



Pengairan Sawah Tadah Hujan Gunakan Rekayasa Pompa Air Sistem Listrik *Hybrid*

M. Mohsin^{1*}, Jawwad Shulton H²

Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Ponorogo, Ponorogo, Indonesia

*1 muh_muhsin@umpo.ac.id

² sulthon.habiby@gmail.com

Kata Kunci :

ABSTRAK

*Solar Cells
Appropriate Technology
Hybrid Electricity*

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 14,3V 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.

Rainfed rice fields are agricultural areas whose irrigation systems depend on the rainy season. In the dry season, agricultural areas are not planted. The villagers make a living in the agricultural area. During the rainy season, some people cultivate crops, and during the dry season, some people turn to entrepreneurs or work in cities. This went on for years, and to deal with it, farmers built wells and used fossil fuel engines to pump the 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 a solar power plant using hybrid electricity is an alternative option that can be implemented. Based on the results of the evaluation 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 optimum average

solar cell voltage is 20.42V when it is hot and the charging voltage is 14.3V DC current. On cloudy days, the average voltage is 19.20 volts, and the charging voltage is 13.60 volts. Sunlight capacity is 8 hours per day, with normal full exposure of about 5 hours/day. Based on the review of the findings, it is necessary to increase the power supply capacity to a greater extent.. fossil fuel engines, water pump technology

1. Pendahuluan

Lahan tadah hujan merupakan area pertanian yang sistem pengairannya tergantung pada musim penghujan, biasanya dapat berproduksi kalau musim hujan saja. Sedangkan pada musim kemarau area pertanian tersebut tidak ditanami atau puso (kering tidak mengeluarkan hasil). Lahan tadah hujan bisa berupa sawah dan ladang. Lahan tadah hujan yang berupa sawah digunakan untuk pertanian menanam bahan pangan yang berupa padi dan palawija (jagung ubi, kacang dan sayuran).

Masyarakat desa khususnya desa Duri kecamatan Slahung kabupaten Ponorogo sangat tergantung pada pertanian. Desa Duri memiliki luas 627.510 Ha. Luas lahan pertanian 211.065 Ha (33.6%), untuk pemukiman penduduk seluas 271.445 Ha(43,2%), selebihnya 144 Ha (0,0002%) berupa lahan kering dan 105 Ha (0,00016%) berupa hutan. Jumlah penduduk 4.338 jiwa, terdiri dari 2.047 jiwa laki-laki dan 2.291 jiwa perempuan. Dengan komposisi mata pencaharian penduduk sebagian besar 574 petani, 850 buruh tani, 850 wira swasta dan yang lainnya pedagang, PNS/TNI[1].

Penduduk desa sebagian besar bermata pencaharian pada sektor pertanian 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. Pada musim kemarau ada juga yang beralih profesi yang semula petani kemudian jadi pedagang, atau merantau ke kota mencari kerja. 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 berbahan bakar fosil, dapat mengatasi persoalan lahan pertanian bisa berfungsi kembali. Hal ini berdampak pada ongkos produksi pertanian menjadi meningkat. Suatu *alternative* teknologi pompa air bertenaga listrik hybrid.

Rumusan masalah Berdasarkan persoalan pada latar belakang maka dapat dirumuskan dalam penelitian ini bagaimana membuat dan merancang sebuah sistem pompa air tenaga hybrid yang dapat digunakan untuk menggerakkan pompa air. Sehingga mampu digunakan untuk memompa air tanah yang digunakan untuk pengairan pertanian lahan tadah hujan.

Tujuan penelitian ini adalah membuat dan merancang sebuah sistem pompa air tenaga hybrid yaitu menggunakan energi listrik yang bersumber dari energi listrik sinar matahari (*photo voltaic*) dan PT PLN yang dapat digunakan untuk menggerakkan pompa air untuk pengairan pertanian lahan tadah hujan.

Pengertian hybrid merupakan suatu penggunaan beberapa pembangkit listrik dengan sumber energi yang berbeda. Tujuan utama dari sistem hybrid pada dasarnya adalah sebagai sarana penggabungan beberapa sumber energi (sistem pembangkit) sehingga dapat saling bersinergi dan dapat mencapai keandalan pasokan yang efisien dan ekonomis pada beban tertentu[2]. Wilayah negara Indonesia terletak di garis khatulistiwa. Potensi energi yang ketersediaannya cukup untuk digunakan sebagai pembangkit listrik energi terbarukan yaitu energi surya. Intensitas radiasi matahari rata-rata sekitar 4,80 kWh/m² /hari dengan penyinaran cahaya matahari rata-rata 8 jam/hari [3] Beberapa penelitian yang telah dilakukan diantaranya: 1. studi kasus di Kampung Bayang Janiah, Nagari Koto Ranah, Kecamatan Bayang Utara kabupaten Pasir selatan. Pada penelitian analisis mode Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid microhydro-photovoltaic array menggunakan perangkat lunak Homer power energy. Simulasi menggunakan Homer menunjukkan kontribusi energi listrik yang dihasilkan microhydro sebesar 78.945 kWh/yr (87%) dan energi listrik yang dihasilkan photovoltaic array sebesar 11.404 kWh/yr (13%), sehingga totalnya sebesar 100%. Kebutuhan energi listrik harian masyarakat Kampung Bayang Janiah sebesar 88,692 kWh dan kebutuhan energi listrik per tahunnya sebesar 30.668 kWh. Ditinjau dari segi keandalan sistem hibridnya masih terjaga

melihat *capacity shortage* (kekurangan kapasitas) per tahun dalam kisaran 7 – 8 %. 2. Pembangkit Listrik Hybrid PLTS – Generator BBM dengan Kapasitas 3 KVA. Hasil penelitian ini dapat memasok kebutuhan listrik selama 20 jam/hari maka sistem memerlukan 16 unit modul panel surya berkapasitas 250 Wp dan 14 unit baterai berkapasitas 100 Ah 12 V serta BBM yang diperlukan untuk generator sebanyak 3,42 liter/4 jam/ hari.

