

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang Masalah

Sejalan dengan perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi yang merupakan wujud dari peran hidup peradaban manusia dan laju perekonomian yang semakin tinggi, maka penggunaan energi listrik dalam berbagai bidang kehidupan dari tahun ke tahun terus meningkat terutama untuk industri yang mana dewasa ini mengalami pertumbuhan dan perkembangan yang pesat.

Untuk menunjang pertumbuhan ekonomi masyarakat disegala bidang, maka kehidupan sehari-harinya harus didukung oleh sarana dan prasarana yang memadai dimana dalam waktu 24 jam sebagian besar pemenuhan kebutuhan dan pelaksanaan kegiatan harus menggunakan jasa energi listrik. Kemajuan suatu wilayah daerah yang sedang berkembang harus ditunjang dengan penyediaan infrastruktur yang memadai, maka dari itu pihak pemerintah setempat harus menyikapinya dengan menyediakan fasilitas pendukung yang dapat mewujudkan tujuan tersebut misalnya dengan pengadaan suatu pembangkit listrik yang memadai bagi kebutuhan daerah setempat.

Sehubungan dengan itu maka pemerintah yang berwenang harus mencerna apa yang menjadi kebutuhan vital daerah tersebut. Untuk mencapai kemajuan yang diharapkan tentunya bukanlah suatu hal yang mudah sebab harus didukung dengan peralatan-peralatan yang cukup memadai dan terjamin keandalannya. Dengan digunakannya peralatan tersebut, berarti dibutuhkan daya listrik yang besar untuk mem₁perasikannya. Apabila penyediaan energi listrik tidak sesuai dengan kebutuhan beban dengan kata lain tidak seimbang dengan daya

yang diperlukan beban maka tentunya dapat menghambat kegiatan atau pekerjaan yang sedang dijalani.

Hal tersebut tentunya dapat mempengaruhi aktivitas sehari-hari dimana dalam mewujudkannya sangat membutuhkan dukungan dana atau biaya yang tidak sedikit jumlahnya. Hal ini menunjukkan bahwa energi listrik adalah kebutuhan utama sebagai penggerak roda ekonomi untuk memajukan pertumbuhan daerah yang sedang berkembang agar dapat setara dengan daerah lainnya.

Penggunaan energi listrik saat ini sudah menjadi kebutuhan utama bagi masyarakat baik di lingkungan rumah tangga maupun di suatu kawasan industri. Dalam pemenuhannya, hal yang paling mendasar untuk selalu menjadi perhatian pihak pendistribusian dalam hal ini pihak PLN yaitu bagaimana menghasilkan pemenuhan energi listrik yang maksimal bagi pelanggan. Untuk itu, komponen yang memegang peranan penting adalah dari segi pembangkitan energi listrik tersebut, apakah sudah memenuhi persyaratan untuk melakukan pembangkitan sesuai dengan kebutuhan yang diharapkan.

Untuk mendapatkan hasil yang maksimal dari pembangkitan tentunya harus disertai dengan perawatan dan pemeliharaan yang dilakukan secara kontinyu, salah satunya melakukan pengoperasian mesin dengan mengikuti prosedur atau langkah-langkah yang diambil dalam mengoperasikan suatu mesin pembangkit listrik. Mengikuti prosedur dalam pengoperasian tentunya dapat memelihara kontinuitas sistem yang dimiliki mesin pembangkit tersebut.

Dalam mengoperasikan suatu pembangkit, secara umum semua hampir sama dalam pelaksanaannya tergantung dari sistem tenaga yang digunakan oleh unit

pembangkitan tersebut. Pada unit pembangkitan PLTD Kab.Sinjai mempunyai sistem pengoperasian yang cukup sederhana namun memiliki rambu-rambu yang harus dijalankan untuk memenuhi mutu keandalan dari sistem yang digunakan, misalkan sistim sinkronisasi dan hubungan kerja paralel dengan sistem lainnya dalam hal ini sistem dari PLN yang didistribusikan dari kabupaten Bone.

Pengoperasian mesin pembangkit listrik dengan tujuan memparalelkan dengan sistem lain harus dilakukan dengan pengontrolan terhadap sistem yang sedang beroperasi, yaitu apakah kedua sistem yang berparalel tetap dalam keadaan sinkron atau memenuhi persyaratan sinkronisasi. Apabila persyaratan sinkronisasi tidak terpenuhi maka hubungan kerja paralel tidak mungkin dilakukan, olehnya itu proses sinkronisasi tergantung dari proses dalam melakukan pengoperasian system.

