



REKAYASA LISTRIK HYBRID UNTUK PENGAIRAN SAWAH TADAH HUJAN DI DESA DURI KEC. SLAHUNG PONOROGO

Mohammad Mohsin¹⁾, Didik Riyanto²⁾, Edy Kurniawan³⁾

^{1), 2), 3)} Teknik Elektro UMP Ponorogo

Jl Budi Utomo No 10 Ponorogo

Email : muh_muhsin@umpo.ac.id¹⁾, ndoroboys@gmail.com²⁾, kurniawardana@gmail.com³⁾

Abstrak

Sawah tadah hujan merupakan daerah pertanian yang sistem pengairannya bergantung pada musim hujan. Pada musim kemarau, areal pertanian tidak ditanami. Penduduk desa mencari nafkah di daerah pertanian. Di musim hujan, sebagian orang bercocok tanam, dan di musim kemarau, sebagian orang beralih ke pengusaha atau bekerja di kota. Hal ini berlangsung selama bertahun-tahun, dan untuk mengatasinya, para petani membangun sumur dan menggunakan mesin berbahan bakar fosil untuk memompa air. Menurut kasus yang ditemukan di Desa Duri, Kecamatan Slahung-Ponorogo, dibutuhkan teknologi yang tepat, yaitu teknologi pompa air listrik *hybrid*. Suatu pemecahan masalah pengairan sawah tadah hujan. Rekayasa pembangkit listrik tenaga surya menggunakan listrik *hybrid* merupakan pilihan alternatif yang bisa dilaksanakan. Berdasarkan hasil evaluasi perancangan panel surya ini menghasilkan energi sebesar 200 Wp dengan tegangan optimum 21,1 volt dan arus maksimum 9,0 A. Tegangan sel surya optimum rata-rata 20,42V saat panas dan tegangan pengisian 14,3Volt arus DC. Pada hari mendung, tegangan rata-rata 19,20 volt, dan tegangan pengisian 13,60 volt. Kapasitas sinar matahari 8 jam per hari, dengan paparan normal penuh sekitar 5 jam/hari. Berdasarkan tinjauan temuan, perlu untuk meningkatkan kapasitas pasokan listrik yang lebih besar.

Kata kunci- listrik *hybrid*, teknologi tepat guna, *Solar cell*.

Abstract

Rainfed rice fields are agricultural areas whose irrigation systems depend on the rainy season. In the dry season, agricultural areas are not planted. Villagers earn their living in agricultural areas. In the rainy season, some people cultivate crops, and in the dry season, some people turn to entrepreneurs or work in the city. This went on for years, and to overcome this, farmers-built wells and used fossil fuel engines to pump water. According to the case found in Duri Village, Slahung-Ponorogo District, the right technology is needed, namely hybrid electric water pump technology. A solution to the problem of irrigating rainfed rice fields. Engineering solar power plants using hybrid electricity is an alternative option that can be implemented. Based on the evaluation results of this solar panel design, it produces 200 Wp of energy with an optimum voltage of 21.1 volts and a maximum current of 9.0 A. The average optimum solar cell voltage is 20.42V when hot and charging voltage is 14.3Volt DC current. On a cloudy day, the average voltage is 19.20 volts, and the charging voltage is 13.60 volts. Sunlight capacity is 8 hours per day, with a full normal exposure of about 5 hours/day. Based on the review of the findings, it is necessary to increase the capacity of a larger power supply.

Keyword: *Solar cell, appropriate technology, hybrid electricity*

PENDAHULUAN

Sawah tadah hujan merupakan tanah pertanian yang sistem pengairannya bergantung pada musim hujan sehingga dapat ditanami padi satu kali dalam setahun. Pada musim kemarau, areal pertanian tidak ditanami atau *bero* (pengeringan tidak menghasilkan buah). Sawah tadah hujan berupa persawahan digunakan untuk pertanian bercocok tanam pangan berupa padi dan palawija (jagung, ubi jalar, kacang-kacangan dan sayur-sayuran).

Masyarakat desa, khususnya Desa Duri, kecamatan. Slahung, Kabupaten Ponorogo, sangat bergantung pada pertanian. Desa Duri memiliki luas 627.510 hektar. Luas lahan pertanian 211.065 hektar (33,6%), pemukiman 271.445 hektar (43,2%), sisanya 144 hektar (0,0002%) adalah lahan kering dan 105 hektar (0,00016%) adalah hutan. Total populasi adalah 4.338, termasuk 2.047 laki-laki dan 2.291 perempuan. Dengan komposisi mata pencaharian penduduk sebagian besar 574 petani, 850 buruh tani, 850 wira swasta dan yang lainnya pedagang, PNS/TNI (11 Feb, 2016 sindo pos.com)

Sektor pertanian merupakan mata pencaharian sebagian besar penduduk desa baik sebagai petani atau buruh tani. Pada musim hujan sebagian penduduk sibuk bercocok tanam, sedangkan pada musim kemarau sebagian penduduk kehilangan pekerjaan atau menganggur karena tidak ada yang dikerjakan. Sementara ada juga yang beralih profesi yang semula petani kemudian jadi pedagang, atau merantau ke kota mencari kerja. Kondisi seperti ini berlangsung bertahun-tahun, untuk mengatasi lahan tadah hujan agar bisa ditanami kembali, sebagian petani membuat sumur dan airnya dipompa menggunakan mesin berbahan bakar fosil. Dengan cara memompa air menggunakan mesin dapat mengatasi persoalan lahan pertanian bisa berfungsi kembali. Pengairan menggunakan mesin, berdampak pada ongkos produksi pertanian menjadi meningkat. Kalau pengairan lahan pertanian menggunakan mesin pompa dibandingkan saat musim hujan sangat tidak efisien sekali[1].

Mesin pompa air berbahan bakar fosil, yang memerlukan biaya tambahan untuk mengairi lahan pertanian.

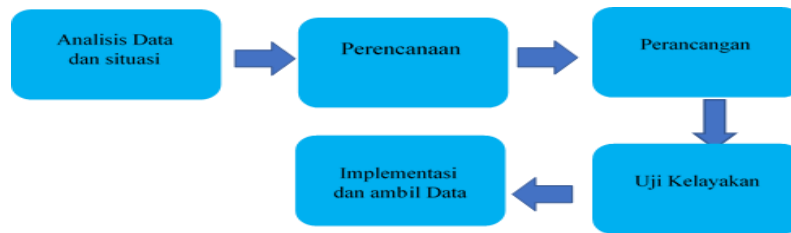
Pada saat musim kemarau para petani seakan tidak memiliki pilihan kalau tidak menggunakan pompa air berbahan bakar fosil maka tanaman akan layu dan mengering. Hal ini akan menambah biaya, sehingga saat peralihan musim penghujan ke musim kemarau, petani harus jeli dalam menghitung biaya produksi. Perhitungan biaya produksi kalau kurang jeli akan rugi.

Berdasarkan permasalahan yang ada pada desa Duri, kecamatan Slahung kabupaten Ponorogo, maka sangat diperlukan suatu teknologi tepat guna yang efektif untuk meminimalisir biaya produksi pertanian. Suatu pilihan teknologi pompa air bertenaga listrik *hybrid*. Perpaduan dari sumber listrik energi sinar matahari dan sumber listrik dari Perusahaan Listrik Negara (PLN), Listrik PLN telah menjangkau desa Duri, dengan daya yang terbatas.

Suatu solusi alternatif pengairan pertanian pada sawah tadah hujan dengan sistem listrik sumber yang berbeda (campuran), yang memungkinkan dipakai karena kebutuhan energi listrik yang terbatas dan kebutuhan listrik meningkat. Kebutuhan konsumsi listrik terbagi dua yaitu untuk rumah tangga dan untuk pengairan pertanian. Energi terbarukan termasuk listrik energi sinar matahari yang ramah lingkungan.

