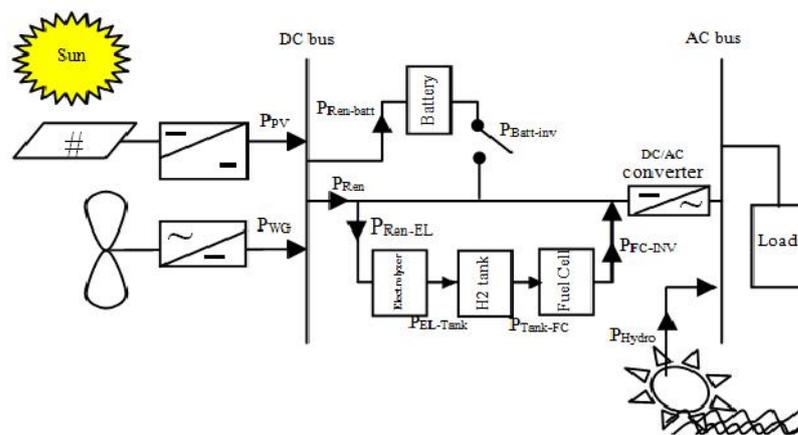


## II. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Sistem Pembangkit Hibrid

Sistem pembangkit hibrid adalah kombinasi dari satu atau lebih sumber energi alternatif seperti matahari, angin, mikro/minihidro dan biomassa dengan teknologi lain seperti baterai dan diesel. Sistem hibrid menawarkan daya bersih dan efisien yang dalam banyak kasus menjadi lebih hemat biaya dari pada sistem diesel tunggal.<sup>[2]</sup> Pilihan pemasangan sistem hibrid ini adalah karena letak geografis suatu tempat terpencil. Tempat terpencil tersebut membuat PLN tidak dapat membangun jaringan listrik hingga sampai ke daerah tersebut. Gambar 2.1 berikut menggambarkan blok diagram dari sistem hibrid antara mikrohydro- PV- Fuel cell-wind.



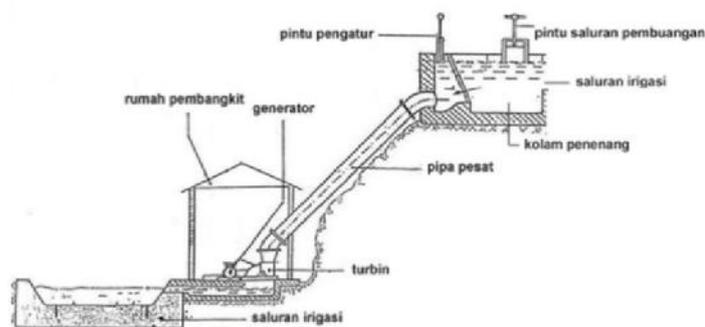
Gambar 2. 1 Block Diagram Sistem Hibrid antara *microhydro/pv/fuel cell/wind*<sup>[2]</sup>

Gambar blok diagram sistem hibrid merupakan salah satu contoh sistem pembangkit hibrid. Dimana sumber-sumber tersebut antara lain adalah mikrohidro, *photo voltaic*, *wind*, *fuell cell*. Untuk sumber energi *wind*, *photo voltaic* dan *fuell cell* dihubungkan ke DC bus, DC bus ini merupakan bus yang memparalelkan ketiga sistem tersebut sebelum masuk ke inverter. Kemudian masuk ke inverter yang berfungsi untuk merubah tegangan dengan arus DC menjadi arus AC. Kemudian barulah masuk ke beban.

Berikut ini merupakan sumber – sumber energi alternatif yang menjadi referensi sumber dalam penelitian ini. Salah satu alasan memilih sumber alternatif ini adalah sumber-sumber ini paling sering ditemui didaerah-daerah terpencil.

### 2.1.1 Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH)

Mikrohidro adalah jenis pembangkit listrik tenaga air yang biasanya menghasilkan hingga 100 kW listrik dengan menggunakan aliran air alami. Ada banyak instalasi di seluruh dunia, terutama di negara-negara berkembang karena mereka dapat memberikan sumber ekonomis energi tanpa pembelian bahan bakar.<sup>[18]</sup> Kapasitas PLTMH sangat bergantung pada debit air.



