

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Photovoltaic

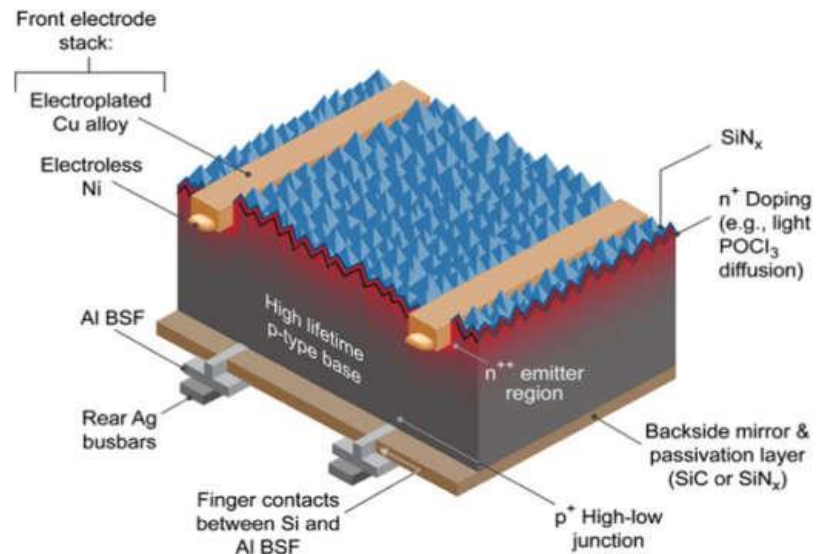
Photovoltaic atau yang biasa disebut dengan PV merupakan suatu alat yang bisa mengubah energi radiasi matahari (foton) menjadi listrik arus searah. Awal mula penciptaan PV berawal dari tahun 1839 ketika fisikawan muda Edmond Becquerel menemukan efek *Photovoltaic*. Lalu setelah perkembangannya ada Charles Fritts di tahun 1883 menciptakan panel surya pertama dengan melapisi selenium dengan lapisan tipis emas. Tahun demi tahun berlalu sampai pada akhirnya di tahun 1950-an oleh *Bell Laboratory* akhirnya diciptakan panel surya seperti yang kita semua ketahui. Pemikir di balik kesuksesan penemuan ini adalah Daryl Chapin, Calvin Fuller, dan Gerald Pearson.

Seiring waktu berlalu penggunaan PV menjadi sangat beragam. Mulai dari pemanas air rumah tangga, pengering hasil panen, kompor masak destilasi air laut dan sebagai pembangkit listrik. Pemanfaatan PV di Indonesia lebih banyak dimanfaatkan sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS).

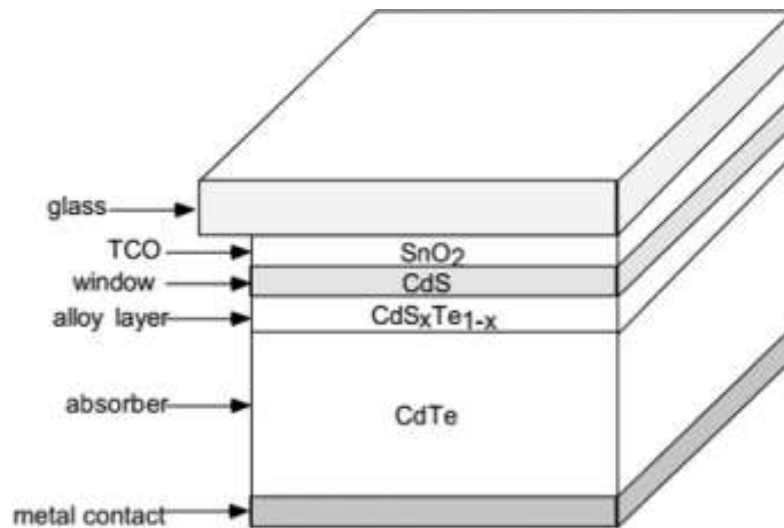
Bagian terkecil dari *Photovoltaic* adalah sel surya yang pada dasarnya sebuah foto dioda yang besar dan dapat menghasilkan daya listrik. *Photovoltaic* terdiri dari dua jenis bahan berbeda yang disambungkan melalui suatu bidang *junction* yang jika sinar jatuh pada permukaannya akan diubah menjadi listrik arus searah [3]

Ada 2 (dua) jenis PV yang paling populer dan biasa digunakan untuk PLTS yaitu jenis *Crystalline silicon* dan *Thin Film*. Jenis *Crystalline silicon* terbuat dari

bahan *silicon*. Sedangkan *Thin Film* sebagian besar terbuat dari bahan kimia. Jenis *Crystalline* terdiri dari 2 (dua) jenis yaitu tipe *monocrystalline* (Gambar) dan *polycrystalline* (Gambar). Masing-masing jenis memiliki efisiensi berbeda yaitu *monocrystalline* 14-16%, *polycrystalline* 13 – 15%. Struktur dari PV *Crystalline* dan PV *Thin Film* ditunjukkan pada gambar 2.1 dan 2.2.



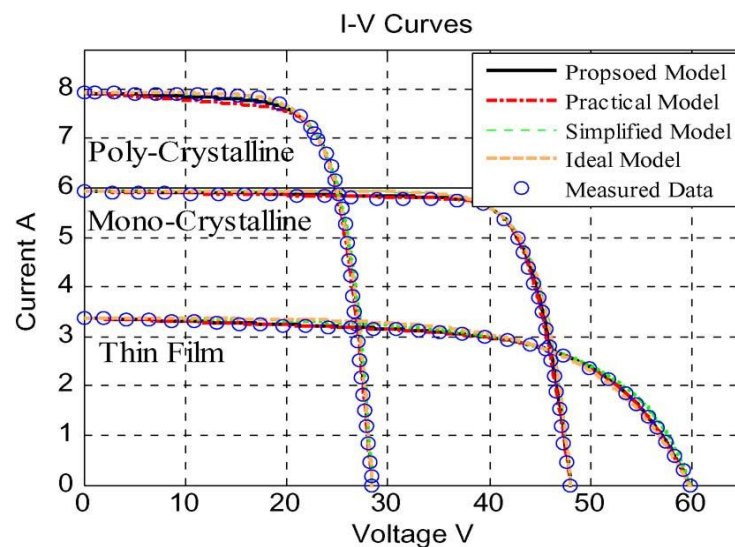
Gambar 2. 1 Struktur PV *Crystalline*



Gambar 2. 2 Struktur PV *Thin Film*

Pada percobaan yang telah dilakukan pada keadaan tanpa halangan daya maksimal yang didapatkan dari panel *polycrystalline*. Sedangkan keadaan dengan

adanya halangan seperti air, pasir, dan daun semua percobaan menyatakan bahwa daya yang terbesar dihasilkan oleh *monocrystalline*. Sehingga dapat disimpulkan untuk keadaan tanpa halangan dimana bila *Solar Cell* akan ditempatkan pada daerah yang disinari matahari sepanjang tahun lebih optimal menggunakan *polyCcrystalline*. Sedangkan untuk daerah yang lebih real lebih baik menggunakan *monocrystalline*. [4]



