

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Profil Perusahaan

Gardu induk (GI) Pakis merupakan salah satu gardu induk yang berada di wilayah kerja PT. PLN (Persero) Unit Induk Transmisi Jawa Bagian Timur dan Bali (UIT JBTB) yang dioperasikan oleh Unit Pelaksana Transmisi (UPT) Malang. Berdasarkan besar tegangannya, GI Pakis masuk dalam kategori Gardu Induk Tegangan Tinggi (GITT) karena beroperasi dengan tegangan kerja 150 kV.

Berdasarkan pemasangan peralatan, GI Pakis tergolong gardu induk pasang luar (GI konvensional) dengan menggunakan media insulasi berupa udara terbuka. GI Pakis menggunakan sistem double busbar, dimana sistem double busbar jauh lebih handal dibanding dengan sistem satu busbar, sistem double busbar bekerja sangat efektif ketika terjadi gangguan, pemeliharaan dan manuver beban karena proses suplai energi listrik tidak terputus.

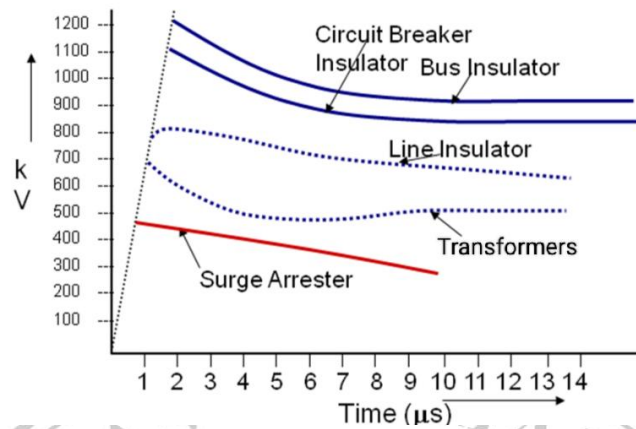
Gardu Induk yang mulai beroperasi pada tahun 1996 ini, menerima pasokan listrik dari GI Purwosari 1 dan Purwosari 2 kemudian mengirimnya ke GI Kebon Agung 1 dan Kebon Agung 2. Sistem interkoneksi tersebut menyebabkan proses suplai energi listrik di daerah UIT JBTB berjalan dengan baik.

2.2 Transformator Daya

Transformator Daya (Trafo) merupakan unit vital dalam kepaduan sistem tenaga listrik. Trafo dapat menaikkan tegangan hasil bangkitan generator yang relatif rendah menjadi berharga sangat tinggi, sehingga menjadi efisien ketika daya listrik ditransmisikan. Pada sistem transmisi tepatnya pada bagian gardu induk membutuhkan trafo untuk bertugas menurunkan besaran daya sehingga sanggup disalurkan kepada konsumen oleh sistem distribusi. Secara umum trafo didefinisikan sebagai perangkat yang dipekerjakan untuk mentransformasikan daya listrik dengan cara menurunkan atau menaikkan level tegangan sesuai dengan tegangan kerja yang diinginkan namun tetap menjaga besaran frekuensi.

Trafo merupakan perangkat statis yang beroperasi dengan berlandaskan prinsip elektromagnetik yang didesain dengan dua bagian sisi yang terdiri dari beberapa kumparan. Kumparan primer terhubung dengan sumber masukan berupa

tegangan bolak-balik, sedangkan kumparan sekunder menghasilkan keluaran besaran tegangan kerja yang diinginkan. [17].

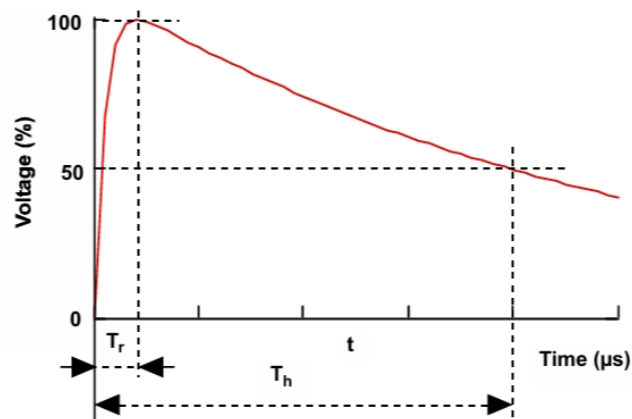


Gambar 2.1 Skema Koordinasi Insulasi diantara Peralatan Gardu Induk

Trafo didesain dan dibangun dengan tidak mengedepankan spesifikasi tingkat insulasi dasar yang tinggi atau memiliki *Basic Insulation Level* yang relatif rendah yang dipengaruhi besar oleh faktor ekonomis, sehingga pada proses instalasinya di lapangan harus disandingkan bersama perangkat proteksi tegangan lebih. Perangkat proteksi yang dipasang harus sesuai dengan kebutuhan sistem, untuk menentukan level proteksi dari perangkat proteksi dapat menggunakan teknik koordinasi insulasi [18].

