

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Pertanian Modern Terintegrasi**

Pertanian modern terintegrasi adalah pertanian yang menggabungkan antara pertanian dengan perternakan ikan dikenal juga dengan istilah aquaponik, Proses dimana tanaman memanfaatkan unsur hara yang berasal dari kotoran ikan yang apabila dibiarkan di dalam kolam akan menjadi racun bagi ikannya. Lalu tanaman akan berfungsi sebagai filter vegetasi yang akan mengurai zat racun tersebut menjadi zat yang tidak berbahaya bagi ikan, dan suplai oksigen pada air yang digunakan untuk memelihara ikan. Dengan siklus ini akan terjadi siklus saling menguntungkan dan bagi kita yang mengaplikasikannya tentu saja akan sangat menguntungkan sekali, karena lahan yang dipakai tidak akan terlalu luas. Ikan adalah kunci dalam sistem aquaponik. Ikan menyediakan hampir semua nutrisi bagi tanaman. Ada berbagai jenis ikan yang dapat digunakan dalam sistem aquaponik. Jenis ikan ini tergantung pada iklim lokal dan jenis yang tersedia di pasaran, tetapi yang paling sering digunakan yaitu ikan nila (Fatmawati, 2018).

Akuaponik adalah bentuk pertanian terpadu yang menggabungkan dua teknik utama, akuakultur dan hidroponik. Dalam satu sirkulasi terus menerus unit, air budidaya keluar dari tangki ikan yang berisi limbah metabolisme ikan. Air pertama melewati filter mekanis yang menangkap limbah padat, dan kemudian melewati biofilter yang mengoksidasi amonia menjadi nitrat. Air kemudian bergerak melalui pertumbuhan tanaman tempat tidur di mana tanaman menyerap nutrisi, dan akhirnya air kembali, dimurnikan, ke tangki ikan. Biofilter menyediakan habitat bagi bakteri untuk mengubah limbah ikan menjadi nutrisi yang dapat diakses oleh tanaman. Nutrisi ini, yang larut dalam air, kemudian diserap oleh tanaman. Proses penghilangan nutrisi ini membersihkan air, mencegah air menjadi beracun dengan bentuk nitrogen yang berbahaya (amonia dan nitrit), dan memungkinkan ikan, tanaman, dan bakteri berkembang secara simbiosis. Jadi, semua organisme bekerja sama untuk menciptakan lingkungan tumbuh yang sehat untuk satu sama lain, asalkan sistemnya benar-benar seimbang (Somerville et al., 2014).

## 2.2 Agrivoltaic

Agrivoltaic adalah pendekatan inovatif dalam pertanian berkelanjutan yang menggabungkan pertanian dengan energi surya (*solar Energy*) dengan cara menanam tanaman di bawah panel surya atau sistem energi surya yang ada. Konsep agrivoltaic menggabungkan dua kegiatan penting secara simultan, yaitu produksi tanaman pertanian dan produksi energi surya. Cara kerja *agrivoltaic* adalah sebagai berikut:

1. Penempatan Panel Surya: Panel surya ditempatkan di atas struktur yang cukup tinggi untuk memberikan ruang yang cukup bagi tanaman di bawahnya. Panel surya harus dirancang sedemikian rupa sehingga tanaman di bawahnya tetap dapat menerima sinar matahari yang cukup.
2. Penanaman Tanaman Pertanian: Tanaman pertanian seperti sayuran, tanaman buah-buahan, atau tanaman lainnya ditanam di bawah panel surya. Tanaman tersebut harus dipilih dengan bijaksana untuk memastikan bahwa mereka dapat tumbuh dengan baik di kondisi pencahayaan yang ada dan memberikan hasil pertanian yang optimal.
3. Pemanfaatan Sinar Matahari: Panel surya akan menangkap energi matahari untuk menghasilkan listrik, sementara tanaman di bawahnya akan memanfaatkan sinar matahari untuk fotosintesis dan pertumbuhan. Sinar matahari yang disaring oleh panel surya juga membantu melindungi tanaman dari kondisi cuaca yang ekstrem, seperti hujan berlebih, panas berlebih, atau hujan es.

