

### **III. METODE PENELITIAN**

#### **3.1 Waktu dan Tempat**

Penelitian dan perancangan tugas akhir dilakukan di Laboratorium Terpadu Teknik Elektro Universitas Lampung dan dusun Margosari, desa Pesawaran Indah kabupaten Pesawaran pada bulan Agustus 2012 sampai dengan bulan Februari 2013

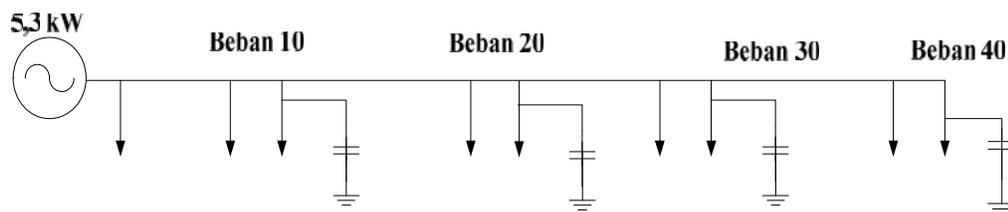
#### **3.2 Alat dan Bahan**

Adapun peralatan dan bahan-bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Satu unit Notebook dengan spesifikasi Processor Core2Duo 2.20 GHz dengan sistem operasi windows 7.
2. Perangkat lunak simulator sebagai alat bantu untuk perhitungan dan analisis.
3. Data –data yang dibutuhkan dalam Tugas Akhir ini berupa Tegangan , Arus dan Beban yang ada di PLTMH dusun Margosari desa Pesawaran Indah kabupaten Pesawaran.

### 3.3 Metode Penelitian

Seperti yang telah disebutkan di bab sebelumnya bahwa tujuan dari penulisan tugas akhir ini adalah untuk menghitung nilai kapasitor dan menentukan penempatan kapasitor untuk kompensasi tegangan PLTMH dusun Margosari desa Pewaran Indah kabupaten Pesawaran dengan perhitungan jatuh tegangan dan menganalisis profil tegangan sebelum dan sesudah penambahan pemasangan kapasitor yang dapat memperbaiki kualitas tegangan di PLTMH. Tujuan tersebut dapat dicapai bila setelah dikompensasi oleh kapasitor, jatuh tegangan menjadi lebih kecil. Hal ini dapat dilakukan dengan cara membandingkan jatuh tegangan sebelum dikompensasi oleh kapasitor dengan jatuh tegangan setelah dikompensasi oleh daya reaktif yang dihasilkan oleh kapasitor. Berikut Gambar 3.1 adalah one line diagram metode penelitian :



Gambar 3.1 One Line diagram Metode Penelitian

#### 1. Metode Perhitungan Jatuh Tegangan pada Saluran Distribusi

Dalam perhitungan jatuh tegangan pada PLTMH dusun Margosari desa Pesawaran Indah kabupaten Pesawaran menggunakan metode aliran daya Newton Raphson. Metode Newton Raphson merupakan metode yang paling dikenal untuk mencari hampiran terhadap akar fungsi riil. Metode

Newton sering konvergen dengan cepat, terutama bila iterasi dimulai "cukup dekat" dengan akar yang diinginkan. Namun bila iterasi dimulai jauh dari akar yang dicari, metode ini dapat meleset tanpa peringatan. Implementasi metode ini biasanya mendeteksi dan mengatasi kegagalan konvergensi.

Dalam metode Newton Raphson secara luas digunakan untuk permasalahan pada persamaan non-linier. Penyelesaian persamaan ini menggunakan permasalahan yang linier dengan solusi pendekatan. Metode ini dapat diaplikasikan untuk satu persamaan atau beberapa persamaan dengan beberapa variable yang tidak diketahui.