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. Tanaman pada suatu periode untuk dapat tumbuh dan produksi secara normal membutuhkan sejumlah air. Kebutuhan air pada tingkat usaha tani biasa disebut Agrohidrologi. Perhitungan didasarkan pada data agroklimat. Data air kebutuhan pada tanaman yang hubungannya dengan lingkungan iklim dan tanah. Satuan = mm/hari atau m³/hari/ha atau lt/dt/ha[4]. Perhitungan kebutuhan air pertanian (KAP) yang berguna untuk tanaman padi tiap petak sawah dengan persamaan :

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

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

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

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)
- Wst = 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 persamaan:

$$\text{Perkol} = 15,67 \cdot L^{-0,131} \quad (3)$$

Keterangan :

- Perkol = perkolasi (mm/hari)
- L = Luasan petak sawah (m²)

Guna mengkonversi satuan dari mm/hari menjadi l/dtk/ha yang mengacu pada persamaan 3 yaitu: l/dtk /ha [5] yaitu:

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

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

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 :

$$KAT = Kt \cdot \text{Evap} \quad (5)$$

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). Persamaan (6) yaitu :

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

Keterangan :

r = perbandingan rerata lamanya siang hari dengan jumlah lamanya siang dalam setahun
 t = temperatur rata-rata harian ($^{\circ}\text{C}$)

Faktor r tampak pada tabel 1

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

Lintang ut-sel	Bulan											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
60°	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°	0,19	0,23	0,27	0,31	0,34	0,36	0,35	0,32	0,28	0,24	0,20	0,18
40°	0,22	0,24	0,27	0,30	0,32	0,34	0,33	0,31	0,28	0,25	0,22	0,21
30°	0,24	0,25	0,27	0,29	0,31	0,32	0,31	0,30	0,28	0,26	0,24	0,23
20°	0,25	0,26	0,27	0,28	0,29	0,30	0,30	0,29	0,28	0,26	0,25	0,25
10°	0,26	0,27	0,27	0,28	0,28	0,29	0,29	0,28	0,28	0,27	0,26	0,26
0°	0,27	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[5].

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

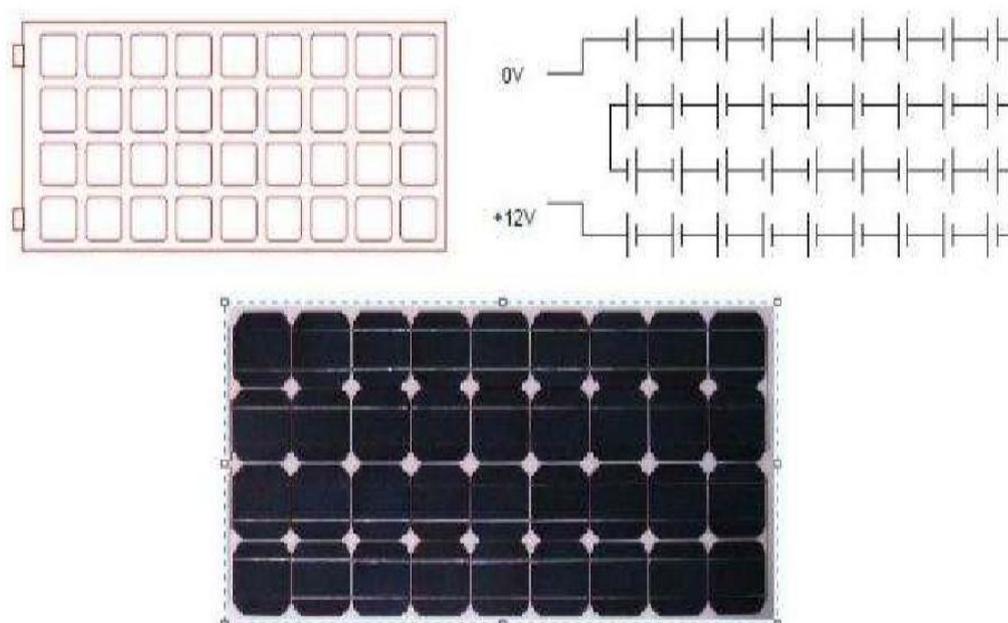
Panel solar (photovoltaic)

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*)[6]

Satu sel surya ketika terkena sinar matahari, bisa menghasilkan tegangan sebesar 0,5 sampai 1 volt, dan arus *short-circuit* dalam skala milliamper 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 1 memperlihatkan rangkaian satu modul sel surya.



Gambar 1. 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[7][8]

Jenis panel surya

Menurut jenisnya panel surya dibedakan berdasarkan jenis bahan dalam pembuatannya menjadi 4 (empat) yaitu: monokristal, polykristalin, *amorphous* dan *compound* atau *gallium arsenide*

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

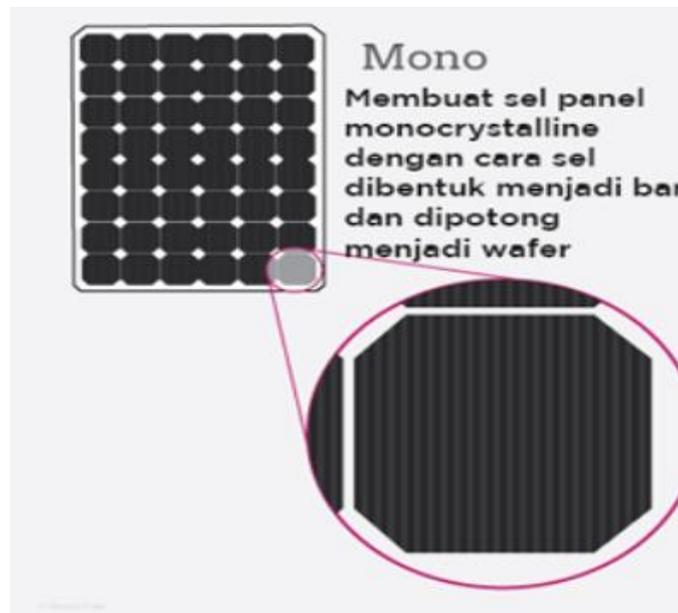
silikon yang dipakai terbuat dari kristal tunggal[8]

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:

1. jika cahaya matahari terhalang mendung (teduh) maka tidak akan berfungsi normal,
2. jika cuaca berawan maka efisiensinya akan turun drastis
3. 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.
4. Teknologi pembuatan lebih rumit sehingga harga lebih tinggi.