Manfaat pertanian metode *Agrivoltaic*:

1. Peningkatan Efisiensi Lahan: Dengan menggabungkan pertanian dan energi surya di lahan yang sama, agrivoltaic dapat meningkatkan efisiensi penggunaan lahan dan memaksimalkan hasil pertanian serta produksi energi.
2. Perlindungan Tanaman: Panel surya menyediakan naungan bagi tanaman di bawahnya, mengurangi tingkat penguapan air dan perlindungan terhadap sinar ultraviolet yang berlebihan. Ini membantu meningkatkan pertumbuhan tanaman dan mengurangi risiko kekeringan.
3. Pengurangan Radiasi Termal: Panel surya dapat mengurangi radiasi termal yang mencapai tanaman di bawahnya, sehingga mengurangi tekanan panas pada tanaman dan meningkatkan produktivitas pertanian.
4. Energi Bersih: Dengan menghasilkan listrik dari sumber energi surya, agrivoltaic

membantu mengurangi ketergantungan pada sumber energi fosil dan mengurangi emisi gas rumah kaca.

5. Keberlanjutan Lingkungan: Pendekatan agrivoltaic berkontribusi pada pertanian berkelanjutan dan mengurangi dampak negatif pertanian konvensional pada lingkungan.

India menggunakan desain struktur rendah untuk mengefesiesikan biaya instalasi dan diberikan jarak 6 – 12 meter antara panel surya yang berdekatan, dengan sudut pemasangan  $26^{\circ}$  dengan jarak minimum ke tanah adalah 0,5 meter. Lahan yang digunakan untuk memasang panel surya akan membuat zona bayangan sebesar 25 – 30% dari luas lahan pertanian, selain itu tinggi tanaman tidak lebih dari 0,75 meter agar tidak menutupi cahaya matahari untuk panel surya pada saat matahari bersinar (Santra et al., 2017)

Penelitian lain dilakukan di Thailand pada tahun 2018 dengan menggunakan tanaman bok choy (*Brassica Rupa Subsp.chinensis L.*) tanaman ini diaplikasikan pada 5 kondisi 4 diantaranya di bawah panel surya yang secara *ground mounted* dengan ketinggian minimal 0,85 meter, hasil yang didapatkan tanaman yang terkena sinar matahari secara langsung memiliki bobot yang lebih berat dibandingkan dengan tanaman yang berada dibawah panel surya dimana tanaman tersebut tertutupi oleh bayangan panel surya. Bobot sayuran bok choy pada saat panen di 35 hari menghasilkan tanaman yang ditanam di bawah panel surya memiliki berat antara 26,7 gram – 51,8 gram sedangkan tanaman yang disinari matahari secara langsung bobot tanamannya mencapai 233,9 gram (Mavani et al., 2019).

*Agrivoltaic* juga dilakukan simulasi dengan 2 variasi panel surya yang dipasang secara *ground mounted* dan juga diberi tiang penyangga setinggi 4 meter, didapatkan losses akibat bayangan 0,6% untuk instalasi secara *Ground Mounted* dan 1,3% untuk instalasi menggunakan tiang. Sayuran yang diproduksi adalah selada dengan dengan kerapatan tanaman 9 buah per m<sup>2</sup> dapat menghasilkan bobot tanaman selada hingga 557gram, pada musim panas akan berkurang sebanyak 42% pada saat terkena panas matahari full sedangkan pada saat terkena matahari hanya pada siang hari akan mengurangi bobot 19% (Kumpanalaisatit et al., 2022).

### 2.3 Piko Hidro Power generation

Pembangkitan energi hidro adalah proses mengubah energi potensial atau kinetik air menjadi energi listrik atau tenaga mekanis yang dapat digunakan untuk berbagai keperluan. Energi hidro merupakan salah satu bentuk energi terbarukan yang sangat penting dalam menyediakan sumber daya energi bersih dan berkelanjutan.