METODE PENELITIAN

Metode Perancangan sistem pompa air irigasi lahan pertanian ini yakni air sumur di naikan dari sumber tanah sedalam 15 meter menggunakan pompa air listrik bertenaga sinar matahari dengan penyesuaian dan ketepatan perhitungan antara daya listrik serta perancangan pompa air yang sesuai. Sehingga dihasilkan efisiensi dan ketepatan perancangan sistem pompa air listrik *hybrid*. Adapun metode yang digunakan dapat dijelaskan seperti pada diagram gambar 1 berikut:



Gambar 1. Diagram metodologi

Untuk lebih jelas dalam penelitian ini marilah kita tinjau dulu teori yang berkaitan dengan pengairan sawah dan irigasi *system hybrid*.

Kebutuhan air irigasi per hektar.

Perencanaan dan pengelolaan sistem irigasi memerlukan suatu analisis kebutuhan air irigasi yang cermat dan detail yang merupakan salah satu tahap penting. Evapotranspirasi (ET), merupakan kebutuhan air nyata untuk areal usaha pertanian. Kebutuhan air untuk irigasi. Ketepatan perhitungan air yang diberikan, akan menginsentif perkembangan tanaman dan meningkatkan efisiensi air sehingga dapat meningkatkan luas areal tanam.

Kebutuhan air irigasi per hektar dapat dilakukan setelah diketahui hasil panen dan kebutuhan air yang digunakan. Hal ini dihitung secara aktual dan potensial per hektar. Perhitungan secara aktual yaitu hasil panen bersih yang diperoleh dari petak lahan[2], sedangkan hasil panen secara potensial merupakan hasil maksimum yang disetarakan dengan satuan hektar dihitung dari berat 1000 butir padi yang dihasilkan.

Perhitungan kebutuhan air pertanian (KAP) yang berguna untuk tanaman padi tiap petak sawah dengan persamaan:

$$KAP = KAT + Perkol + Debgen \quad (1)$$

$$Debgen = Mx \frac{e}{e^k - 1} \quad (2)$$

$$k = \frac{MWst}{Tg}$$

Keterangan:

KAP = kebutuhan air pertanian tiap petak

(mm/0,5 bln)

KAT = Kebutuhan air tanaman (mm/0,5 bln)

Perkol = Perkolasi (mm/0,5 bln),

Debgen = debit air untuk penggenangan (mm/0,5 bln)

Ws = Waktu persiapan tanam (hari)

Tg = tebal genangan (mm)

e = bilangan eksponensial: 2,7182

Perhitungan menentukan perkolasi

Luasan sawah tiap petak dan kondisi fisik tanah merupakan hubungan yang merepresentasikan nilai perkolasi. Perhitungan nilai perkolasi dapat didekati dengan persm:

$$Perkol = 15,67. L^{-0.131} \quad (3)$$

Keterangan:

Perkol = perkolasi (mm/hari)

L = Luasan petak sawah (m²)

Guna mengkonversi satuan dari mm/hari menjadi l/dtk/ha yang mengacu pada persm 3 yaitu: l/dtk /ha [3] yaitu:

$$l/dtk = \frac{1mm \times 10^4l}{24 \times 3600 dtk} \quad (4)$$

$$= 0,11574 \text{ l/dtk/ha}$$

Perhitungan Kebutuhan Air Tanaman (KAT)

Kebutuhan air tanaman merupakan tebal air yang diperlukan guna evapotranspirasi suatu tanaman pertanian. Penentuan nilai KAT dapat dihitung sebagai berikut:

$$KAT = Kt. Evap \quad (5)$$

Keterangan:

KAT = kebutuhan air tanaman (mm/0,5 bln)

Kt = koefisien tanaman

Evap = evapotranspirasi (mm/0,5 bln)

Methode Blaney-Criddle berguna untuk mencari nilai evapotranspirasi. Methode ini sebagai sarana untuk memperkirakan KAT (kebutuhan air tanaman). Persm (6) yaitu:

$$\text{Evap} = r \cdot (0,46t + 8,13) \tag{6}$$

Keterangan:

r = perbandingan rerata panjang siang hari pada bulan tertentu dengan jumlah panjang siang dalam setahun

t = temperatur rata-rata harian (°C)

Faktor r tampak pada tabel 1

Tabel 1. metode Blaney – Criddle untuk menentukan nilai faktor r yang bersumber dari Soewarno, 2000

Lintang	Bulan											
	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agst	Sept	Okt	Nov	Desb
utara	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agst	Sept	Okt	Nov	Desb
selatan	Jul	Agst	Sept	Okt	Nov	Desb	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun
60 ⁰	0,15	0,20	0,27	0,32	0,38	0,41	0,40	0,34	0,28	0,22	0,17	0,13
50 ⁰	0,19	0,23	0,27	0,31	0,34	0,36	0,35	0,32	0,28	0,24	0,20	0,18
40 ⁰	0,22	0,24	0,27	0,30	0,32	0,34	0,33	0,31	0,28	0,25	0,22	0,21
30 ⁰	0,24	0,25	0,27	0,29	0,31	0,32	0,31	0,30	0,28	0,26	0,24	0,23
20 ⁰	0,25	0,26	0,27	0,28	0,29	0,30	0,30	0,29	0,28	0,26	0,25	0,25
10 ⁰	0,26	0,27	0,27	0,28	0,28	0,29	0,29	0,28	0,28	0,27	0,26	0,26
0 ⁰	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27

Menurut FAO Koefisien tanaman (Kt) yaitu padi dan palawija karena kedua tanaman tersebut adalah tanaman pokok. Nilai Kt untuk tanaman

padi dibedakan atas padi unggul dan lokal. Pada tabel 2 nilai Kt menurut FAO.

Tabel 2. Nilai Kt menurut FAO

Bulan ke	Padi		Palawija
	Lokal	unggul	
0,5	1,10	1,10	0,50
1,0	1,10	1,10	0,65
1,5	1,10	1,05	0,97
2,0	1,10	1,05	1,03
2,5	1,10	0	0,98
3,0	1,05	0	0,85
3,5	0,95	0	0
4,0	0	0	0

(Dep. PU, 1987 dalam Soewarno, 2000)

Panel solar (photovoltaic)

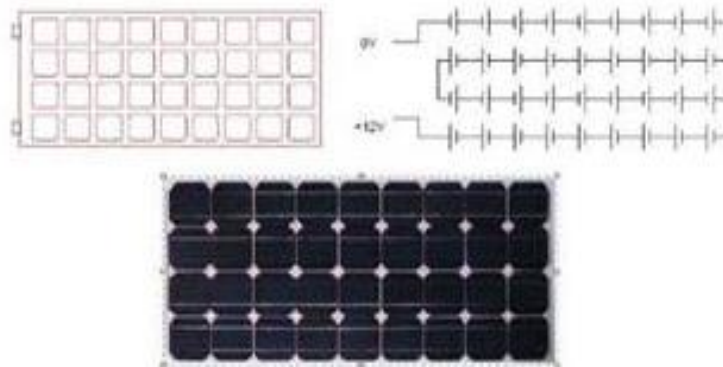
Teknologi yang berfungsi untuk mengkonversi radiasi matahari menjadi energi

listrik secara langsung disebut *Panel solar*. Modul panel surya merupakan suatu unit dari *photovoltaic*. Sebuah modul surya terdiri dari banyak *solar* sel yang bisa disusun secara deret atau seri maupun jajar atau paralel. *Cell* surya merupakan sebuah elemen semikonduktor yang dapat mengubah energi matahari menjadi energi listrik atas dasar efek *photovoltaic*. Sehingga biasa disebut panel surya. Penyerapan energi matahari bergantung pada efek *photovoltaic*. Hal ini menyebabkan arus mengalir antara dua lapisan bermuatan yang berlawanan. Beberapa faktor yang mempengaruhi kinerja dari sel surya:

- Temperatur permukaan *panel solar*
- Radiasi solar matahari (berorientasi matahari)
- Kecepatan angin berhembus sebagai faktor pendingin

- Keadaan permukaan pada atmosfer bumi
- Orientasi atau arah *panel solar* menghadap matahari
- Posisi letak sel surya (*cluster*) terhadap matahari (*sudut kemiringan*)[5]

Satu sel surya ketika terkena sinar matahari, bisa menghasilkan tegangan sebesar 0,5 sampai 1 volt, dan arus *short-circuit* dalam skala miliampere per cm^2 . Tegangan sebesar itu tidak mencukupi untuk penerapan berbagai peralatan (*device*). Pada modul surya terdiri dari susunan secara seri beberapa sel surya. Untuk menghasilkan tegangan dc sebesar 12 V dalam kondisi penyinaran standar. Satu modul surya terdiri dari 28-36 sel surya. Gambar 2 memperlihatkan rangkaian satu modul sel surya.



Gambar 2. Modul surya terdiri dari 28-36 sel surya

Untuk memperbesar total tegangan dan arus keluarannya, modul surya bisa digabungkan atau dirangkai secara paralel atau seri sesuai dengan daya yang dibutuhkan[6][7].

Jenis panel surya

Terdapat panel surya yaitu: monokristal dan polykristalin

1. Monokristalin

Panel surya jenis ini yang terdiri atas p-n *junction* monokristal silikon atau yang disebut juga *monocrystalline photovoltaic*, mempunyai kemurnian yang tinggi yaitu 99,999%. Jenis silikon monokristal mempunyai efisiensi konversi sekitar 15 sampai 19,9%.

Jenis *solar board monocrystalline* terbuat dari silikon yang dibentuk menjadi batangan dan dipotong tipis. Jenis *board* ini biasa disebut '*monocrystalline*' sebutan ini guna menunjukkan bahwa silikon yang dipakai terbuat dari kristal tunggal[6].

Teknologi kompleks atau metode *Czochralski* suatu teknologi untuk proses produksi *monocrystalline photovoltaic*, dengan demikian mempunyai efisiensi yang maksimum. Hal ini menjadikan elektron yang menghasilkan listrik punya lebih banyak ruang untuk mengalir.

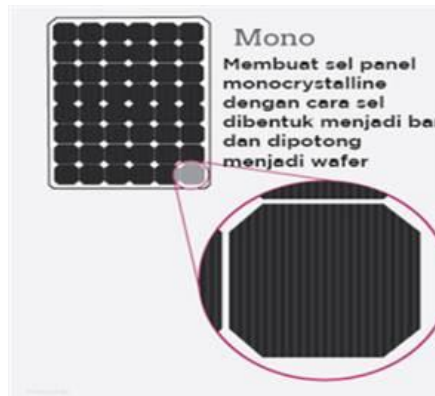
Monokristalin juga memiliki kelemahan yaitu:

- jika cahaya matahari terhalang mendung (teduh) maka tidak akan berfungsi normal,

- b. jika cuaca berawan maka efisiensinya akan turun drastis
- c. pada umumnya *monocrystalline* berbentuk segi enam atau bulat sehingga sel surya jenis ini akan menyisakan banyak ruangan yang kosong, sehingga memiliki tingkat kerapatannya yang tidak maksimal.

- d. Teknologi pembuatan lebih rumit sehingga harga lebih tinggi.

Pada gambar 3 memperlihatkan sel monokristalin, tampak berbentuk segi delapan sehingga menyisakan banyak ruangan yang kosong untuk satu panel surya [8],



Gambar 3. sel monokristalin

2. Polycrystalline

Teknologi Sistem Solidifikasi Terarah (SST) yang digunakan untuk pembuatan silikon panel surya jenis Polikristalin sehingga mempunyai efisiensi lebih rendah dibanding monokristalin. Hal ini dikarenakan sifat kristal *limit* dari polikristal (batas kristal) dan menyebabkan terjadinya *defect crystal* (kristal cacat) yang akhirnya berakibat menurunnya efisiensi. *Polycrystalline* memiliki efisiensi sebesar 13% s/d 18,5%.

Pada pembuatan sel surya biasanya digunakan silikon semikonduktor tipe-p sebagai *substrate*. Semikonduktor tipe-p dari bahan silikon menjadi unsur yang penting karena akan *didoping* dengan Boron, Galium, Aluminium dan Indium ke dalam semikonduktor *intrinsic* (semikonduktor murni) [6].

Keuntungan *solar board (sunbased cell)* jenis polikristalin:

- a. Teknologi yang digunakan teknologi fisik (metalurgi) lebih mudah.
- b. Semikonduktor tipe-p didoping dengan golongan 3 unsur (*Boron, Galium, Aluminium dan Indium*).
- c. Harga lebih murah dibanding *monocrystalline*.
- d. Kekurangan cahaya matahari (teduh) masih bisa bekerja

Kelemahan *solar board (sunbased cell)* jenis polikristalin:

- susunan kristalnya acak.
- besar efisiensi yaitu 13% s/d 18,5%.



Gambar 4. Panel surya jenis *polycrystalline*

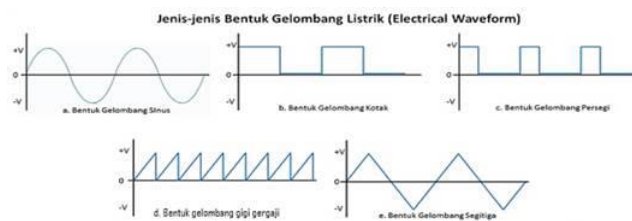
Motor listrik

Motor listrik merupakan pengubah energi listrik menjadi energi mekanik[9]. Motor listrik terbagi menjadi 2 yaitu: motor listrik AC (*Alternating Current*) yang biasa disebut motor arus bolak-balik dan motor listrik DC (*Direct Current*) yang bisa disebut motor arus searah. Pada motor listrik AC terbagi menjadi 2 yaitu motor listrik AC sinkron dan motor listrik AC induksi. Klasifikasi dari motor induksi terbagi menjadi 2 ialah: motor induksi 1 (satu) fasa dan motor induksi 3(tiga fasa) [9]. Pada motor listrik DC terbagi menjadi 2 yaitu motor listrik DC penguatan sendiri (*self excited*)[10] dan motor listrik DC penguatan terpisah (*separately excited*)[11]. Energi mekanik dari motor listrik ini digunakan untuk memutar pompa, kipas angin, menggerakkan kompresor, dan mengangkat beban lainnya.

Inverter

Inverter merupakan suatu perangkat yang mengubah listrik DC (*Direct Current*) dari baterai atau *solar cell* menjadi listrik AC (*Alternating Current*) pada tegangan dan frekuensi sesuai yang dibutuhkan. Arus listrik searah atau arus DC yang merupakan masukan atau input dari *Power Inverter* dapat berupa Baterai, Aki(*accumulator*) maupun Sel Surya (*Solar Cell*).