Pada gambar 2 memperlihatkan sel monokristalin, tampak berbentuk segi delapan sehingga menyisakan banyak ruangan yang kosong untuk satu panel surya[9].



Gambar 2. 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%.

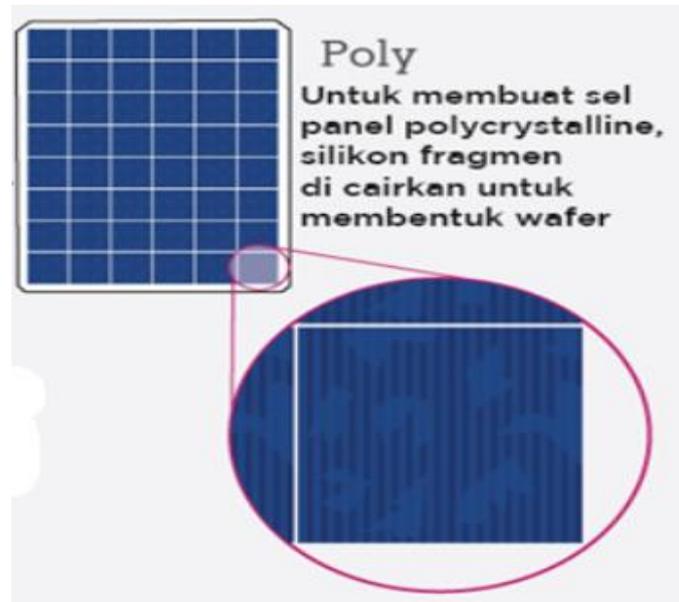
Pada pembuatan sel surya biasanya digunakan silikon semikonduktor tipe-p sebagai *substrate*. Semikonduktor tipe-p dari bahan silikon menjadi unsur yang penting karena akan *didoping* dengan Boron, Galium, Aluminium dan Indium ke dalam semikonduktor *intrinsic* (semikonduktor murni)[8] Keuntungan *solar board (sun based cell)* jenis polikristalin:

1. Teknologi yang digunakan teknologi fisik (metalurgi) lebih mudah.

2. Semikonduktor tipe-p didoping dengan golongan 3 unsur (Boron, Galium, Aluminium dan Indium).
3. Harga lebih murah dibanding *monocrystalline*.
4. Kekurangan cahaya matahari (teduh) masih bisa bekerja

Kelemahan solar *board* (*sun based cell*) jenis polikristalin:

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

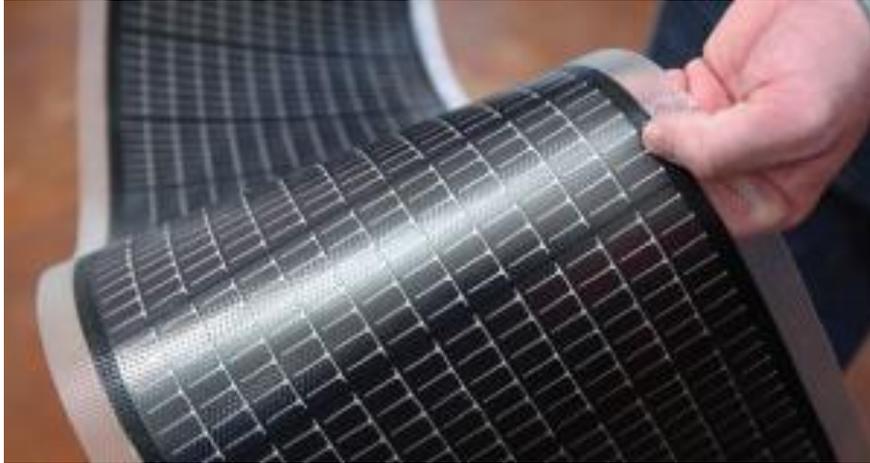


Gambar 3. Panel surya jenis *polycrystalline*

3. *Amorphous*

Film tipis pada *solar cell* dibuat dengan lapisan ratusan kali lebih tipis dari pada panel silikon tradisional sebagai penghasil listrik. Modul surya yang ringan ini tahan lama dan dapat dibuat dengan beberapa cara berbeda. Terdapat empat jenis utama panel surya film tipis: *amorf*, *cadmium telluride* (CdTe), *copper gallium indium diselenide* (CIGS), dan *solar board* organik.

Sel surya *amorf* terbuat dari silikon, tetapi dibuat dengan cara yang berbeda, *board amorf* dibuat dengan mendepositkan silikon non-kristal pada substrat seperti kaca, plastik, atau logam. Satu lapisan silikon pada sel surya *amorf* bisa setipis 1 mikrometer, yang jauh lebih tipis daripada rambut kita.



Gambar 4. solar cell amorf

Keuntungan dan kerugian dari board surya amorf

Sel silikon *amorf* menggunakan sangat sedikit bahan beracun. Sel *amorf* menggunakan silikon jauh lebih sedikit bila dibandingkan sel surya mono atau polikristal. Sel surya *amorf* juga dapat ditekuk dan fleksibel dibandingkan *board* tradisional yang dibuat dari *wafer* silikon padat. Kerugian sel surya *amorf* memiliki efisiensi yang rendah, karena termodinamika yang rumit dan degradasi silikon *amorf*. Sel surya *amorf* tingkat efisiensi sekitar 7%, sementara *mono board* dan *polycrystal* memiliki peringkat efisiensi di mana saja dari 14% hingga 20% +.

Solar cell Cadmium telluride (CdTe) sudah menjadi solusi sel surya film tipis yang sesuai. Sel film tipis CdTe terbuat dari beberapa lapisan tipis: satu lapisan penghasil energi utama yang terbuat dari senyawa *cadmium telluride*, dan lapisan sekitarnya untuk konduksi dan pengumpulan listrik.