Proses pembangkitan energi hidro melibatkan beberapa komponen dan tahapan penting, di antaranya:

1. Sumber Air: Sumber air yang digunakan dalam pembangkitan energi hidro dapat berasal dari sungai, danau, waduk, atau air terjun. Energi potensial air tercipta karena perbedaan ketinggian air yang diambil dari sumber alam ke tempat pembangkit.
2. Bendungan atau Bangunan Pengalihan Air: Untuk memanfaatkan energi hidro secara efisien, sering kali digunakan bendungan atau bangunan pengalihan air untuk mengendalikan aliran air dan menciptakan perbedaan tinggi antara permukaan air di hulu dan hilir. Bendungan juga berfungsi untuk menyimpan air dan mengatur aliran air yang keluar dari pembangkit.
3. Saluran Pengalihan Air: Saluran pengalihan air digunakan untuk mengarahkan air dari sumber alam menuju turbin atau roda air di pembangkit. Saluran ini dirancang untuk memaksimalkan potensi energi kinetik air sehingga energi yang dihasilkan lebih besar.
4. Turbin atau Roda Air: Di dalam turbin atau roda air, energi kinetik air yang mengalir diubah menjadi energi mekanis yang memutar poros turbin. Turbin ini berfungsi sebagai pengubah energi hidro menjadi energi mekanis rotasi.
5. Generator: Energi mekanis dari turbin selanjutnya digunakan untuk menggerakkan generator. Generator mengubah energi mekanis menjadi energi listrik melalui prinsip elektromagnetik.
6. Transformator dan Jaringan Listrik: Energi listrik yang dihasilkan dari generator kemudian dialirkan melalui transformator untuk meningkatkan tegangan dan disalurkan melalui jaringan listrik ke konsumen.

*Hydro power* merupakan salah satu pembangkit terbersih, murah dan dapat digabungkan dengan pembangkit lainnya, secara global 19% dari pembangkit listrik merupakan pembangkit listrik tenaga air dan berkontribusi dari skala kecil sampai skala besar, dalam

klasifikasi pembangkit listrik tenaga air dapat dilihat pada Tabel 1 (Awang et al., 2021).

Tabel 1. Klasifikasi Pembangkit Listrik Tenaga Air

Klasifikasi	Deskripsi
<b>A. Power Output</b>	
Large	> 100 MW
Medium	10 – 100 MW
Small	100 kW – 1 MW
Mini	5 kW – 100 kW
Pico	< 5 kW
<b>B. Head</b>	
High Head	Above 100 m
Medium Head	3 – 100 m
Low Head	0,5 – 30 m
<b>C. Operation System</b>	
Type of River	This type of system does not control river flow; it suffers from water shortage in the dry season and is loaded with water resources during the rainy season.
Type of Reservoir	This type of scheme stores several water resources that are excessive from the river and controls power production based on seasonal load requests.
Type of Pump Storage	This type uses the power of water supply to pump the source from the water reservoir located at a lower level to the top of the water reservoir.

Dari klasifikasi diatas, pembangkit piko hidro merupakan pembangkit listrik terkecil dengan daya yang dibatasi hingga 5 kW, pada sistem pertanian terintegrasi, sirkulasi dari air yang ada dapat dimanfaatkan untuk pembangkitan listrik tenaga air dengan klasifikasi piko hidro, *low head* dan tipe sistem *pump storage*.