Power Inverter dapat menghasilkan berbagai bentuk gelombang diantaranya gelombang persegi (*square wave*), gelombang sinus (*sine wave*), gelombang sinus yang dimodifikasi (*modified sine wave*) dan gelombang modulasi pulsa lebar tergantung pada desain rangkaianannya. Sedangkan Frekuensi yang dihasilkan pada umumnya sekitar 50Hz atau 60Hz dengan tegangan keluaran atau *Output* sekitar 120V atau 240V. Daya keluaran listrik sesuai yang dibutuhkan[12]. Gambar 5 menunjukkan berbagai bentuk gelombang yang dapat dihasilkan dari *inverter*



Gambar 5. Berbagai bentuk gelombang yang dapat dihasilkan *inverter*.

Bentuk Gelombang Sinus atau *Sine Waveform* gambar (a) merupakan salah satu bentuk gelombang yang paling umum ditemukan di rangkaian Elektronika.

Bentuk Gelombang Kotak atau *Square Waveform* gambar (b) digunakan pada rangkaian mikro elektronik untuk pengendalian waktu (*timing control*). Hal ini dikarenakan gelombang persegi memiliki bentuk gelombang simetris dengan durasi yang sama.

Bentuk Gelombang Persegi gambar (c) memiliki bentuk yang hampir sama dengan bentuk gelombang kotak. *Interval* waktu kondisi tinggi (*High*) dan rendah (*Low*) tidak teratur atau tidak memiliki panjang waktu yang sama.

Bentuk Gelombang Gigi Gergaji atau *Saw Tooth Waveform* gambar (d) merupakan gelombang yang berbentuk seperti gigi gergaji. Pada bentuk Gelombang *Saw Tooth* ini, tegangan naik secara *linear* dari titik 0 hingga mencapai titik tertinggi (+V) kemudian jatuh secara tiba-tiba ke titik terendahnya (0) tanpa atau pewaktu.

Triangular Waveform atau Bentuk Gelombang Segitiga gambar (e) terbentuk dari tegangan yang naik secara *linear* dari nol (0V) hingga mencapai titik tertingginya (+V), kemudian turun secara *linear* hingga mencapai titik terendahnya (-V).

Sistem kerja Inverter

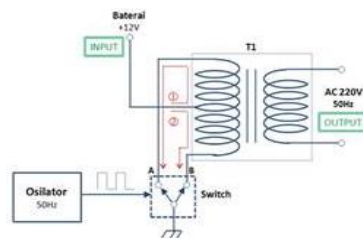
Inverter fasa tunggal terdiri dari arus listrik DC tegangan rendah (baterai contoh 12V), rangkaian Osilator, rangkaian Saklar (*Switch*) dan *Transformator* (trafo).

Cara kerja inverter fasa tunggal

Sumber daya yang berupa arus listrik DC dengan tegangan rendah (contoh 12V) diberikan ke Tap Pusat (CT) Sekunder Trafo melalui dua ujung Trafo lainnya (titik A dan titik B) melalui saklar (switch) dua Arah ke *ground* saluran. Fungsi saklar menghubungkan trafo ke *ground*, Jika saklar terhubung pada titik A akan menyebabkan terminal positif baterai ke *Center Tap* mengalir ke titik Trafo hingga ke *ground*. Pada saat beralih dari titik A ke titik B, arus listrik yang mengalir pada jalur 1 akan berhenti dan arus listrik jalur 2 akan mulai mengalir dari terminal positif baterai ke Tap Pusat (CT) Trafo hingga ke *ground*.

Peralihan ON atau OFF pada Saklar (*Switch*) ini diaktifkan oleh sebuah rangkaian Osilator pembangkit frekuensi 50Hz. Dengan demikian, arus listrik DC yang mengalir di jalur 1 dan jalur 2 juga berganti sebanyak 50 kali per detik. Hal ini ekuivalen dengan arus listrik AC yang berfrekuensi 50Hz. Sementara komponen utama yang digunakan sebagai Switch umumnya adalah MOSFET atau Transistor[13][14].

Sekunder *Transformator* akan menghasilkan *Output* yang terdiri dari tegangan yang lebih tinggi (contohnya 120V atau 240V) tergantung pada jumlah lilitan pada kumparan sekunder Trafo atau rasio lilitan antara Primer dan Sekunder *Transformator* yang digunakan.



Gambar 6. Inverter fasa tunggal

Sistem Hybrid

Sebelum membahas system hybrid, kita perlu membahas system pembangkit listrik tenaga surya yang dibedakan menjadi 3 sistem yaitu: on grid.

Pertama *on grid* merupakan sistem penyimpanan energi jaringan yang menghubungkan ke jaringan utama untuk memberikan kelebihan kapasitas kembali ke jaringan listrik lokal. Rangkaian sistem ini mengoptimalkan pemanfaatan energi dari panel surya untuk menghasilkan energi listrik semaksimal dengan secara langsung tanpa ada penyimpanan energi listrik.

Kedua *system Off Grid* merupakan sistem PLTS yang *Stand-Alone PV system* yaitu sistem pembangkit listrik yang hanya mengandalkan energi matahari sebagai sumber energi utama dengan menggunakan rangkaian *photovoltaic modul* (Solar PV) untuk menghasilkan energi listrik sesuai kebutuhan.

Ketiga *Sistem hybrid* merupakan suatu penggunaan 2 sistem atau lebih pembangkit listrik dengan sumber energi yang berbeda. Umumnya sistem pembangkit yang banyak digunakan untuk *hybrid* dengan PLTS adalah *genset*, mikrohidro dan tenaga angin. Sistem ini merupakan salah satu alternatif sistem pembangkit listrik yang paling handal, karena memiliki berbagai sumber energi listrik.

Sistem Peralatan pompa air irigasi lahan pertanian

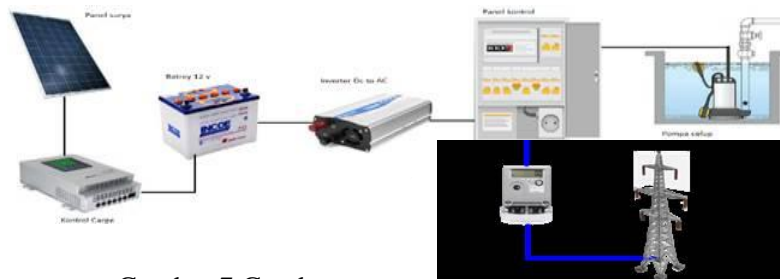
Analisa lapangan disimpulkan bahwa sistem pengairan pada tanaman lahan tadah hujan setelah musim penghujan selesai maka pengairan tergantung dari air tanah yang di pompa menggunakan mesin pompa. Terdapat 2 jenis mesin pompa air yakni berbahan bakar fosil dan berenergi listrik PLN. Listrik PLN masih digunakan untuk keperluan rumah tangga dengan daya terbatas. Pada

penelitian ini bertujuan untuk mengatasi masalah kebutuhan energi listrik pada sistem pengairan sawah tadah hujan menggunakan pompa air listrik yang ada di desa Duri kecamatan Slahung kabupaten Ponorogo. Perancangan sistem ini adalah sistem pompa air tenaga listrik *hybrid* yang terdiri dari tenaga surya dan digabungkan dengan tenaga listrik dari PLN. Sistem pompa air *hybrid* dijelaskan seperti berikut:

a. Gambaran umum sistem energi *Hybrid*

Sistem pompa air bertenaga listrik *Hybrid* sebagai berikut: pompa air pada penelitian ini adalah pompa air celup (*submersible*) dengan

daya 350 W bertegangan 220 Volt dengan arus AC. Energi yang digunakan menggunakan energi listrik tenaga surya 12 V dengan arus DC yang disimpan pada *accumulator* dan dirubah menjadi tegangan 220 V. Gabungan sumber listrik tenaga surya dengan listrik PLN yang digunakan untuk keperluan rumah tangga. Sistem gabungan pada listrik *hybrid* ini jika tegangan atau energi listrik pada tenaga surya yang di simpan pada *accumulator* habis maka listrik dari PLN aktif menyuply tegangan untuk pompa air seperti tampak pada gambar 7.