Gambar 5. Solar cell Cadmium telluride (CdTe)

Keuntungan dan kerugian dari panel surya cadmium telluride. Kemampuan menyerap sinar matahari mendekati panjang gelombang ideal yang paling menarik dari Sel CdTe. Secara fungsional berarti bahwa board surya CdTe dapat menangkap energi pada panjang gelombang yang lebih pendek daripada board silikon tradisional, untuk konversi cahaya matahari ke listrik yang optimum. Sel telluride kadmium dapat diproduksi dengan biaya rendah, karena kadmium berlimpah dan dihasilkan sebagai produk sampingan dari bahan industri penting.

Kerugian *kadmium* dengan salah satu bahan paling beracun yang diketahui dan *cadmium telluride* juga memiliki beberapa sifat beracun. Pada pendapat umum tentang penggunaan *cadmium telluride* bahwa tidak berbahaya bagi manusia atau lingkungan dalam aplikasi atap atau industri, tetapi pembuangan *board CdTe* yang telah usang menjadi perhatian.

Seperti *board amorf*, *board cadmium telluride* tidak menawarkan peringkat efisiensi tinggi. Hanya sekitar 10% -11%, panel CdTe berada di atas efisiensi panel *amorf*.

Solar cell copper gallium indium diselenide (CIGS)

Sel surya CIGS terbuat dari senyawa yang disebut *copper gallium indium diselenide* yang diapit di antara lapisan konduktif.

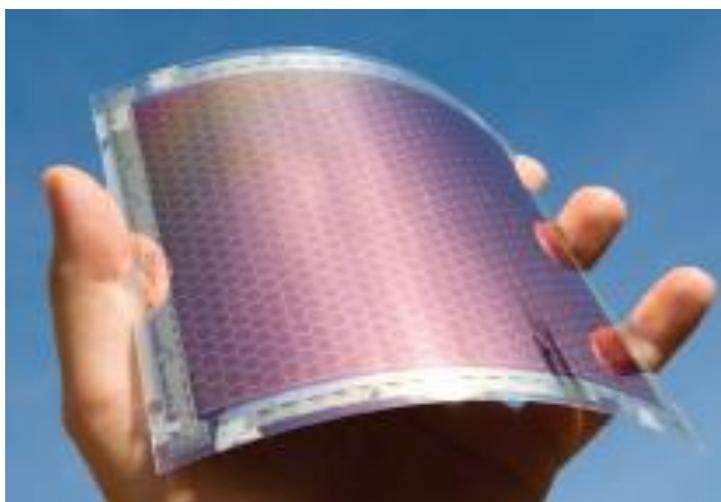


Gambar 6. Sel surya tembaga gallium indium diselenide (CIGS)

Bahan ini dapat diendapkan pada substrat seperti kaca, plastik, baja, dan aluminium, dan ketika disimpan pada tempat yang fleksibel, lapisannya cukup tipis untuk memungkinkan fleksibilitas penuh. Keuntungan dan kerugian board surya CIGS

Sel surya CIGS menawarkan potensi efisiensi kompetitif untuk panel silikon tradisional. Dengan efisiensi melebihi 20% yang diukur di laboratorium.. Kerugian utama dari panel CIGS pada harganya yang tinggi. Sel CIGS juga menggunakan *kadmium* kimia beracun. Namun, panel CdTe memiliki persentase kadmium yang lebih tinggi.

Sel fotovoltaik organik



Gambar 7. Solar cell photovoltaic organic

Sel-sel pada *photovoltaic organik* (OPV) menggunakan *polimer organik* konduktif atau molekul organik kecil untuk menghasilkan listrik. Beberapa lapisan uap organik tipis atau larutan disimpan dalam sel *photovoltaic organik*, dan disimpan di antara dua elektroda untuk membawa arus listrik.

Keuntungan dan kerugian sel PV organik

Membangun pasar photovoltaic terintegrasi (BIPV) memiliki manfaat terbesar dari sel-sel OPV. Karena kemampuan untuk menggunakan berbagai peredam dalam sel organik, perangkat OPV dapat diwarnai beberapa cara, bahkan bisa dibuat transparan, yang memiliki banyak aplikasi dalam solusi surya yang unik. Bahan yang berlimpah, sehingga biaya rendah.

Kerugian sel *photovoltaic organik* saat ini beroperasi dengan efisiensi yang relatif rendah. OPV telah dibangun dengan peringkat efisiensi sekitar 11%. Umur penggunaan teknologi OPV lebih pendek daripada kedua opsi film tipis dan panel mono-atau poli-kristal tradisional.

4. *Coumpound* atau *gallium arsenide* (GaAs)

Board surya jenis ini sangat efisien dan efektif untuk menghasilkan energi listrik sekitar 25% dan jenis Panel surya gabungan (*Coumpound*) biasa diterapkan pada pembuatan perangkat seperti: Rangkaian terpadu frekuensi *microwave*, *monolithic microwave integrated circuits*, *infrared light emitting diodes*, *solar cell*, *optical windows*, serta dioda laser.

Struktur celah pita energi yang dimiliki bahan GaAs dengan transisi langsung (*direct bandgap*) besarnya sekitar 1,42 eV. Sehingga efisiensi konversi energi dari material GaAs paling tinggi dibanding dengan bahan lain ketika dibuat divais sel surya. Material GaAs memiliki ketahanan radiasi yang tinggi, oleh karena itu sel surya dari bahan GaAs mendominasi pemakaian di ruang angkasa sebagai sumber energi bagi satelit di luar angkasa.



Gambar 8. Sel surya GaAs dan Struktur Kristalnya

Gallium arsenide (GaAs) merupakan senyawa dari unsur-unsur galium dan arsenik. *Band gap semiconductor* merupakan celah pita semikonduktor III-V langsung dengan struktur kristal *Zinc blende*.