Untuk mengetahui potensi pembangkitan listrik tenaga air dapat dihitung melalui rumus:

$$P = n \times p \times H \times Q \quad (1)$$

Dimana :

P = Daya listrik (W)

n = Efisiensi turbin

p = Densitas air (kg/m<sup>3</sup>)

$g =$  Kecepatan gravitasi ( $9,8 \text{ m/s}^2$ )

$Q =$  Debit air ( $\text{m}^3/\text{s}$ )

Untuk mendapatkan debit air dapat dihitung melalui rumus berikut :

$$Q = V/t \quad (2)$$

Dimana :

$V =$  Volume air ( $\text{m}^3$ )

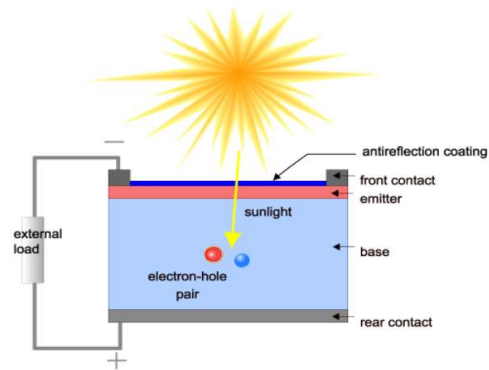
$t =$  Waktu (s)

## 2.4 Pembangkit Listrik Tenaga Surya

Pembangkit Listrik Tenaga Surya Fotovoltaik adalah sistem yang menggunakan sel surya fotovoltaik untuk mengubah sinar matahari langsung menjadi energi listrik. Teknologi ini merupakan salah satu cara paling umum dan efisien untuk menghasilkan listrik dari energi surya. Sistem fotovoltaik terdiri dari beberapa komponen utama, termasuk sel surya, panel surya, *inverter* , dan sistem penyaluran listrik.

Panel surya terdiri dari beberapa komponen utama untuk mengubah sinar matahari menjadi energi listrik. Berikut adalah beberapa komponen penting dalam panel surya : sel surya, Pelat Pendukung (*Backsheet*), kisi logam (*Metal Grid*), lapisan anti refleksi (*AR Coating*), kaca pelindung (*Front Cover Glass*), *Encapsulation Materials* dan *Junction Box*.

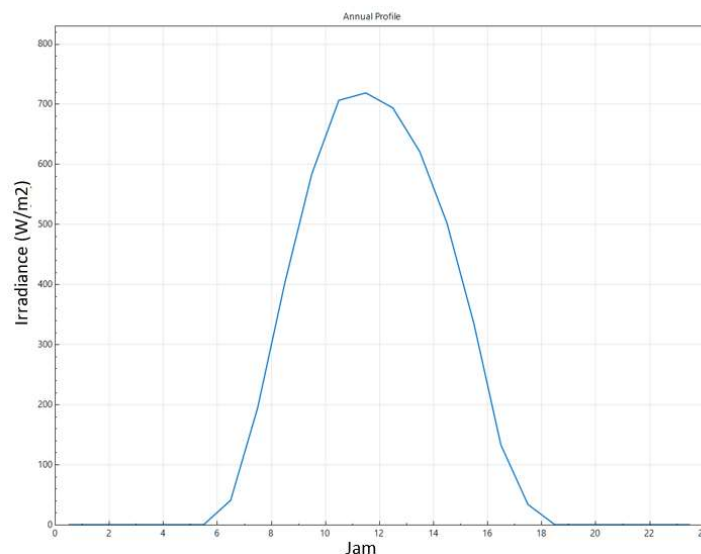
Sel Surya merupakan perangkat elektronik yang secara langsung dapat merubah cahaya matahari menjadi energi listrik. Pada prosesnya material sel surya menyerap cahaya mengakibatkan pergerakan elektron ke ketinggian yang lebih tinggi, kemudian pergerakan elektron ini akan masuk ke eksternal sirkuit lalu kembali lagi ke panel surya seperti pada gambar 2 (Honsberg & Bowden, n.d.) .



Gambar 1. Struktur Sel Surya

Energi listrik yang dihasilkan oleh panel surya masih dalam bentuk tegangan *Direct Current (DC)*, untuk dapat digunakan pada peralatan elektronik maka dibutuhkan *inverter* daya agar dapat mengkonversi tegangan DC menjadi tegangan *Alternating Current (AC)*. Untuk menentukan kapasitas pembangkitan energi surya perlu diketahui beban peralatan elektronik, selain itu perlu diketahui untuk potensi energi surya pada lokasi yang akan dipasang panel surya tersebut.