Gambar 2.2 Komponen-komponen PLTMH<sup>[3]</sup>

PLTMH mempunyai komponen seperti pada gambar 2.2 diatas. Komponen – komponen dan fungsinya adalah sebagai berikut

1. Saluran irigasi, merupakan saluran aliran sungai yang masuk ke kolam penampung.
2. Kolam penampung berfungsi sebagai penampungan air.
3. Pintu pengatur berfungsi sebagai pengatur keluarannya air dari kolam penampung.
4. Pintu Saluran Pembuangan, pintu saluran pembuangan berfungsi mengalihkan aliran sungai apabila melebihi volume kolam penuh.
5. Pipa pesat berfungsi untuk menyalurkan air dari kolam penampung agar sampai ke turbin.
6. Turbin berfungsi sebagai penggerak rotor pada generator.
7. Generator berfungsi sebagai konversi energi dari kinetik ke energi listrik.
8. Kemudian rumah pembangkit berfungsi sebagai pelindung generator dan turbin.

Kemudian untuk mengetahui potensi daya keluaran dapat dihitung dengan persamaan rumus 2.1<sup>[4]</sup>:

$$P_v = Q \times g \times H \times \eta_{turbin} \dots \dots \dots (2.1)$$

dengan,

$$P_v = \text{daya (kW)}$$

$$Q = \text{debit air (m}^3/\text{detik)}$$

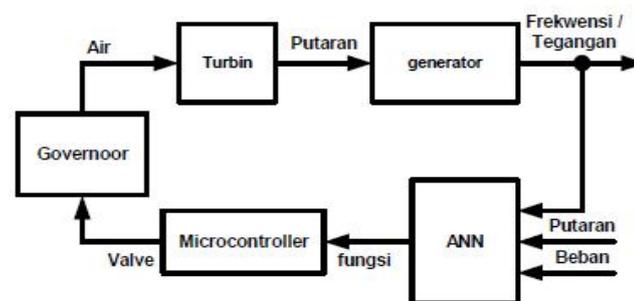
$H$  = efektif *head* (m)

$g$  = gravitasi ( $9,8 \text{ g/cm}^3$ )

$\eta_{turbin}$  = efisiensi turbin

Mikrohidro adalah sumber energi alternatif yang terbatas, tegangan keluaran yang cenderung tidak stabil, hal ini disebabkan putaran turbin berubah-ubah akibat aliran air dari pipa pesat tidak bisa mengimbangi adanya penambahan beban, sehingga energi putar yang dihasilkan oleh turbin tidak bisa bertambah bila tidak ada control yang mengatur jumlah air yang masuk juga bertambah. Untuk mengatasi hal ini perlu dilakukan sebuah control yang mampu mengontrol kebutuhan air yang dimasukkan kedalam turbin berdasarkan frekuensi keluaran yang dihasilkan dari generator stabil pada kisaran 50 HZ.<sup>[13]</sup>

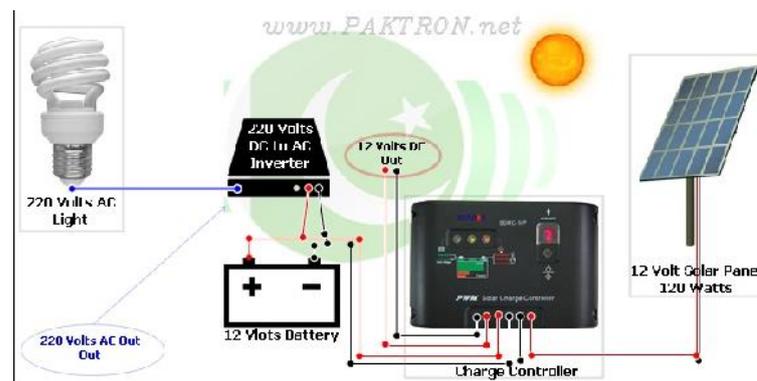
Pada penelitian yang dilakukan oleh Jasa Lie pada tahun 2010 menggunakan metode *Neural Network* (ANN) untuk mengontrol *governor* sebagai pengaturan pintu air yang masuk ke pipa pesat sehingga akan didapatkan frekuensi dan tegangan keluaran generator setabil. Dimana desain sistem dapat dilihat pada gambar 2.3 berikut