Untuk maksud tersebut maka kami melakukan study sistem operasi PLTD Pemkab. Sinjai.

B. Rumusan Masalah

Adapun pokok permasalahan yang diangkat dalam pelaksanaan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

- Bagaimana sistem pengoperasian PLTD Kab. Sinjai?
- Bagaimana kerja paralel antara PLTD Sinjai dengan sumber PLN?

C. Tujuan Penelitian

Tugas akhir ini bertujuan sebagai berikut:

- Menjelaskan sistem pengoperasian PLTD Sinjai.
- Menjelaskan kerja paralel antara PLTD Sinjai dengan sumber PLN.

D. Batasan Masalah

Dalam tugas akhir ini, penulis memfokuskan masalah pada 3 (tiga) batasan masalah, yaitu:

- Faktor dari pengadaan pusat pembangkit tenaga diesel di kab. Sinjai.
- Langkah-langkah dalam menjalankan proses pengoperasian generator. Pengoperasian generator dan hubungan kerja paralel dengan sumber PLN.

E. Metode Penelitian

Untuk melaksanakan tugas akhir ini, ada beberapa metode penelitian yang penulis lakukan dalam memperoleh data tentang pengoperasian sistem PLTD Sinjai. Metode tersebut sebagai berikut:

- a. Metode Study Literatur, yaitu perolehan data dengan berdasar pada teori yang ada pada buku tentang prinsip-prinsip dan dasar ilmu kelistrikan yang berhubungan dengan Tugas Akhir ini.
- b. Metode Study Observasi, yaitu cara dalam memperoleh data dan informasi dengan melakukan kunjungan ke lokasi penelitian lalu merangkumnya dalam penulisan guna presentase hasil penelitian.
- c. Metode Diskusi, yaitu pengambilan data dengan cara melakukan interview atau wawancara langsung dengan ahli dibidang kelistrikan dan narasumber yang ada di lokasi.

F. Sistematika Penulisan

Sistematika dari penulisan tugas akhir ini terdiri dari 4 (empat) bab, yaitu:

BAB I, yaitu pola umum secara singkat mengenai penulisan Tugas Akhir dengan pokok-pokok uraian meliputi: latar belakang masalah., rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, metode penelitian, dan sistematika penulisan.

BAB II, yaitu bagian yang membahas teori dasar dari penelitian yang merupakan dasar dari tugas akhir ini.

BAB III, yaitu pembahasan tentang metodologi penelitian yaitu waktu dan tempat penelitian dan metode penelitian.

BAB IV, yaitu pembahasan tentang sistem hasil penelitian dan pembahasan tentang pengoperasian yang berlaku pada generator yang ada pada stasiun pembangkit PLTD Sinjai serta hubungan kerja dengan sumber PLN.

BAB V, yaitu bagian akhir dari penulisan yang menguraikan tentang kesimpulan dan saran-saran dari pelaksanaan tugas akhir penelitian.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Jenis Pembangkit Listrik

1. Umum

Sepanjang sejarah peradaban manusia, perkembangan energi tiada pernah berhenti seiring dengan lonjakan pemenuhan kebutuhan akan energi. Hal ini dibuktikan dengan adanya krisis energi di berbagai negara dan dengan dasar tersebut diadakan berbagai kesibukan untuk menjajaki pemanfaatan berbagai alternatif untuk dijadikan pembangkit energi. Pemanfaatan energi secara tepat guna merupakan cara yang ampuh untuk dijadikan sebagai solusinya. Beberapa energi (tenaga) yang menjadi sumber utama pembangkit adalah tenaga Uap, tenaga Air, tenaga Nuklir. Ketiganya sering disebut energi Konvensional, selain dari ketiga energi tersebut tidak dapat disebut konvensional sebab kontribusinya sangat terbatas. Adapun sumber lain itu adalah tenaga Pasang Surut, tenaga Panas Matahari, tenaga Panas Burnt, tenaga Angin? Tenaga Medan Magnet Hidrodinamik.

