

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Beberapa penelitian yang sudah ada dan berhubungan dengan *zero trafo overload* dengan pecah beban :

1. Wisnu Adi Suryo. (2014). Dalam jurnal yang berjudul **“STUDI PERKIRAAN BEBAN PADA GARDU INDUK”** VOL 2. NO 3. Halaman :2-6. Dalam jurnal ini menjelaskan bahwa dengan perkembangan sekarang yang cukup pesat dalam hal pertumbuhan ekonomi yang mengakibatkan permintaan terhadap energy listrik mengalami peningkatan dan semakin besar pula beban listrik yang ditanggung oleh GI dengan demikian untuk mencegah terjadinya overload maka diperlukan suatu perkiraan beban listrik jangka panjang.
2. Mancon Sitanggang (2009). Dalam tugas akhirnya yang berjudul **“STUDI PERKIRAAN UMUR TRANSFORMATOR DISTRIBUSI DENGAN METODE TINGKAT TAHUNAN”**,Medan. Universitas Sumatera Utara Fakultas Teknik Elektro Dalam penelitian ini menjelaskan bahwa dengan kondisi perkembangan beban yang setiap saat berubah-ubah serta inflasi biaya energy yang meningkat dapat mempersulit dalam menentukan umur trafo dan metode tingkat tahunan dapat membantu dalam memperkirakan umur sebuah trafo dalam melayani beban.
3. Erfin Saputra (2015). Dalam tugas akhirnya yang berjudul **“ANALISA PEMERATAAN BEBAN GARDU DISTRIBUSI”**,Palembang. Politeknik Sriwijaya Fakultas Teknik Elektro. Dalam penelitian ini menjelaskan bahwa ketidakseimbangan beban pada transformator distribusi dapat menimbulkan arus netral dan arus pada penghantar netral transformator menyebabkan terjadinya rugi-rugi daya pada transformator distribusi.

4. Fazari Abdillah (2014). Dalam jurnal yang berjudul "**PENYEIMBANGAN BEBAN PADA GARDU DISTRIBUSI DENGAN METODE SEIMBANG BEBAN SEHARIAN**" VOL 1.No.1.Halaman:3-5. Dalam jurnal ini menjelaskan bahwa penyeimbangan beban tidak dilakukan pada waktu beban puncak saja melainkan dapat dilakukan dengan metode seimbang beban seharian.

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Gardu Distribusi

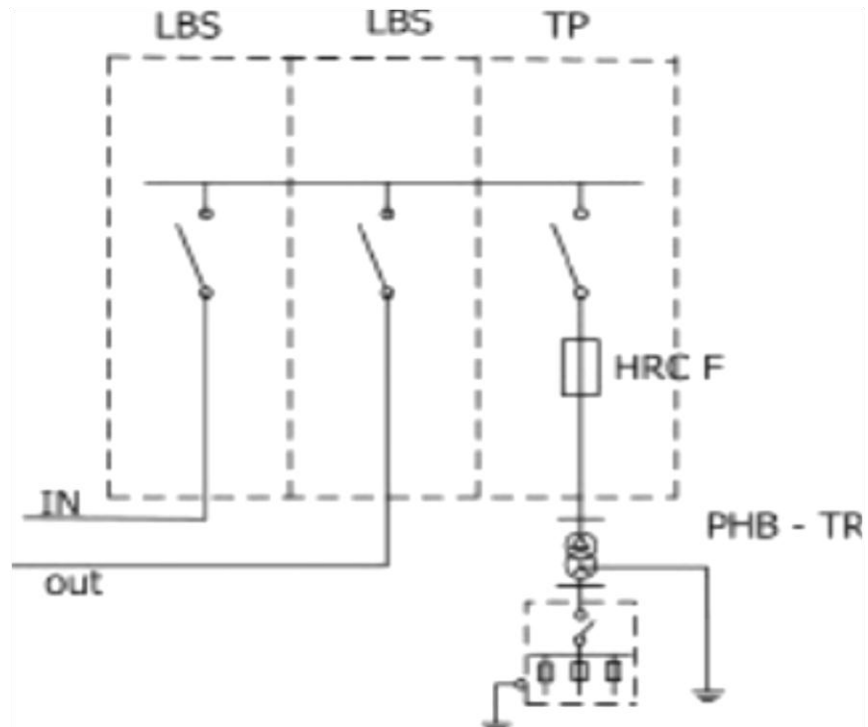
Pengertian umum Gardu Distribusi tenaga listrik yang paling dikenal adalah suatu bangunan gardu listrik berisi atau terdiri dari instalasi Perlengkapan Hubung Bagi Tegangan Menengah (PHB-TM), Transformator Distribusi (TD) dan Perlengkapan Hubung Bagi Tegangan Rendah (PHB-TR) untuk memasok kebutuhan tenaga listrik bagi para pelanggan baik dengan Tegangan Menengah (TM 20 kV) maupun Tegangan Rendah (TR 220/380V). Konstruksi Gardu distribusi dirancang berdasarkan optimalisasi biaya terhadap maksud dan tujuan penggunaannya yang kadang kala harus disesuaikan dengan peraturan pemda setempat.