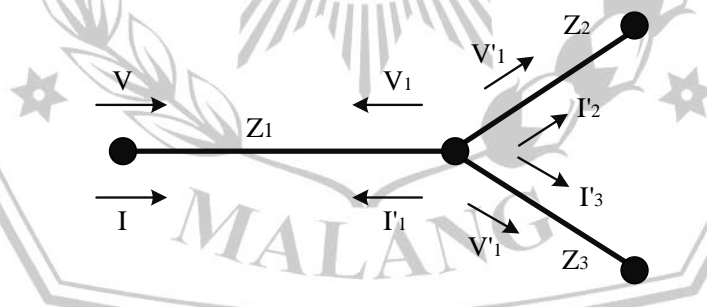
2.3 Tegangan Lebih Akibat Petir

Tegangan lebih akibat petir atau *lightning overvoltage* merupakan gangguan eksternal pada sistem tenaga listrik khususnya sistem transmisi dan distribusi udara yang disebabkan oleh sambaran petir. Sambaran petir pada kawat penghantar transmisi merupakan suntikan muatan listrik besar yang terjadi secara instan, sehingga menaikkan tegangan kawat penghantar transmisi melebihi tegangan operasinya yang bersifat sementara. *Lightning overvoltage* berbentuk gelombang impuls yang merambat pada saluran, biasanya berdurasi sangat singkat, searah dan bentuknya menyerupai bentuk gelombang impuls standar 1,2/50 μ s. Tegangan lebih akibat sambaran petir disebut juga tegangan impuls petir, tegangan maksimum impuls petir berharga 1000 kV. Pada sistem tenaga yang beroperasi pada tegangan 245 kV dan di bawahnya parameter impuls petir menjadi perhatian utama dalam menentukan tingkat insulasi peralatan.



Gambar 2.2 Gelombang Tegangan Lebih Akibat Petir [6]

Fenomena petir merupakan fenomena alam yang terjadi pada atmosfer yang tidak bisa di cegah terjadinya namun bisa diprediksi dan bisa diatasi dengan peralatan penangkap petir. Fenomena ini dapat terjadi ketika berlangsung kondisi perbedaan muatan yang sangat besar antara awan yang memiliki muatan proton atau bermuatan elektron dengan muatan lingkuan sekitar (awan lain, udara, tanah, dan objek di sekitar) sehingga terjadi pelepasan muatan dari dalam awan yang mengarah pada suatu objek, hal tersebut dikenal dengan sambaran petir. Kerapatan sambaran petir adalah jumlah sambaran petir ke tanah / tahun / km dan peta sambaran dengan data jumlah hari guruh per tahun.



Gambar 2.3 Skema Tegangan Lebih Berjalan pada Saluran [23]

Gelombang berjalan tegangan lebih petir atau *Travelling waves of lightning overvoltage* merambat sepanjang saluran, perubahan harga tegangan dan arus akibat impuls petir menyebar di seluruh bagian rangkaian. Karakteristik rangkaian yang terdiri dari potongan-potongan yang pendek mengakibatkan terjadinya proses pantulan gelombang secara berulang-ulang. Gelombang berjalan

tegangan lebih yang berakhir pada gardu induk menyebabkan kenaikan tegangan yang tajam pada saluran dan dapat merusak insulasi sistem. Besaran tegangan lebih tersebut merupakan fungsi dari besaran, polaritas, dan bentuk arus sambaran petir, impedansi surja saluran, impedansi surja menara, impedansi pondasi, dan tegangan *flashover* impuls petir dari peralatan insulasi saluran [19].