Energi surya yang dapat dibangkitkan sangat bergantung dengan *Irradiance*, *Irradiance* adalah intensitas sinar matahari dalam satuan Webber/meter<sup>2</sup>. Saat ini penelitian dilakukan di Baturaja, untuk potensi *Irradiance* di Baturaja dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 2. *Irradiance* (W/m<sup>2</sup>) Baturaja.

Berdasarkan data *Irradiance* dari software SAM (*System Advisor Model*) Baturaja memiliki potensi *Irradiance* rata-rata dalam 1 tahun, sebesar 720 W/m<sup>2</sup> dan 4,5 jam

penyinaran matahari efektif.

Penentuan kapasitas panel surya ditentukan dari efisiensi dari komponen peralatan beban yang terpasang ( $E_r$ ) dimana (Al-shamani et al., 2013)

$$E_r = \frac{E}{\eta_{\text{ovelall}}} \quad (3)$$

Dimana :

$E_r$  = Konsumsi Energi perhari setelah dibagi efisiensi (Wh)

$E$  = Konsumsi Energi perhari (Wh)

$\eta_{\text{ovelall}}$  = Efisiensi peralatan (%)

Kemudian menentukan produksi energi dari penyinaran matahari ( $P_p$ ) pada saat kondisi optimum dalam satuan jam perhari

$$P_p = \frac{E_r}{T_{\text{min}}} \quad (4)$$

Dimana :

$P_p$  = Energi maksimal perhari (Wh)

$T_{\text{min}}$  = Waktu sinar matahari optimum (h)

Setelah mendapatkan nilai  $E_r$  dan  $P_p$ , dapat dihitung dengan nilai  $P_p$  dibagi dengan tegangan pada sistem panel surya yang akan digunakan

$$I_{dc} = \frac{P_p}{V_{dc}} \quad (5)$$

Hitung kebutuhan rangkaian paralel modul dengan cara membagi arus keseluruhan ( $I_{dc}$ ) dengan arus perpanel surya ( $I_r$ )

$$N_p = \frac{I_{dc}}{I_r} \quad (6)$$

Kemudian hitung kebutuhan rangkaian seri modul panel surya dengan cara membagi tegangan DC pada sistem baterai ( $V_{dc}$ ) dengan tegangan pada panel surya yang digunakan ( $V_r$ )

$$N_s = \frac{V_{dc}}{V_r} \quad (7)$$

Setelah didapatkan nilai kebutuhan rangkaian panel Paralel ( $N_p$ ) dan rangkaian seri ( $N_s$ ) maka dapat diketahui kebutuhan dari banyaknya panel terinstal ( $N_m$ ) dengan cara



$$Nm = Np \times Ns \quad (8)$$

## 2.5 Sistem Penyimpanan Energi

Metode penyimpanan energi dapat digunakan dalam berbagai aplikasi. Menyesuaikan kebutuhan. Metode penyimpanan energi dilakukan dalam lima pengaplikasi utama (Pasokan listrik, layanan tambahan, aplikasi pendukung jaringan, energi terbarukan aplikasi integrasi Bentuk energi yang dikonversi sangat menentukan klasifikasi sistem penyimpanan energi ESS (*Energy Storage System*) dapat dibagi menjadi 5 utama kategori seperti kimia, elektrokimia, listrik, mekanik, dan penyimpanan energi termal (Guney & Tepe, 2017)

Sumber daya elektrokimia mengubah energi kimia menjadi energi listrik, dalam prosesnya terjadi reaksi kimia yang menghasilkan energi. Energi dari reaksi ini terdapat arus listrik pada tegangan dan waktu yang ditentukan. Ada dua kriteria utama dari teknologi penyimpanan elektrokimia yaitu baterai elektrokimia dan kapasitor elektrokimia. Jenis sistem penyimpanan elektrokimia yang ada bervariasi sesuai dengan sifat reaksi kimia, fitur struktural, dan desain. Sel dan baterai elektrokimia dapat diklasifikasikan menjadi 4 kategori berdasarkan prinsip operasi; sel atau baterai primer, sel atau baterai sekunder, sel cadangan, dan sel bahan bakar.