Gambar 2. 3 Kurva I – V Dimodelkan dan Diukur Untuk Modul PV *Monocrystalline*, *Polycrystalline*, dan *Thin Film*.

Menurut penelitian yang dilakukan oleh [5] menyatakan bahwa evaluasi dilakukan dengan membandingkan model kurva I – V dari model yang diusulkan dengan kurva I – V dihasilkan oleh model praktis. Perbandingan dilakukan dengan mengacu pada pengukuran yang disediakan dalam lembar data pabrikan dari berbagai teknologi PV yang tersedia di industri, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.3. Kurva ini juga bisa digunakan dalam membandingkan kemampuan dan optimalisasi dari masing-masing jenis PV.

Pemilihan jenis PV yang digunakan berdasarkan kurva pada gambar 2.3 serta hasil percobaan dari Wardani menunjukkan jika untuk PLTS integrasi lebih

disarankan menggunakan jenis PV *polycrystalline*. Penggunaan PV *polycrystalline* lebih efektif digunakan untuk plts parallel dikarenakan karakter beban yang digunakan untuk gedung aula fluktuatif sesuai dengan pemakaian gedung aula. Puncak terjadinya penggunaan beban ketika gedung aula diadakan acara atau dijadikan gelanggang olahraga. Sedangkan pemakaian umum hanya menggunakan sekitar setengah dari total daya puncak. PV *modeling* pada simulink menggunakan model matematis, berikut persamaan-persamaan PV *model* :

$$I = I_L - I_D \quad (2.1)$$

$$I_D = I_o \left[\exp \left(q \frac{(v + IR_S)}{N_s AKT} \right) - 1 \right] \quad (2.2)$$

$$I = I_L - I_o \left[\exp \left(q \frac{(v + I.R_S)}{N_s \cdot n \cdot K \cdot T/q} \right) - 1 \right] \quad (2.3)$$

$$I_L = [I_{SC} + K_i(T_K - T_R)] \frac{\beta}{1000} \quad (2.4)$$

$$I_{RS} = \frac{I_{SC}}{\left[\exp \left(\frac{q \cdot V_{OC}}{N_s \cdot A \cdot K \cdot T} \right) - 1 \right]} \quad (2.5)$$

$$I_o = I_{RS} \left[\frac{T}{T_r} \right]^3 \exp \left[\frac{qEg}{AK} \left\{ \frac{1}{T_r} - \frac{1}{T} \right\} \right] \quad (2.6)$$

$$I = N_p \cdot I_l - N_p \cdot I_o \left[\exp \left(\frac{V + I.R_S}{N_s \cdot n \cdot K \cdot T/q} \right) - 1 \right] \quad (2.7)$$

Dimana,

$I =$ Output current (A)

$I_L = \text{Photo Current (A)}$

$I_o = \text{Dioda saturation current (A)}$

$Q = \text{Electron charge } (1.6 \times 10^{-19} \text{ C})$

$V = \text{Output voltage (A)}$

$R_s = \text{Series resistance}$

$N_s = \text{Number of cells in series}$

$A = \text{Dioda factor}$

$k = \text{Boltzman constant } (1.3805 \times 10^{-23} \text{ J/K})$

$T = \text{Cell temperature (K)}$

$I_m = \text{Current at the point of maximal Power (A)}$

$I_{sc} = \text{Short circuit current (A)}$

$V_{oc} = \text{Open circuit voltage (V)}$

$V_m = \text{Voltage at the point of maximal Power (V)}$

1.2 Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)

Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) adalah Pembangkit listrik yang memanfaatkan energi radiasi surya yang berasal dari matahari. Energi radiasi surya memancarkan energi dalam bentuk sinar gelombang elektromagnetik secara terus menerus ke sekelilingnya. Energi radiasi yang dimanfaatkan adalah energi radiasi yang sampai ke bumi. (Soeparman, 2015)

PLTS lebih banyak dan sering digunakan untuk daerah pedesaan dan pulau-pulau kecil yang belum teraliri listrik PLN, dengan rasio elektrifikasi di Indonesia masih sekitar 75%. Sebagaimana yang ditemukan oleh (Rahardjo, I & Fitriana, 2016) bahwa intensitas radiasi matahari rata-rata /m² sekitar 4.8 kWh per hari diseluruh wilayah Indonesia. PLTS menjadi salah satu alternatif pembangkit listrik konvensional yang menggunakan bahan bakar sebagai sumber energi utama, dikarenakan PLTS lebih ekonomis dikarenakan bahan bakar minyak cukup mahal dan mengakibatkan *cost* yang lebih besar.

Namun dalam penentuan besaran PLTS harus disesuaikan dengan total energi yang digunakan. Energi listrik (wh) yang digunakan dapat diketahui dari rumus sebagai berikut:

$$E = N.h.w \quad (2.8)$$

Dimana:

E = Energi Listrik (Wh)

N = Jumlah beban

h = Waktu (Jam)

w = Daya (w)

Sedangkan total daya didapat dari persamaan sebagai berikut:

$$E = \frac{P \times t \times 3600}{1000} \times 100\% \quad (2.9)$$

Dimana:

E = Energi listrik harian (kWh) x 100%

P = Daya listrik (Watt)

t = Waktu (detik)

Selain energi, total daya dan total energi juga digunakan untuk menentukan besaran dan banyaknya PV dan baterai yang digunakan. Total daya (W_T) dan Total Energi (E_T) dapat diketahui dalam rumus sebagai berikut:

$$W_T = W_1 + W_2 + W_3 + \dots + w_n = \Sigma w \quad (2.10)$$

$$E_T = E_1 + E_2 + E_3 + \dots + E_n = \Sigma E \quad (2.10)$$

Bagian utamanya terdiri dari empat bagian yaitu modul *Photovoltaic* (PV), rangkaian *battery* (*battery bank*), *solar charger controller*, dan *inverter*.