Dari pemanfaatan berbagai energi, salah satunya adalah mengubah suatu energi ke lain bentuk dengan penggunaan tanpa pencemaran. Energi yang paling utama di dunia semenjak penggunaannya adalah tenaga listrik dan industri tenaga listrik adalah yang terbesar di dunia. Sistem tenaga listrik adalah salah satu dari peralatan yang mengubah dan memindahkan energi dimana pembangkitannya tergantung pada sumber tenaga yang dibutuhkan seperti, PLTA (air), PLTU (uap), PLTN (nuklir) dan PLTD (diesel). Pembangkit listrik yang sering dijumpai adalah pembangkit listrik tenaga diesel sebab pembangkit ini efisien digunakan untuk

unit-unit pembangkitan kecil karena dapat berdiri sendiri serta ekonomis dalam perolehan bahan dan material.

2. Pembangkit Listrik Tenaga Diesel

Pembangkit listrik tenaga diesel adalah pembangkit listrik yang dibangkitkan dari tenaga diesel melalui bahan bakar diesel dimana digerakkan oleh motor berupa pembakaran dalam dimana bahan bakar diubah menjadi tenaga mekanis yang dihasilkan dari pembakaran tersebut. Proses tersebut terjadi dalam silinder/torak yang dibatasi pyston dan cylinder head. Mesin diesel ada yang bekerja dengan proses dua langkah maupun empat langkah. Namun yang lazim digunakan adalah proses empat langkah, yaitu mesin yang dapat menghasilkan kerja dengan dua kali putaran poros engkol.

Sistim penyalaan bahan bakar yang digunakan pada mesin diesel berbeda dengan motor bakar lain. Pada mesin diesel, bahan bakar diinjeksikan ke dalam silinder atau torak yang berisi udara bertekanan tinggi. Selama udara yang dikompresikan ke dalam silinder dengan tekanan temperatur udara (suhu) yang meningkat dan bahan bakar diinjeksikan dalam bentuk halus, maka bahan bakar tersebut bersinggungan dengan udara panas yang telah dikompresi. Terjadilah proses penyalaan untuk pembakaran antara udara dengan bahan bakar tanpa membutuhkan penyalaan dari luar. Sistim yang digunakan pada proses pembakaran motor diesel adalah sistim injeksi dimana bahan bakar disemprotkan dari Nozel penyemprotan lalu masuk ke dalam ruang bakar. Pada saat langkah kompresi tekanan dan temperatur dalam ruang bakar sangat tinggi bahkan melebihi temperatur titik nyala bahan bakar tersebut maka proses pembakaran terjadi dengan

sendirinya. Dari proses penyalaan tersebut maka mesin diesel sering juga disebut dengan "motor penyalaan-kompresi" (Compression-Ignition Engine) atau motor bakar torak.

Mesin/motor diesel empat langkah bekerja menurut tekanan konstan dan prosesnya secara keseluruhan dari titik ke titik dan hal ini berlaku pula pada proses motor bensin, namun pada mesin diesel yang hisap dan dikompresikan adalah udara segar sedangkan motor bensin adalah melalui proses bunga api (listrik).

Dari perkembangannya selama kurang lebih seratus tahun semenjak dibuat untuk pertama kalinya, mesin diesel adalah penggerak mula yang paling ringan dan kompak dalam pengoperasiannya. Pemakaian bahan bakar dari mesin diesel kira-kira 25 % lebih rendah dari pada motor bensin dan harga bahan bakar yang digunakan lebih murah. Dari segi penggunaan, mesin diesel juga masih yang terpopuler. Hal ini dibuktikan dengan banyaknya penggunaan pada kendaraan bermotor, kereta api, kapal, mesin konstruksi (alat-alat berat), mesin pertanian, pompa dan generator listrik.

Proses pembakaran dari mesin diesel langsung dipakai untuk melakukan kerja mekanis, yaitu untuk menjalankan suatu pembangkit dengan tenaga mekanik untuk menghasilkan tenaga listrik.