Secara garis besar gardu distribusi dibedakan atas :

1. Jenis pemasangannya :
 - a. Gardu pasangan luar : Gardu Portal, Gardu Cantol
 - b. Gardu pasangan dalam : Gardu Beton, Gardu Kios
2. Jenis Konstruksinya :
 - a. Gardu Beton (bangunan sipil : batu, beton
 - b. Gardu Tiang : Gardu Portal dan Gardu Cantol, Gardu Kios
3. Jenis Penggunaannya :
 - a. Gardu Pelanggan Umum.
 - b. Gardu Pelanggan Khusus.

Khusus pengertian gardu hubung adalah gardu yang ditujukan

Untuk gardu tiang pada system jaringan lingkaran terbuka (*open-loop*), seperti pada system distribusi dengan saluran bawah tanah, konfigurasi peralatan adalah π **section** dimana transformator distribusi dapat dicatu dari arah berbeda yaitu posisi **Incoming- Outgoing** atau dapat sebaliknya.



Gambar 2.2 Bagan satu garis konfigurasi π section Gardu Portal

Guna mengatasi *factor* keterbatasan ruang pada Gardu Portal, maka digunakan konfigurasi *switching/proteksi* yang sudah terakit ringkas sebagai RMU (*Ring Main Unit*). Peralatan *switching incoming-outgoing* berupa pemutus beban atau LBS (*Load Break Switch*) atau pemutus balik otomatis (PBO) atau CB (*Circuit Breaker*) yang bekerja secara manual (atau digerakkan dengan *remote control*).

Fault indicator (dalam hal ini PMFD : *pole Mounted Fault Detector*) perlu dipasang pada *section* jaringan yang tidak mengalami gangguan dapat dipulihkan lebih cepat.

b. Gardu Cantol

Pada Gardu Distribusi tipe cantol, transformator yang terpasang adalah transformator dengan daya ≤ 100 kVA Fase 3 atau Fase 1. Transformator terpasang adalah jenis CSP (*Completely Self Protected Transformer*) yaitu peralatan *switching* dan proteksinya sudah terpasang lengkap dalam tangki transformator.

Perlengkapan perlindungan transformator tambahan LA (*Lightning Arrester*) dipasang terpisah dengan Penghantar pembumiannya yang dihubungkan langsung dengan badan transformator. Perlengkapan Hubung Bagi Tegangan Rendah (PHB-TR) maksimum 2 jurusan dengan saklar pemisah pada sisi masuk dan pengaman lebur (type NH, NT) sebagai pengaman jurusan. Semua Bagian Konduktif Terbuka (BKT) dan Bagian Konduktif *Ekstra* (BKE) dihubungkan dengan pembumian sisi Tegangan Rendah.

c. Gardu Beton

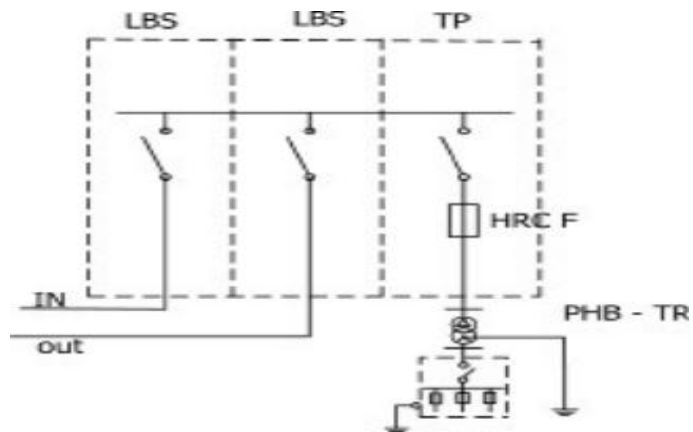
Seluruh komponen utama instalasi yaitu transformator dan peralatan *switching*/proteksi, terangkai didalam bangunan sipil yang dirancang, dibangun dan difungsikan dengan konstruksi pasangan batu dan beton (*masonry wall building*). Konstruksi ini dimaksudkan untuk pemenuhan persyaratan terbaik bagi keselamatan ketenagalistrikan.