Sel sekunder atau baterai dapat diisi ulang dengan mengalirkan arus melalui sirkuit dalam arah yang berlawanan dengan arus selama pengosongan. Sistem baterai yang dapat diisi ulang dapat dipisahkan oleh jenis elektrolit menjadi dua kelompok. Mereka memiliki elektrolit berair dan tidak berair, yang masing-masing didasarkan pada air dan pelarut. Baterai seperti *Lead Acid*, *NickelCadmium*, *Nickel–Metal Hydride*, and *Alkaline Zinc–Manganese Dioxide*, *Batteries with Nonaqueous Electrolytes include Lithium Ion, Lithium Metal, Metal Air, Sodium Sulphur, and Sodium Nickel-Chloride* (Guney & Tepe, 2017).

Penyimpanan energi dilakukan dengan menambahkan komponen baterai. Terdapat banyak jenis baterai yang dapat digunakan dalam sistem penyimpanan energi listrik, pada umumnya menggunakan baterai VRLA (*Valve Regulated Lead Acid*) karena lebih lama penggunaannya jika dibandingkan dengan baterai / aki biasa.

Untuk menentukan kapasitas baterai yang akan dipasang, pertama menentukan berapa lama kapasitas baterai bertahan jika terjadi mendung sehingga panel surya tidak dapat

melakukan pengecasan ke baterai (Al-shamani et al., 2013)

$$E_{rough} = E \times \text{hari} \quad (9)$$

Dimana :

$E_{rough}$  = Kebutuhan Energi (W/day)

Kemudian kita menentukan batasan aman terhadap baterai untuk maksimum pengeluaran (MDOD)

$$E_{safe} = \frac{E_{rough}}{MDOD} \quad (10)$$

Dimana :

$E_{safe}$  = Energi maksimal penegluaran (Wh)

$T_{min}$  = Maksimal penecasan baterai (%)

Kemudian kita menentukan desain dari tegangan baterai tersebut agar dapat mengetahui berapa kebutuhan dari arus secara keseluruhan

$$C = \frac{E_{safe}}{V_b} \quad (11)$$

Dimana :

$C$  = Arus kebutuhan sistem (A)

$V_b$  = Tegangan pada baterai (V)

Kemudian dapat ketahui kebutuhan jumlah baterai yang akan digunakan pada sistem tersebut dengan menghitung

$$N_{batteries} = \frac{C}{C_b} \quad (12)$$

Dimana :

$C$  = Arus kebutuhan sistem (A)

$C_b$  = Arus pada baterai (A)

Kemudian kita menentukan desain rangkaian seri baterai dengan cara membagi tegangan sistem baterai yang direncanakan dengan tegangan perbaterai yang akan digunakan

$$N_s = \frac{V_{dc}}{V_b} \quad (13)$$

Dimana :

$V_{dc}$  = Tegangan Sistem (V)

$V_b$  = Tegangan pada baterai (V)

Kemudian kita menentukan desain rangkaian paralel baterai dengan cara membagi jumlah baterai dengan rangkaian seri baterai ( $N_s$ ) yang akan digunakan

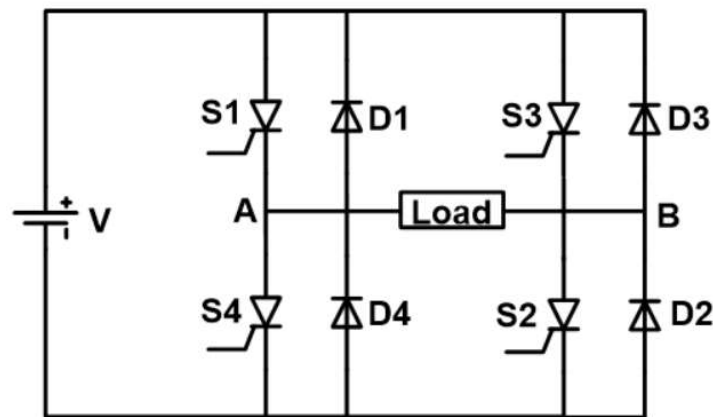
$$N_p = \frac{N_{batteries}}{N_s} \quad (14)$$