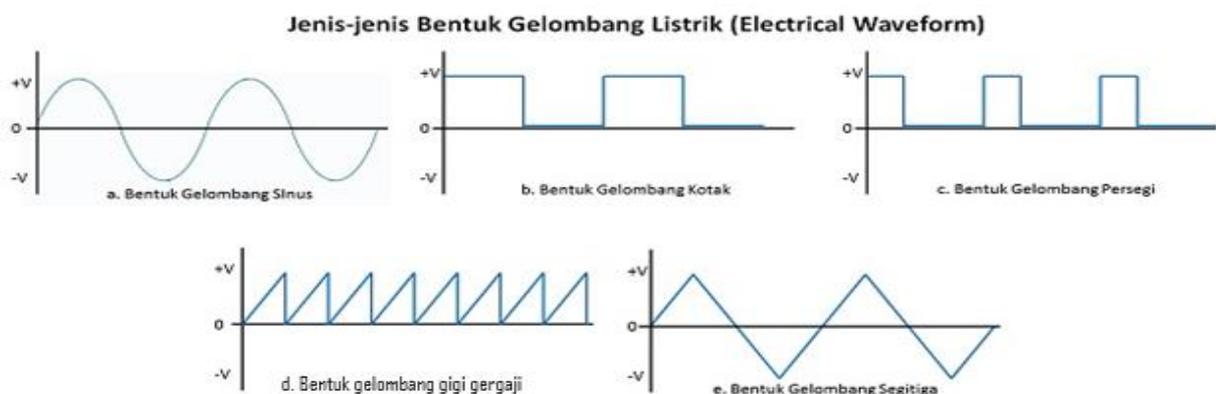
Penggunaan *Gallium arsenide* diantaranya untuk rangkaian terintegrasi frekuensi *microwave*, rangkaian terpadu monolitik terintegrasi, dioda pemancar cahaya inframerah, *dioda laser*, sel surya dan jendela optik. GaAs digunakan sebagai bahan substrat untuk pertumbuhan *epitaxial* semikonduktor III-V lain termasuk *galium arsenide indium*, *aluminium galium arsenide* dan yang lainnya[9]

Motor listrik merupakan pengubah energi listrik menjadi energi mekanik[10]. 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) [11]. Pada motor listrik DC terbagi menjadi 2 yaitu motor listrik DC penguatan sendiri (*self excited*)[12] dan motor listrik DC penguatan terpisah (*separately excited*)[13].

Energi mekanik dari motor listrik ini digunakan untuk memutar pompa, kipas angin, menggerakkan kompresor, dan mengangkat beban lainnya. *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[13].

Gambar 9 menunjukkan berbagai bentuk gelombang yang dapat dihasilkan dari *inverter*



Gambar 9. berbagai bentuk gelombang yang dapat dihasilkan *inverter*.

Bentuk Gelombang Sinus gambar (a) atau *Sine Waveform* 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 pewaktuan.

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

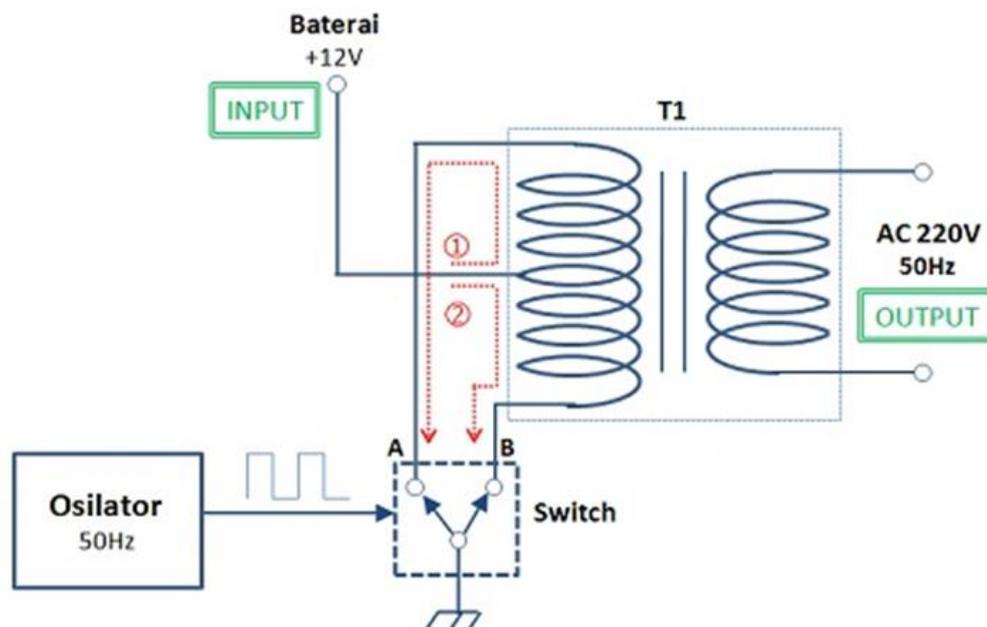
Sistem kerjanya terbagi 2 yaitu system fasa tunggal dan system 3 fasa. Inverter fasa tunggal terdiri dari arus listrik DC tegangan rendah (baterai contoh 12V), rangkaian Osilator, rangkaian Saklar (Switch) dan Transformator (trafo).

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.