Untuk persamaan non-linier yang diasumsikan memiliki sebuah variable seperti persamaan:

$$y = f(x) \dots \dots \dots (3.1)$$

persamaan tersebut dapat diselesaikan dengan membuat persamaan menjadi

$$f(x) = 0 \dots \dots \dots (3.2)$$

dengan menggunakan deret Taylor persamaan tersebut dapat dijabarkan menjadi

$$f(x) = f(x_0) + \frac{1}{1!} \frac{df(x_0)}{dx} (x-x_0) + \frac{1}{2!} \frac{d^2f(x_0)}{dx^2} (x-x_0)^2 + \dots + \frac{1}{n!} \frac{d^n f(x_0)}{dx^n} (x-x_0)^n = 0 \dots \dots \dots (3.3)$$

Turunan pertama dari persamaan tersebut diabaikan, pendekatan linear

menghasilkan persamaan:

$$f(x) = f(x_0) + \frac{df(x_0)}{dx}(x - x_0) \dots \dots \dots (3.4)$$

Dari.

$$x_1 = x_0 - \frac{f(x_0)}{df(x_0)/dx} \dots \dots \dots (3.5)$$

Bagaimana pun, untuk mengatasi kesalahan notasi, maka persamaan menjadi

$$x^0 = x^0 - \frac{fx_0}{df(x_0)/dx} \dots \dots \dots (3.6)$$

Dimana:

$x^0$  = pendekatan perkiraan

$x^0$  = pendekatan pertama

Oleh karena itu, rumus dapat dikembangkan sampai iterasi terakhir (k+1)

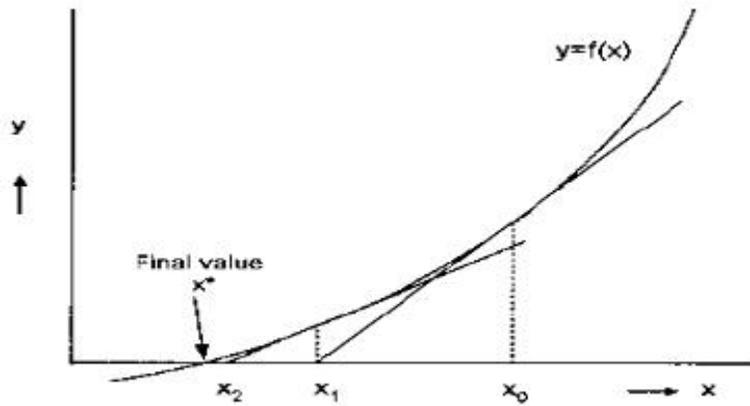
menjadi

$$x^{(k+1)} = x^{(k)} - \frac{fx^{(k)}}{df(x^{(k)})/dx} \dots \dots \dots (3.7)$$

$$x^{(k+1)} = x^{(k)} - \frac{fx^{(k)}}{f'(x^{(k)})} \dots \dots \dots (3.8)$$

$$\Delta x = -\frac{fx^{(k)}}{f'(x^{(k)})} \dots\dots\dots(3.9)$$

$$\Delta x = x^{(k+1)} + x^{(k)} \dots\dots\dots(3.10)$$



Gambar 3.2 Ilustrasi metode Newton Raphson

Pada gambar 3.2 dapat dilihat bahwa kurva garis melengkung diasumsikan grafik persamaan  $y = f(x)$ . Nilai  $X_0$  pada garis  $x$  merupakan nilai perkiraan awal kemudian dilakukan dengan nilai perkiraan kedua hingga perkiraan ketiga.

Metode Newton Raphson dengan Koordinat Polar

$$I_i = \sum_{j=0}^n Y_{ij}V_j \dots\dots\dots(3.11)$$

Besaran-besaran listrik yang digunakan untuk koordinat polar, pada umumnya

$$V_i = |V_i| \angle u_i; V_j = |V_j| \angle u_j; \text{ dan } Y_{ij} = |Y_{ij}| \angle \theta_{ij} \dots\dots\dots(3.12)$$

Dari persamaan sebelumnya, maka menjadi

$$I_i = \sum_{j=0}^n |Y_{ij}| |V_j| \angle_{ij} + u_j \dots \dots \dots (3.13)$$

Persamaan (3.13) dapat disubstitusikan kedalam persamaan daya

$$P_i - jQ_i = V_i^* I_i$$

$$V_i^* = |V_i| \angle -u_i \quad V_i^* = \text{konjugat dari } V_i$$

$$P_i - jQ_i = |V_i| \angle \sum_{j=1}^n |Y_{ij}| |V_j| \angle_{ij} + u_j$$

$$P_i - jQ_i = \sum_{j=1}^n |V_i| |Y_{ij}| |V_j| \angle_{ij} - u_i + u_j \dots \dots \dots (3.14)$$