3. Generator

Dalam mengupayakan suatu pengadaan pembangkit energi listrik banyak hal yang menjadi faktor untuk merealisasikannya, apakah dari segi teknologi, lingkungan, iklim, sumber daya alam dan sumber daya manusia. Hal ini dimungkinkan untuk kepentingan jangka panjang, Membahas mengenai

pembangkit tidak terlepas dari peranan komponen yang disebut generator, yaitu suatu bagian yang menjadi jantung suatu pembangkit dari jenis pembangkit apapun juga. Hal ini berlaku demikian sebab generatorlah yang mengubah segala jenis tenaga pembangkit untuk menjadi suatu tenaga (energi) listrik.

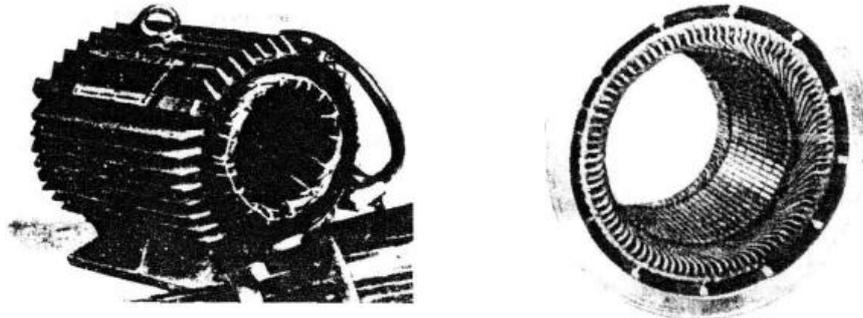
Generator adalah suatu mesin yang mengubah tenaga mekanik menjadi tenaga listrik. Tenaga mekanik disini digerakkan untuk memutar kumparan kawat penghantar dalam medan magnet maupun sebaliknya memutar magnet diantara kumparan kawat penghantar. Suatu generator pada prinsipnya mempunyai dua jenis belitan, yaitu belitan armatur (jangkar) dan belitan medan eksitasi dimana kedua jenis belitan ini dapat ditempatkan pada stator maupun rotor. Pada generator tiga fasa yang digunakan di pusat-pusat pembangkit saat ini, ketiga belitan armatur ditempatkan pada stator, sedangkan belitan medan ditempatkan pada rotor.

Secara umum generator tersusun dari dua bagian utama yaitu, bagian yang diam atau tidak bergerak (stator) dan bagian yang berputar (rotor), dimana diantara kedua bagian utama tersebut terdapat celah udara. Untuk lebih memahami kedua bagian tersebut dapat diuraikan pada penjelasan sebagai berikut:

a. Stator

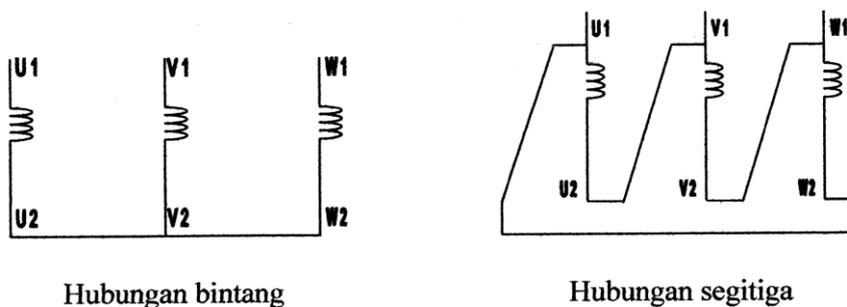
Stator adalah bagian yang diam dari suatu generator yang terdiri atas "rumah stator" dan "inti besi". Rumah stator tersebut terbuat dari besi tuang yang berfungsi sebagai tempat mengikatnya generator pada landasannya. Inti stator tersusun dari laminasi-laminasi lembaran baja tipis berisolasi, dimana pada bagian dalamnya terdapat alur-alur (slot) sebagai tempat peletakan belitan.