1.2.1 Teknologi PLTS

Teknologi tenaga surya untuk mengubah energi radiasi menjadi listrik secara langsung disebut teknologi *Photovoltaic*. Karena sifat energi listrik yang sangat fleksibel, maka panel *Photovoltaic* dapat digunakan untuk berbagai kebutuhan. Namun karena daya output listriknya relative kecil, pembangkit listrik *Photovoltaic* banyak digunakan untuk penerangan dan penggunaan di daerah terpencil yang belum mendapatkan pasokan listrik dari jaringan listrik utama.

Sinar matahari yang menyinari di bumi dapat diubah menjadi energi listrik melalui sebuah proses yang dinamakan *Photovoltaic* (PV). *Photo* merujuk kepada cahaya dan *Voltaic* mengacu kepada tegangan. Terminologi ini digunakan untuk menjelaskan sel elektronik yang memproduksi energi listrik arus searah dari energi radian matahari. *Photovoltaic* cell dibuat dari material semikonduktor terutama silikon yang dilapisi oleh bahan tambahan khusus. Jika cahaya matahari mencapai *cell* maka elektron akan terlepas dari atom silikon dan mengalir membentuk sirkuit listrik sehingga energi listrik dapat dibangkitkan.

1.2.2 Rancang Bangun Sistem PLTS

Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya atau PLTS tak lepas dari berbagai komponen dan tata letak pendukung yang digunakan dalam membangun sistem PLTS. Untuk PV sendiri umumnya dipasang secara tetap (*fixed*) padaudukannya. Pada negara-negara 4 musim teknik yang diadopsi umumnya adalah dengan menghadapkan panel tersebut ke arah selatan (bagi negara-negara di belahan bumi utara) atau ke arah utara (bagi negara- negara di belahan bumi selatan). (Rif'an et al., 2012) Namun dalam penentuan jumlah besaran dan

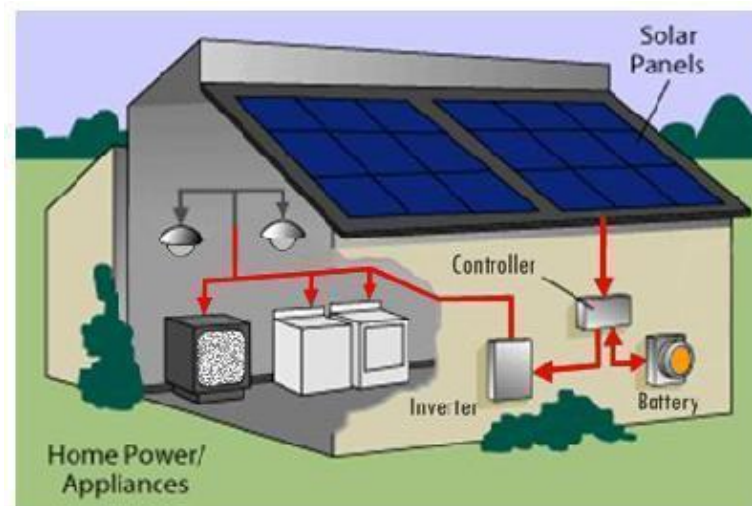
banyaknya penggunaan PV (N_{pv}) sendiri bisa ditentukan dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$N_{pv} = E_T / H_{pv} / W_p \quad (2.11)$$

Dimana:

- N_{pv} = Jumlah PV
- E_T = energi listrik yang digunakan (kwh)
- H_{pv} = waktu serap PV (jam)
- W_p = Watt Peak (watt)

Keadaan sedikit berbeda untuk negara-negara tropis (letak geografisnya berada dekat garis khatulistiwa). Untuk negara-negara ini, cara pemasangan yang dilakukan cenderung lebih datar. Teknik-teknik pemasangan seperti ini akan menyebabkan cahaya matahari pagi hari dan sore hari tidak berada pada posisi yang tepat terhadap arah datangnya sinar matahari. Akibatnya jumlah energi listrik yang bisa dibangkitkan menjadi lebih sedikit daripada seharusnya seperti diklaim oleh Cheng et. al pada tahun 2007.



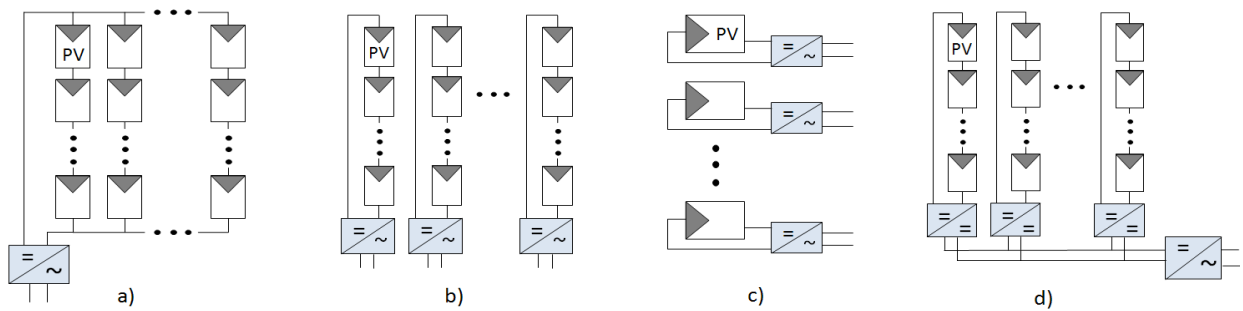
Gambar 2. 4 Contoh Instalasi PLTS di dalam Gedung

Perancangan sistem PLTS untuk Gedung biasanya diletakkan diatas atap Gedung (*rooftop*) untuk PV dan segala sistem pendukung lain nya seperti Inverter, *Solar Charger Controller*, dan *Battery Bank* berada di dalam ruangan kecil dibawah Letak PV seperti yang ditunjukkan pada gambar.

1.2.3 Topologi PLTS

Sel surya selalu didesain untuk mengubah cahaya menjadi energi listrik sebanyak-banyaknya dan dapat digabung menjadi seri atau paralel untuk menghasilkan tegangan dan arus yang diinginkan seperti yang dinyatakan oleh Chenni et. Untuk mendapatkan tegangan yang lebih besar, modul disusun secara seri dan untuk mendapatkan arus yang besar, modul disusun secara paralel.