Dimana:

$$e^{j(\angle_{ij} - u_i^{(k)} + u_j^{(k)})} = \cos(\angle_{ij} - u_i^{(k)} + u_j^{(k)}) + j \sin(\angle_{ij} - u_i^{(k)} + u_j^{(k)}) \dots \dots \dots (3.15)$$

Dari persamaan (3.14) dan (3.15) dapat diketahui persamaan P (3.16) dan Q (3.17)

$$P_i^{(k)} = \sum_{j=1}^n |V_i^{(k)}| |Y_{ij}| |V_j^{(k)}| \cos(\angle_{ij} - u_i^{(k)} + u_j^{(k)}) \dots \dots \dots (3.16)$$

$$Q_i^{(k)} = - \sum_{j=1}^n |V_i^{(k)}| |Y_{ij}| |V_j^{(k)}| \sin(\angle_{ij} - u_i^{(k)} + u_j^{(k)}) \dots \dots \dots (3.17)$$

Kedua persamaan diatas merupakan langkah awal perhitungan aliran daya

menggunakan metode Newton Raphson. Penyelesaian aliran daya menggunakan proses iterasi (k+1). Untuk iterasi pertama (1) nilai k = 0, merupakan nilai perkiraan awal (initial estimate) yang ditetapkan sebelum dimulai perhitungan aliran daya. Hasil perhitungan aliran daya menggunakan persamaan (3.16) dan (3.17) dengan nilai  $P_i^{(k)}$  dan  $Q_i^{(k)}$ . hasil nilai ini digunakan untuk menghitung nilai

$$\Delta P_i^{(k)} = P_{i,spec} - P_{i,calc}^{(k)} \dots\dots\dots(3.18)$$

$$\Delta Q_2^{(k)} = Q_{i,spec} - Q_{i,calc}^{(k)} \dots\dots\dots(3.19)$$

Hasil perhitungan ini  $\Delta P_i^{(k)}$  dan  $\Delta Q_i^{(k)}$  digunakan untuk matrik jacobian pada persamaan:

$$\begin{bmatrix} \Delta P_2^{(k)} \\ \vdots \\ \Delta P_n^{(k)} \\ \Delta Q_2^{(k)} \\ \vdots \\ \Delta Q_n^{(k)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial P_2^{(k)}}{\partial u_2} & \dots & \frac{\partial P_2^{(k)}}{\partial u_n} & \frac{\partial P_2^{(k)}}{\partial |V_2|} & \dots & \frac{\partial P_2^{(k)}}{\partial |V_n|} \\ \vdots & & \vdots & \vdots & & \vdots \\ \frac{\partial P_n^{(k)}}{\partial u_2} & \dots & \frac{\partial P_n^{(k)}}{\partial u_n} & \frac{\partial P_n^{(k)}}{\partial |V_2|} & \dots & \frac{\partial P_n^{(k)}}{\partial |V_n|} \\ \frac{\partial Q_2^{(k)}}{\partial u_2} & \dots & \frac{\partial Q_2^{(k)}}{\partial u_n} & \frac{\partial Q_2^{(k)}}{\partial |V_2|} & \dots & \frac{\partial Q_2^{(k)}}{\partial |V_n|} \\ \vdots & & \vdots & \vdots & & \vdots \\ \frac{\partial Q_n^{(k)}}{\partial u_2} & \dots & \frac{\partial Q_n^{(k)}}{\partial u_n} & \frac{\partial Q_n^{(k)}}{\partial |V_2|} & \dots & \frac{\partial Q_n^{(k)}}{\partial |V_n|} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta u_2^{(k)} \\ \vdots \\ \Delta u_n^{(k)} \\ \Delta |V_2|^{(k)} \\ \vdots \\ \Delta |V_n|^{(k)} \end{bmatrix} \dots\dots\dots(3.20)$$