## 2.6 *Inverter*

*Inverter* sumber tegangan dibagi menjadi tiga kategori: *Inverter* Modulasi Lebar Pulsa (PWM), *Inverter* gelombang persegi (*Square-wave Inverter*), dan *Inverter* fase tunggal (*Single Phase Inverter*) dengan Pembatalan Tegangan. *Inverter* PWM digunakan pada tegangan dc yang konstan. Penyearah dioda digunakan untuk memperbaiki tegangan *inverter* harus mengontrol besarnya frekuensi dan tegangan output ac. Untuk melakukan ini, *inverter* menggunakan modulasi lebar-pulsa prinsip kerja sakelar. Ada beberapa metode yang berbeda untuk melakukan modulasi lebar pulsa dalam *inverter* untuk membentuk output tegangan ac menjadi sangat dekat dengan gelombang sinus. Jenis *Square-wave Inverter* memiliki input tegangan dc yang terkontrol, pada saat yang sama *inverter* melakukan proses pengaturan besarnya tegangan ac keluaran. *Inverter* hanya mengontrol frekuensi output dimana tegangan input dikendalikan besarnya. Tegangan ac keluaran memiliki bentuk gelombang yang mirip dengan gelombang persegi. Jenis *inverter* fase tunggal dengan pembatalan tegangan mengambil sumber dc konstan dan output gelombang persegi yang membentuk gelombang tegangan ac. *Inverter* ini dapat mengontrol keduanya frekuensi dan besarnya output tetapi tidak menggunakan metode PWM, oleh karena itu memiliki output tegangan berbentuk seperti gelombang persegi. *Inverter* memiliki karakteristik gabungan dari dua sebelumnya *Inverter*. (Ahmed et al., 2020)

*Inverter* adalah sebuah alat elektronik yang berfungsi sebagai alat konversi tegangan DC (*Direct Current*) ke tegangan AC (*Alternating Current*), *inverter* dapat digunakan sebagai alat konversi tegangan yang dihasilkan dari panel surya, dimana panel surya menghasilkan tegangan DC, kemudian di konversikan ke tegangan AC agar daya yang dihasilkan oleh panel surya dapat digunakan pada berbagai macam peralatan elektronik.

*Inverter* dilengkapi alat *switching*, seperti IGBT dan MOSFET. Pada gambar 6 dapat dilihat rangkaian sederhana dari *inverter*, pada saat *Switch 1* (S1), *Switch 2* (S2) hidup dan *Switch* (S3) dan *Switch* (S4) mati, akan menghasilkan setengan tegangan AC, kemudian pada saat sebaliknya akan menghasilkan tegangan AC setengahnya, sehigga membentuk 1 siklus Sinusoedal.



Gambar 3. Rangkaian Sederhana *Inverter*

Berdasarkan klasifikasi *inverter* terbagi menjadi 2, Yaitu :

Tabel 2. Klasifikasi *inverter*

Klasifikasi	Deskripsi
A.	Bentuk Gelombang
	<i>Square Wave Inverter</i> Output sinusoedal tetapi bentuknya belum seperti sinusoedal pembangkit listrik umunya
	<i>Modified Sinewave</i> Bentuknya seperti square wave tetapi diperhalus
	<i>Sinewave Inverter</i> Bentuk gelombang sama seperti bentuk gelombang yang dihasilkan dari pembangkit listrik umunya
B.	Berdasarkan Beban
	<i>Single Phase</i> Half Brigde / Full Bride
	<i>Three Phase</i> 120 Degree / 180 Degree conduction

*Inverter* yang digunakan untuk pembangkitan ini adalah *inverter sinewave*, *inverter* ini merupakan *inverter* yang paling effesien dan kompleks, output yang dihasilkan sama seperti tegangan yang dihasilkan oleh pembangkit pada umumnya.