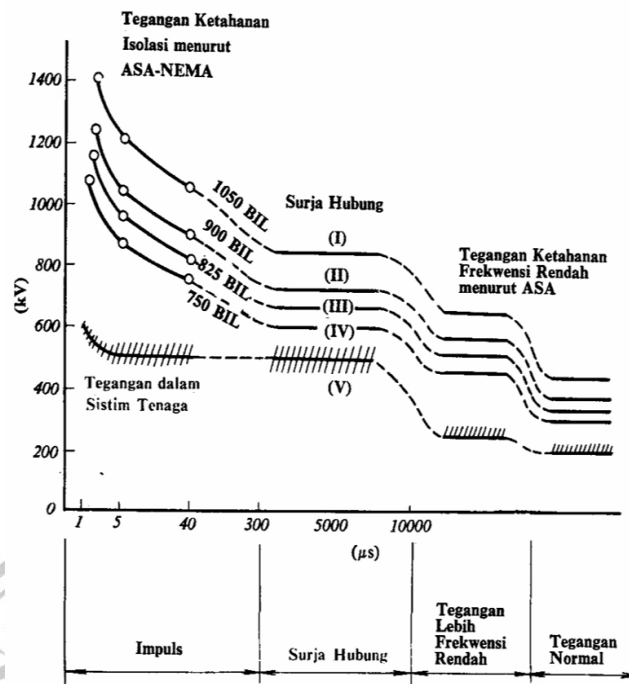
2.4 Koordinasi Insulasi

Koordinasi Insulasi merupakan suatu teknik atau metode yang diimplementasikan untuk menetapkan tingkat kekuatan insulasi dari peralatan suatu sistem, dimana hal tersebut berkorelasi dengan tegangan lebih yang diperhitungkan dapat datang pada sistem, dengan lingkungan operasional, dan berkorelasi dengan karakteristik perangkat proteksi. Teknik ini bertujuan bukan hanya untuk memilih kekuatan insulasi yang harus bisa menanggapi harga tertinggi dari tegangan lebih yang dapat muncul, tetapi juga untuk memilih kekuatan insulasi minimum atau jarak aman minimum yang sesuai standar kebutuhan sistem atau tidak berlebihan spesifikasinya, karena tingkat kekuatan minimum sebanding dengan biaya minimum yang dikeluarkan.

Pada dasarnya teknik tersebut dimulai dengan pemilihan kriteria keandalan, kemudian dilangsungkan penelitian untuk menjelaskan detail tegangan lebih pada peralatan yang terpasang. Tegangan tersebut kemudian dibandingkan dengan karakteristik kekuatan insulasi yang menjadi dasar pemilihan tingkat kekuatan. Jika tingkat kekuatan insulasi dianggap berlebihan, maka tegangan dapat dikurangi dengan menggunakan rating perbaikkan seperti lightning arrester, celah pelindung, kabel pelindung, dan resistor penutup pada pemutus sirkuit. setelah pemilihan kriteria keandalan, prosesnya hanyalah perbandingan tegangan dengan kekuatan insulasi [20].

Koordinasi insulasi dibagi menjadi dua bagian besar yaitu;

1. koordinasi insulasi saluran (saluran transmisi dan saluran distribusi).
2. koordinasi insulasi stasiun (gardu pembangkit, gardu transmisi, dan gardu distribusi).



Gambar 2.4 Koordinasi Insulasi pada Gardu Induk 230 kV [1]

Pada implementasi koordinasi insulasi di stasiun, hal yang sangat penting dipertimbangkan dalam prosesnya yaitu; tegangan lebih akibat petir, tegangan lebih akibat switching, tegangan lebih sementara, dan tegangan frekuensi daya normal dengan adanya kontaminasi.

Pemilihan tingkat kekuatan insulasi peralatan pada sistem 245 kV dan dibawahnya utamanya mempertimbangkan:

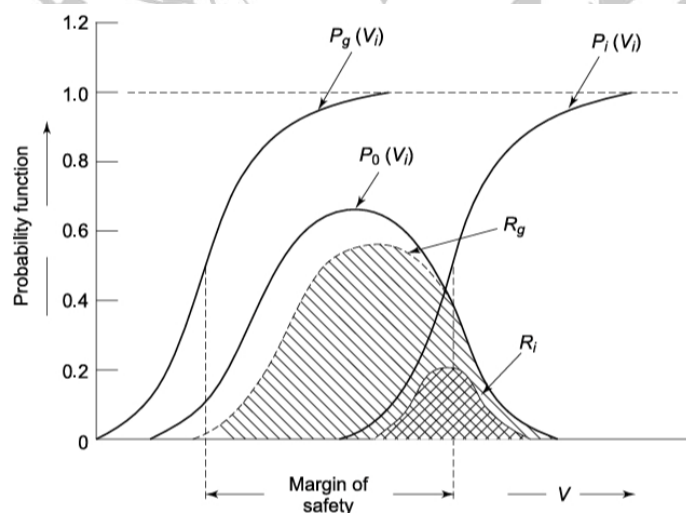
1. Tegangan sementara hubung singkat frekuensi rendah.
2. Tingkat insulasi dasar peralatan dari impuls petir.