Persamaan (3.20), dapat dilihat bahwa perubahan daya berhubungan dengan perubahan besar tegangan dan sudut fasa. Secara umum persamaan (3.21) dapat disederhanakan menjadi

$$\begin{bmatrix} \Delta P^{(k)} \\ \Delta Q^{(k)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J_1 & J_2 \\ J_3 & J_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta u^{(k)} \\ \Delta |V|^{(k)} \end{bmatrix} \dots\dots\dots(3.21)$$

Besaran elemen matriks Jacobian

a)  $J_1$

$$\frac{\partial P_i^{(k)}}{\partial u_i} = \sum_{j \neq i} |V_i^{(k)}| |V_j^{(k)}| |Y_{ij}| \sin(\theta_{ij} - u_i^{(k)} + u_j^{(k)}) \dots\dots\dots(3.22)$$

$$\frac{\partial P_i^{(k)}}{\partial u_j} = -|V_i^{(k)}| |V_j^{(k)}| |Y_{ij}| \sin(\theta_{ij} - u_i^{(k)} + u_j^{(k)}) \quad j \neq i \dots\dots\dots(3.23)$$

b)  $J_2$

$$\frac{\partial P_i^{(k)}}{\partial |V_i|} = 2|V_i^{(k)}| |Y_{ij}| \cos \theta_{ij} - \sum_{j \neq i} |V_j^{(k)}| |Y_{ij}| \cos(\theta_{ij} - u_i^{(k)} + u_j^{(k)}) \dots\dots\dots(3.24)$$

$$\frac{\partial P_i^{(k)}}{\partial |V_j|} = |V_i^{(k)}| |Y_{ij}| \cos(\theta_{ij} - u_i^{(k)} + u_j^{(k)}) \quad j \neq i \dots\dots\dots(3.25)$$

c)  $J_3$

$$\frac{\partial Q_i^{(k)}}{\partial u_i} = -\sum_{j \neq i} |V_i^{(k)}| |V_j^{(k)}| |Y_{ij}| \cos(\theta_{ij} - u_i^{(k)} + u_j^{(k)}) \dots\dots\dots(3.26)$$

$$\frac{\partial Q_i^{(k)}}{\partial u_j} = -|V_i^{(k)}| |V_j^{(k)}| |Y_{ij}| \cos(\theta_{ij} - u_i^{(k)} + u_j^{(k)}) \quad j \neq i \dots\dots\dots(3.27)$$

d)  $J_4$

$$\frac{\partial Q_i^{(k)}}{\partial |V_i|} = -2|V_i^{(k)}| |Y_{ij}| \sin \theta_{ij} - \sum_{j \neq i} |V_j^{(k)}| |Y_{ij}| \sin(\theta_{ij} - u_i^{(k)} + u_j^{(k)}) \dots\dots\dots(3.28)$$

$$\frac{\partial Q_i^{(k)}}{\partial |V_j|} = -|V_i^{(k)}| |Y_{ij}| \sin(\theta_{ij} - u_i^{(k)} + u_j^{(k)}) \quad j \neq i \dots\dots\dots(3.29)$$

Setelah nilai matrik Jacobian dimasukkan kedalam persamaan (3.21) maka nilai

$\Delta \mathbf{u}_i^{(k)}$  dan  $\Delta |V_i|^{(k)}$  dapat dicari dengan menginversikan matrik Jacobian menjadi

$$\begin{bmatrix} \Delta \mathbf{u}^{(k)} \\ \Delta |V|^{(k)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J_1 J_2 \\ J_3 J_4 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} \Delta P^{(k)} \\ \Delta Q^{(k)} \end{bmatrix} \dots\dots\dots(3.30)$$

Setelah nilai  $\Delta \mathbf{u}_i^{(k)}$  dan  $\Delta |V_i|^{(k)}$  diketahui nilainya maka nilai  $\Delta \mathbf{u}_i^{(k+1)}$  dan

$\Delta |V_i|^{(k+1)}$  dapat dicari dengan menggunakan nilai  $\Delta \mathbf{u}_i^{(k)}$  dan  $\Delta |V_i|^{(k)}$  ke dalam

persamaan:

$$\mathbf{u}_i^{(k+1)} = \mathbf{u}_i^{(k)} + \Delta \mathbf{u}_i^{(k)} \dots\dots\dots(3.31)$$

$$|V_i^{(k+1)}| = |V_i^{(k)}| + \Delta |V_i^{(k)}| \dots\dots\dots(3.32)$$

Nilai dari  $u_i^{(k+1)}$  dan  $|V_i|^{(k+1)}$  hasil perhitungan dari persamaan (3.31) dan (3.32) merupakan perhitungan pada iterasi pertama. Nilai ini digunakan kembali untuk perhitungan iterasi ke-2 dengan cara memasukkan nilai ini ke dalam persamaan (3.16) dan (3.17) sebagai langkah awal perhitungan aliran daya, dengan diperolehnya hasil output yang digunakan dalam analisis penempatan stabilitas tegangan menggunakan kapasitor. Perhitungan aliran daya pada iterasi ke-2 mempunyai nilai  $k = 1$ .

## 2. Metode Perhitungan Nilai Kapasitor dan Pemasangan Kapasitor.

Metode yang digunakan untuk perhitungan nilai kapasitor yaitu dengan perhitungan secara manual dengan menggunakan persamaan serta pemasangan kapasitor ditentukan dengan perhitungan sesuai dengan persamaan.

Langkah –langkah menghitung nilai kapasitor :

- a. Mengetahui besar tegangan, arus dan daya
- b. Menghitung S dengan menggunakan persamaan (3.33)

$$S = V.I \dots\dots\dots(3.33)$$

- c. Menghitung P dan Q dengan menggunakan persamaan dan

$$P = V.I. \cos \varphi \dots\dots\dots(3.34)$$

$$Q = V.I. \sin \varphi \dots\dots\dots(3.35)$$

- d. Setelah mendapat nilai P dan Q kemudian menghitung daya reaktif kapasitor ( $\Delta Q/Q_c$ ) yaitu dari selisih antara Q awal dengan Q akhir dengan persamaan (3.36).

$$\Delta Q = Q_1 - Q_2 \dots \dots \dots (3.36)$$

- e. Kemudian menghitung nilai kapasitor (C) dengan menggunakan persamaan (3.37) dan menghitung nilai reaktansi kapasitif ( $X_c$ ) menggunakan persamaan (3.38).

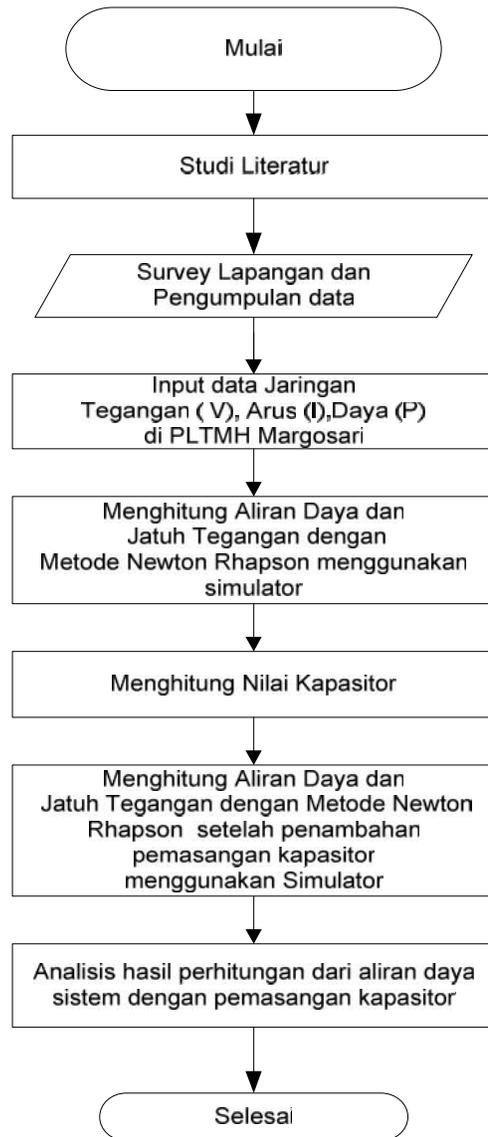
$$C = \frac{Q_c}{-V^2 \omega} \dots \dots \dots (3.37)$$

$$X_c = \frac{1}{2\pi f C} \dots \dots \dots (3.38)$$

Maka berdasarkan persamaan 3.37 didapatkan  $V_c$  pada persamaan 3.39

$$V_c = \sqrt{\frac{Q_c}{-C \cdot \omega}} \dots \dots \dots (3.39)$$

Diagram alir pengerjaan tugas akhir ini ditunjukkan pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2. Diagram Alir Pengerjaan Tugas Akhir