PLTS sendiri memiliki 3 topologi. PLTS *On Grid*, PLTS *Off Grid*, dan PLTS Hibrida. PLTS *On Grid* adalah jenis PLTS yang mampu terkoneksi langsung dengan pembangkit listrik PLN, sehingga dapat terkoneksi dengan jaringan. PLTS *Off Grid* atau yang biasa disebut juga *stand alone PV system* atau sistem pembangkit listrik yang hanya mengandalkan energi matahari sebagai satu-satunya sumber energi utama dengan menggunakan rangkaian PV untuk menghasilkan energi listrik sesuai kebutuhan. Sedangkan PLTS *Hybrid* seperti yang diketahui merupakan teknologi dimana sumber listrik yang dihasilkan oleh PV dapat digabungkan dengan sumber listrik dari sumber lainnya.



Gambar 2. 5 PV Plant Topologies: a) *Central Inverters*; b) *String Inverters*; c) *Module Inverters*; d) *Multi-String Inverters*

Namun Topologi PLTS dapat dibedakan dari jaringan inverter dan unit pengkondisian daya lainnya seperti transformator. Konfigurasi pembangkit listrik tenaga surya dan teknologi inverter diilustrasikan pada Gambar 1. Topologi inverter yang berbeda telah dirinci dan dapat diklasifikasikan sebagai berikut :

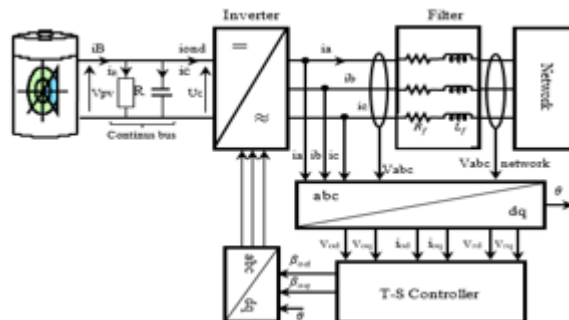
1. *Central Inverter*: Dalam topologi ini satu inverter pusat melayani beberapa ratus — bahkan ribuan— panel PV seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1a. Sebagian besar pembangkit listrik PV skala utilitas saat ini biasanya dikonfigurasi dalam metode ini. Topologi ini terdiri dari modul PV yang dihubungkan secara seri, membentuk string, dan selanjutnya, string dihubungkan secara paralel yang secara efektif meningkatkan tegangan dan arus yang dimasukkan ke inverter pusat MPP. Topologi ini terdiri dari modul PV yang dihubungkan secara seri, membentuk string, dan selanjutnya, string dihubungkan secara paralel yang secara efektif meningkatkan tegangan dan arus yang dimasukkan ke inverter pusat MPP
2. *Inverter String*: Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1b, setiap string PV dalam topologi ini memiliki inverternya sendiri. Meskipun meningkatkan biaya keseluruhan, inverter string dapat meningkatkan kinerja dengan meminimalkan keluaran yang tidak sesuai dari string individu yang terkait

dengan inverter pusat. Dalam konfigurasi ini, pelacakan MPP terjadi pada tingkat string.

3. *Module Inverters*: Konfigurasi ini menggunakan inverter individu untuk setiap modul dan ditunjukkan pada Gambar 1c. Dengan demikian, masing-masing modul dioptimalkan dengan pelacakan MPP-nya sendiri. Topologi ini secara signifikan meningkatkan biaya pabrik, dan hanya ekonomis untuk sistem atap bangunan kecil yang sering teduh.
4. *Multi-string Inverter*: Mirip dengan topologi inverter string, dalam sistem ini pelacakan MPP dilakukan pada level string, tetapi alih-alih inverter DC / AC, DC / DC converter diterapkan. Konfigurasi sistem ditunjukkan pada Gambar 1d. Setiap string dalam topologi ini dioptimalkan dengan pelacakan MPP-nya sendiri melalui konverter DC / DC. Sejumlah string yang memadai kemudian dihubungkan ke AC / DC-inverter. [6]

1.3 Inverter

Inverter adalah “jantung” dalam sistem PLTS. Secara etimologi, *inverter* berasal dari bahasa Inggris yang berarti pembalik. Sedangkan pengertian dari inverter adalah sebuah peralatan elektronik yang berfungsi untuk mengubah arus searah (DC) menjadi arus bolak-balik. (AC) [4]

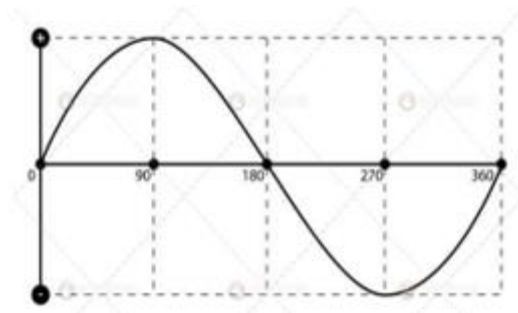


Gambar 2. 6 Struktur Inverter

Pada awalnya, *inverter* digunakan sebagai sumber listrik AC yang dihasilkan dari baterai saat darurat ketika listrik utama seperti PLN padam atau ditempat yang belum tersedia jaringan listrik PLN. Dalam kehidupan sehari-hari, inverter dapat dijumpai di dalam perangkat elektronik seperti AC (*Air Condition*), Kulkas dan alat rumah tangga lainnya.