Gambar 2.4 Gardu Beton

d. Gardu Pelanggan Umum

Umumnya konfigurasi peralatan Gardu Pelanggan Umum adalah π section, sama halnya seperti dengan Gardu Tiang yang dicatu dari SKTM. Karena keterbatasan lokasi dan pertimbangan keandalan yang dibutuhkan, dapat saja konfigurasi gardu berupa T section dengan catu daya disuplai PHB-TM gardu terdekat yang sering disebut dengan Gardu Antena. Untuk tingkat keandalan yang dituntut lebih dari Gardu Pelanggan Umum biasa, maka gardu dipasok oleh SKTM lebih dari satu penyulang sehingga jumlah saklar hubung lebih dari satu dan dapat digerakan secara Otomatis (ACOS : *Automatic Change Over Switch*) atau secara *remote control*.

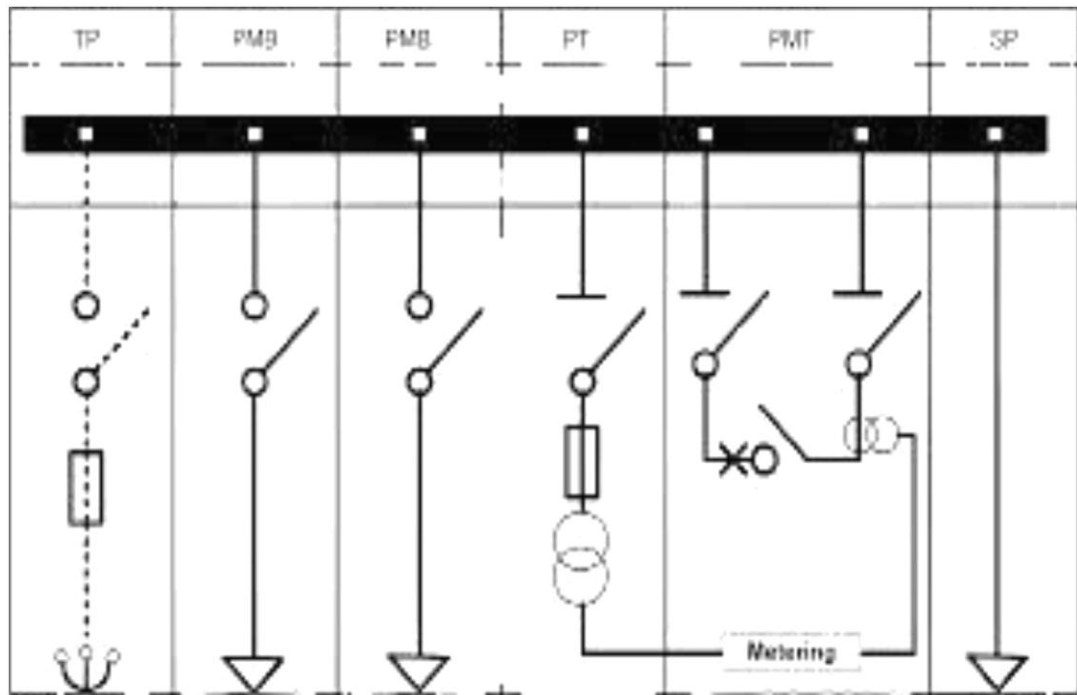


Gambar 2.5 Bagan satu garis Konfigurasi π section
Gardu Pelanggan Umum

e. Gardu Pelanggan Khusus

Gardu ini dirancang dan dibangun untuk sambungan tenaga listrik bagi pelanggan berdaya besar. Selain komponen utama peralatan hubung dan proteksi, gardu ini dilengkapi dengan alat-alat ukur yang dipersyaratkan.