Gambar 7 Gambaran umum sistem pompa air tenaga listrik Hybrid

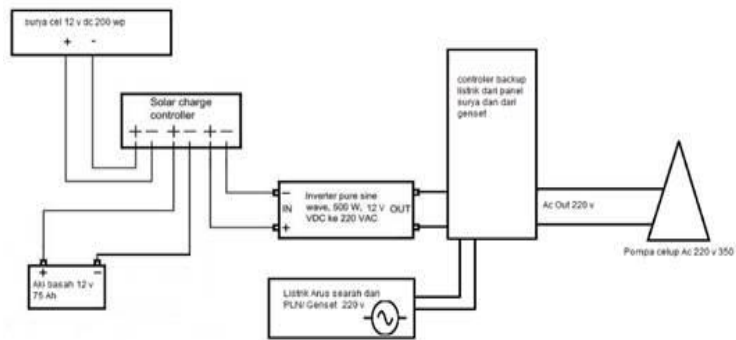
b. Cara kerja sistem pompa air tenaga *hybrid*

Pada pembahasan cara kerja sistem pompa air tenaga *hybrid* dijelaskan bahwa sistem irigasi sawah tadah hujan menggunakan air tanah yang dipompa dengan pompa celup atau *submersible*. Pompa yang digunakan menggunakan energi listrik 220V energi yang digunakan merupakan energi yang dihasilkan oleh tenaga surya. Energi listrik yang di hasilkan oleh *solar sel* berupa tegangan DC 12V, listrik ini kemudian disimpan menggunakan *accumulator*. Listrik yang disimpan di *accumulator* kemudian di rubah menjadi tegangan 220VAC menggunakan *Inveter*, tegangan listrik AC 220V digunakan untuk menghidupkan pompa air celup.

Pengendalian pada system ini menggunakan sistem kontrol yang di buat untuk mengendalikan, jika tegangan atau energi listrik dari *accumulator* habis maka kebutuhan energi listrik di *back up* oleh genset atau listrik dari PLN.

Perancangan sistem Tenaga listrik Hybrid

Perancangan sistem merupakan langkah kelanjutan dari tahap perencanaan pada tahap perancangan ini di mulai dari persiapan kebutuhan alat yang akan di gunakan dan persiapan skema sistem alat yang akan di bangun atau di rancang. Skema dan kebutuhan sistem listrik *hybrid* di jelaskan seperti gambar 9 berikut:



Gambar 8. Skema sistem listrik Hibrid untuk pompa air

Pada skema gambar 8 di jelaskan kebutuhan sistem di mulai dari pembangkit listrik yakni pembangkit listrik tenaga surya atau disebut sel surya. Kebutuhan surya cel atau panel surya pada penelitian ini membutuhkan 4 buah panel surya dengan spesifikasi 1 buah panel surya memiliki daya 50 Wp, 1 buah *controler charge* untuk *accumulator* dari panel surya, *accumulator* basah 75 Ah satu buah, inverter untuk DC 12 V ke AC 220 V dengan daya 500 W, kontroler pengatur sistem *Hybrid* dan pompa air listrik 220 V daya 350 W. Perancangan sistem *hybrid* dibagi dalam beberapa tahapan seperti dijelaskan sebagai berikut:

Tahap persiapan bahan dan komponen pendukung

- a. Bahan dan komponen pendukung yang pertama disiapkan adalah panel solar sebagai sumber energi listrik dari energi matahari.

Board solar yang digunakan berjenis *Polycrystalline* dengan spesifikasi:

Max. Power (Pmax) 50W,

Max. Power Voltage (Vmp) 16.5V,

Max. Power Current (Imp) 3.34A,

Tegangan rangkaian terbuka *Open Circuit Voltage* (Voc) 21.1V,

Rangkaian arus pendek *Short Circuit Current* (Isc) 4.23A,

Nominal Operating Cell Temp (NOCT) 45±2°C,

System tegangan maksimum *Max. System Voltage* 1000V,

Max. Series Fuse 16A,

Weight 6.5Kg,

Dimension 775 x 680 x 28 mm.



Gambar 9. Panel surya 50 WP

- b. *Solar charge controler* (SCC) atau *Battery charge control unit* (BCCU) merupakan kelengkapan komponen yang digunakan untuk *charge* pada *battery* dari listrik yang dihasilkan *solar cell*. Peralatan ini berfungsi untuk mengatur pengisian daya di *battery* sesuai dengan kemampuan kapasitas penuh ideal dari *battery* yang di gunakan. *Solar*

charge controler yang di gunakan dengan tipe *pulsa width modulation* (PWM) dimana tipe pwm mampu menyesuaikan dengan tegangan kerja *battery* dan sesuai dengan kemampuan yang dimiliki solar panel yang akan di rancang yakni 200 WP, serta mampu dalam tegangan yang konstan.

Pada penelitian ini menggunakan SSC PWM tipe 10A, 12/24V dengan spesifikasi:

Model STEC,

Laju tegangan *rated Voltage* 12 V/24 V,

Laju beban *Rated Load* 10 A, 25% *curent Over load* 1 *Minute*,

Beban terputus (*load disconnect*) 11.1V,

Beban terhubung kembali (*Load Reconnect*) 12.6V,

Equalization Voltage (60min) 14.8V,

Meningkatkan tegangan (*Boost Voltage*) (60min), 14.4V,

Tegangan ambang (*Float Voltage*) 13.7V,

Temp Comp. (mV/°C) -30mV,

Working Temperature -35°C ~ +55°C.



Gambar 10. Board pengendali pengisian PWM Solar charge controler (SCC)

c. *Battery* 12 V merupakan kelengkapan untuk menyimpan energi listrik yang dihasilkan oleh *solar cell*. Pada penelitian ini menggunakan satu Unit battrey Otomotif atau *accumulator* basah 12V dengan daya 75 Ah.

Untuk menghasilkan kinerja yang bagus sebelum *battery* di pasang di lakukan tahapan pengujian serta aktivasi *battery* dengan melakukan pengisian cairan khusus pada *battery* dengan di ukur tingkat berat jenis

kandungan elektrolit pada cairan khusus menggunakan *Hydrometer*.

Pengujian selanjutnya merupakan pengujian tegangan dan daya *accumulator* sebelum digunakan. Pengujian bertujuan untuk menguji kualitas battrey guna mengetahui tegangan, daya, CCA(*Cold Cranking Amps*) dan CA sebenarnya dari *accumulator* 12 V menggunakan *tester battery*.



Gambar 11. Alat Ukur kemampuan *accumulator* menggunakan *tester Battery*

d. Inverter DC to AC merupakan alat yang di gunakan untuk mengubah tegangan DC menjadi AC. Tegangan listrik yang di hasilkan oleh solar cell yang telah disimpan pada *battery* yakni tegangan 12 DC dirubah menjadi tegangan 220 V AC untuk memberikan energi pada pompa air celup

bertegangan 220 volt AC untuk daya 370 watt. Pada penelitian ini *Inverter* yang digunakan dengan jenis *Pure sine wave*. *Inverter* yang cocok di gunakan untuk beban putaran motor. Rentang kerja *inverter* tegangan input 12 V dan *output* 220 Volt kemampuan memberikan daya maksimal 2000 Watt.