Adapun belitan stator terdiri dari beberapa konduktor yang ditempatkan dalam slot. Konstruksi dari stator dapat dilihat pada gambar berikut ini (gambar 2-1):



Gambar 2-1. Konstruksi Stator Generator

Pada generator tiga fasa tercapai tiga buah belitan yang sama besar dan masing-masing disebut sebagai belitan fasa yang diletakkan sedemikian rupa sehingga terpisah secara listrik 120° antara satu dengan yang lainnya. Ketiga belitan stator tersebut dapat saling terhubung pada terminal yang terdapat pada bagian luar generator, dimana hubungan ketiga belitan dapat berupa hubungan bintang maupun hubungan segitiga sebagaimana terdapat pada gambar di bawah ini:



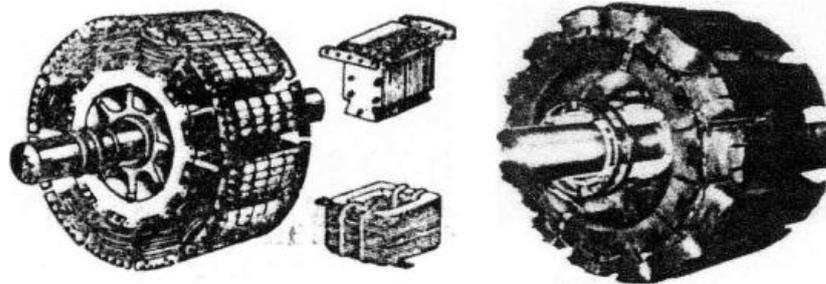
b. Rotor

Rotor adalah bagian yang berputar pada generator yang terdiri atas inti rotor, belitan rotor dan sikat-sikat pada slip ring. Rotor pada generator dibagi atas

dua jenis rotor yaitu rotor type kutub tonjol (salient pole) dan rotor type silinder (cylindrical). Konstruksi kedua jenis rotor ini dapat dijelaskan pada uraian sebagai berikut:

a. Rotor Kutub Tonjol

Konstruksi dari jenis rotor ini mempunyai sepatu kutub dengan ukuran diameter yang sangat besar atau ukuran poros/as yang pendek sehingga memungkinkan pembentukan kutub-kutub dalam jumlah yang lebih besar. Hal tersebut terlihat pada gambar 2-3.



Gambar 2-3. Kontruksi Rotor Salient (Kutub Tonjol)

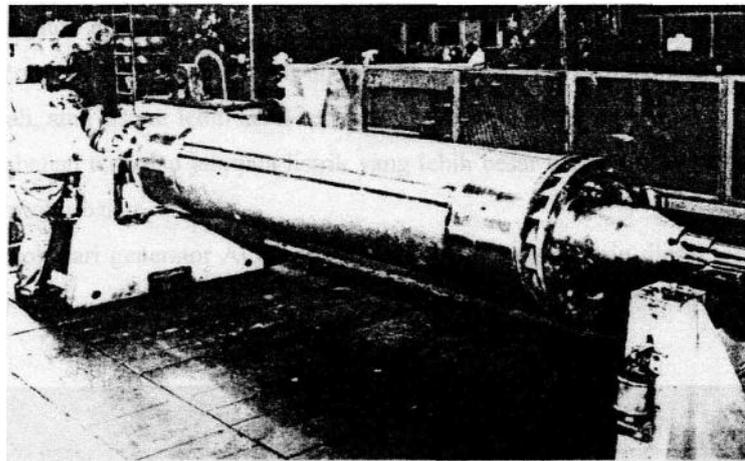
Dengan jumlah kutub yang lebih besar, rotor jenis ini banyak digunakan pada generator hydro yang bekerja dengan putaran yang relatif lebih rendah.

b. Rotor Silinder

Konstruksi daripada rotor silinder dapat berbentuk lingkaran berbentuk segi banyak beraturan. Pada umumnya rotor jenis ini mempunyai ukuran diameter yang kecil dan ukuran poros yang panjang. Secara umum jenis ini dirancang sebagai rotor dua atau empat kutub sehingga banyak digunakan pada generator turbo yang digerakkan oleh turbin uap atau turbin gas dengan tingkat putaran yang tinggi.

Adapun belitan rotor atau belitan medan eksitasi biasanya terdiri dari kawat tembaga yang berisolasi dengan penampang yang berbentuk persegi atau berbentuk

bulat. Secara umum belitan rotor ini dihubungkan secara seri sedemikian rupa sehingga terbentuk kutub utara dan kutub selatan secara bergantian. Sikat-sikat yang terdapat pada poros rotor terbuat dari grafik karbon yang berfungsi sebagai tempat pengaliran arus eksitasi ke dalam medan belitan medan rotor. (Konstruksi pada gambar 2-4).