2.5 Lightning Arrester

Penangkal petir didesain dan dibangun untuk membatasi tegangan lebih dengan cara menyalurkan pada sistem pentanahan ketika terjadi sambaran petir atau kondisi tegangan lebih transien lainnya. Penangkal petir atau Lightning arrester (LA) generasi terbaru berjenis seng oksida (ZnO) atau metal oxide varistor (MoV) dengan tipe tanpa celah dapat bekerja efektif ketika dipasang di dekat peralatan untuk melindungi peralatan terhadap gangguan tegangan lebih transien. Bahan ZnO memiliki kemampuan pelepasan muatan energi yang tinggi namun terbatas, jika dibandingkan dengan bahan penyusun terdahulu silikon karbida (SiC).

Lightning arrester yang tersusun dari komponen MoV yang merupakan bahan semikonduktor yang memegang karakteristik *nonlinear*, dengan harga resistansi dapat ditentukan berdasarkan harga tegangan. Dengan demikian LA dapat memiliki respons sangat cepat dengan bersifat konduktif dengan harga resistansi rendah saat menerima impuls tegangan lebih kemudian menjadi jalan pintas untuk mengalirkan muatan berlebih ke sistem pentanahan, sehingga peralatan terlindungi. Perangkat ini menentukan seberapa besar harga tegangan sisa yang menuju peralatan atau tegangan hasil mekanisme proteksi. Tegangan sisa merupakan hasil pemangkasan tegangan lebih oleh perangkat proteksi yang akan berjalan ke sistem. Apabila harga tegangan sisa berada di bawah level insulasi peralatan atau tidak melebihi tingkat insulasi dasar peralatan, hal tersebut menunjukkan bahwa LA memiliki tingkat proteksi yang sesuai kebutuhan sistem [21].

Tingkat proteksi LA terhadap tegangan lebih akibat sambaran petir dan tegangan lebih akibat switching harus berada di bawah harga tegangan pengenal insulasi perangkat yang akan diproteksi, sehingga tegangan lebih pasti terbatas pada harga yang paling rendah kemungkinannya untuk terjadinya proteksi. Selain itu, tingkat proteksi juga harus berharga lebih tinggi dibanding tegangan operasi sistem, dengan tujuan menghindari respons yang salah atau panas berlebih akibat arus bocor. Tingkat proteksi ditentukan berdasar tegangan impuls maksimum yang kemungkinan dihadapi perangkat, ini dapat berupa tegangan celah percikan atau tegangan sisa maksimum [22].



Gambar 2.5 Karakteristik Faktor Proteksi dari Perangkat Proteksi [21]

Aplikasi lightning arrester sebagai perangkat proteksi tegangan lebih dijelaskan sebagaimana berikut:

1. Penentuan tegangan operasi kontinu lightning arrester yang biasanya merupakan tegangan pengenalan sistem.
2. Penentuan tegangan pengenalan untuk arester.
3. Penentuan arus pelepasan impuls petir nominal.
4. Penentuan kemampuan pelepasan durasi lama yang dibutuhkan.
5. Penentuan maksimum arus gangguan prospektif dan waktu trip proteksi pada lokasi pemasangan lightning arrester dan sesuaikan dengan tugas (berat / ringan) lightning arrester.
6. Penentuan jarak rambat lightning arrester terhadap perangkat sesuai dengan kondisi lingkungan.
7. Penentuan tingkat perlindungan lightning arrester dan sesuaikan dengan rekomendasi standar yang berlaku (IEC 99).