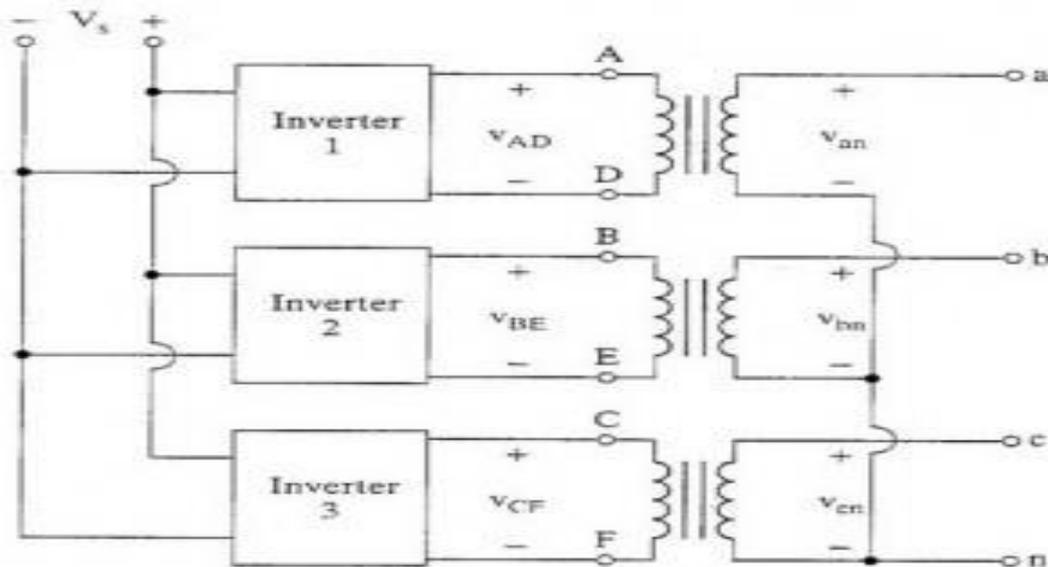
Hal ini ekuivalen dengan arus listrik AC yang berfrekuensi 50Hz. Sementara komponen utama yang digunakan sebagai Switch umumnya adalah MOSFET atau Transistor[14][15]. Sekunder Transformator akan menghasilkan output yang terdiri dari tegangan yang lebih tinggi (contohnya 120V atau 240V) tergantung pada jumlah lilitan pada kumparan sekunder Trafo atau rasio lilitan antara primer dan sekunder Transformator yang digunakan.



Gambar 10. inverter fasa tunggal

Inverter 3 fasa terdiri dari 3 rangkaian inverter fasa tunggal yang dirangkai sebagai hubungan bintang (*star*) dengan menggunakan *power mosfet* sebagai *switch* atau sakelar.

Inverter 3 fasa merupakan inverter dengan tegangan keluaran berupa arus bolak balik (ac) 3 fasa per segi. Sumber dc dengan tegangan sebesar V_s merupakan tegangan suplai, dengan titik netral merupakan titik hubung dari titik bintang (Y) pada beban. Terdapat 2 jenis mode (variasi) operasi dari *inverter* jenis ini, yaitu mode konduksi 120° dan mode konduksi 180° . Gambar 11 merupakan rangkaian inverter 3 fasa.

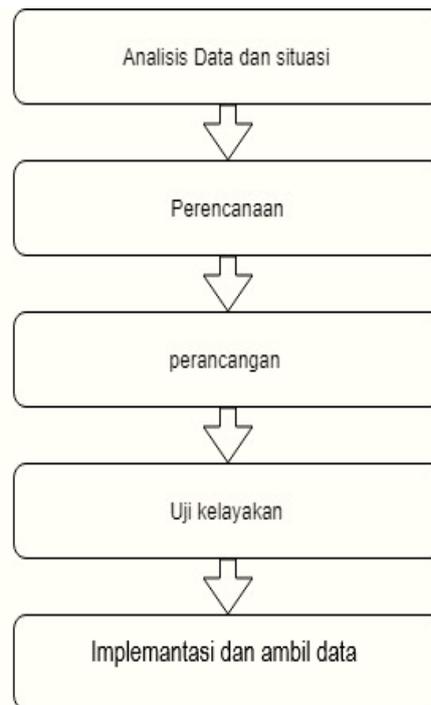


Gambar 11. rangkaian inverter 3 fasa.

Pada mode (variasi) konduksi, inverter 3 fasa dibedakan atas: inverter 3 phase mode konduksi 120° dan inverter 3 fasa mode konduksi 180° . *Inverter* 3 fasa dengan variasi konduksi 120° memungkinkan setiap komponen pensakelaran akan konduksi selama 120° dengan pasangan konduksi yang berbeda, misalnya antara transistor Q1 dan Q6 akan menghasilkan 60° pertama, dan antara transistor Q1 dan Q2 akan menghasilkan 60° ke dua, dan seterusnya. *Inverter* 3 *phase* dengan variasi konduksi 180° memungkinkan 3 komponen pensakelaran konduksi pada saat yang bersamaan. Ke tiga komponen pensakelaran akan konduksi selama 180° dengan pasangan konduksi yang berbeda-beda juga [16]. Teknik pensakelaran (*switching technique*) dibedakan sebagai berikut; inverter persegi (*square inverter*), inverter PWM (inverter PWM) inverter quasi PWM (quasi pwm inverter).

2. Metode Penelitian

Metode Perancangan sistem pompa air irigasi lahan pertanian ini yakni air sumur tanah 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 dalam penelitian yang digunakan dapat dijelaskan seperti pada diagram gambar 12 berikut.



Gambar 12. Diagram Alir Metodologi Yang Dilakukan

Analisis data merupakan kegiatan pengamatan data dilapangan yang akan dijadikan acuan untuk langkah perencanaan pompa air irigasi lahan pertanian system hybrid. Perencanaan dan perancangan merupakan sesuatu yang mana bagaimana model yang akan di bangun maupun bagaimana sistem ini nantinya dapat bekerja. perancangan merupakan sesuatu tindakan bagaimana sistem dibangun sesuai dengan perencanaan awal.

Uji kelayakan merupakan tahapan untuk menguji sistem pompa air listrik hybrid yang sudah di rancang dan dirakit kemudian di uji setiap bagian, guna mengetahui apakah dapat bekerja sesuai dengan rancangan. Adapun pengujian meliputi: sistem kerja dan kemampuan implementasi. Implementasi merupakan tahap terakhir setelah semua sistem selesai dirancang dan dirakit kemudian diuji coba dan dievaluasi. Pada tahap ini sistem pompa air irigasi lahan pertanian diterapkan pada lokasi yang telah ditetapkan

Analisis Situasi. Lahan Pertanian tadah Hujan di Duri kecamatan Slahung Ponorogo terdapat beberapa jenis tanaman yang ditanam para petani, tanaman pertama adalah tanaman padi, Tanaman padi ditanam saat musim hujan intensitas besar yakni pada bulan November sampai bulan Maret. Tanaman kedua adalah jenis palawija dan sayur-sayuran. Tanaman palawija dan sayur-sayuran di tanam pada saat akhir musim hujan yakni pada bulan Februari sampai akhir oktober.