Untuk pelanggan dengan daya lebih dari 197 kVA, komponen utama gardu distribusi adalah peralatan PHB-TM, proteksi dan pengukuran Tegangan Menengah. Transformator penurun tegangan berada di sisi pelanggan atau diluar area kepemilikan dan tanggung jawab PT PLN (Persero). Pada umumnya, Gardu Pelanggan Khusus ini dapat juga dilengkapi dengan transformator untuk melayani pelanggan umum.



Gambar 2.6 Bagan satu garis Gardu Pelanggan Khusus

Keterangan :

- TP = Pengaman Transformator
- PMB = Pemutus Beban – LBS
- PT = Trafo Tegangan
- PMT = Pemutus Beban Pelanggan
- SP = Sambungan Pelanggan

f. Gardu Hubung

Gardu Hubung disingkat GH atau *Switching Substation* adalah gardu yang berfungsi sebagai sarana manuver pengendali beban listrik jika terjadi gangguan aliran listrik, program pelaksanaan pemeliharaan atau untuk maksud mempertahankan kountinuitas pelayanan. Isi dari instalasi Gardu Hubung adalah rangkaian saklar beban (*Load Break switch – LBS*), dan atau pemutus tenaga yang terhubung paralel. Gardu Hubung juga dapat dilengkapi sarana pemutus tenaga pemutus beban pelanggan khusus

Tegangan Menengah. Konstruksi Gardu Hubung sama dengan Gardu Distribusi tipe beton. Pada ruang dalam Gardu Hubung dapat dilengkapi dengan ruang untuk Gardu Distribusi yang terpisah dan ruang untuk sarana pelayanan kontrol jarak jauh. Ruang untuk sarana pelayanan kontrol jarak jauh dapat berada pada ruang yang sama dengan ruang Gardu Hubung, namun terpisah dengan ruang Gardu Distribusinya.

Berdasarkan kebutuhannya Gardu Hubung dibagi menjadi:

- 1) Gardu Hubung untuk 7 buah sel kubikel
- 2) Gardu Hubung untuk (7 + 7) buah sel kubikel.
- 3) Gardu Hubung untuk (7 + 7 + 7 + 7) buah sel kubikel.

2.2.2 Transformator

Transformator merupakan suatu peralatan listrik elektromagnetik statis yang berfungsi untuk memindahkan dan mengubah daya listrik dari suatu rangkaian listrik ke rangkaian listrik lainnya, dengan frekuensi yang sama dan perbandingan transformasi tertentu melalui suatu gandingan magnet dan bekerja berdasarkan prinsip induksi elektromagnetis, dimana perbandingan tegangan antara sisi primer dan sisi sekunder berbanding lurus dengan perbandingan jumlah lilitan dan berbanding terbalik dengan perbandingan arusnya. Dalam bidang teknik listrik pemakaian transformator dikelompokkan menjadi: Transformator daya, Transformator distribusi, Transformator pengukuran

1. Trafo Distribusi

Adalah trafo yang digunakan untuk menurunkan tegangan menengah (11,6/20kV) menjadi tegangan rendah (230/4000V). Trafo ini tersebar luas di lingkungan masyarakat dan mudah mengenalinya karena biasa dicantol di tiang. Oleh karena itu, bisa juga disebut dengan gardu cantol.

2. Gangguan Transformator

Transformator merupakan suatu peralatan yang rentan akan terkena gangguan. Berikut ini gangguan yang terjadi pada transformator distribusi yaitu beban tidak seimbang dan *overload*. *Overload* terjadi karena beban yang terpasang pada trafo melebihi kapasitas maksimum yang dapat ditampung trafo, dimana arus beban melebihi kapasitas maksimum (*overload*) dari trafo. *Overload* akan menyebabkan trafo menjadi panas dan kawat tidak sanggup lagi menahan beban, sehingga panas yang timbul menyebabkan naiknya suhu lilitan tersebut. Kenaikan ini menyebabkan rusaknya isolasi lilitan pada kumparan trafo. Adapun rumus untuk mencari arus nominal dan arus overload dapat dicari dengan cara :

$$I_{\text{nominal}} = P / (V \cdot \sqrt{3}) \dots \dots \dots (2.1)$$

$$I_{\text{overload}} = 80\% \cdot I_{\text{nominal}} \dots \dots \dots (2.2)$$

Dimana : I = Arus peralatan (Ampere)

P = Daya masukan (Watt)

V = Tegangan (volt)

2.2.3. Jaringan Tegangan Rendah

Jaringan Tegangan Rendah adalah suatu alat yang terdiri dari kumparan dan inti dimana kumparan sekunder akan menghasilkan tenaga listrik akibat terinduksi oleh medan magnet yang dihasilkan oleh inti Jaringan Tegangan Rendah .