Gambar 2-4. Konstruksi Rotor Silinder

Untuk mengoperasikan generator, dikenal dua jenis motor untuk menggerakannya yaitu motor Sinkron dan motor Asinkron. Motor sinkron yaitu motor yang putaran statornya sama dengan putaran rotornya tanpa ada slip diantaranya. Sedangkan motor asinkron adalah motor yang berputar dimana terdapat slip diantara putaran stator dan putaran rotor.

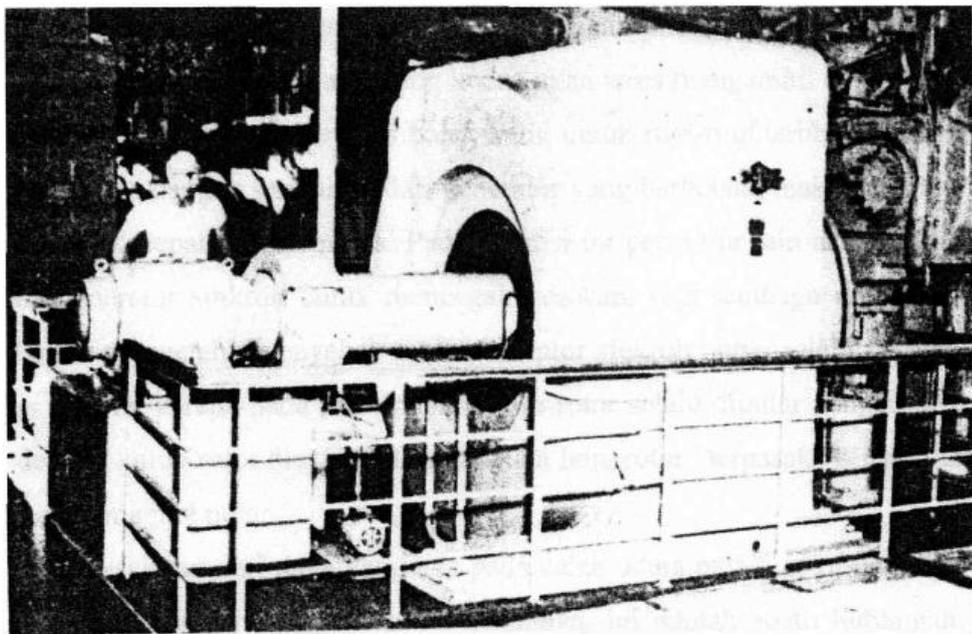
1. Generator Sinkron

Generator sinkron merupakan mesin listrik arus bolak-balik yang berfungsi untuk mengubah energi mekanis menjadi energi listrik arus bolak-balik. Pada suatu pusat pembangkit listrik, generator yang digunakan adalah generator AC yaitu generator yang termasuk jenis mesin serempak (mesin sinkron) dimana frekwensi listrik yang dihasilkannya sebanding dengan jumlah kutub dan putaran yang

dimilikinya. Energi listrik yang dihasilkannya adalah arus listrik bolak balik (listrik AC). Adapun mesin penggeraknya (prime mover) dapat berasal dari tenaga air, tenaga uap, mesin diesel dan gas. Generator AC banyak kita jumpai pada pusat-pusat pembangkit listrik dengan kapasitas yang lebih besar, misalnya pada PLTA, PLTU, PLTN, PLTD dan PLTG. Pada pusat-pusat pembangkit tersebut, generator disebut sebagai alternator.

Generator besar yang digunakan untuk mencatu jala-jala daya listrik modern digerakkan oleh turbin uap atau kincir air, sedang generator yang digunakan untuk sistim daya terpisah, atau sistem lebih kecil serta untuk melengkapi kebutuhan daya dan beban puncak tambahan terhadap jala-jala listrik yang lebih besar kerap kali digunakan mesin diesel atau motor bakar.

Contoh dari generator AC yang dihubungkan dengan mesin diesel terlihat pada gambar 2-5.



Gambar 2-5. Generator AC dihubungkan ke mesin diesel

2. Prinsip Kerja Generator Sinkron

Berdasarkan induksi elektromagnetik yaitu jika suatu penghantar digerakkan dalam medan magnet, maka akan dibangkitkan GGL pada penghantar tersebut. Untuk menghasilkan medan magnet maka kumparan yang ada pada rotor dialiri arus DC sehingga akan berubah menjadi magnet. