkap oleh modul. Hubungan antara radiasi matahari dan listrik yang dihasilkan generator surya hampir linier. Meski demikian, efek kenaikan suhu harus diperhitungkan dengan menerapkan faktor koreksi (FC_p), yang bervariasi antara 0,8 dan 0,9. Suhu sel surya meningkat secara signifikan dalam pengoperasian normal dan dapat dengan mudah mencapai $40\text{--}65^\circ \text{ C}$, tergantung pada kondisi di lokasi operasi. Kenaikan suhu sel surya menyebabkan keluaran daya listrik lebih rendah dibandingkan dengan STC. Koefisien suhu (TC) menggambarkan pengurangan daya untuk setiap peningkatan suhu 1 derajat Celcius; untuk sel surya silikon kristal sekitar $-0,5\%/^\circ \text{ C}$ (Sass and Hahn 2020).

Output dari modul surya tidak hanya bergantung pada radiasi dan suhu sel. Arahnya dan sudut kemiringan permukaan modul juga penting. Panel

surya biasanya dipasang pada struktur logam dengan sudut kemiringan tertentu (tetap atau bergerak mengikuti posisi matahari di langit).

Ada banyak jenis teknologi sel surya: monocrystalline (mono-Si), polycrystalline (p-Si), cadmium telluride (CdTe), CIGS, CIGSS, Amorphous Silicon (a-Si), dan lain-lain. Setiap teknologi memiliki kelebihan dan kekurangan, biaya dan rasio kinerja yang berbeda. Namun untuk saat ini, direkomendasikan untuk menggunakan jenis mono-Si dan p-Si untuk SITS karena lebih banyak tersedia di pasar dan kinerja mereka telah teruji lama.

Modul p-Si sedikit lebih murah daripada mono-Si tetapi memiliki kinerja yang lebih rendah. Untuk menghasilkan daya yang sama, luas area p-Si harus lebih besar karena efisiensinya sedikit lebih rendah dibanding mono-Si.

b) Kotak proteksi

Kotak pelindung sangat penting di semua lokasi SITS di mana tegangan operasi (pompa) lebih tinggi dari 120V. Seperti pada (Action Against Hunger International 2020). Kotak pelindung digunakan untuk:

- Melindungi peralatan dari kelebihan beban (sekering),
- Mematikan instalasi untuk melakukan perawatan melalui saklar utama ON / OFF,
- Melindungi instalasi dari sambaran petir (surge arrester),
- Membuat titik pusat peng-arde-an,
- Pada beberapa SITS daya tinggi, juga digunakan untuk menghubungkan string panel surya yang berbeda, dan mengakumulasi daya mereka dalam satu output yang akan memberi daya pada pengontrol atau inverter.

c) Kontroler pompa atau inverter pompa surya

Pengontrol pompa adalah penghubung antara generator surya dan pompa dan menyesuaikan frekuensi keluaran waktu nyata menurut tingkat radiasi yang berlaku. Kontroler modern menggabungkan elektronika daya efisiensi tinggi dan memanfaatkan Teknologi Power Point Tracking Maksimum (MPPT) untuk memaksimalkan penggunaan daya dari generator surya. Inovasi teknologi inverter DC / AC telah menyediakan inverter khusus untuk pompa yang dapat menggerakkan motor AC biasa. Penting untuk diketahui kombinasi inverter dan motor yang tidak sesuai mungkin mengurangi umur motor AC.

Motor pompa listrik SITS pada umumnya menggunakan arus searah (DC) atau sumber arus bolak-balik (AC). Motor DC terutama digunakan untuk irigasi ukuran kecil sampai sedang, sementara motor AC sering digunakan di mana kombinasi output/head yang lebih tinggi diperlukan. Karena motor DC cenderung punya efisiensi yang lebih tinggi daripada motor AC dengan ukuran yang sama, motor DC sering menjadi pilihan pertama produsen SITS. Secara khusus, motor DC brushless yang dapat diisi air disukai karena bebas perawatan dan tidak sering start/stop.

Pengontrol pompa atau inverter pompa surya keduanya memiliki fungsi yang sama, yaitu untuk mengoperasikan pompa. Merujuk pada (Action Against Hunger International 2020), nama yang berbeda (pengontrol pompa dan inverter) disesuaikan dengan jenis pompa yang digerakkannya:

- Pompa kecil (< 2kW atau 3HP) digerakkan oleh arus searah (DC) dan digerakkan oleh variasi tegangan.
- Pompa sedang dan berat (> 4kW atau 5,5HP) digerakkan oleh arus bolak-balik (AC) dan dikendalikan oleh variasi frekuensi. Untuk

memungkinkan hal ini, arus DC dari panel-panel harus dibolak-balik atau dibalik, oleh karena itu dinamakan inverter pompa,

- Untuk daya menengah (antara 2kW dan 4kW), dapat digunakan pompa DC atau pompa AC, atau pompa yang mendukung kedua jenis tegangan.

Dengan pengontrol pompa, kecepatan putaran pompa dikendalikan oleh tegangan suplai: semakin tinggi tegangan, semakin tinggi kecepatan putaran pompa. Pengontrol pompa berukuran kecil, memiliki setidaknya satu tombol ON/OFF, tampilan yang menunjukkan status pompa, dan kesalahan yang menyebabkan pompa mati.

Dengan inverter pompa surya, kecepatan putaran pompa dikontrol oleh frekuensi tegangan AC (dalam Hertz). Oleh karena itu, inverter surya akan menghasilkan frekuensi bervariasi tergantung pada tegangan DC yang diterimanya dari panel. Biasanya, inverter pompa surya akan menyalakan pompa pada frekuensi minimal 25Hz bila hanya ada sedikit sinar matahari. Frekuensi akan meningkat sesuai sinar matahari, dan dengan demikian tegangan DC panel surya meningkat, untuk akhirnya mencapai frekuensi maksimum 50Hz (atau 60Hz tergantung pompa) pada jam sibuk. Oleh karena itu, tidak mungkin menggunakan inverter yang dirancang untuk memberi daya pada bangunan, untuk pompa surya. Inverter untuk bangunan dirancang untuk mengirimkan frekuensi tetap 50 atau 60 Hertz (frekuensi jaringan dan generator). Jika tetap menggunakan inverter bangunan untuk pompa, maka pompa hanya akan bekerja dengan frekuensi tetap 50Hz atau 60Hz (daya maksimumnya), dan ketika tegangan panel tidak cukup untuk memungkinkan inverter menghasilkan 50Hz (pagi, sore, berawan) pompa tidak akan bekerja. Oleh karena itu, tidak akan tercapai potensi penuh pemompaan tenaga surya, yang tujuan utamanya adalah menyediakan air meskipun hanya ada sedikit sinar

matahari. Untuk kebanyakan inverter pompa tenaga surya, dimungkinkan (atau bahkan perlu) untuk mengatur frekuensi awal minimum; maksimal frekuensi dengan daya penuh; kekuatan pompa; jenis permulaan; jenis probe ketinggian air rendah. Gambar 13 memperlihatkan inverter pompa tenaga surya.

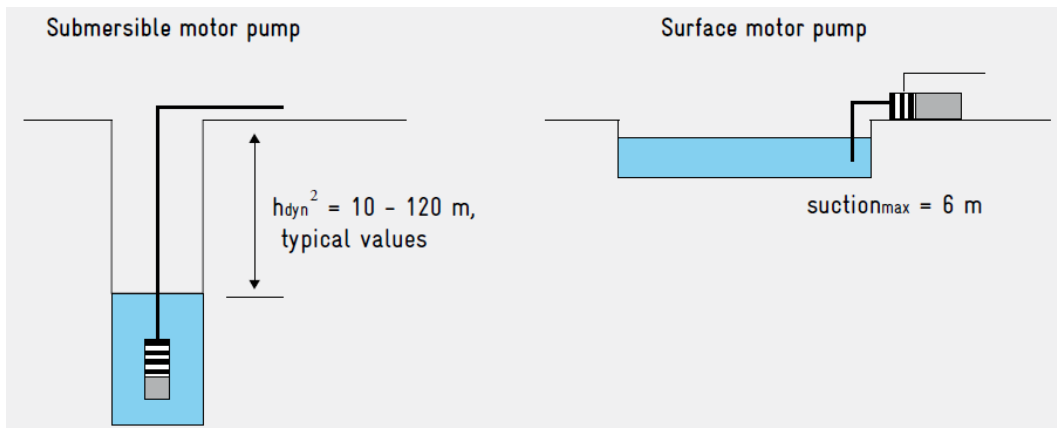


Gambar 13. Contoh inverter pompa surya (Action Against Hunger International 2020).

c) Pompa Air

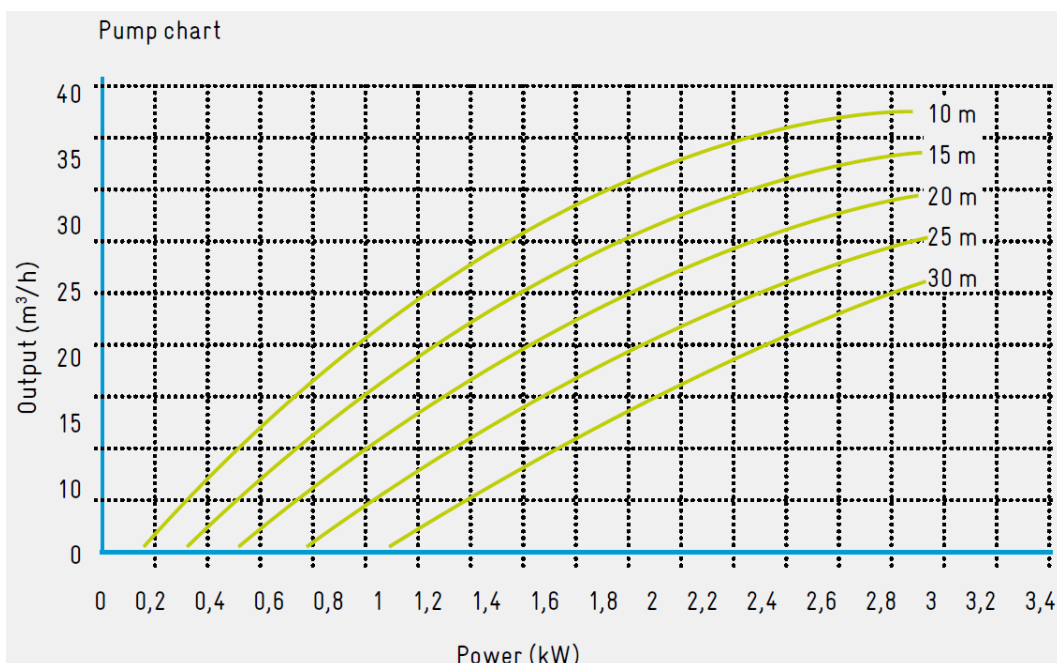
Motor listrik menyediakan energi rotasi untuk menggerakkan pompa. SITS menggunakan dua jenis pompa utama: perpindahan positif dan sentrifugal. Pompa perpindahan positif dibagi menjadi pompa rotor volumetrik dan rotor heliks. Secara garis besar, pompa perpindahan positif cocok untuk laju aliran yang lebih rendah dan head pemompaan sedang hingga tinggi (30–250 m), sedangkan pompa sentrifugal cocok untuk laju aliran tinggi dan head pemompaan yang lebih rendah (10–120 m). Dalam pompa perpindahan positif, pompa rotor heliks sangat cocok untuk operasi dengan tingkat radiasi matahari rendah dan bervariasi, karena dapat memompa dengan kecepatan rendah tanpa kehilangan efisiensi, tidak seperti pompa sentrifugal, yang tidak menghasilkan air di bawah kecepatan ambang batas dan karenanya jauh kurang efisien pada iradiasi rendah atau bervariasi.

Jika ditinjau dari sumber airnya, ada dua kemungkinan pemasangan, yaitu pompa submersible (celup) dan pompa permukaan (Gambar 14).



Gambar 14. Dua pilihan untuk pemasangan pompa air pada SITS (Sass and Hahn 2020).

Untuk memilih jenis pompa, yang tepat, contoh karakteristik motor pompa pada Gambar 15 dapat dijadikan acuan. Pada grafik diperlihatkan besar daya pompa yang dibutuhkan untuk head yang tersedia (m) dan debit air yang diinginkan (m^3/h).



Gambar 15. Contoh karakteristik motor pompa (Sass and Hahn 2020).

Pompa air digerakkan oleh motor listrik, yang mengubah energi listrik (dalam hal ini diproduksi oleh panel PV) menjadi energi mekanik. Kebanyakan motor biasanya bekerja pada arus searah (DC) atau arus bolak-balik (AC).

Motor DC menarik untuk aplikasi SITS karena modul PV yang menghasilkan arus searah dapat langsung disambungkan ke motor dengan pengkondisian daya terbatas. Ini menjadikannya sebagai pilihan ekonomis untuk sistem dengan kebutuhan air rendah dan jarak kabel pendek antara panel panel PV dan motor. Namun, untuk pemasangan kabel jarak jauh, motor DC tegangan rendah tidak cocok karena kehilangan daya pada kabel. Motor DC saat ini tidak tersedia pada kapasitas di atas 5 kW.

Motor AC dapat digunakan dalam sistem SITS yang lebih besar, meskipun membutuhkan inverter DC/AC.

d) Tangki Penyimpanan Air

Jika diperlukan, tangki penyimpanan air dapat dibangun untuk mengumpulkan air yang ditarik oleh pompa selama matahari bersinar. Ada banyak cara untuk menyimpan air, misalnya waduk galian terbuka sederhana, tangki beton dan plastik, dan tangki logam yang mahal.

e) Sistem Pemantauan

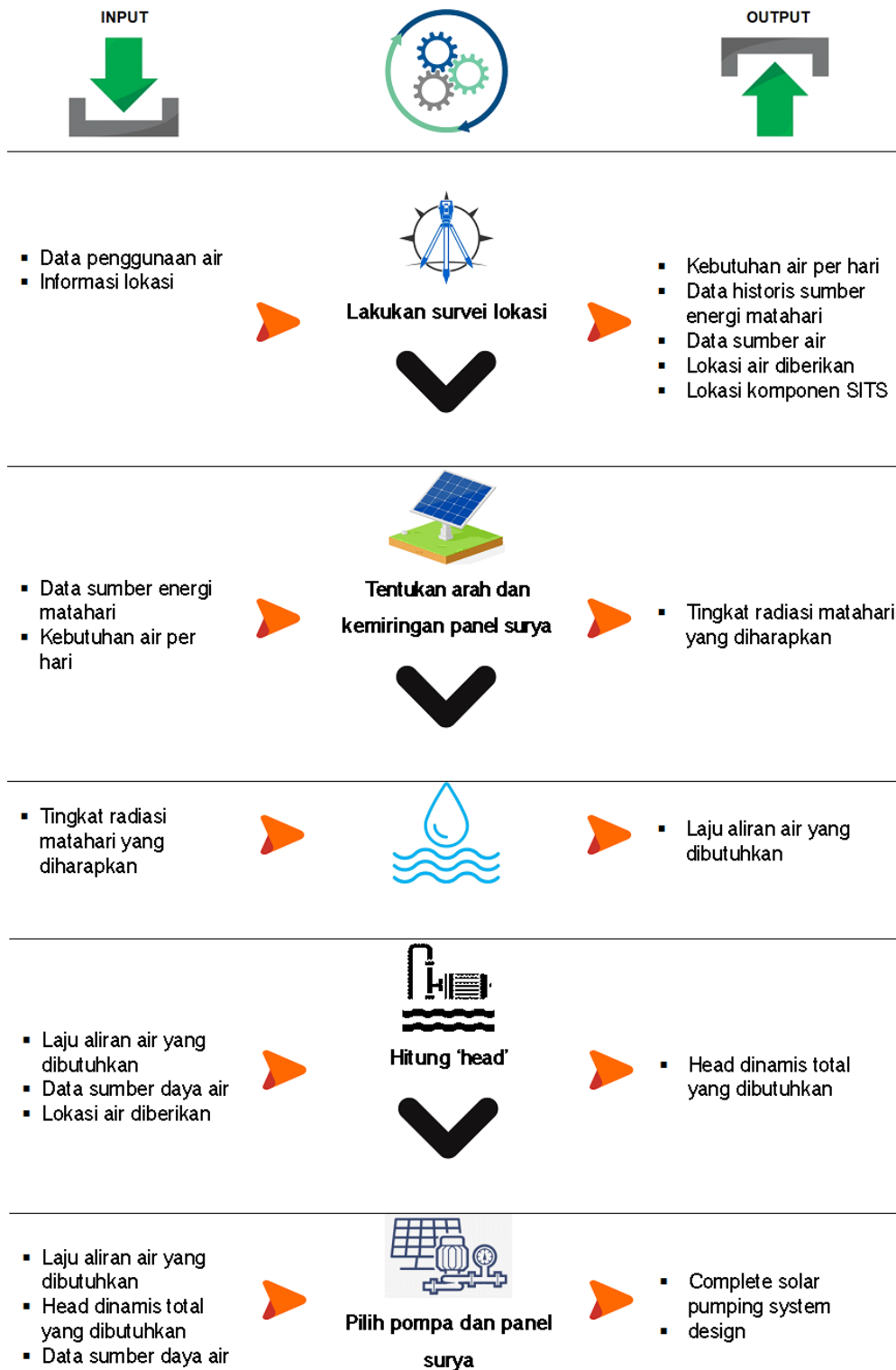
Jika diperlukan, sistem pemantauan (*monitoring*) dapat dipasang (dengan biaya tambahan) untuk mengawasi dan mengelola SITS. Tugas utama sistem pemantauan adalah menyediakan data sistem untuk pengujian kinerja sistem, mengendalikan penyediaan dan konsumsi air, dan sebagainya.

2.2. Perancangan Irigasi dengan Energi Terbarukan

2.2.1. Konsep Umum

SITS adalah sistem yang relatif kompleks. Desain SITS tidak hanya membutuhkan sistem pompa PV yang sesuai untuk tujuan dan infrastruktur irigasi (sisi *supply*), tetapi juga penilaian kebutuhan air dan kalender irigasi (sisi *demand*). SITS juga membutuhkan keterampilan dan pengetahuan di pihak pengguna akhir. Kebutuhan air tambak garam berubah karena cuaca dan saat produksi naik atau turun.

Gambar 16 menunjukkan langkah-langkah dalam merancang sebuah SITS.



Gambar 16. Langkah-langkah dalam merancang SITS (reproduksi dari (Sallam et al. 2019)).

Dalam perancangan SITS, tidak jarang terjadi kesalahan yang dilakukan oleh desainer. Beberapa kesalahan yang paling sering dilakukan ditunjukkan pada Tabel 2 (Action Against Hunger International 2020).

Tabel 2 – Kesalahan utama yang sering dilaporkan selama dan setelah pelaksanaan proyek SITS.

Kesalahan	Sumber Kesalahan	Akibat
Jenis pompa salah	SITS dirancang sebagai sistem pompa standar (dengan generator), namun sumber energi diganti dengan generator surya.	SITS berkinerja buruk. Peralatan yang disediakan tidak sesuai dengan persyaratan pemompaan tenaga surya.
Tidak adanya kontroler pompa	Beberapa pompa diberi daya DC sehingga dapat disuplai langsung oleh panel PV tanpa konversi. Tapi pengontrolnya tidak dipasang.	Keausan pompa terjadi lebih cepat.
Catu daya pompa dari inverter yang dirancang untuk gedung, memproduksi 220V - 50Hz	Pump hanya bekerja pada daya maksimum. Saat radiasi matahari tidak cukup untuk pompa bekerja pada daya maksimum, pompa tidak akan bekerja.	Pompa tidak bekerja dalam kondisi radiasi rendah (pagi/sore/berawan). Kerugian lebih dari 50% potensi pemompaan.
Penggunaan baterai untuk memompa pada malam hari atau saat radiasi terlalu rendah	Pemasangan inverter yang dirancang untuk memberi daya pada bangunan, bukan sistem pompa (lihat di atas).	Penambahan peralatan yang tidak perlu, mahal untuk diperbarui. Jika perlu air di luar jam sinar matahari, simpan air di menara air.
Generator surya terlalu kecil	Ukuran pompa sesuai dengan kebutuhan laju aliran harian dan head total, namun jumlah Modul surya terlalu kecil.	Pompa bekerja dengan kecepatan rendah, dan kinerja yang diharapkan tidak tercapai.

Tidak adanya proteksi listrik	Setiap modul surya menghasilkan tegangan rendah 12 atau 24V, sehingga dianggap tidak berbahaya. Desainer sering mengabaikan pelindung listrik (sekring, pemutus sirkuit, dan lain-lain). Namun untuk SITS, tegangan kumulatif panel mampu mengoperasikan pompa, sehingga tegangan bisa di atas 120V bahkan 500V, yang berbahaya.	Risiko sengatan listrik bagi pengguna. Risiko kerusakan peralatan.
Tidak ada sensor ketinggian air rendah	Sebagian pompa memiliki perlindungan dari operasi vakum (tanpa air) karena dilengkapi dengan sensor yang menghentikan pompa saat sumur kosong. Tetapi Sebagian pompa dipasang tanpa sensor.	Kerusakan pompa karena sumur kosong.

2.2.2. Konfigurasi SITS

Tergantung dari sumber air yang tersedia (sumur atau air permukaan) dan kondisi spesifik lokasi, SITS dapat didesain dengan konfigurasi teknis yang berbeda (Tabel 2).

Sebagai contoh, pada SITS nomor 3 – irigasi permukaan langsung, pompa surya langsung terhubung ke sistem irigasi. Air permukaan digunakan untuk tujuan irigasi. Gambar 17 menunjukkan pompa sentrifugal yang mampu menarik 450 m³ / hari ke permukaan. Dibandingkan dengan pompa celup, pompa permukaan lebih mudah dipasang dan dirawat. Keuntungan lainnya adalah kemungkinan untuk memasang katup di sisi isap pompa, yang dapat digunakan untuk memasukkan pupuk dengan mudah.



Gambar 17. Pompa permukaan berkinerja tinggi (Sass and Hahn 2020).

2.2.3. Perencanaan dan Ukuran SITS

Pada dasarnya, perencanaan dan penentuan ukuran SITS berarti menyesuaikan antara pasokan dan permintaan. SITS dengan kapasitas yang tidak mencukupi tidak akan memuaskan kebutuhan petani dan sistem yang berukuran berlebihan akan menambah biaya modal dan operasi yang tidak perlu. Oleh karena itu, pengumpulan data dan desain sistem akhir harus dilakukan dalam kerjasama erat dengan petani sebagaimana diuraikan berikut menurut (Sass and Hahn 2020).

a) Pengumpulan Data Desain

Untuk desain SITS yang tepat, diperlukan data dan informasi yang cukup. Data yang dibutuhkan mencakup data spesifik lokasi dan meteorologi, kondisi tanah, ketersediaan air dan kualitas serta aspek tanam sebagaimana dirangkum Tabel 3 (Sass and Hahn 2020).

Tabel 3 - Data yang dibutuhkan untuk merancang SITS

Meteo	Lokasi	Tanaman	Tanah	Air	Data Pasar
Radiasi	Lintang	Jenis tanaman	Jenis tanah	Ketersediaan	<i>Harga jual</i>
Suhu	Bujur	Musim tumbuh	Salinitas	Kepemilikan	<i>Jenis dan jarak pasar</i>
Kecepatan angin	Ketinggian	Rotasi tanaman	Kapasitas menahan air	Salinitas	
Kelembaban	Sumber air	Kebutuhan air	Kandungan material organik	Suhu	
Penguapan	Head	Kedalaman akar	Kesuburan	Kandungan alga	
<i>Curah hujan</i>	Bayang-bayang	Kebutuhan pupuk		Kandungan endapan	
	Iklim	<i>Kebutuhan perlindungan</i>		<i>Pengisian ulang air tanah</i>	
	Terain				

Data yang dicetak miring bersumber dari (Sallam et al. 2019).

Selain data di atas, diskusikan juga dengan petani bulan desain (*design month*), yaitu bulan dalam tahun dengan kebutuhan air tertinggi dan/atau radiasi matahari terendah.

b) Menentukan Ukuran Pompa

Ukuran pompa dapat dihitung menggunakan langkah-langkah di bawah ini menurut (Wiginton, Nguyen, and Pearce 2010).