## 2.7 Pembangkitan Tenaga Listrik Hibrid

Sistem hibrid energi menggabungkan dua atau lebih bentuk pembangkit energi, penyimpanan, atau teknologi penggunaan akhir, dan mereka dapat memberikan banyak manfaat dibandingkan dengan sistem sumber tunggal, sistem hibrid energi adalah solusi ideal karena mereka dapat menawarkan peningkatan substansial dalam kinerja dan pengurangan biaya, dapat disesuaikan dengan berbagai kebutuhan. Sistem hibrid energi sering kali terdiri dari kombinasi bahan bakar fosil dan sumber energi terbarukan juga digunakan bersama dengan peralatan penyimpanan energi (baterai) atau tangki penyimpanan hidrogen. Hal ini sering dilakukan baik untuk mengurangi biaya pembangkit listrik dari bahan bakar fosil, disisilain diperlukan penyediaan penyimpanan energi cadangan untuk sistem energi terbarukan, memastikan kontinuitas pasokan listrik ketika energi terbarukan sumber berfluktuasi. (Zohuri et al., 2018).

Analisa pendekatan otimalisasi hibrid energy dapat menggunakan beberapa metode antara lain *Artificial Intelligence Techniques* (AIS), *Simulated Annaeling Algorithm* (ASA), *Respones Surface Methodology* (RSM), *Particle Swarm Optimization* (PSO), *Genetic Algorithms* (GA), *Differential Evolution Technique* (DET), MATLAB, *Proportional Integral* (PI), *Linear Programing* (LI), *Harmony Search* (HS) dan metode – metode lainnya. metode paling populer yang digunakan adalah AI, PSO dan GA dalam mendesain, perhitungan efesiensi, hasil tercepat dan algoritma pada sistem kontrol (Rehman, 2021).

Pendekatan analisa untuk melakukan hibrid energi dapat dilakukan dengan metode *fuzzy logic*, dengan pendekatan ini secara efektif dapat membatu dalam melakukan analisa konsep untuk perencanaan energi dari berapa sumber energi baru terbarukan, konsep yang digunakan adalah *defuzzing logic* dengan membandingkan pembangkit energi biomasa, panel surya, *Fuel cell*, *electrolizer*, baterai dan *converter*. Dengan variabel biaya investasi dan biaya penggantian perawatan, setelah mendapatkan konfigurasi yang paling efesien kemudian dilakukan simulasi dengan menggunakan program *HOMMER Pro* untuk melakukan analisa biaya energi yang terbaik. Pada penelitian ini dilakukan untuk pembangkit eneri pada bangunan penelitian di Manit, Bhopal, India, dari energi yang dibutuhkan pertahun sebesar 20.631 kWh dapat dihasilkan dari pembangkit energi hibrid sebesar 23,794 kWh pertahun dengan biaya enegi sebesar \$0,1493 per Kwh (Singh &

Baredar, 2017)

Terdapat penelitian dilakukan di Rwanda, dalam penelitian tersebut peneliti melakukan simulasi pada program *HOMMER Pro*, dengan melakukan simulasi 2 pembangkit listrik mikro hidro dan juga panel surya, didapatkan potensi energi surya sebesar 5,02kWh/m<sup>2</sup>/hari dengan penyinaran matahari rata – rata selama 5,5 jam dan pembangkitan listrik mikro hidro sebesar 15 kW. Energi mikro hidro belum dapat memenuhi kebutuhan energi pada desa wimana sebesar 18,56 kW. Kekurangan energi ini dilakukan hibrid dengan kapasitas 4,4 kW dari panel surya, dan setelah dilakukan simulasi untuk COE (*Cost of Energy*) dibandingkan dengan energy yang disuplai dari pembangkit negara, pembangkit tenaga hibrid ini lebih murah \$ 0,14/ kWh (Bedadi & GebreMichael, 2021).