Gambar 2.3 Rancangan Pengendali Governor Berbasis ANN<sup>[13]</sup>

### 2.1.2 Pembangkit Listrik Tenaga Surya

Pembangkit Listrik Tenaga Surya merupakan pembangkit listrik alternatif yang menggunakan sinar matahari sebagai sumber energinya. Prinsip kerja PLTS ini adalah mengubah cahaya matahari melalui panel surya untuk menghasilkan listrik. Komponen – komponen PLTS diperlihatkan pada gambar 2.4 berikut ini:



Gambar 2.4 Komponen PLTS<sup>[5]</sup>

Komponen - komponen PLTS dapat dilihat pada gambar 2.4 diatas. Berikut ini fungsi dari setiap komponennya:

1. *Solar Module* , modul surya atau yang sering disebut sebagai panel surya ini berfungsi untuk menangkap radiasi matahari dan mengubahnya ke energi listrik.
2. *Solar Charge Controller*, alat ini berfungsi mengatur proses pengisian daya listrik dari *solar module* ke baterai. Apabila baterai terisi penuh maka alat ini akan secara otomatis akan memutus aliran daya ke baterai. Selain itu alat ini juga sebagai terminal untuk beban jenis arus searah (DC)
3. Baterai, berfungsi untuk menyimpan energi listrik hasil dari panel surya.

4. *Inverter*, *inverter* ini berfungsi mengubah arus DC dari baterai untuk dirubah ke arus bolak-balik (AC) untuk menyuplai beban dengan jenis arus AC.

Untuk menghitung Titik Daya Maksimum PLTS dapat dicari dengan persamaan berikut ini:

$$P_{max} = V_{oc} \times I_{sc} \times FF \dots\dots\dots (2.2)$$

$$F = \frac{V_{mmp} \times I_{mmp}}{V_{oc} \times I_{sc}} \dots\dots\dots (2.3)$$

$$P_{in} = I_r \times A \dots\dots\dots (2.4)$$

Keterangan

$P_{max}$  = Daya Maksimum yang dibangkitkan

$I_{sc}$  = Arus *short circuit*

FF – *Fill Factor*

$V_{mmp}$  = Tegangan Maksimum

$I_{mmp}$  = Arus maksimum

$V_{oc}$  = Tegangan saat *open circuit*

$I_{sc}$  = Arus saat *short circuit*

$P_{in}$  = Daya yang diterima akibat *irradiance* matahari

$I_r$  = *irradiance*

A= Luas Penampang.

Pembangkit Listrik Tenaga Surya dalam pembangkitan energi listrik tergantung dengan kondisi alam. Untuk itu dalam menjaga kontinuitas pelayanan ke beban digunakanlah baterai sebagai penyimpan daya yang telah dibangkitkan oleh PLTS. Dari baterai tersebut akan dibangkitkan tegangan dengan arus DC menjadi arus AC menggunakan inverter yang kemudian akan menginjeksi daya ke sistem hibrid.

### 2.1.3 Pembangkit Listrik Tenaga Bayu/ Angin (PLTB)

Pembangkit Listrik Tenaga Bayu / Angin (PLTB) merupakan pembangkit listrik yang menggunakan energi angin dan merubahnya ke energi listrik. Angin akan memutar sudut turbin, kemudian memutar sebuah poros yang dihubungkan dengan generator, lalu menghasilkan listrik. Listrik dialirkan melalui kabel transmisi dan didistribusikan ke rumah-rumah, kantor, sekolah, dan sebagainya. Pembangkit listrik tenaga angin membutuhkan baterai untuk menunjang kontinuitas penyaluran daya dari pembangkit ke beban, karena perubahan kecepatan angin bisa terjadi setiap waktu. Oleh sebab itu diperlukan baterai untuk menyimpan energi listrik yang pengisiannya dilakukan oleh pembangkit listrik tenaga angin tersebut. Gambar 2.5 menunjukkan rangkaian pembangkit listrik tenaga angin.



Gambar 2.5 Komponen PLTB skala rumahan<sup>[6]</sup>

Gambar 2.5 menggambarkan komponen PLTB, komponen – komponen tersebut dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Kincir angin dan Generator, kincir angin berfungsi sebagai penggerak generator yang digerakkan oleh tenaga angin, kemudian generator berfungsi untuk menghasilkan listrik
2. *Controller*, *controller* pada PLTB ini berfungsi untuk mengatur pengisian daya ke baterai.
3. Baterai , berfungsi untuk menjaga kontiyuitas penyaluran daya.
4. *Inverter*, *inverter* berfungsi untuk mengubah arus DC ke arus bolak balik untuk menyuplai beban.

Berikut ini merupakan beberapa perhitungan dalam menentukan kapasitas PLTB

Energi maksimum yang dapat diambil oleh turbin adalah<sup>[7]</sup>:

$$P_{max} = \frac{8}{27} \cdot \rho \cdot V_1^3 \dots\dots\dots ( 2.5)$$

Daya per satuan luas yang terdapat di angin :

$$P = 0,5 \cdot \rho \cdot V_1^3 \dots\dots\dots (2.6)$$

Efisiensi maksimum turbin angin:

$$\eta = C_p = \frac{P_{max}}{P} = 0,59 \dots\dots\dots (2.7)$$

Daya Spesifik yang dapat diambil oleh turbin angin

$$P = 0,5 \cdot \eta \cdot \rho \cdot V_1^3 \dots\dots\dots (2.8)$$

Keterangan:

$\eta$  = Efisiensi maksimum

$V$  = Kecepatan Angin ( $m/s^2$ )

$\rho$  = massa jenis udara ( $kg/m^3$ )

Potensi daya keluaran dari generator PLB juga bergantung pada jenis turbin yang dipakai. Berikut ini merupakan referensi jenis turbin dan potensi daya keluaran.

Tabel 2.1 Tipe -tipe Turbin<sup>[7]</sup>

No	Wind Technology	Rotor Diameter (m)	Range of winds (m/s)	Cut in wind speed (m/s)	Rated wind speed (m/s)	Rated Power (kw)	Swept Area ( $m^2$ )
1	Energy Ball/Venturi	1,1	2-40	2	17	0,5	0,95
2	Swift Wind Turbine	2,1	3.6-64,8	3,6	11	1,5	3,46
3	WindTamer	1,4	2-25	2	14	1,3	1,54
4	Counter Rotating	4,4	2,5-40	2,5	8	3,6	15,28
5	Direct Drive (AWE-	54	2-25	2	14	900	2289,0

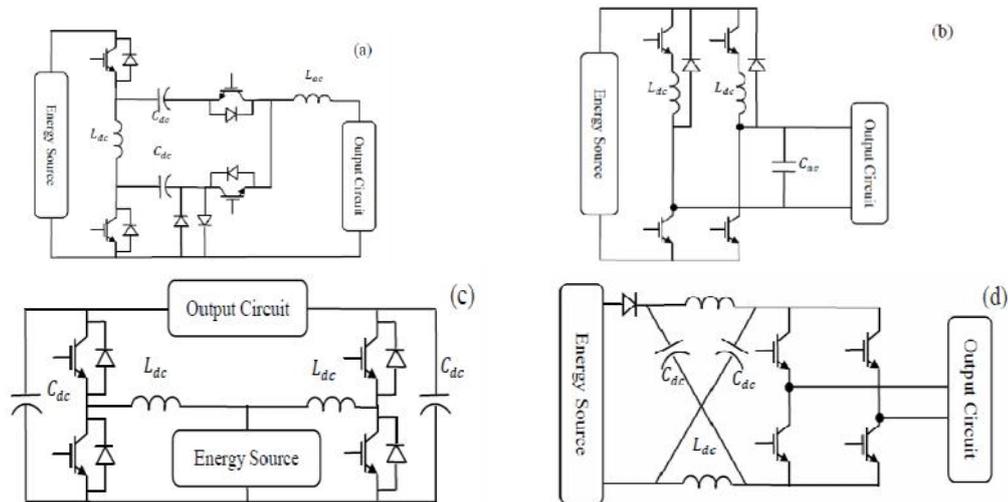
	54900)							6
6	Broadstar wind systems	3,05	1,8-35	1,8	13,5	10		46,63
7	O Connor Hush Turbine	1	N/A	N/A	15	0,68		0,78
8	Enflo Windtech	0,71	2,5-55	2,5	12,5	0,5		0,39
9	Sky Stream	3,72	3,5-63	3,5	13	2,4		10,86
10	Diffuser Augmented Wind Turbine	1,83	N/A		6,3	1		2,63

## 2.2 Grid Tie Inverter (GTI)

*Grid tie inverter* (GTI) adalah perangkat konverter tegangan DC ke tegangan AC yang banyak digunakan dalam aplikasi pembangkit listrik tenaga surya (PLTS). Pada sistem PLTS GTI akan mensuplai daya yang dihasilkan ke beban, jika terjadi kelebihan beban maka daya yang dihasilkan akan disalurkan ke jaringan. Jika daya yang dimiliki kurang untuk mensuplai ke beban maka jaringan akan ikut mensuplai daya ke beban. Untuk itu GTI akan bekerja jika terhubung dengan jaringan listrik, jika jaringan listrik yang mati maka GTI akan berhenti bekerja.

Saghaleini, *et al.*[15], menjelaskan beberapa topologi konverter DC-AC dari GTI inverter antara lain *Zeta-cuk based inverter*, *Full-bridge buck-boost inverter*, *Slide-by-side boost converters* dan *Z-source boost inverter*. Pada topologi *Zeta-cuk based inverter* digunakan 4 buah saklar elektronik membentuk konfigurasi konverter *buck boost*. Sementara pada topologi *Full-bridge buck-boost inveter* 2 buah saklar bekerja pada frekuensi tinggi dan 2 saklar sisanya bekerja pada frekuensi rendah. Pada topologi *Slide-by-side boost converters* digunakan dua

buah konverter *boost* dan keseluruhan saklar elektronik yang digunakan bekerja pada frekuensi tinggi. Aplikasi konverter *Z-source* digunakan pada GTI dengan topologi dan *Z-source boost inverter*.



Gambar 2.6 (a) *Zeta-Cuk based Inverter*, (b) *Full-bridge buck-boost Inverter*, (c) *Side-by-side Boost Converters*, dan (d) *Z-source Boost Inverter*.<sup>[15]</sup>

### 2.3 Sinkronisasi Pembangkit

Proses sinkronisasi pembangkit listrik bertujuan untuk meningkatkan keandalan sistem dan menambah suplai daya dalam satu jaringan listrik. Namun dalam proses sinkronisasi ada syarat-syarat yang harus terpenuhi untuk melakukan operasi sinkron, yaitu:

#### 1. Tegangan sama

Tegangan generator yang akan diparalelkan atau sumber yang akan diparalelkan dengan sistem jaringan harus sama besar.

## 2. Frekuensi sama.

Frekuensi generator dan frekuensi sistem harus sama (*match*). Untuk menyamakan, maka putaran generator harus diatur.

## 3. Perbedaan fasa ( sudut fasa harus sama)

Sudut fasa antara generator dan sistem harus sama. Untuk menyamakan fasa putaran generator juga harus diatur.

Sistem tenaga listrik Indonesia mempunyai standar operasi dari setiap operasi paralel. Untuk frekuensi menggunakan standard 50 Hz dengan toleransi tidak melebihi dan kurang dari 1%, yaitu : 49,5-50,5 Hz. Kemudian untuk tegangan nominal sistem pada sistem tegangan rendah yaitu 220 V. Variasi tegangan yang disarankan tidak melebihi dan kurang dari 6% dari tegangan nominalnya. Jadi untuk tegangan 220 V rentangnya adalah 206,8-233,2 V.

### 2.4 Koordinasi dan Kombinasi Pembangkit

Mengoperasikan suatu sistem tenaga listrik yang terdiri dari beberapa pusat pembangkit diperlukan suatu koordinasi dalam penjadwalan pembebanan daya listrik yang dibangkitkan masing-masing pusat pembangkit listrik. Untuk menghasilkan energi yang optimal maka kombinasi pembangkit harus sesuai dengan keadaan beban dan ketersediaan kapasitas daya yang terpasang.

Dalam sistem pembangkit hibrid dimana sumber energi yang ada di alam sekitar berubah-ubah terhadap waktu dan cuaca. Salah satu contoh adalah dimana energi matahari yang tersedia hanya pada siang hari, serta keadaan angin yang tidak menentu. Sedangkan keadaan beban didaerah terpencil dapat diprediksi bahwa pada siang hari pemakaian energi listrik rendah dan terjadi beban puncak menjelang malam hari. Hal tersebut menyebabkan kombinasi pembangkit yang tepat terhadap perubahan beban perlu dilakukan untuk menghasilkan penyaluran daya ke beban yang optimal.

Suatu kombinasi pembangkit dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$2^n \dots\dots\dots (2.9)$$

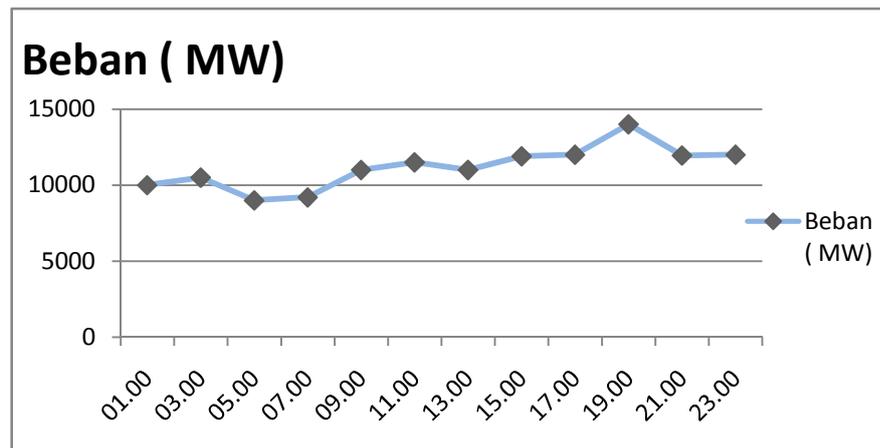
Dimana : 2 merupakan kondisi *ON* dan *OFF* dan n merupakan banyaknya pembangkit. Dari persamaan tersebut dapat diketahui berapa kemungkinan kombinasi pembangkit yang bekerja berdasarkan jumlah pembangkit. Pembangkit hibrid yang mempunyai 2 kondisi, yaitu kondisi *ON* dan *OFF*. Kemudian terdapat 3 sumber energi yaitu PLTMH, PLTB, dan sel surya yang apabila di masukkan ke persamaan maka menjadi 8 kombinasi sebagai berikut.:

Tabel 2.2 Kombinasi Pembangkit

Kondisi	PLTMH	PLTB	Sel Surya
1	0	0	0
2	0	0	1
3	0	1	0
4	0	1	1
5	1	0	0
6	1	0	1
7	1	1	0
8	1	1	1

Tabel 2.2 merupakan tabel kombinasi yang terjadi pada 3 pembangkit hibrid. Kombinasi tersebut akan menghasilkan daya yang berbeda pada masing-masing kombinasi. Kombinasi pembangkit harus memperhitungkan keadaan beban, sehingga kombinasi yang bekerja sesuai dengan daya yang diperlukan oleh beban.

Untuk itu perkiraan beban pada kondisi waktu tertentu harus dilakukan mengingat ketersediaan sumber energi pembangkit hibrid yang terpengaruh terhadap waktu. Perkiraan beban dapat dilihat dari kurva harian beban yang dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 2.7 Grafik Tipikal Kurva Beban<sup>[8]</sup>

Gambar 2.7 merupakan gambar tipikal kurva beban pada jaringan di Jawa. Dari gambar diatas dapat diketahui bahwa perubahan konsumsi beban berdasarkan waktu-waktu tertentu. Sehingga dalam mengkombinasikan pembangkit hibrid juga harus diprediksi tipikal kurva beban pada daerah tersebut sehingga kombinasi pembangkit akan lebih optimal.

### 2.3. Regresi Linear Dan Korelasi Linear Sederhana

Regresi adalah suatu metode yang digunakan untuk melihat pengaruh antara dua atau lebih variabel. Pengaru tersebut dapat dinyatakan dalam bentuk persamaan linear, yaitu<sup>[9]</sup>.

$$Y = a + bX \dots\dots\dots (2.10)$$

$$a = \frac{\sum Y - b \sum X}{n} \dots\dots\dots (2.11)$$

$$b = \frac{n \sum XY - \sum X \cdot \sum Y}{n \sum X^2 - (\sum X)^2} \dots\dots\dots (2.12)$$

Diamana Y = variabel terikat

X = variabel bebas

a = koefisien intercep, bila X = 0 maka Y = a

b = koefisien regresi, bila X bertambah atau berkurang sebesar 1 unit maka Y akan meningkat atau berkurang sebesar b

Untuk menghitung koefisien korelasi dirumuskan sebagai berikut

$$r = \frac{n \cdot \sum X - \sum X \cdot \sum Y}{\sqrt{(n \cdot \sum X^2 - (\sum X)^2) - (n \cdot \sum Y^2 - (\sum Y)^2)}} \dots\dots\dots (2.13)$$

Metode regresi linear sederhana dalam penelitian ini akan digunakan untuk kalibrasi sensor tegangan.