Langkah 1: Menentukan Laju Aliran Minimum yang Diinginkan.

Untuk menghemat biaya, ukuran pompa seharusnya sekecil mungkin, namun masih dapat memenuhi kebutuhan air. Sebagai bagian dari proses untuk menentukan pompa terkecil yang dibutuhkan, pertama-tama perlu ditentukan laju aliran minimum yang diinginkan untuk mengoperasikan sistem. Untuk irigasi, laju aliran minimum ini ditentukan oleh kebutuhan air irigasi, yang ditentukan oleh faktor-faktor seperti jumlah curah hujan, jenis tanaman, tahap pengembangan tanaman, zona iklim, dll. Selain itu, laju aliran ini juga bergantung pada jumlah jam tersedianya sinar matahari dalam sehari.

Langkah 2: Menentukan Laju Aliran Maksimum yang Diizinkan

Di sisi lain, juga perlu ditentukan pompa terbesar yang dapat dipasang. Hal ini terkait dengan laju aliran maksimum yang diperbolehkan untuk mengeluarkan air dari sumur dangkal. Sumur membatasi berapa banyak air yang dapat dipompa darinya dalam jangka waktu tertentu. Saat air dikeluarkan dari sumur, setiap sumur juga memiliki kecepatan alami melakukan pengisian ulang air tanah yang bergantung pada formasi geologi dan konstruksi sumur.

Langkah 3: Menentukan Hubungan Head vs Laju Aliran untuk SITS

Setelah menentukan batas bawah dan atas untuk laju aliran titik operasi yang diinginkan, perlu ditentukan head operasi yang sesuai dengan kedua laju aliran tersebut.

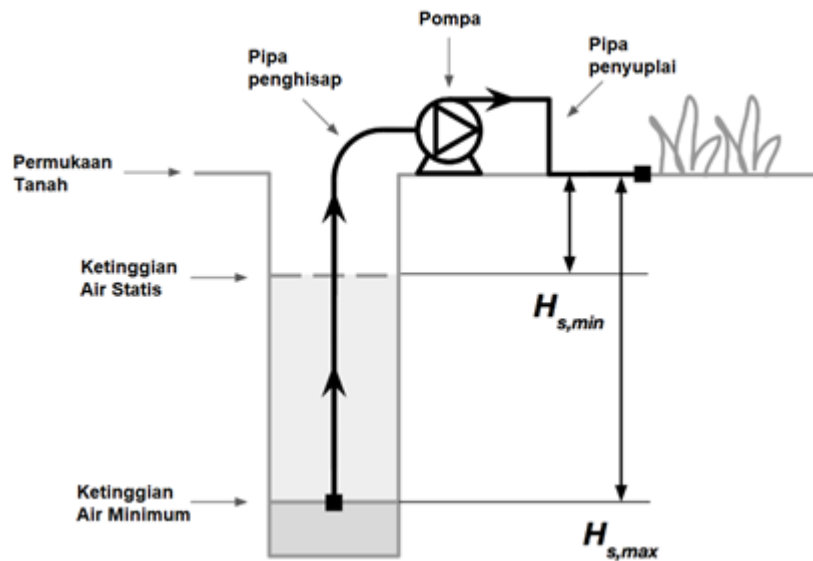
Secara umum, tujuan pompa adalah untuk memindahkan fluida – dalam hal ini air - melalui sistem dengan laju aliran yang diinginkan. Laju aliran yang diinginkan ditentukan oleh aplikasi khusus, misalnya irigasi sawah atau tambak udang, dari sistem air sumur dangkal. Pompa harus menyediakan head yang cukup untuk mengatasi head operasi dari sistem tempatnya dipasang. Head operasi dapat dibayangkan sebagai jumlah

hambatan yang mencegah air mengalir dari sumur dan melalui pipa sampai ke saluran keluar pipa tempat tanaman atau udang. Head operasi bergantung pada (1) aliran air melalui sistem dan (2) pengaturan sistem.

Pengaturan sistem melibatkan spesifikasi perpipaan (misalnya panjang, katup, fitting, sambungan) serta perubahan ketinggian dari titik awal air dipompa, ke titik pembuangan air dari ujung pipa ke bidang irigasi atau tambak udang. Untuk menentukan head operasi yang sesuai dengan kedua laju aliran yang ditemukan di Langkah 1 dan 2, perlu ditentukan hubungan karakteristik antara (total) head dan laju aliran untuk SITS. Untuk sistem pemompaan, total head sistem, H_{total} , terdiri dari head statis, H_s , dan head dinamis, H_d :

$$Q_{min} = \frac{\text{Kebutuhan air per hari } (\frac{m^3}{\text{hari}})}{PSH} \dots\dots\dots (1)$$

Satuan head adalah meter. Head statis murni ditentukan oleh elevasi yang harus dilalui air, dari ketinggian permukaan air di sumur, ke ketinggian di mana air dibuang ke ladang irigasi atau tambak. Karena permukaan air di sumur dangkal turun secara signifikan selama pemompaan, kita perlu mempertimbangkan dua kondisi yang berbeda dari ketinggian air di sumur yang menentukan head statis. Seperti yang digambarkan pada Gambar 18, kita perlu mempertimbangkan (1) tinggi muka air statis dan (2) muka air minimum.



Gambar 18. Skema SITS sumur dangkal dengan pompa sentrifugal permukaan (Green et al. 2017)

Ketinggian air statis sumur adalah ketinggian air “normal” di dalam sumur saat sumur penuh dan sebelum pemompaan terjadi. Ketinggian air minimum adalah tingkat keamanan di mana kita ingin menghentikan pemompaan, biasanya ini sekaligus menjadi posisi ujung pipa penghisap. Tingkat keamanan perlu diperhatikan, sebab ketika permukaan air di dalam sumur surun hingga ke ujung pipa penghisap, pompa akan mengambil udara bersama air, yang dapat mengikis bagian-bagian di dalam pompa. Oleh karena itu, ujung pipa penghisap paling bawah harus selalu tercelup di dalam air untuk mencegah kerusakan pompa. Nilai minimum untuk head statis adalah $H_{s,min}$ dan nilai maksimum untuk head statis adalah $H_{s,max}$.

Head dinamis ditentukan oleh aliran air melalui sistem, serta spesifikasi perpipaan. Saat air mengalir melalui sistem, akan terjadi *head losses* atau rugi-rugi head, yang dapat dikategorikan menjadi *major head loss* dan *minor head loss* (dari komponen dalam sistem perpipaan seperti katup,

fitting, dan sambungan). Head dinamis dapat ditentukan dengan persamaan berikut:

$$H_d = \text{Major head loss} + \text{Minor head loss} = \sum f \frac{L}{D} \frac{v^2}{2g} + \sum K \frac{v^2}{2g} \dots\dots(2)$$

Di mana:

f = Faktor gesekan Darcy - Weisbach (tak bersatuan)

K = Koefisien kerugian minor (tak bersatuan)

L = Panjang perpipaan (m)

D = Diameter perpipaan (m)

v = Kecepatan rata-rata air dalam perpipaan (m / s)

g = Akselerasi standar akibat gravitasi (m / s²)

Untuk mengetahui kecepatan rata-rata air dalam pipa, v, yang tetap konstan dalam aliran tanpa tekanan dan luas penampang pipa konstan, dapat digunakan persamaan berikut:

$$v = \frac{Q}{A} \dots\dots\dots(3)$$

di mana:

Q = Laju aliran melalui perpipaan (m³/s)

A = Luas penampang perpipaan (m²)

Faktor gesekan Darcy – Weisbach, f , untuk aliran turbulen melalui pipa bundar dapat digunakan persamaan Haaland:

$$f = \left[1,8 \log \left(\frac{6,9}{Re} + \frac{\varepsilon/D^{1.11}}{3.7} \right) \right]^{-2} \dots\dots\dots(4)$$

Untuk kekasaran absolut dari perpipaan, ε , yang bergantung pada bahan perpipaan, nilainya dapat dicari dengan tabulasi. Yang berikut ini digunakan untuk menghitung bilangan Reynolds, Re , untuk aliran ini:

$$Re = \frac{\rho u D}{\mu} \dots\dots\dots(5)$$

di mana:

ρ = kerapatan air (kg/m^3)

μ = Viskositas dinamis dari air (kg/m^3)

Nilai densitas, ρ , dan viskositas dinamis, μ , berbeda antara air tawar dan air asin. Untuk mencari koefisien kerugian kecil, K , dapat dicari nilai tabulasi yang terkait dengan komponen perpipaan yang berbeda dan menjumlahkannya.