### 3.4 Kondisi PLTMH dusun Margosari desa Pesawaran Indah kabupaten Pesawaran.

PLTMH dusun Margosari desa Pesawaran Indah kabupaten Pesawaran terdapat di dusun Margosari desa Pesawaran Indah kabupaten Pesawaran. PLTMH Margosari memiliki panjang total sekitar 2100 m / 2 KM sampai ke beban terakhir. Total beban yang terhubung adalah 40 beban dengan masing – masing beban sebesar 30 W . Beban yang terhubung ke PLTMH adalah beban masyarakat yang bersifat resistif . Pada PLTMH dusun Margosari desa Pesawaran Indah kabupaten Pesawaran menggunakan konduktor yang berjenis tipe Al atau *twisted cable*, dimana konduktor tersebut memiliki 2 fasa .Di bawah ini adalah tabel data dari konduktor tersebut.

Tabel 3.1. Nilai resistansi dan reaktansi konduktor / km

A (mm <sup>2</sup> )	R ( /km)	L (mH/km)	C (mf/km)	Impedansi urutan positif ( /km)	Impedansi urutan Nol ( /km)
150	0,206	0,33	0,26	0,206 + j 0,104	0,356 + j 0,312

### 3.5 Pengamatan

Sebelum dilakukan pengamatan terlebih dahulu dilakukan perhitungan aliran daya awal pada PLTMH dusun Margosari desa pesawaran Indah dengan menggunakan simulator. Metode perhitungan aliran daya digunakan pada tugas akhir ini adalah metode perhitungan aliran daya Newton Rhapson. Sedangkan untuk menghitung

aliran daya pada PLTMH dusun Margosari ini terlebih dahulu dilakukan pemodelan yang akan diteliti. Pemodelan ini harus sesuai dengan semua komponen listrik yang ada yaitu mulai dari sumber sampai dengan beban. Dalam perhitungan jatuh tegangan dan rugi daya pada tugas akhir ini semua komponen dimodelkan sebagai berikut;

### **1. PLTMH**

PLTMH dimodelkan sebagai sebuah pembangkit yang menggunakan generator yang terhubung ke salah satu bus di sistem sehingga dapat beroperasi pada kedua faktor daya, baik tertinggal maupun mendahului. Bus yang terhubung ke PLTMH diperlakukan sebagai PV bus sehingga dapat mengontrol tegangan.

### **2. Saluran Distribusi**

Data saluran distribusi meliputi panjang saluran, data geometris penghantar, jumlah konduktor serta impedansi saluran. Dari data saluran distribusi tersebut yang digunakan di dalam perhitungan rugi daya dan jatuh tegangan hanya panjang saluran dan impedansi saluran. Untuk panjang saluran antara dua bus adalah jarak dari bus satu ke bus lainnya, sedangkan impedansi saluran diukur dalam satuan ohm/km.

### **3. Beban**

Pemodelan beban berdasarkan data historis konsumsi energi yang dilakukan oleh konsumen. Pada dasarnya ada dua tipe beban yaitu beban industri dan beban masyarakat. Dalam tugas akhir ini tipe beban sama yaitu beban masyarakat.

#### 4. Kapasitor

Pada sistem distribusi kapasitor diartikan sebagai suatu komponen konstanta admitansi yang biasanya dipasang parallel/ *shunt*. Pemasangan kapasitor ini dilakukan dengan tujuan untuk memperbaiki faktor daya ( pf ), mengurangi besarnya rugi daya pada saluran , dan mengurangi besarnya jatuh tegangan. Hal ini dapat dilakukan karena kapasitor akan menghasilkan daya reaktif yang akan dikompensasikan ke sistem. <sup>[5]</sup>.