Besi berlapis sering dijadikan sebagai inti sedangkan kawat tembaga sebagai aliran arus yang lazim disebut kumparan. Pada Jaringan Tegangan Rendah terdapat dua kumparan yaitu kumparan primer, dan kumparan sekunder. Rasio perubahan tegangan ditentukan oleh rasio jumlah lilitan pada masing-masing kumparan. Tegangan masuk disebut tegangan primer sedangkan

tegangan keluaran disebut tegangan sekunder. Perbandingan tegangan primer dibanding sekunder sama dengan perbandingan kumparan primer dibanding kumparan sekunder. Kedua kumparan tergabung secara magnetik di dalam inti, tetapi kedua kumparan tersebut tidak tergabung secara elektrik.

Arus bolak – balik dapat dikoneksikan dengan cara tersebut di atas, karena mempunyai perubahan fluks magnetik yang selalu berubah. Pada jaringan arus searah diatas tidak bisa karena pada arus searah fluks magnetiknya tetap dimana fluks magnetik tetap tidak akan menghasilkan gaya gerak listrik. Cara mengkoneksikan arus searah yaitu dengan cara memutus arus searah tersebut agar berfrekuensi atau membuat inverter. Cara tersebut dalam penulisan laporan ini tidak dibahas karena penulis hanya membahas Jaringan Tegangan Rendah atau arus bolak – balik. Kontruksi Jaringan Tegangan Rendah secara umum dibedakan menjadi dua bagian yaitu konstruksi Jaringan Tegangan Rendah tipe inti, dan konstruksi Jaringan Tegangan Rendah tipe cangkang.

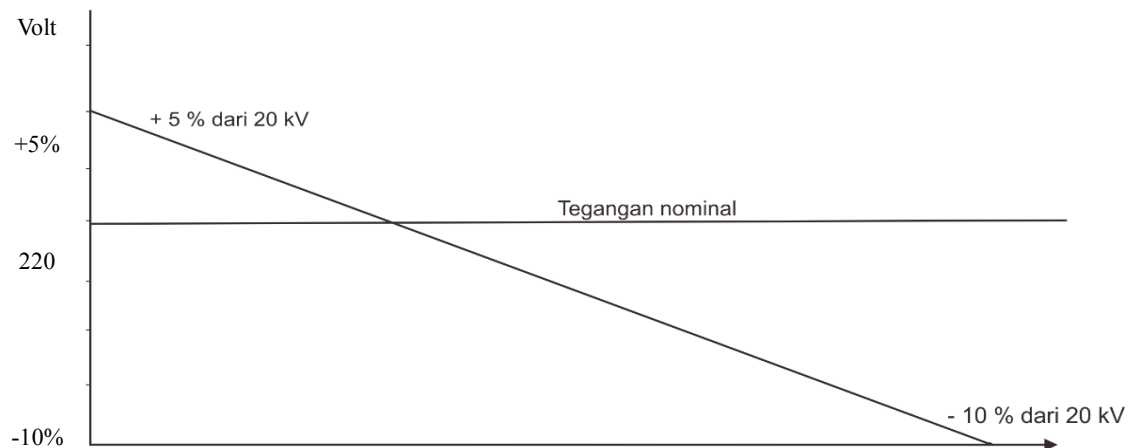
Konstruksi inti yaitu tempat kedudukan kawat-kawat kumparan berada di sisi luar baik kumparan primer maupun kumparan sekundernya. Sedangkan pada tipe cangkang, tempat kedudukan kawat kumparan berada ditengah sehingga posisi kumparan dikelilingi oleh kern atau inti trafo.

Kegunaan setiap jaringan selalu mempunyai jumlah lilitan tertentu setiap voltnya. jumlah lilitan per voltnya sangat ditentukan oleh luas inti kern atau inti trafo. Sedangkan yang dimaksud dengan perbandingan Jaringan ialah perbandingan banyaknya lilitan primer dengan lilitan sekunder.

2.2.4. Jatuh Tegangan

Jatuh tegangan pada saluran tenaga listrik secara umum berbanding lurus dengan panjang saluran dan beban serta berbanding terbalik dengan luas penampang penghantar. Besarnya jatuh tegangan dinyatakan baik dalam persen atau dalam besaran Volt. Besarnya batas atas dan bawah ditentukan oleh kebijaksanaan perusahaan kelistrikan.