Tanaman padi umumnya dilakukan satu kali pada setiap tahunnya karena utamanya hanya mengandalkan curah hujan. Tanaman padi membutuhkan air sangat banyak, jika tanaman padi sudah panen, petani menggantinya dengan tanaman palawija. Tanaman palawija seperti jagung, kedelai, kacang tanah maupun tanaman sayur-sayuran. Tanaman sayur maupun palawija membutuhkan air lebih sedikit dibandingkan dengan tanaman padi.

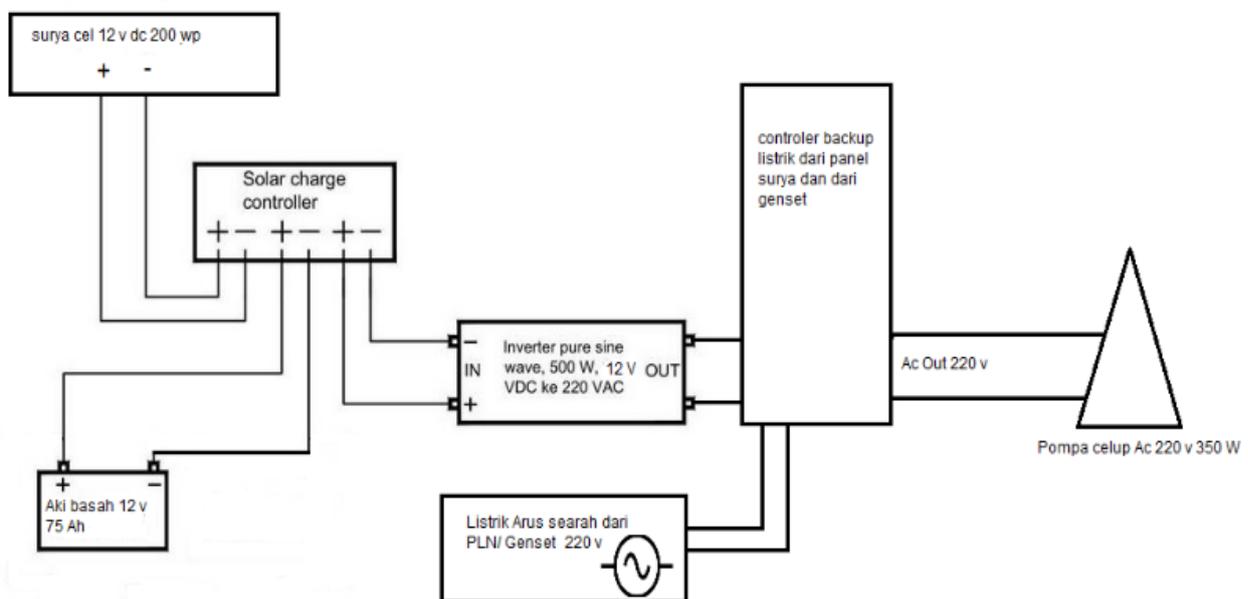
Tanaman palawija maupun sayur umunya ditanam setelah musim hujan mulai habis. Petani memberikan pengairan pada tanaman menggunakan pengairan tanah yang di pompa menggunakan mesin pompa berbahan bakar minyak maupun menggunakan pompa dengan penggerak motor listrik.

Pompa air untuk pengairan lahan sawah tadah hujan berbahan bakar fosil sedangkan pompa air bertenaga listrik petani menggunakan pompa air celup (*submersible*) dengan mengandalkan listrik dari PLN. Untuk lahan yang berdekatan dengan pemukiman penduduk. Jaringan listrik PLN belum bisa menjangkau pada lahan persawahan atau ladang pertanian.

Perencanaan sistem merupakan langkah setelah analisa data dilapangan. Analisa lapangan disimpulkan bahwa sistem pengairan pada tanaman lahan tadah hujan setelah musim penghujan berakhir maka pengairan tergantung dari air tanah yang di pompa menggunakan mesin pompa. Terdapat 2 jenis mesin pompa yakni mesin pompa air dengan bahan bakar fosil dan pompa air dengan energi 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

Perencanaan 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 disimpan pada *accumulator* habis maka listrik dari PLN aktif menyuply tegangan untuk pompa air.



Gambar 13 Skema sistem listrik Hibrid untuk pompa air

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 menggunakan energi yang dihasilkan oleh

tenaga surya. Panel surya menghasilkan tegangan DC 12V, listrik ini kemudian disimpan menggunakan *accumulator*. kemudian di rubah menjadi tegangan 220 menggunakan *Inveter*, tegangan listrik AC 220 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* maka kebutuhan energi listrik di *back up* oleh genset atau listrik dari PLN.

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.

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 kontroler 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

- 1) 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) $45\pm 2^{\circ}\text{C}$,

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

Max. Series Fuse 16A,

Weight 6.5Kg,

Dimension 775 x 680 x 28 mm.



Gambar 14. Panel surya 50 WP

- 2) *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 *battrey* sesuai dengan kemampuan kapasitas penuh ideal dari *battrey* yang di gunakan. *Solar charge controler* yang di gunakan dengan *tipe pulsa width modulation* (PWM) dimana tipe pwm mampu menyesuaikan dengan tegangan kerja *battrey* 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 tampak pada gambar 15 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 15. Board pengendali pengisian PWM Solar charge controler (SCC)

- 3) *Battrey* 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 *battrey* dipasang, dilakukan tahapan pengujian serta aktivasi *battrey* dengan melakukan pengisian cairan khusus pada *battrey* dengan di ukur tingkat berat jenis kandungan elektrolit pada cairan khusus menggunakan *Hydrometer*. Pengujian selanjutnya merupakan pengujian tegangan dan daya *accumulator*. Pengujian bertujuan untuk menguji kualitas *battrey* guna mengetahui tegangan, daya, CCA(*Cold Cranking Amps*) dan CA yang sebenarnya dari *accumulator* 12 V menggunakan *tester battery*.
- 4) Inverter DC to AC merupakan alat pengubah 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.
- 5) 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 (*conslet*) 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

- 6) 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
- 7) Instalasi pembangkit listrik panel surya merupakan tahap perakitan setelah modul panel solar di pasang, agar panel solar dapat menerima sinar matahari secara baik. Instalasi meliputi pengkabelan dan penyambungan dengan modul pendukung lainnya seperti *control charge*, *accumulator*, *inverter*. 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 controller (SCC)*.