2.6 Bewley Lattice Diagram

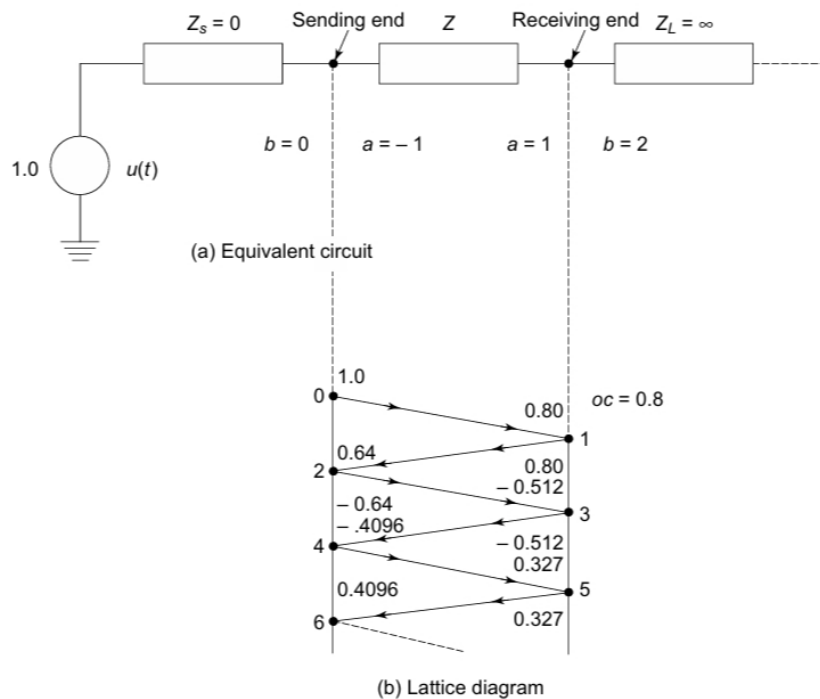
Bewley Lattice Diagram atau diagram tangga Bewley merupakan metode grafis yang sudah banyak diimplementasikan untuk mendapatkan informasi secara detail mengenai besaran harga, arah gerak, dan posisi per satuan waktu dari gelombang dalam proses analisis transien listrik. Metode ini adalah diagram praktis yang dikembangkan oleh Bewley yang merepresentasikan hubungan waktu dengan ruang yang menunjukkan posisi dan arah gerak gelombang pada setiap peristiwa yang terjadi sangat cepat dari lonjakan arus atau tegangan yang direfleksikan (dipantulkan) dan direfraksikan (diteruskan) [23].

Pada suatu sistem dengan parameter terdistribusi, kenyataannya tidak hanya terjadi refleksi tunggal tetapi terjadi banyak refleksi, yang menandakan gelombang berjalan yang dipantulkan dapat dipantulkan secara terus-menerus pada diskontinuitas saluran lainnya dan kemudian ditumpangkan pada sumber gelombang asal. Sering terjadi beberapa titik lokasi refleksi terdapat kondisi pola khas dan temporal yang sangat rumit dari gelombang berjalan. Dengan demikian, diagram tangga bewley dapat secara sistematis memvisualisasikan perambatan gelombang berjalan dengan menghasilkan peta jalan gelombang yang direpresentasikan pada garis perambatan untuk setiap saluran transmisi. Komponen

gelombang yang diumpangkan dan dipantulkan pada ujung-ujungnya, digambarkan dengan garis rambat masing-masing. Kemudian besaran harga gelombang yang akan ditumpangkan dihitung dari koefisien refleksi dan koefisien refraksi [24].

Dalam diagram tangga Bewley, terdapat sifat-sifat sebagaimana berikut:

1. Semua gelombang merambat menuruni bukit, karena waktu selalu bertambah.
2. Posisi dari gelombang apa pun pada suatu waktu dapat diketahui secara instan dari diagram.
3. Potensial total pada suatu titik, pada suatu waktu adalah super posisi semua gelombang yang telah sampai pada titik tersebut sampai saat itu, saling berpindah posisi satu sama lain dengan selang waktu yang sama dengan selisih waktu tibanya gelombang-gelombang tersebut.
4. Sejarah atau riwayat dari gelombang dengan mudah ditelusuri, dapat memungkinkan mengetahui dari mana sumber asalnya dan gelombang apa saja yang masuk ke dalam komposisinya.
5. Atenuasi disertakan, sehingga gelombang yang tiba di ujung garis sesuai dengan nilai yang masuk dikalikan dengan faktor atenuasi garis.



Gambar 2.6 Rangkaian Ekuivalen dan Diagram Kisi Saluran Transmisi [21]