Setelah nilai-nilai $H_{S,\min}$, $H_{S,\max}$, dan H_d ditentukan, selanjutnya dapat dihitung total head minimum, $H_{\text{total},\min}$ dan total head maksimum, $H_{\text{total},\max}$, untuk sistem irigasi dangkal dengan:

$$H_{\text{total},\min} = H_{S,\min} + H_d \dots\dots\dots(6)$$

$$H_{\text{total},\max} = H_{S,\max} + H_d \dots\dots\dots(7)$$

Kehilangan tekanan juga dikonversi menjadi head di mana kehilangan tekanan 1 bar setara dengan 10 m (Tabel 4) (International Electrotechnical Commission 2011).

Tabel 4 - Tekanan dalam bar untuk aliran air yang setara

Head (m)	Tekanan (hPa)	Head (m)	Tekanan (hPa)	Head (m)	Tekanan (hPa)
5	0,49	40	3,92	75	7,36
10	0,98	45	4,41	80	7,85
15	1,47	50	4,91	85	8,34
20	1,96	55	5,40	90	8,83
25	2,45	60	5,89	95	9,32
30	2,94	65	6,37	100	9,81
35	3,43	70	6,87		

Langkah 4: Memilih pompa yang sesuai

Untuk menentukan kisaran ukuran pompa nominal yang akan dipilih untuk SITS, perlu mengetahui tenaga kuda (*horsepower*) yang sesuai dengan masing-masing dari dua titik operasi pompa. Tenaga kuda hidrolik, WHp, yang merupakan daya yang terkait dengan air pada titik pembuangan sistem, terkait dengan head total sistem dengan persamaan berikut:

$$WHp = \rho g Q H_{total} \dots\dots\dots(8)$$

Untuk menentukan tenaga kuda rem, BHp, yang merupakan masukan daya ke pompa, yang dikaitkan dengan masing-masing nilai tenaga kuda hidrolik yang telah ditentukan, dapat digunakan relasi berikut:

$$BHp = \eta \times WHP \dots\dots\dots(9)$$

di mana η adalah efisiensi pompa (tanpa satuan). Efisiensi pompa dapat ditemukan dari lembar spesifikasi pompa, atau dengan menguji pompa di fasilitas pengujian.

Sekarang kisaran tenaga kuda pompa telah dihitung, selanjutnya kita dapat memilih pompa yang sesuai untuk SITS sumur dangkal dari ukuran-ukuran pompa dengan tenaga kuda nominal berada dalam kisaran ini. Jika pompa yang dijual di pasar menggunakan satuan Watt, maka gunakan persamaan berikut untuk mengubah tenaga kuda menjadi Watt:

$$1 \text{ Hp} = 745,7 \text{ Watt} \dots\dots\dots(10)$$

b) Rating daya pompa

Secara umum, aliran air dari pompa yang dipasang sama dengan 20% (1/5) dari kebutuhan energi harian. Kita dapat menghitung daya pompa dengan rumus sebagai berikut (Action Against Hunger International 2020):

$$\text{Rating daya pompa P1} = \frac{E1}{5} \dots\dots\dots (11)$$

c) Kebutuhan energi listrik per hari

Tujuan dari proyek SITS adalah mengangkat sejumlah air pada ketinggian tertentu, setiap hari. Ini membutuhkan kuantitas energi mekanik (E2). Untuk menghitung besarnya energi listrik yang akan disuplai ke pompa

motor (E1), perlu memperhitungkan kinerja pompa, yang bervariasi sesuai dengan jenis pompa. Jika efisiensi pompa tidak diketahui, nilai referensi pada Tabel 5 (Action Against Hunger International 2020) akan digunakan:

Tabel 5 – Performance ratio beberapa jenis pompa air

Jenis Pompa	Volumetrik	Sentrifugal (< 2 PK)	Sentrifugal (> 2 PK)
Performance ratio	0,6	0,4	0,6

Persamaan (12) adalah rumus untuk menghitung energi listrik per hari yang dibutuhkan oleh pompa dalam Watt-jam per hari (Wh/hari) (Action Against Hunger International 2020). Di dalam rumus ini, TH adalah total head, yang merupakan penjumlahan antara ketinggian tangki, kedalaman sumur dan kehilangan tekanan (setiap 1 bar setara dengan 10 m).

$$\text{Energi listrik per hari (E1)} = \left(\frac{\text{Volume air (m}^3\text{/hari} \times \text{TH (m)} \times 2,725)}{\text{Performance ratio pompa}} \right) \dots\dots\dots (12)$$

c) Menghitung Ukuran Generator Surya

Tergantung dari status proyek, ada tiga pendekatan desain direkomendasikan, yaitu: menggunakan aturan praktis; menggunakan sistem berbasis EXCEL; dan desain dan simulai berbasis komputer yang kompleks.

Ukuran generator surya diperkirakan berdasarkan data berikut, yaitu:

- Kebutuhan air tanaman harian, V_d [m³ / hari];
- Total head pompa, HT [m];
- Radiasi matahari global harian, G_d untuk bulan desain [kWh / m² hari].

Energi listrik yang dihasilkan oleh generator surya diberikan oleh:

$$E_{el.} = \frac{F_{CP}}{1000 \text{ W/m}^2} * P_{peak} * G_d \dots\dots\dots (13)$$

di mana:

P_{peak} : Daya puncak generator surya dalam Watt

G_d : Radiasi global harian dalam Wh/m^2 hari

FC_p : Koreksi suhu tenaga puncak matahari (biasanya antara 0,8 di iklim panas dan 0,9 di iklim ringan).

Hubungan antara energi hidrolik di outlet pompa ($E_{\text{hydr.}}$) dan energi listrik pada masukan dari inverter / unit kontrol ($E_{\text{el.}}$) dijelaskan dengan efisiensi inverter dan pompa motor (η).

$$\eta = \frac{E_{\text{hydr.}}}{E_{\text{el.}}} \dots\dots\dots (14)$$

Jadi,

$$E_{\text{el.}} = \frac{E_{\text{hydr.}}}{\eta} = \frac{FC_p}{1000 \text{ W/m}^2} * P_{\text{peak}} * G_d \dots\dots\dots (15)$$

Akhirnya,

$$P_{\text{peak}} = \frac{E_{\text{hydr.}}}{\eta * FC_p * G_d} * 1000 \text{ W/m}^2 \dots\dots\dots (16)$$

Dengan asumsi efisiensi rata-rata 45% (pengontrol & pompa motor) dan koreksi suhu faktor 0,8 (iklim panas), ukuran generator surya ukuran dapat diperkirakan:

$$P_{\text{peak}} = 0,8 * \frac{HT * V_{\text{day}}}{G_d} \dots\dots\dots (17)$$

di mana:

P_{peak} [W]

HT [m]

V_{day} [m^3/day]

G_d [$\text{kWh}/\text{m}^2 \text{ day}$]

Menurut persamaan ini, dibutuhkan generator surya 2,4 kWp untuk mengalirkan air dengan kecepatan 30 m^3/d dengan head 50 m dengan total iradiasi global harian 5 kWh/m^2 hari.

2.2.4. Instalasi SITS

Instalasi SITS untuk tambak garam dapat dilakukan dengan berbagai pendekatan, sesuai dengan kondisi di lokasi dan permintaan petani. Salah satu pendekatan yang efisien adalah membangun platform terapung di laut seperti Gambar 19. Ditunjukkan bahwa platform menggunakan pelampung terbuat dari tabung-tabung besar yang kosong. Pada lantai platform diletakkan pompa, perangkat elektronika, dan baterai (jika ada). Generator surya dipasang sebagai atap yang sekaligus melindungi komponen-komponen dari hujan. Namun instalasi seperti ini hanya cocok di laut dengan air relatif tenang.

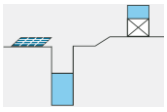
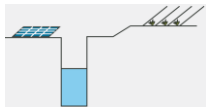
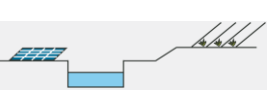
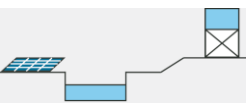
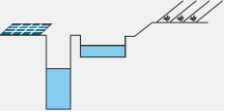



Gambar 19. Platform SIT di atas air (Sreewirote and Leelajindakrairerk 2016).

Di laut dengan gelombang tinggi pada musim angin, seperti di pantai Selatan Pulau Jawa, pendekatan menggunakan platform di atas mungkin tidak sesuai. Sebagai alternatif, platform tidak dipasang di atas air, tapi di atas roda atau

peluncur. Tujuannya adalah supaya platform bisa dipindahkan sehingga bisa digunakan secara bergantian di tambak-tambak berbeda yang sedang membutuhkan pengisian kolam.

Tabel 6 Konfigurasi paling umum dari SITS.

No. Sistem	#1	#2	#3	#4	#5	#5
						
Tipe	Sumur tangki air	Sumur irigasi langsung	irigasi langsung permukaan	tangki air permukaan	Sumur, irigasi langsung permukaan	Termasuk irigasi PLTS on-grid
Karakter utama	Head rendah, tekanan stabil, waduk malam	head bervariasi, tekanan berubah, siang saja	head bervariasi, tekanan berubah, siang saja	head rendah, tekanan stabil, waduk malam	head bervariasi, tekanan berubah, siang saja	Tekanan sistem, 24 h / 7 hari
Irigasi	gravitasi	Langsung digerakkan oleh pompa	Langsung digerakkan oleh pompa	gravitasi	Langsung digerakkan oleh pompa	gravitasi atau langsung dengan pompa AC
	Drip/mikro	Drip/sprinkler	Drip/sprinkler	Drip/mikro	Drip/sprinkler	Semua jenis
Generator surya	Tetap	Pelacak surya atau metode lain	Pelacak surya atau metode lain	Tetap	Tetap, Pelacak surya atau metode lain	Tetap atau dengan pelacak surya
Motor pompa	Celup	Celup	Permukaan	Celup	Celup/permukaan	Semua pompa AC

BAB III METODOLOGI

3.1. Sasaran Strategis

Output yang diharapkan dari kegiatan pengabdian kepada masyarakat ini adalah rancangan sistem irigasi tenaga surya (SITS) untuk menyediakan air laut tambak garam di Desa Patutrejo. Output tersebut sekaligus akan berfungsi sebagai proposal yang dapat digunakan oleh petani sawah di Desa Patutrejo untuk mendapatkan pendanaan pembangunan SITS sesuai proposal.

Adapun objek yang menjadi sasaran strategis dalam kegiatan pengabdian kepada masyarakat ini adalah para petani tambak garam di Desa Patutrejo sebanyak hampir 10 kepala keluarga (KK) dan diperkirakan menjadi sekitar 100 KK dalam satu tahun ke depan.

3.2. Tahapan-Tahapan Kegiatan Pengabdian Kepada Masyarakat

Kegiatan pengabdian kepada masyarakat ini akan dilaksanakan dengan tahapan kegiatan sebagai berikut:

- Persiapan kegiatan.
- *Focused group discussion (FGD)* awal.
- Perancangan sistem SITS dan analisis ekonomi.
- *Focused group discussion (FGD)* tengah.
- Penyempurnaan desain sistem SITS.
- Penyusunan laporan dan proposal.
- *Focused group discussion (FGD)* akhir.

3.2.1. Persiapan kegiatan

Persiapan awal adalah kegiatan inisiasi dan pengumpulan data awal. Pada tahap ini pihak pelaksana pengabdian membangun komunikasi dengan

pihak penerima (petani). Data umum juga dikumpulkan pada tahap ini baik dari media massa maupun dari pihak petani. Pada tahap persiapan ini diputuskan apakah kegiatan bisa dilanjutkan ke tahap berikutnya atau tidak?

3.2.2. FGD awal

Setelah diputuskan bahwa kegiatan bisa dilanjutkan, maka akan dilakukan FGS awal. Tujuan FGD awal adalah mengumpulkan data dan informasi lebih lengkap, tidak hanya untuk keperluan penulisan proposal, namun juga untuk keperluan desain SITS termasuk analisis ekonomisnya. Disebabkan pandemic Covid-19, FGD awal akan dilakukan secara online oleh pihak pelaksana dan penerima kegiatan pengabdian.

3.2.3. Perancangan SITS dan Analisis Ekonomi

Perancangan SITS akan dilakukan oleh pihak pelaksana kegiatan pengabdian. Detail proses perancangan telah dijelaskan pada Bagian 2.5.3. Hasil dari kegiatan ini adalah rancangan teknis SITS yang sesuai kondisi sawah di Desa Patutrejo dan permintaan petani. Rancangan teknis bersifat siap pakai. Selain rancangan teknis, pada tahap ini juga akan dilakukan analisis ekonomis, yang akan memperlihatkan potensi penghematan (atau justru pemborosan) dari SITS yang diusulkan.

3.2.4. FGD Tengah

Keterlibatan petani dalam pengambilan keputusan adalah salah satu kunci sukses dari kegiatan ini. Oleh sebab itu desain sistem akhir harus dilakukan dalam kerjasama erat dengan petani. Setelah rancangan teknis dan analisis ekonomis selesai, kembali dilakukan FGD untuk menyampaikan kepada petani hasil rancangan dan analisis. Dalam proses ini petani dapat memberikan masukan dan menyampaikan keinginan-

keinginan. FGD tengah akan dilakukan secara online oleh pihak pelaksana dan penerima kegiatan pengabdian.

3.2.5. Penyempurnaan desain sistem SITS

Berdasarkan masukan petani yang disampaikan pada saat FGD tengah, desain SITS diperbaiki dan analisis ekonomi dihitung kembali. Pekerjaan ini dilakukan oleh penyelenggara kegiatan pengabdian.

3.2.6. Penyusunan laporan dan proposal

Output dari kegiatan ini adalah laporan pengabdian dan proposal SITS di Desa Patutrejo. Laporan pengabdian akan dibutuhkan oleh penyelenggara kegiatan di UIN Suska Riau. Proposal SITS akan dibutuhkan oleh petani untuk mencari dana pembangunan SITS.

3.2.7. FGD akhir

FGD akhir adalah forum sosialisasi di mana pihak penyelenggara dan penerima bersama-sama memaparkan apa yang telah dihasilkan dalam kegiatan ini. Pada FGD akhir akan diundang pihak eksternal, yaitu pemerintah daerah, perusahaan-perusahaan lokal dan LSM. Pada kegiatan ini akan dipaparkan isi proposal SITS dengan tujuan menarik minat calon donatur. Jika memungkinkan, FGD akhir akan dilaksanakan di Desa Patutrejo.

3.3. Pelaksanaan kegiatan Pengabdian

Jadwal kegiatan pengabdian ini adalah sebagai berikut

- Persiapan kegiatan: Maret – April 2021.
- *Focused group discussion (FGD)* awal: April 2021
- Perancangan sistem SITS dan analisis ekonomi: April – Mei 2021.
- *Focused group discussion (FGD)* tengah: Mei 2021.

- Penyempurnaan desain sistem SITS: Mei – Juni 2021.
- Penyusunan laporan dan proposal: Juni – Agustus 2021.
- *Focused group discussion (FGD)* akhir: Agustus 2021.

3.4. Evaluasi Kegiatan

Evaluasi dimaksudkan untuk menilai apakah target-target dari setiap tahap kegiatan telah tercapai sesuai target waktu dan target kualitas? Evaluasi kegiatan pengabdian ini akan dilakukan secara berkesinambungan dari tahap awal sampai akhir. Evaluasi akan dikoordinir oleh Ketua Tim.