Gambar 12. Inverter Pure sine wave DC 12V to AC 220V daya 2000W

e. Pengkabelan dalam perakitan tenaga surya berfungsi menghubungkan komponen perangkat sistem Pompa air tenaga Listrik *Hybrid*. Pengkabelan dengan memperhatikan spesifikasi yang tepat agar *lost* atau kehilangan daya bisa diminimalkan. Pada penelitian kali ini pemilihan kabel pertama untuk kabel dari panel surya ke *battery* menggunakan kabel tembaga dengan ukuran diameter 6 mm dengan panjang 2 meter menuju *Solar Charge*

Controller dan 1 meter dari SSC menuju *accumulator*.

f. Box atau kotak merupakan merupakan kelengkapan yang digunakan untuk menaruh komponen komponen listrik tenaga surya mulai dari SSC, Inverter, sekering pengaman dan juga kontrol pembagi energi listrik Hibrid yang dirancang. Box yang digunakan menggunakan box dari bahan logam



Gambar 13 Panel Box listrik Hybrid

g. Konektor kabel merupakan penyambung kabel dari solar Cell yang disebut konektor Mc4 *slocable* maupun konektor W *slocable*

h. Kebutuhan MCB (*Miniature Circuit Breaker*) merupakan komponen pengaman tegangan sebagai pemutus atau breaker dari *solar panel* ke *controler*, dari *controler* ke *accumulator*, dari *accumulator* ke *inverter* dan dari *inverter* ke beban hal ini untuk menghindari hubung pendek (konslet) atau beban lebih (*overload*) pada penggunaan. MCB yang digunakan terdiri dari 2 jenis yakni MCB DC untuk arus searah dan MCB AC untuk arus bolak balik.

i. Rangkaian ATS (*Automatic transfer switch*) merupakan rangkaian yang berfungsi untuk mengendalikan 2 sumber energi listrik pada sistem pompa air energi hybrid. Cara kerjanya, sistem akan bekerja secara otomatis memindahkan energi listrik dari energi utama ke energi listrik pengganti. Pada penelitian ini yang berfungsi sebagai energi utama adalah energi yang dihasilkan panel surya sedangkan energi pengganti adalah dari energi genset maupun listrik dari PLN. ATS yang akan digunakan menggunakan komponen relay dan timer.



Gambar 14. ATS Automatic transfer switch

Tahap Perakitan Sistem Listrik tenaga Surya

a. Tahap perakitan pembangkit listrik tenaga surya merupakan tahap awal pada perakitan sistem secara keseluruhan pada tahap ini di mulai dari perakitan rangka untuk menaruh atau meletakkan *panel solar*.

Pada penelitian ini rangka solar cell di buat dari bahan kayu jati dengan alasan tekstur kayu jati lebih kuat dan tahan terhadap cuaca serta merupakan bahan isolator yang bagus agar aman dari keadaan hubung singkat (*konsleting*). Pada rangka penyangga panel surya memiliki panjang 108 cm dan lebar 105 cm, tinggi rangka belakang 60 cm, tinggi rangka depan 40cm, dengan sudut kemiringan 10°. Panel surya dirangkai pada rangka berjumlah 4 buah dengan masing-masing panel menghasilkan daya maksimal 50 watt. Pemasangan panel surya dengan kemiringan 10° bertujuan pada kondisi musim hujan, air mudah mengalir kemudian paparan sinar matahari dari segala penjuru masih diterima oleh panel surya sehingga dapat menghasilkan batas minimal tegangan yang di butuhkan. Saat kondisi matahari mengalami perpindahan posisi akibat adanya fenomena *aphelion* dan *perihelion*. Posisi matahari saat bulan April sampai agustus berada di bagian

utara dan saat bulan oktober sampai february berada pada belahan bumi bagian selatan. Pemasangan panel surya pada rangka harus benar-benar kuat. Hal ini bertujuan agar pada saat kondisi adanya angin, panel surya masih kuat pada rangka dan tidak terganggu dengan adanya perubahan cuaca seperti angin dan hujan.

b. Instalasi pembangkit listrik tenaga surya
Instalasi pembangkit listrik panel surya merupakan tahap perakitan setelah modul panel solar cell di pasang pada rangka agar panel solar dapat menerima sinar matahari secara baik. Instalasi meliputi pengkabelan dan penyambungan dengan modul pendukung lainnya seperti *control charge*, *accumulator*, *inverter* pengubah tegangan dc ke ac. Langkah instalasi pertama merupakan instalasi kabel dari panel surya di hubungkan pada *control charge*. Panel surya susun secara paralel berjumlah 4 modul dengan menggunakan kabel listrik ukuran 2.5 m panjang 5 m di hubungkan langsung ke *Solar charge controler (SCC)*. Teknik pemasangan kabel panel solar cell dari kutup positif di hubungkan ke terminal solar battery + (positif) Kutup negatif di hubungkan pada terminal solar battery -(negatif) pada modul *Solar charge controler (SCC)*. Seperti pada gambar 15.



Gambar 15 Instalasi kabel solar cell pada SCC

Pada gambar 15 dijelaskan bahwa penyambungan dari panel surya menggunakan kabel NYY dengan ukuran 2,5 m dengan warna kabel biru dan coklat untuk kabel warna biru di

hubungkan dengan terminal kutup positif pada solar cell maupun SCC sedangkan kabel warna coklat di hubungkan pada kutup negatif pada solar panel maupun SCC. Pemasangan kabel penghubung

panel surya ke SSC di lakukan pada tahap kedua karena untuk kewanaman SCC, hal ini di pertimbangkan bahwa kebutuhan daya SCC 12 volt DC sedangkan panel Surya dapat mengeluarkan tegangan sampai 21 Volt maka sebelum panel surya di hubungkan ke SCC sebaiknya SCC di berikan tegangan dari *accumulator* yang sudah di pastikan

tegangan maksimalnya 12 volt. Setelah itu di lakukan pengecekan apakah tegangan yang di hasilkan oleh panel surya sudah terhubung dengan baik dan panel surya menghasilkan tegangan saat di letakan pada paparan sinar matahari dan dapat mengaktifkan SCC seperti dijelaskan pada gambar 16.



Gambar 16. pengecekan tegangan pada SCC dari solar cell

Perakitan *batrey* penyimpanan energy listrik ke *inverter* atau pengubah tegangan. Instalasi kabel di pasang dahulu pada input *inverter* menggunakan kabel dengan ukuran minimal 10 mm dengan panjang 75 cm, setelah kabel terhubung pada *input Inverter* maka tahap selanjutnya menghubungkan kabel *inverter* pada *batrey* sesuaikan dengan kutubnya.

Pengujian system Pembangkit

Pengujian system pembangkit merupakan tahap pengujian setelah dirakit agar peralatan tersebut berkerja sesuai dengan rancangan yang akan diimplementasikan pada lokasi. Pengujian system pembangkit dibagi menjadi beberapa bagian yakni bagian: Pengujian system pembangkit panel

surya, Pengujian *control charge*, Pengujian *accumulator*, dan pengujian *inverter*.

- a. Pengujian ke 1, pembangkit listrik panel Surya, pengujian meliputi pengujian tegangan pada solar cell di saat panel surya di paparkan pada sinar matahari. Panel surya berjumlah 4 lembar (unit) yang telah dirakit secara parallel dalam satu rangkaian. Dalam pengujian ini *Board* surya di uji dalam beberapa kondisi yakni: pertama disaat cahaya matahari terhalang awan atau cuaca mendung. Kedua saat kondisi matahari bersinar terang. Hasil pengujian dua variabel tersebut menghasilkan pengujian sebagai tampak pada tabel 3.