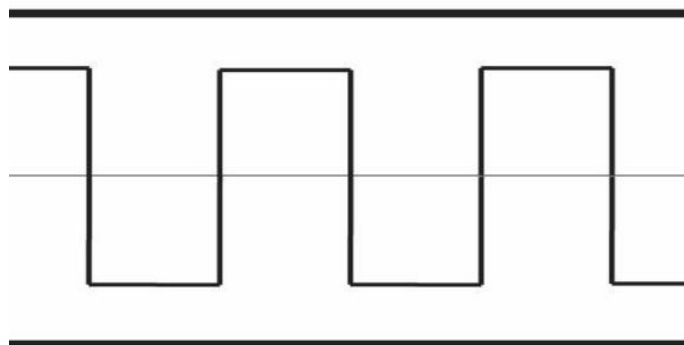
Jenis-jenis *inverter* dibedakan berdasarkan dari gelombang output-nya yaitu:

1. *Sine wave inverter (Pure sinewave)*



Gambar 2. 7 Gelombang *Pure Sine Wave*

2. *Square Wave inverter*



Gambar 2. 8 Gelombang *Square Wave*

jenis *inverter* berdasarkan fungsinya :

1. *Off grid inverter*
2. *Grid tie inverter/On-Grid inverter*
3. *Hybrid Inverter*

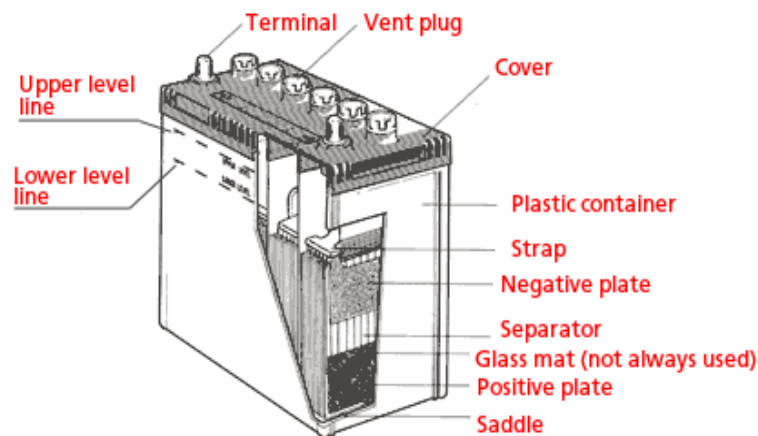
Saat ini, seluruh inverter menggunakan komponen elektronika di bagian dalamnya. Teknologi terkini suatu inverter telah menggunakan *IGBT (Insulated-Gate Bipolar Transistor)* [7] sebagai komponen utamanya menggantikan komponen lama *BJT, MOSFET, J-FET, SCR* dan lainnya. Karakteristik *IGBT* adalah kombinasi keunggulan antara *MOSFET* dan *BJT*.

Pemilihan jenis *inverter* dalam merencanakan PLTS disesuaikan dengan desain PLTS yang akan dibuat. Jenis inverter untuk PLTS disesuaikan apakah PLTS *On Grid* atau *Off Grid* atau *Hybrid*. Inverter untuk sistem *On Grid (On Grid Inverter)* harus memiliki kemampuan melepaskan hubungan (*islanding system*) saat grid kehilangan tegangan. Inverter untuk sistem PLTS Parallel harus mampu mengubah arus dari kedua arah yaitu dari DC ke AC dan sebaliknya dari AC ke DC. Oleh karena itu inverter ini lebih populer disebut *bi-directional inverter*. *Inverter* memiliki beberapa kualitas berdasarkan mutu daya keluarannya. Ada yang sinus murni, *modified Square Wave* atau *Square Wave*.

Inverter memainkan peran kunci dalam pembangkit listrik PV. Dengan demikian, ada banyak konsep teknologi yang berbeda, masing-masing dengan penerapan yang unik. Mempertimbangkan instalasi utilitas yang besar, topologi inverter sentral adalah metode yang lebih disukai. Ini dikaitkan dengan biaya sistem terdistribusi, yang bisa 60% lebih tinggi daripada biaya inverter terpusat. Oleh karena itu, sistem yang diusulkan mengadopsi topologi inverter terpusat [6]

1.4 Battery

Battery atau yang biasa dikenal sebagai baterai adalah sel elektrokimia yang terdiri dari sepasang elektroda (katoda-anoda) dan elektrolit, sel ini berfungsi sebagai sumber energi listrik yang diperoleh sebagai hasil konversi energi kimia melalui reaksi redoks (reduksi dan oksidasi). Reaksi reduksi berlangsung pada katoda dan reaksi oksidasi berlangsung pada anoda.[8]



Gambar 2. 9 Struktur Baterai

Secara umum sistem baterai dapat dikelompokkan menjadi dua jenis yaitu sistem baterai primer dan sistem baterai sekunder. Sistem baterai primer merupakan baterai yang tidak dapat diisi ulang setelah habis masa pemakaiannya, sedangkan sistem baterai sekunder dapat diisi ulang.

Pada sistem PLTS baterai memiliki fungsi untuk menyimpan energi listrik yang dihasilkan oleh panel surya dalam bentuk energi arus searah atau DC. Energi yang disimpan pada baterai berfungsi sebagai cadangan (*back up*), yang biasanya dipergunakan pada saat panel surya tidak menghasilkan energi listrik, contohnya pada saat malam hari atau pada saat cuaca mendung, selain itu tegangan keluaran ke sistem cenderung lebih stabil. Satuan kapasitas energi yang disimpan pada baterai adalah *ampere hour* (Ah), yang diartikan arus maksimum yang dapat dikeluarkan oleh baterai selama satu jam.(Diantari et al., 2018)

Selain itu penentuan jumlah baterai ditentukan dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

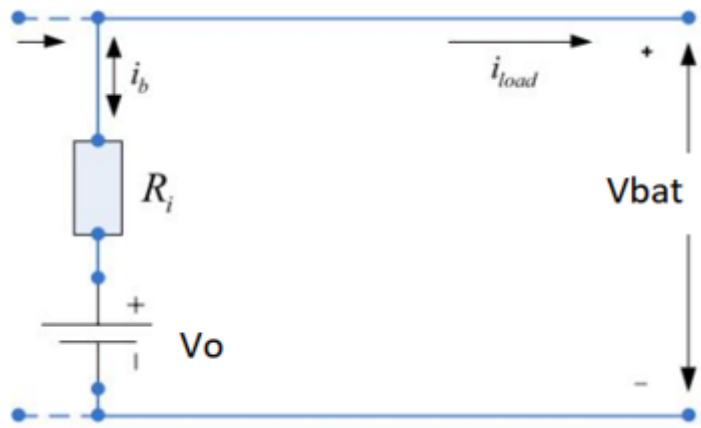
$$N_b = \frac{E}{(V_b/I_b)} \quad (2.12)$$

Dimana:

- Nb = Jumlah baterai
- Vb = Voltase baterai (Volt)
- Ib = Arus Baterai (Ampere)

Dikarenakan sistem ini terintegrasi dengan PLN maka tidak dibutuhkan cadangan baterai untuk menampung lebih banyak energi. Namun dalam proses pengosongan (*discharger*), baterai tidak boleh dikosongkan hingga titik maksimumnya, hal ini dikarenakan agar baterai. baterai dapat bertahan lebih lama usia pakainya (*lifetime*), atau minimal tidak mengurangi usia pakai yang ditentukan dan pabrikan. Batas pengosongan dan baterai sering disebut dengan istilah *depth of discharge* (DOD). Pada sistem ini level *depth of discharge* (DOD) baterai diset pada 50% untuk menjamin baterai lebih awet digunakan[9]

Banyak tipe dan klasifikasi baterai yang diproduksi saat ini, yang masing-masing memiliki desain yang spesifik dan karakteristik performa berbeda sesuai dengan aplikasi khusus yang dikehendaki. Pada sistem PLTS jenis baterai *Lead-Acid* lebih banyak digunakan, hal ini dikarenakan ketersediaan ukuran (Ah) yang ada lebih banyak, lebih murah, dan karakteristik performanya yang cocok. Pada beberapa kondisi kritis, seperti kondisi temperatur rendah digunakan baterai jenis *nickel-cadmium*, namun lebih mahal dan segi pembiayaannya[10]



Gambar 2. 10 Rangkaian ekivalen baterai *Lead-Acid*

$$V_{bat} = V_0 - R_i i_b(t) \quad (2.13)$$

Rangkaian ekivalen baterai yang paling sederhana diperlihatkan pada gambar 2.11, dimana terdiri dari sebuah sumber tegangan dan hambatan yang disusun seri [11] Dari gambar ini, tegangan pada terminal baterai (V_{bat}) dinyatakan oleh :

Dimana V_0 adalah tegangan internal baterai, dan R_i adalah hambatan internal baterai, dan $i_b(t)$ adalah arus yang mengalir dari/ke baterai. Jika baterai digunakan (*discharge*) maka arus i_b bertanda positif (+), dan jika baterai diisi (*charge*) maka arus i_b bertanda negatif (-). Energi yang disimpan/diberikan ($E_{bat}(t)$) adalah :

$$E_{bat}(t) = E_{bat_{init}}(t) - \int v_{bat} i_b(t) dt \quad (2.14)$$

$$V = V_0 \left[1 - \left(\frac{\alpha(1-x)}{1-\beta(1-x)} \right) \right] \quad (2.15)$$

Dimana:

X = Rasio ampere-hours yang tersisa dari jumlah AH didalam baterai

V_0 = Tegangan saat baterai penuh

Untuk menghitung konstanta α dan β untuk memenuhi kondisi baterai sebagai berikut :

1. Tegangan baterai adalah 0 jika muatannya 0, $x = 0$

Untuk rumus discharge baterai *Lead-Acid* menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$F_1 (it, i^*, i, Exp) = E_0 - K \cdot \frac{Q}{Q-it} \cdot i^* - K \cdot \frac{Q}{Q-it} \cdot it + Laplace^{-1} \left(\frac{Exp(s)}{Sel(s)} \cdot 0 \right) \quad (2.16)$$

Untuk rumus charge baterai *Lead-Acid* menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$F_2 (it, i^*, i, Exp) = E_0 - K \cdot \frac{Q}{it+0,1 \cdot Q} \cdot i^* - K \cdot \frac{Q}{Q-it} \cdot it + Laplace^{-1} \left(\frac{Exp(s)}{Sel(s)} \cdot 0 \right) \quad (2.17)$$

Dimana,

E_0 = Tegangan Konstan (V)

$Exp(s)$ = Dinamika zona eksponensial (V)

$Sel(s)$ = Mode Baterai, $Sel = 0$ selama pengosongan baterai, $Sel = 1$ selama pengisian daya baterai.

K = Konstanta polarisasi (Ah⁻¹) atau resistansi polarisasi (Ohm)

i^* = Dinamika arus frekuensi rendah (A)

it = kapasitas terekstraksi (Ah)

i = arus baretai (A)

Q = Kapasitas maksimum baterai (Ah)

1.5 Solar Charge Control

Solar Charge Controller adalah peralatan elektronik yang digunakan untuk mengatur arus sekarang yang ditambahkan ke baterai dan diambil dari baterai ke beban. *Solar Charge Controller* juga bisa mengatasi *overcharging* (kelebihan pengisian karena battery sudah penuh) dan kelebihan voltase dari panel surya, yang akan mengurangi battery. *Solar Charge Controller* ini mengarahkan tegangan dan arus yang berasal dari panel surya yang mengalir menuju ke sel listrik. Umumnya, panel 12V dipasang pada rata-rata 16 hingga 20V, jadi jika tidak ada regulasi, sel listrik akan rusak karena pengisian yang berlebihan. Umumnya, perangkat penyimpanan listrik membutuhkan sekitar 14 hingga 14,5V untuk terisi penuh. Solar charge control tersedia dalam semua fitur, biaya, dan ukuran.

Kisaran daya *Charge Controller* mulai dari 4,5A dan hingga 60 hingga 80A. Menerapkan teknologi *Maximum Power Point Tracking* (MPPT) untuk memaksimalkan daya yang didapat. Besaran Arus SCC (I_{sc}) yang digunakan dalam PLTS dapat disesuaikan menggunakan rumus yang berkaitan dengan jumlah PV (N_{pv}), Daya (w) dan tegangan (v) seperti rumus berikut.

$$I_{sc} = N_{pv} \frac{w}{v} \quad (2.18)$$

Dimana:

Isec = Arus SCC (Ampere)

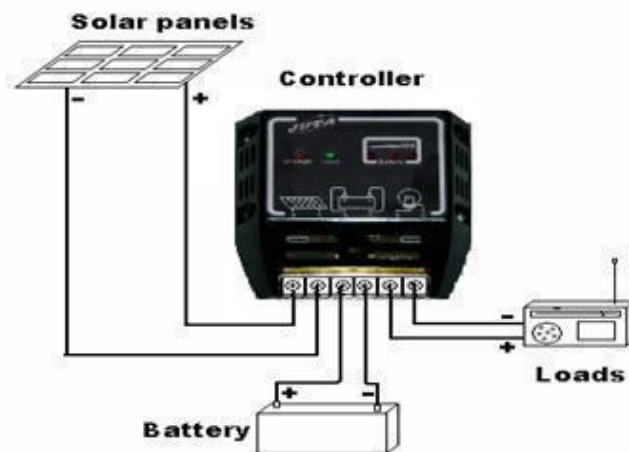
Npv = Jumlah PV yang digunakan

W = Daya (Watt)