3.5. Output kegiatan pengabdian kepada masyarakat

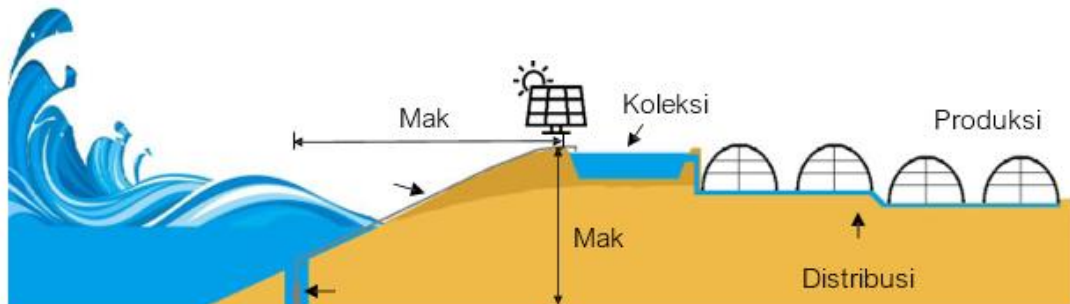
Output dari kegiatan pengabdian kepada masyarakat ini akan dievaluasi berdasarkan beberapa kriteria. Petani dan pemerintah desa akan diberikan kuesioner untuk mengukur kriteria sebagai berikut:

1. Perubahan wawasan penduduk desa tentang energi terbarukan sebagai pilihan yang lebih ramah lingkungan untuk sumber energi kegiatan ekonomi.
2. Perubahan yang dialami petani setelah selesai kegiatan pengabdian kepada masyarakat ditinjau dari aspek ekonomi (pemasukan).
3. Manfaat kegiatan pengabdian terhadap upaya desa menjadi Desa Berenergi Bersih dan Terbarukan.
4. Peluang replikasi kegiatan sejenis di desa-desa lain.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Infomasi Input

Gambar 20 menunjukkan diagram skematik SWPS, sedangkan Tabel 7 berisi informasi yang digunakan dalam merancang SWPS di Desa Patutrejo. Para petani memberikan semua informasi yang diperlukan. Kebutuhan air adalah 35 m^3 per hari yang diasumsikan serupa sepanjang tahun. Ketinggian vertikal antara posisi pompa submersible dan titik di mana air tumpah di kolam koleksi adalah 15 m. Panjang pipa dari outlet pompa ke pompa koleksi adalah 200 m. Panjang kabel dari pompa ke panel PV adalah 205 m. Untuk SWPS ini, pompa submersible sentrifugal akan digunakan, yang didorong oleh arus listrik DC.



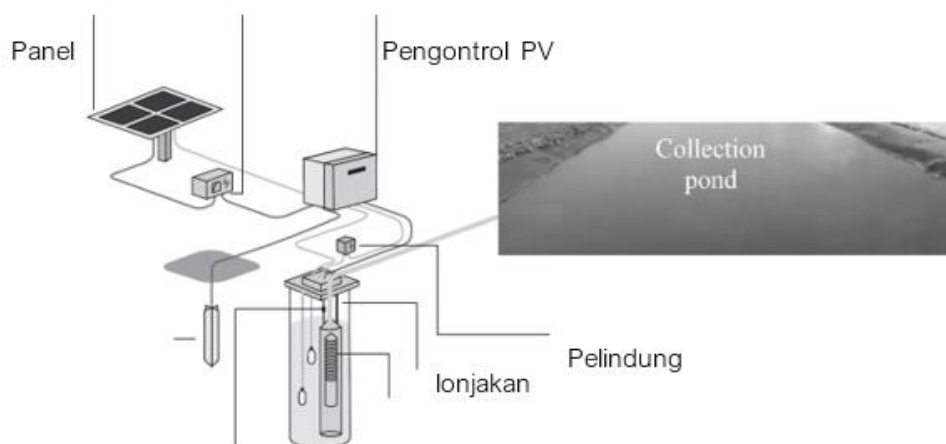
Gambar 20. Diagram skematik SWPS di Patutrejo.

Tabel 7 Design information

	Nilai Parameter
Lokasi	7.85° Selatan, 109.9° Timur
Kebutuhan air harian (m^3/hari)	35
Kepala statis (pengiriman) (m)	15
Pipa pengiriman (m)	200
Kabel motor (m)	205
Lokasipompa	Terendam dalam lubang bor
Lokasiarray PV Di	samping kolam penyimpanan

4.2. Desain Teknis

Hasil desain teknis SWPS untuk produksi garam di Desa Patutrejo ditunjukkan pada Gambar 21. Kapasitas total yang diperlukan dari panel PV adalah 900 Wp, yang dapat terdiri dari 18 modul 50 Wp masing-masing dalam 3 string paralel dengan modul seri 6. dalam setiap string. Panel PV dipasang pada sudut kemiringan 15° ke arah Utara. Ukuran pompa DC adalah 700 Watt. Selain itu, kabel motor 205 m dengan area penampang 35 mm^2 juga diperlukan, di mana kabel 3 fase digunakan sebagai kabel listrik dan kabel 1-Fase kabel adalah untuk grounding. Pipa plastik sepanjang 200 m dengan diameter dalam 50 mm digunakan untuk mengirimkan air dari pompa ke kolam koleksi. Sistem kontrol dan keamanan terdiri dari satu set pemutusan PV dan pelindung lonjakan.



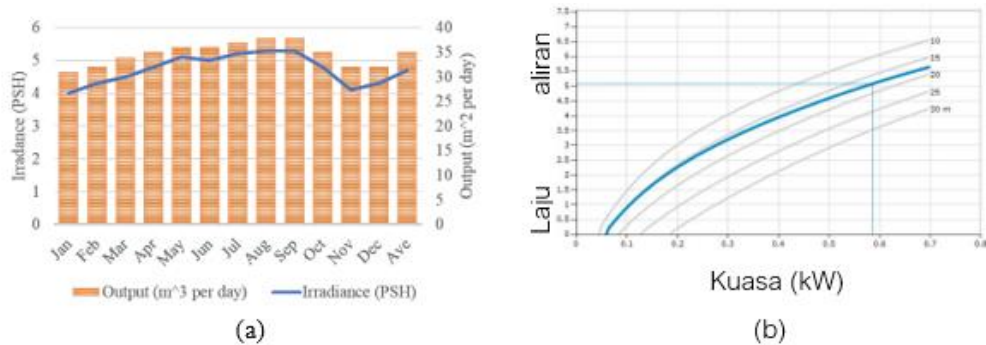
Gambar 21. Desain teknis SWPS untuk produksi garam di Desa Patutrejo.

4.3. Analisis Kinerja

Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 22 (a), SWPS memompa air sepanjang tahun dengan variasi musiman kecil, mulai dari 31 m^3 per hari pada bulan Januari (ketika radiasi sekitar 4. puncak sun hour / PSH) hingga 38 m^3 per hari pada bulan Agustus dan September (ketika radiasi sekitar 5,3 PSH). Volume rata-rata tahunan air yang dipompa adalah 35 m^3 per hari, atau sekitar 12.650 m^3 per tahun. Produksi air

yang lebih tinggi selama musim kemarau sesuai dengan target produksi garam, yang juga lebih tinggi.

Gambar 22 (b) menunjukkan kinerja pompa. Hal ini menunjukkan bahwa ketika radiasi adalah 800 Watt (tingkat rata-rata untuk Patutrejo), panel PV memiliki 586 W daya. Tingkat daya ini dapat memutar pompa secepat 2480 rpm (nilai maksimum adalah 2640 rpm) dan menghasilkan 5,1 m³ air per jam (nilai maksimum adalah 5.640 rpm) dan menghasilkan 5,1 m³ air per jam (nilai maksimum adalah 5.640 rpm). 6 m³ per jam). Dengan demikian efisiensi pompa adalah 39% (dari nilai maksimum 47%). Dapat disimpulkan bahwa, dengan radiasi sehari-hari, sistem SWPS di Patutrejo akan bekerja dengan baik.



Gambar 22. Analisis kinerja SWPS di Desa Patutrejo: (a) radiasi dan output air, (b) pump.

4.4. Analisis Ekonomi

Total biaya modal yang dibutuhkan untuk membangun SWPS untuk menyediakan kebutuhan air yang cukup untuk lokasi produksi garam di Desa Patutrejo sekitar Rp. 90 juta (termasuk Pajak Pertambahan Nilai 10%). Biaya tidak mencakup perpipaan dan pagar. Karena biaya operasional yang ada sekitar Rp. 9,5 juta per tahun, periode pengembalian sederhana (SPP) dapat dihitung sebagai 9,5 tahun. Periode SPP cukup panjang, terutama karena ukuran sistemnya kecil dan hanya terdiri dari satu proyek. Biaya modal (per sistem) bisa lebih rendah jika beberapa sistem dipasang secara bersamaan, yang juga merupakan prinsip skala ekonomi. Juga, SPP akan lebih pendek jika kenaikan harga bahan bakar

di masa depan diperhitungkan. Meskipun harga minyak berfluktuasi dari waktu ke waktu, data dari tahun 1986 hingga 2021 menunjukkan kenaikan harga minyak yang jelas. Harga rata-rata minyak pada tahun 1986 adalah \$ 15 / barel. Pada Bulan Agustus 2021, harga minyak mentah Brent rata-rata \$ 71 / barel [8]. Amerika Serikat. Istration Admin Informasi Energi [9] memperkirakan bahwa, pada tahun 2030, harga nominal minyak mentah Brent akan naik menjadi \$ 89 / barel, \$ 132 / barel pada tahun 2040, dan \$ 185 / barrel pada tahun 2050.

Biaya modal dapat diberikan melalui beberapa pendekatan. Mengingat situasi di Indonesia, hibah akan menjadi sumber pendanaan karena petani kecil biasanya menjalankan bisnis untuk memenuhi kebutuhan hidup yang penting. Hibah bisa berasal dari pemerintah, non-pemerintah, dan lembaga internasional. Pendekatan lain adalah pinjaman lunak dari lembaga keuangan. Kami menyarankan bahwa hibah akan menjadi model keuangan yang ideal untuk SWPS di Indonesia. Namun, untuk memastikan keberlanjutan, petani harus berkontribusi untuk menyediakan biaya operasional dan biaya untuk penggantian komponen.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Biaya pembangunan SWPS untuk produksi garam di Desa Patutrejo cukup mahal dibandingkan dengan biaya operasional yang dikeluarkan petani saat ini. Biaya modal dapat diberikan melalui hibah atau pinjaman lunak. Namun, SWPS dapat menjadi pilihan yang menarik jika kekurangan bahan bakar yang sering dialami oleh petani dipertimbangkan, dan biaya (uang dan waktu) jam kerja yang panjang. Antrian untuk mendapatkan bahan bakar dihitung. SWPS praktis tanpa membutuhkan bahan bakar. Harga BBM yang akan lebih mahal ke depannya, jika diperhatikan, akan membuat sistem SWPS secara finansial lebih menarik. Titik kuat dari SWPS adalah bahwa modul PV dapat beroperasi selama 20 hingga 25 tahun menggunakan energi matahari gratis. Hal ini dapat dicapai dengan praktek O &M yang baik, sedangkan pertanian harus diberikan pelatihan yang cukup dari O &M dari SWPS. SWPS menjanjikan solusi jangka panjang, praktis, andal, dan berkelanjutan bagi petani garam di Patutrejo.

Semua logam, kecuali emas, dapat menimbulkan korosi karena paparan garam. Untuk memasang SWPS di dekat laut, dalam jarak kurang dari 200 meter dari pantai, perlu untuk mengamati standar ketahanan garam untuk panel surya. Sebagian besar modul surya Tier 1 tahan garam. Sebagai bagian dari panduan, IEC 61701 mengatur pemasangan sistem tenaga surya di dekat laut. Korosi dari uap garam juga dapat dicegah dengan mengecat semua permukaan logam.

Penelitian lebih lanjut harus membahas lebih detail tentang perbandingan biaya antara produksi garam menggunakan metode (diesel) yang ada dibandingkan dengan SWPS sebagai sumber energi serta Efek dari

metode yang berbeda dalam produksi energi pada harga garam di pasar.

DAFTAR PUSTAKA

- Hartung, Hans, and Lucie Pluschke. 2018. "The Benefits and Risks of Solar-Powered Irrigation - a Global Overview." Genewa.
- Jatilor. 2021. "SDGs Desa : Pengertian, Tujuan Dan Sasaran." 2021. <https://desajatilor.grobogan.go.id/2-berita-terbaru/165-sdgs-desa-pengertian-tujuan-dan-sasaran>.
- Kementerian Desa PDT dan Transmigrasi. 2020a. "Inovasi Sosiopreneur Dari Desa Krandegan." 2020. <http://contoh.kemendesa.go.id/2020/09/30/inovasi-sosiopreneur-dari-desa-krandegan/>.
- . 2020b. "SDGs Desa." 2020. <https://sdgsdesa.kemendesa.go.id/sdgs-desa/>.
- . 2021. "Rekomendasi IDM 2020." 2021. <https://idm.kemendesa.go.id/>.
- Kementerian PUPR. 2017. *Modul Pelatihan Umum Irigasi*. Jakarta: Kementerian PUPR.
- Kunaifi, K, AJ Veldhuis, and AHME Reinders. 2020. *The Electricity Grid in Indonesia: The Experiences of End-Users and Their Attitudes Toward Solar Photovoltaics*. Switzerland: Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-38342-8>.
- Pusat Pendidikan dan Pelatihan Sumber Daya Air dan Konstruksi. 2017. "Modul Pengetahuan Umum Irigasi." 2017. https://simantu.pu.go.id/epel/edok/048d4_MDL_Pengetahuan_Umum_Irigasi.pdf.
- Sass, Jan, and Andreas Hahn. 2020. *Solar Powered Irrigation Systems (SPIS)*. Bonn: GIZ.
- Troldahl, David. 2018. *Rice Growing Guide 2018*. Sydney: NSW Department of Industry, Skills and Regional Development.

United Nations. 2020. "Sustainable Development Goals." 2020.
<https://sdgs.un.org/goals>.

Lampiran 1 Rencana Anggaran Biaya (RAB)

Total biaya yang dibutuhkan adalah sebesar Rp 58.100.000 (lima puluh delapan juta serratus ribu ruiah).

KEGIATAN/ SUB KEGIATAN/JENIS BELANJA	Volume	Satuan	Harga	Jumlah
Pra Kegiatan: Penyusunan Proposal				Rp 900,000.00
Nara sumber utama (1 Org x 1 Jam)	1	OJ	Rp 900,000.00	Rp 900,000.00
ATK				Rp 1,400,000.00
Toner printer laserjet	2	PKT	Rp 300,000.00	Rp 600,000.00
Kertas	2	RIM	Rp 50,000.00	Rp 100,000.00
Catridge Printer Warna	2	PKT	Rp 350,000.00	Rp 700,000.00
FGD Awal				Rp 6,150,000.00
Nara sumber utama (6 Org x 1 Jam)	6	OJ	Rp 900,000.00	Rp 5,400,000.00
Paket internet untuk Zoom	10	PKT	Rp 75,000.00	Rp 750,000.00
Perancangan SITS & analisis ekonomi				Rp 3,600,000.00
Nara sumber utama (4 Org x 1 Jam)	4	PKT	Rp 900,000.00	Rp 3,600,000.00
FGD Tengah				Rp 6,150,000.00
Nara sumber utama (6 Org x 1 Jam)	6	OJ	Rp 900,000.00	Rp 5,400,000.00
Paket internet untuk Zoom	10	PKT	Rp 75,000.00	Rp 750,000.00
Penyempumaan desain SITS & analisis ekonomi				Rp 3,600,000.00
Nara sumber utama (4 Org x 1 Jam)	4	PKT	Rp 900,000.00	Rp 3,600,000.00
Penyusunan Laporan & Proposal				Rp 3,600,000.00
Nara sumber utama (4 Org x 1 Jam)	4	PKT	Rp 900,000.00	Rp 3,600,000.00
FGD Akhir				Rp 32,700,000.00
Tiket Pesawat (4 Org)	4	PKT	Rp 3,000,000.00	Rp 12,000,000.00
Penginapan (4 Org x 3 hr.)	12	OH	Rp 550,000.00	Rp 6,600,000.00
Uang Harian (4 Org x 3 hr.)	12	OH	Rp 450,000.00	Rp 5,400,000.00
Rental mobi;	3	HR	Rp 1,100,000.00	Rp 3,300,000.00
Nara sumber utama (6 Org x 1 Jam)	6	OJ	Rp 900,000.00	Rp 5,400,000.00
TOTAL BIAYA				Rp 58,100,000.00