Tabel 3. Pengujian ke 1 tegangan panel surya

	Redup	Terang
Tegangan	18,33 V	21.2 Volt



Gambar 17. Pengujian tegangan pada panel surya cell

Pengujian ke 2 di lakukan ketika penel surya di pasang pada tempatnya pada paparan matahari

dengan kondisi berbeda. Pada kondisi cerah jam 09.00 s/d jam 12.00 tegangan yang dihasilkan tenaga

surya 20,4 Volt dengan tegangan yang di hasilkan pada *control charge* 14,3 Volt dan pada kondisi mendung pukul 15.00 s/d 16.00 tegangan

dihasilkan Panel surya 19, 20 dengan tegangan yang di hasilkan *Control charge* ke *accumulator* 13,60 V.

Tabel 4. pengujian ke 2 tegangan panel surya dan *Control charge* ke *accumulator*

	<i>Control charge</i> ke <i>accumulator</i>	
	09.00 -12.00	15.00-16.00
Tegangan	13,60 V	20,4 V
		19,20 Volt

b. Pengujian *control Charger* dilakukan untuk mengetahui kondisi *control Charger*. Pertama apakah *control charger* dapat hidup saat ada tegangan listrik dan kedua apakah *control charger* dapat bekerja mengisi *accumulator*. Dalam pengujian ini di ketahui bahwa *control*

carger dapat hidup saat terdapat sumber dari panel surya dan *control charger* dapat bekerja mengisi *accumulator* disaat *accumulator* dalam kondisi belum penuh dan berhenti disaat *accumulator* penuh, pengujian *control charger* dapat di terlihat pada gambar 19.



Gambar 18. pengujian *Control Charger*

c. Pengujian *accumulator* dilakukan untuk mengetahui bahwa *accumulator* dapat bekerja sesuai perancangan dan dapat diterapkan pada system ini. Pada penelitian ini *accumulator* menggunakan *accumulator* Basah 12 VDC arus 70 Ah.

didapat data bahwa kondisi *accumulator*: tingkat kesehatan *accumulator* 100%, pengisian *accumulator* 98%, CCA (*Cold Cranking Amps*) 425. CCA (*Cold Cranking Amps*) merupakan peringkat yang digunakan dalam industri *accumulator* untuk menentukan kemampuan arus *accumulator* yang dapat dialirkan pada suhu (0 ° F / -18 ° C) selama 30 detik. Peringkat mengacu pada jumlah arus yang dapat dihasilkan oleh *accumulator* 12volt dengan tegangan minimum 7,2 volt. Sehingga kondisi *accumulator* jelas kemampuannya sebelum digunakan untuk penelitian ini.

Pengujian *accumulator* dengan cara di ukur tegangan menggunakan alat ukur tegangan AVOMeter. Kemampuan menyimpan energy dengan menguji menggunakan beban, alat ukur: *tester battery*. Hasil pengujian ini tampak pada tabel 5 sehingga hasil pengujian

Tabel 5 pengujian *accumulator* Pengukuran tanpa beban

Pengisian	Tegangan	CCA	Healthy
98%	13,7 V	425	100%



Gambar 19. Pengujian pada *accumulator*

d. Pengujian Inverter merupakan tahap pengujian pada perangkat pengubah tegangan DC menjadi tegangan AC. Pengujian *Pure sinewave Inverter* menggunakan *Inverter* dengan Daya 2000 Watt AC. Dapat mengoperasikan berbagai perangkat kelistrikan

jenis Induktif maupun Resistif Pada pengujian ini di gunakan untuk beban pompa air Submersibel daya 370 Watt, Pompa dapat bekerja memompa air dengan kedalaman 22 Meter di dalam tanah dengan debit Air 18 liter per menit.



Gambar 20 pengujian *inverter Pure Sinewave* terhadap beban

Pada pengujian *inverter* secara teknis diperoleh data seperti tampak pada tabel 8.

Tabel 8 pengujian *inverter Pure Sinewave* Daya 2000 Watt AC

tegangan input V DC	tegangan output V AC	beban					Keterangan	
		lampu	Kipas angin	pompa daya	air TV warna	Debit air	Lampu nyala	
12	217	11 W	40W	370 W	80 W	18 lt/m	Kipas berputar Pompa Air berputar TV nyala	

Implementasi

Implementasi merupakan tahap terakhir setelah semua sistem selesai dirancang di uji coba, dan evaluasi. Pada tahap ini sistem diterapkan pada lokasi yang telah ditetapkan. Sebelum di implementasikan pada Pompa air, system di implementasikan dulu pada peralatan listrik rumah tangga.

Implementasi selanjutnya system pembangkit Listrik Tenaga Surya menggunakan *Inverter* jenis *Pure sinewave* dengan daya 2000 Watt digunakan untuk mengangkat beban induktif pompa air *Submersible* dengan daya 370 Watt untuk memompa air tanah sedalam 22 meter untuk irigasi lahan tadah hujan dengan tanaman sayuran dengan durasi pengairan maksimal 2 jam.



Gambar 21. Implementasi system pembangkit listrik untuk Pompa Air Pengairan sayur

Evaluasi

Pada tahap ini akan di lihat temuan-temuan dalam segala hal terkait pengembangan sistem pada masa mendatang agar menjadi lebih baik. Hasil perancangan, pengujian dan implementasi pada penelitian rekayasa listrik *hybrid* untuk pengairan sawah tadah hujan menghasilkan evaluasi sebagai berikut:

1. Pembangkit listrik *Solar Cell* yang di bangun menggunakan 4 unit Panel Surya yang di rangkai dengan paralel menghasilkan daya 200 Wp dengan tegangan maksimal 21.1 Volt, arus yang mengalir maksimum 9,0 A.
2. Pada kondisi terik matahari tegangan *Solar cell* maksimal rata-rata 20.42 V dapat digunakan untuk pengisian (*Charger*) pada *Accumulator* sebesar 14.3 Volt dengan arus DC.
3. Pada kondisi berawan tegangan yang di hasilkan rata-rata 19.20 Volt dapat menghasilkan tegangan pengisian *Charger* pada *Accumulator* sebesar 13.60 Volt dengan arus DC.
4. *Accumulator* yang digunakan menggunakan *battery* Otomotif atau *Accumulator* basah dengan tegangan maksimal 12 Volt dengan arus Dc dengan aliran arus 70 Ah dengan daya 840 Watt/jam.
5. Pengujian menggunakan *Inverter Pure sinewave* dengan daya maksimal 2000 W dapat di gunakan untuk beban bersifat Induktif maupun resistif. Pompa celub (*submersible*) dengan daya 379 W sebagai beban dapat beroperasi dengan baik. Kedalaman muka air 22 M. Debit air 18 liter per menit.
6. *Solar cell* 200 Wp memerlukan waktu 5 jam untuk melakukan pengisian atau *Chager* pada *accumulator* 12 V dengan arus Dc dengan aliran arus 70Ah dengan laju arus rata-rata 8,5 A
7. Potensi Sinar matahari 8 jam per hari, dengan paparan normal bisa maksimal sekitar 5 jam perhari.
8. Hasil Konversi DC ke AC yakni tegangan 12 Volt dengan arus DC dengan aliran arus 70 AH di konversi menjadi tegangan AC 220 V menghasilkan daya 800 Watt/ Jam.

Pembahasan Hasil penelitian

Kapasitas pompa hasil rancangan: 18 lt/menit kalau dikonversi ke lt/dt maka diperoleh $18\text{lt} / 60\text{dt} = 0.3\text{lt} / \text{dt}$. Seperti terlihat pada tabel 9.

Tabel 9 Kapasitas listrik *hybrid* tenaga surya dengan daya 800 Watt/ Jam, diaplikasikan pada pompa celup (*submersible*) dengan daya 379 W.