V = Tegangan (Volt)

Beberapa fungsi dari *solar Charge Controller* adalah sebagai berikut:

1. Melindungi baterai (12V) dari pengisian yang berlebihan
2. Mengurangi pemeliharaan sistem dan meningkatkan masa pakai baterai
3. Indikasi pengisian otomatis
4. Keandalan tinggi
5. 10 amp sampai 40 amp arus pengisian
6. Memantau aliran arus balik
7. Monitoring baterai
8. Mengatur arus yang dibebaskan/diambil dari baterai agar baterai tidak ‘full discharge’ *overloading*.
9. Mengatur arus untuk pengisian ke baterai, *overcharging*, *overvoltage*. [12]



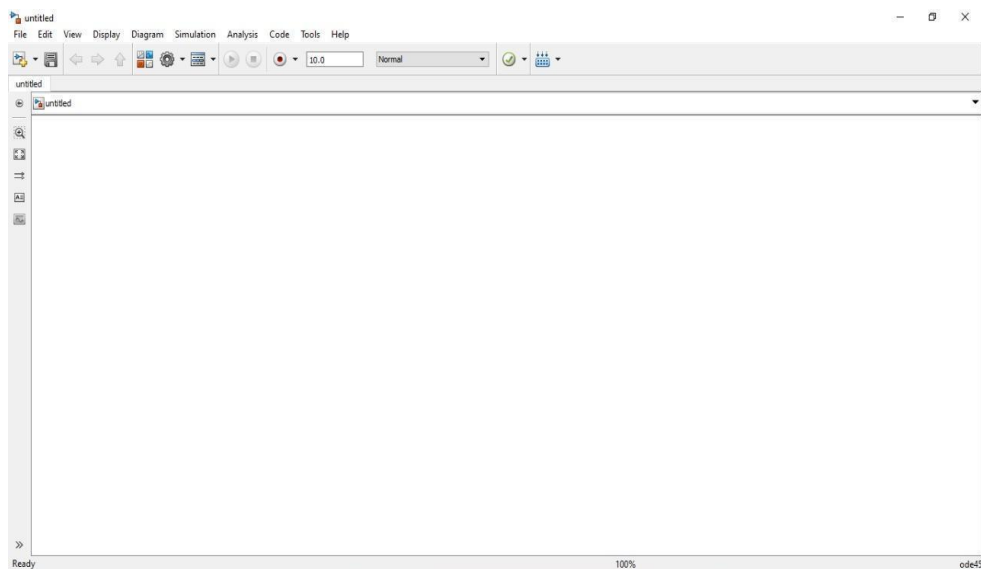
Gambar 2. 11 Solar Charge Controller

1.5.1 Maximum Power Point Tracking (MPPT)

Maximum Power Point Tracking (MPPT). Adalah sistem elektronik yang mengontrol sistem fotovoltaik sehingga fotovoltaik dapat beroperasi pada daya maksimum. MPPT bukanlah sistem pelacakan mekanis, namun kontrol elektronik yang terkonsentrasi untuk mencari titik maksimum karakteristik tegangan (VMP) dan arus (IMP) modul fotovoltaik, sehingga diharapkan daya keluaran maksimum (P_{MAX}) dapat dihasilkan pada modul fotovoltaik dengan menggunakan MPPT[13]

1.6 Simulink

Simulink merupakan salah satu aplikasi yang umum digunakan oleh mahasiswa dalam mengerjakan tugas maupun percobaan. “Simulink sebaiknya diperkenalkan menggunakan beberapa contoh sederhana.” Aplikasi untuk simulasi dan perancangan berbasis model yang bisa digunakan untuk banyak keperluan mulai dari tegangan rendah seperti gerbang logika sampai dengan tegangan tinggi seperti pendistribusian tenaga listrik.



Gambar 2. 12 Tampilan Simulink

Simulink merupakan aplikasi yang berada di dalam Matlab. Matlab dan Simulink diintegrasikan dalam satu entitas sehingga kita bisa melakukan simulasi, analisis, dan memperbaiki model secara fleksibel [7]

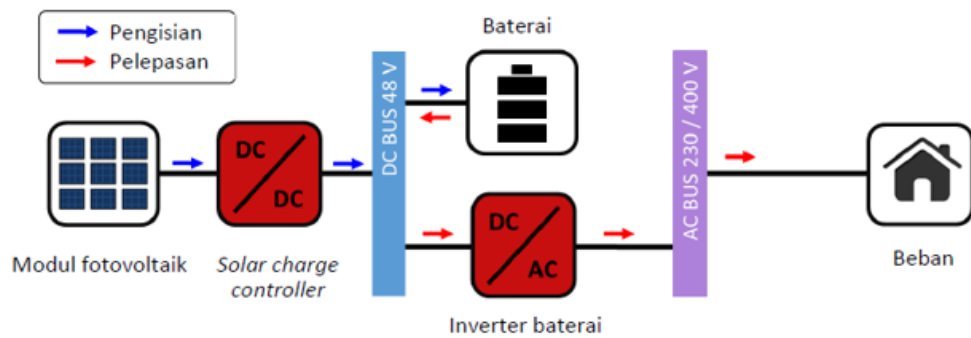
1.7 Sistem Hybrid pada PLTS

Sistem *hybrid* dalam PLTS merupakan salah satu dari 3 topologi yang digunakan dalam penggunaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya. Menurut Sitompul pada tahun 2011 *Hybrid Sistem* atau sistem hibrida adalah kombinasi dari dua atau lebih sumber energi, yang bila dipadukan berisi suatu sistem daya hibrida atau

kombinasi suatu sumber energi terbarukan dengan sumber konvensional guna memberikan kemampuan terkontrol yang diperlukan untuk pemakaian sehari-hari. [14]

Menurut Asy'ari pada tahun 2011 Sistem *hybrid* dengan prinsip kerja satu arah, yaitu beban hanya dipasok oleh salah satu pembangkit, ketika beban disuplai dengan energi yang dihasilkan oleh sel surya maka secara otomatis sambungan ke PLN dilepaskan dari beban atau beban tidak boleh disuplai oleh PLN, dan sebaliknya apabila listrik PLN sedang memberikan suplai listrik ke beban (hal ini dilakukan pada saat sel surya sudah tidak mampu memikul beban yang ditandai oleh tegangan keluaran *accumulator* 10,8 Volt), maka PLTS dilepaskan dari beban. Ketika pembangkit sel surya mampu menyuplai beban (kondisi tegangan keluaran *accumulator* mencapai 13,2 Volt) maka secara otomatis beban akan disuplai oleh sel surya dan PLN akan *disconnect*, hal itu dilakukan oleh *switch* pengatur secara otomatis.

Oleh karena itu tujuan utama dari sistem hybrid pada dasarnya adalah berusaha menggabungkan dua atau lebih sumber (sistem pembangkit) sehingga dapat saling menutupi kelemahan masing-masing dan dapat dicapai keandalan *supply* dan efisiensi ekonomis pada beban tertentu (Nurmela & Hiron, 2019). Sistem *hybrid* pada PLTS lebih cocok digunakan oleh gedung dengan kebutuhan daya yang cukup besar dalam upaya penghematan energi. Selain itu juga sistem *hybrid* pada PLTS bagus digunakan pada gedung yang penggunaannya jarang atau di acara-acara tertentu seperti gedung aula serbaguna.



Gambar 2. 13 Sistem DC-Coupling

Sistem penyambungannya dilakukan menggunakan sistem *DC-Coupling*. Sistem DC (*DC-coupling*) diartikan jika komponen utamanya terhubung di bus DC. Daya listrik dibangkitkan oleh modul fotovoltaik dan digunakan untuk mengisi baterai melalui solar *Charge Controller*. SCC adalah pengonversi DC-DC untuk menurunkan tegangan modul fotovoltaik ke level tegangan baterai yang juga dilengkapi dengan *maximum Power point tracker* (MPPT) untuk mengoptimalkan penangkapan energi.

Di siang hari, dengan radiasi sinar matahari yang cukup, baterai diisi untuk mencapai kondisi pengisian (SoC, *state of charge*) yang maksimal. Seiring dengan meningkatnya permintaan listrik hingga beban melebihi daya larik fotovoltaik yang terhubung, inverter baterai akan menyalurkan energi dari baterai ke beban dan akan berhenti beroperasi ketika SoC baterai mencapai batas minimum[15]

1.8 Peramalan (*Forecasting*)

Menurut Heizer dan Render (2015:113) mendefinisikan peramalan (*forecasting*) adalah suatu seni dan ilmu pengetahuan dalam memprediksi peristiwa pada masa mendatang. Peramalan akan melibatkan pengambilan data historis dan memproyeksi mereka ke masa yang akan datang dengan model matematika. Dalam peramalan sendiri dibagi menjadi beberapa kriteria yang perlu diperhatikan yaitu :

1. Keakuratan

Akurasi nilai dari hasil peramalan dapat diukur berdasarkan kebiasaan dan tingkat konsistensi peramalan. Hasil peramalan dikatakan berhasil apabila memiliki konsistensi yang tinggi atau rendah dibandingkan dengan kenyataannya.

2. Biaya

Dalam kriteria ini, biaya sangat berperan penting dalam suatu peramalan. Semakin banyak jumlah barang, waktu, dan metode yang digunakan maka biaya yang digunakan semakin besar.

3. Kemudahan

Dalam metode ini, digunakan suatu metode yang sederhana agar dapat memberikan keuntungan bagi pemilik Gedung.

1.8.1 Jenis Peramalan

Berdasarkan jenisnya, peramalan dikelompokkan menjadi dua kategori yaitu:

1. Peramalan Kualitatif

Peramalan Kualitatif merupakan peramalan yang dapat diketahui berdasarkan data kualitatif pada masa lalu. Jenis peramalan ini digunakan berdasarkan subjek yang mengeluarkannya. Peramalan ini dikeluarkan berdasarkan kemampuan pengetahuan yang mengeluarkannya.

2. Peramalan Kuantitatif

Peramalan Kuantitatif adalah peramalan yang dapat diketahui berdasarkan data kuantitatif pada masa lalu. Jenis peramalan ini

tergantung pada setiap metode yang digunakan. Karena setiap metode yang digunakan akan menghasilkan peramalan yang berbeda. Baik atau tidaknya metode yang digunakan ditentukan berdasarkan perbedaan dari hasil ramalan dengan kenyataan yang terjadi. Hasil ramalan harus lebih kecil daripada kenyataan sehingga metode semakin baik metode yang digunakan. Peramalan yang baik merupakan peramalan yang dikerjakan berdasarkan langkah-langkah yang terstruktur.

1.8.2 Kegunaan dan Peran Peramalan

Kegunaan peramalan yaitu untuk pengambilan keputusan. Dalam pengambilan keputusan harus berdasarkan beberapa pertimbangan dan pemikiran yang akan dialami. Jika ramalan yang diperoleh kurang benar, maka hasil yang akan dicapai kurang memuaskan. Peramalan memiliki peranan untuk memperkecil kesalahan yang terjadi. Untuk memperoleh peramalan yang baik tergantung dari faktor data dan metode yang digunakan

1.9 Metode Regresi

Metode regresi merupakan suatu metode yang digunakan untuk menentukan hubungan antara variabel yang satu dengan variabel yang lain. Adapun salah satu istilah variabel "penyebab" yang sering kali digunakan untuk digambarkan dalam grafik sebagai absis atau sumbu X yaitu variabel X. Sedangkan variabel terkena akibat biasa dikenal sebagai variabel Y. Kedua variabel ini dapat berupa variabel acak, akan tetapi variabel yang terkena pengaruh harus selalu variabel acak [16]

1.9.1 Metode Regresi Linier Sederhana

Regresi Linear Sederhana adalah metode yang digunakan untuk menguji seberapa jauh hubungan antara variabel penyebab (X) terhadap variabel akibat (Y). Variabel penyebab sering digunakan dengan digambarkan sebagai X atau disebut *Predictor* sedangkan variabel akibat digambarkan sebagai Y atau disebut juga *Response*. Regresi Linear Sederhana (*Simple Linear Regression*) juga merupakan metode statistik yang digunakan dalam produksi untuk meramalkan atau memprediksi tentang karakteristik kualitas maupun kuantitas. Regresi Linear Sederhana memiliki model persamaan seperti berikut ini:

$$y = a + bx \quad (2.19)$$

Dimana:

y = variabel akibat (Dependent)

x = variabel penyebab (Independent)

a = konstanta

b = besaran Response yang ditimbulkan oleh predictor.