Perhitungan jatuh tegangan praktis pada batas-batas tertentu dengan hanya menghitung besarnya tahanan masih dapat dipertimbangkan, namun pada sistem jaringan khususnya pada sistem tegangan menengah masalah induktansi dan kapasitansinya diperhitungkan karena nilainya cukup berarti tegangan jatuh secara umum adalah tegangan yang digunakan pada beban. Tegangan jatuh ditimbulkan oleh arus yang mengalir melalui tahanan kawat. Tegangan jatuh V (Tegangan) pada penghantar semakin besar jika arus I (Arus) di dalam penghantar semakin besar dan jika R_l (Tahanan Penghantar) semakin besar pula. Tegangan jatuh merupakan penanggung jawab terjadinya kerugian pada penghantar karena dapat menurunkan tegangan pada beban. Akibatnya hingga berada di bawah tegangan nominal yang dibutuhkan. Atas dasar hal tersebut maka tegangan jatuh yang diijinkan untuk instalasi arus kuat hingga 1.000 V yang ditetapkan dalam persen dari tegangan kerjanya (*Daryanto, 2010: hal 18 & 42*).



Gambar 2.7 Toleransi tegangan pelayanan yang diizinkan

Sesuai dengan standar tegangan yang ditentukan oleh PLN SPLN No. 01 tahun 1987, perancangan jaringan dibuat agar jatuh tegangan di ujung diterima +5% dan -10%. Pada gambar 2.7 dijelaskan bahwa tegangan nominal pada tegangan menengah adalah 20 kV, maka +5% dari 20 kV adalah 1 sehingga pada toleransi yang didapat yaitu 21 kV dan pada batas untuk ambang bawah sebesar -10% dari 20 kV dimana hasil yang didapat adalah 2 sehingga pada toleransi yang didapat yaitu 18 kV. Tegangan jatuh pada jaringan disebabkan adanya rugi tegangan akibat hambatan listrik (R) dan reaktansi (X). Jatuh tegangan *phasor* V_d pada suatu penghantar yang mempunyai impedansi (Z) dan membawa arus (I) dapat dijabarkan dengan rumus :

$$V_d = I \cdot Z \dots \dots \dots (2.3)$$

Dalam pembahasan ini yang dimaksudkan dengan jatuh tegangan (ΔV) adalah selisih antara tegangan kirim (V_k) dengan tegangan terima (V_T), maka jatuh tegangan dapat didefinisikan adalah :

$$\Delta V = (V_k) - (V_T) \dots \dots \dots (2.4)$$

Karena adanya resistansi pada penghantar maka tegangan yang diterima konsumen (V_r) akan lebih kecil dari tegangan kirim (V_s), sehingga tegangan jatuh (V_{drop}) merupakan selisih antara tegangan pada pangkal pengiriman (*sending end*) dan tegangan pada ujung penerimaan (*receiving end*) tenaga listrik. Tegangan jatuh relatif dinamakan regulasi tegangan V_R (*voltage regulation*) dan dinyatakan oleh rumus :

$$V_R = \frac{V_s - V_r}{V_r} \times 100\% \dots \dots \dots (2.5)$$

Dimana :

V_s = tegangan pada pangkal pengiriman

V_r = tegangan pada ujung penerimaan

Untuk menghitung jatuh tegangan, diperhitungkan reaktansinya, maupun faktor dayanya yang tidak sama dengan satu, maka berikut ini akan diuraikan cara perhitungannya. Dalam penyederhanaan perhitungan, diasumsikan beban-bebannya merupakan beban fasa tiga yang seimbang dan faktor dayanya ($\cos \phi$) antara 0,6 s/d 0,85. tegangan dapat dihitung berdasarkan rumus pendekatan hubungan sebagai berikut :

$$(\Delta V) = I (R \cdot \cos \phi + X \cdot \sin \phi) L \dots \dots \dots (2.6)$$

Dimana :

I = Arus beban (Ampere)

R = Tahanan rangkaian (Ohm)

X = Reaktansi rangkaian (Ohm)

2.3. Kerangka Pemikiran

Untuk mempermudah pemahaman yang dilakukan di dalam proyek akhir, maka digunakan kerangka pemikiran seperti ditunjukkan oleh tabel 2.1 sebagai berikut :

Tabel 2.1. Kerangka Pemikiran