Waktu jam / hari	Daya (watt/jam)	Kapasitas pompa (W)	Debit air lt / detik	Kedalaman muka air (m)
5	800	379	0,3	22

Dengan perhitungan kebutuhan air/Ha yaitu air/Ha dibagi dengan kapasitas debit air pompa lt/dt/Ha maka diperoleh dengan cara kebutuhan hasil rancangan.

Perhitungan Kebutuhan Air Untuk Petak 1Ha Sawah

Tabel 10 Nilai Evapotranspirasi

Bulan	Rata-rata masa pertumbuhan	Rata-rata Temperatur (t(°C))	(0,46t+8,13)	r	Eva (mm/hari)	Eva (mm/0,5 bln)
April- Juli	Pertumbuhan vegetative sampai generatif	24.935	19.6001	0,27	5,292027	79,38041

r : perbandingan rerata panjang waktu siang hari untuk bulan tertentu yang dijumlahkan sepanjang waktu siang per tahun

Tabel 11 Keperluan air tanaman

Bulan	Rata-rata masa pertumbuhan	Eva	Kt	KAT
April- Juli	Pertumbuhan vegetative sampai generatif	79,38041	1,1	87,31845

KAT = Kt. Evap sesuai persamaan 5,

Tabel 12 Keperluan air pertanian perhektar

No	KAT (mm/ 0,5 bln)	Perkol (mm/0,5 bln)	Debpg (mm/ 0,5 bln)	KAP (mm/ 0,5 bln)	KAP (l/dtk/ha)
1	2	3	4	5 (2+3+4)	6
1	87,31845	4,688879	131,7488	271,4356	2,09441

Perkol = 15,67. L^{-0.131} sesuai persamaan 3,

Debpg = $Mx \frac{e}{e^k - 1} k$ sesuai persamaan 2.

KAP = KAT + Perkol + Debpg sesuai persamaan 1.

Guna memenuhi kebutuhan air sawah maka diperlukan peningkatan kapasitas listrik tenaga hybrid untuk menyuplay pompa air. Kalau berdasarkan kapasitas debit air lt /dt maka per Ha, diperlukan $\frac{2.09441}{0.3} = 6,98$ kali lipat dari kapasitas yang dirancang.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil evaluasi rancang bangun sistem pompa air listrik hybrid untuk irigasi lahan tadah hujan yang telah dirancang. Penggunaan Panel Surya menghasilkan daya 200 Wp dengan tegangan maksimal 21.1 Volt dan arus maksimum 9,0 A. Saat kondisi terik matahari tegangan Solar cell maksimal rata-rata 20.42V dapat menghasilkan tegangan pengisian 14.3 Volt DC. Saat kondisi berawan tegangan yang di hasilkan rata-rata 19.20 Volt dapat menghasilkan tegangan pengisian sebesar 13.60 Volt DC. Potensi Sinar matahari 8 jam per hari, dengan paparan normal penuh sekitar 5 jam perhari. *Inverter* yang digunakan adalah

Inverter Pure sinewave karena menghasilkan signal sinus yang stabil. Berdasarkan pembahasan hasil penelitian maka diperlukan peningkatan kapasitas sumber energi listrik yang lebih besar.

Saran Untuk memenuhi kebutuhan irigasi sawah tadah hujan yang lebih hemat maka perlu dibuat penampung air baik secara *vertical* atau secara mendatar dibuat melebar (bak penampung). Cara ini lebih hemat karena energi listrik *hybrid* ini beroperasi sehari semalam meskipun dengan debit yang kecil 0,3 lt/dt.

Terima kasih disampaikan kepada Rektor dan LPPM Univesitas Muhammadiyah Ponorogo yang telah memberikan kesempatan untuk penelitian ini.

DAFTAR RUJUKAN

- [1] M. A. A. Firman Lukman Sanjaya, "Pengaruh Penambahan Butanol Terhadap

- Konsumsi Bahan Bakar Dan Emisi Gas Buang Mesin Pompa Air Berbahan Bakar Pertamina,” *J. Mech. Eng.*, vol. Vol 9, no. Mechanical Engineering, pp. 7–9, 2020.
- [2] N. A. Fuadi, M. Y. J. Purwanto, and S. D. Tarigan, “Kajian Kebutuhan Air dan Produktivitas Air Padi Sawah dengan Sistem Pemberian Air Secara SRI dan Konvensional Menggunakan Irigasi Pipa,” *J. Irig.*, vol. 11, no. 1, p. 23, 2016, doi: 10.31028/ji.v11.i1.23-32.
- [3] Putu Perdana Kusuma Wiguna, “METODE PERHITUNGAN KEBUTUHAN AIR IRIGASI,” 2019.
- [4] A. Kurnia Hidayat, “Desain Formula Optimasi Manajemen Air Irigasi,” 2020.
- [5] A. S. W. Ranga Arianto, M. S. Zainal Dudik, and dan P. Arista, “Pemanfaatan Teknologi Pembangkit Listrik Hybrid pada Peternakan Ayam Desa Sukonolo Kabupaten Malang,” pp. 1–5.
- [6] S. Eka, P. Pagan, I. D. Sara, and H. Hasan, “Komparasi Kinerja Panel Surya Jenis Monokristal Dan Polykristal Studi Kasus Cuaca Banda Aceh,” *J. Karya Ilm. Tek. Elektro*, vol. 3, no. 4, pp. 19–23, 2018.
- [7] Y. Afrida, B. Setiabudi, J. Z. Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Lampung Jl Pagar Alam No, L. Ratu, and K. Bandar Lampung, “Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Solar Home System.”
- [8] N. Aditiyan, “Karakterisasi Panel Surya Model SR-156P-100 Berdasarkan Intensitas Cahaya Matahari,” pp. 1–72, 2015.
- [9] I. Hermawan, Y. Yantoro, and T. Riyadi, “Pengendalian Motor Listrik 3 Fasa Hubungan Bintang Segitiga (Star-Delta) Secara Manual,” *D3Teknik Elektro Politek. Harapan Bersama*, vol. 1, no. 09, p. 4, 2012, [Online]. Available: <https://ejournal.poltektegal.ac.id/index.php/powerelektro/article/view/139/142>.
- [10] S. Agustina and N. Nugroho, “Analisa Motor Dc (Direct Current) Sebagai Penggerak Mobil Listrik,” *J. Mikrotiga*, vol. 2, no. 1, 2015.
- [11] D. T. Arif and A. Aswardi, “Kendali Kecepatan Motor DC Penguat Terpisah Berbeban Berbasis Arduino,” *JTEV (Jurnal Tek. Elektro dan Vokasional)*, vol. 6, no. 2, p. 33, 2020, doi: 10.24036/jtev.v6i2.108395.
- [12] S. SAODAH and S. UTAMI, “Perancangan Sistem Grid Tie Inverter pada Pembangkit Listrik Tenaga Surya,” *ELKOMIKA J. Tek. Energi Elektr. Tek. Telekomun. Tek. Elektron.*, vol. 7, no. 2, p. 339, 2019, doi: 10.26760/elkomika.v7i2.339.
- [13] S. Karyadi, “Rancang Bangun Inverter Satu Fasa Menggunakan Ic Sg 3525,” *Edu Elektr. J.*, vol. 10, no. 1, pp. 25–29, 2021.
- [14] F. A. Samman, R. Ahmad, and M. Mustafa, “Perancangan, Simulasi dan Analisis Harmonisa Rangkaian Inverter Satu Fasa,” *J. Nas. Tek. Elektro dan Teknol. Inf.*, vol. 4, no. 1, pp. 62–70, 2015, doi: 10.22146/jnteti.v4i1.140.
- [15] I. Husnaini, “Inverter Tiga Fasa untuk Pembangkit Listrik Tenaga Surya,” pp. 163–166, 2018, doi: 10.31227/osf.io/6tn5f.