Pengujian system pembangkit dibagi menjadi beberapa bagian yakni bagian: Pengujian system pembangkit panel surya, Pengujian *control charge*, Pengujian *accumulator*, dan pengujian *inverter*.

Pengujian ke1, pembangkit listrik panel Surya, pengujian meliputi pengujian tegangan pada solar cell di saat panel surya di paparkan pada sinar matahari. Hasil tampak pada tabel: 3

Tabel 3. Pengujian ke 1 tegangan panel surya

	Redup	Terang
Tegangan	18,33 V	21.2 Volt

Pengujian ke 2 di lakukan 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

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

Pengujian control Charger dilakukan untuk mengetahui kondisi *control Charger*. Pertama apakah *control carger* dapat hidup saat ada tegangan listrik dan kedua apakah *control carger* dapat bekerja mengisi *accumulator* dari hasil pembangkit listrik tenaga surya. Dalam pengujian ini di ketahui bahwa *control carger* dapat hidup saat terdapat sumber dari panel surya dan *control carger* dapat bekerja mengisi *accumulator* disaat *accumulator* dalam kondisi belum penuh dan berhenti disaat *accumulator* penuh

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 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* 12 volt dengan tegangan minimum 7,2 volt. Sehingga kondisi *accumulator* jelas kemampuannya sebelum digunakan untuk penelitian ini.

Tabel 5 pengujian *accumulator* Pengukuran tanpa beban

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

Pengujian Inverter merupakan tahap pengujian pada perangkat pengubah tegangan DC menjadi tegangan 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.tampak pada tabel 6.

Tabel 6 pengujian *inverter Pure Sinewave* Daya 2000 Watt AC

Teg.	Teg.	Beban				
input V DC	output V AC	lampu	Kipas angin	pompa air daya	TV warna	Debit air
12	217	11W	40W	370W	80W	18lt/m

Implementasi merupakan tahap terakhir setelah semua sistem selesai dirancang di uji coba, dan evaluasi. 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 220 meter untuk irigasi lahan tadah hujan dengan tanaman sayuran dengan durasi pengairan maksimal 2 jam.

Evaluasi merupakan tahap dimana sistem yang telah di implementasikan. Pada tahap ini akan di lihat temuan-temuan dalam segala hal terkait pengembangan sistem pada masa yang akan datang agar menjadi lebih baik. Hasil perancangan, pengujian dan implementasi pada penelitian Sistem Pompa Air gunakan Listrik Hybrid untuk Irigasi 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 20.42V 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.

3. Hasil dan Analisis

Kapasitas pompa hasil rancangan: 18 lt/menit kalau dikonversi ke lt/dt maka diperoleh 18lt /60dt = 0.3lt /dt. Seperti terlihat pada tabel 7.

Tabel 7 Kapasitas listrik *hybrid tenaga surya dengan daya 800 Watt/ Jam*

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

Perhitungan Kebutuhan Air Untuk Petak 1Ha Sawah

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

Tabel 8 Nilai Evapotranspirasi

Bulan	Rerata masa pertumbuhan	Rerata Temperatur (t ⁰ 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	5,2920	79,380

$KAT = Kt \cdot \text{Evap}$ sesuai persamaan 5,

Tabel 9 Keperluan air tanaman

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

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

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

Tabel 10 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
2	87,31845	4,688879	131,7488	271,4356	2,09441

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.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil evaluasi rancang bangun sistem pompa air listrik hybrid untuk irigasi sawah tadah hujan yang telah dirancang. Penggunaan Panel Surya dengan daya 200 Wp menghasilkan 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.

Daftar Pustaka

H. Sudiby, Ed., *Kecamatan Slahung dalam Angka 2018*, 1st ed. Ponorogo: © BPS Kabupaten Ponorogo/BPS-Statistics of Ponorogo Regency, 2018.

S. Saodah and N. Hariyanto, "Perancangan Sistem Pembangkit Listrik Hybrid Dengan Kapasitas 3 kVA," *Pros. Semin. Nas. Penelit. Pengabd. Pada Masy.*, pp. 187–190, 2019.

N. Kurniasih and R. Nazir, "Analisis Mode Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Hibrid Microhydro - Photovoltaic Array Menggunakan Homer (Studi Kasus : Kampung Bayang Janiah, Kabupaten Pesisir Selatan)," *J. Nas. Tek. Elektro*, vol. 4, no. 1, p. 30, 2015, doi: 10.25077/jnte.v4n1.114.2015.

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.

- P. Perdana, K. Wiguna, S. Si, and M. Sc, "Perhitungan Kebutuhan Air," 2019.
- A. S. W. Rangga Arianto, M. S. Zainal Dudik, and dan P. Arista, "Pemanfaatan Teknologi Pembangkit Listrik Hybrid pada Peternakan Ayam Desa Sukunolo Kabupaten Malang," pp. 1–5.
- 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."
- 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.
- N. Aditiyan, "Karakterisasi Panel Surya Model SR-156P-100 Berdasarkan Intensitas Cahaya Matahari," pp. 1–72, 2015.
- 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>.
- S. Agustina and N. Nugroho, "Analisa Motor Dc (Direct Current) Sebagai Penggerak Mobil Listrik," *J. Mikrotiga*, vol. 2, no. 1, 2015.
- 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.
- 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.
- S. Karyadi, "Rancang Bangun Inverter Satu Fasa Menggunakan Ic Sg 3525," *Edu Elektr. J.*, vol. 10, no. 1, pp. 25–29, 2021.
- 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.
- I. Husnaini, "Inverter Tiga Fasa untuk Pembangkit Listrik Tenaga Surya," pp. 163–166, 2018, doi: 10.31227/osf.io/6tn5f.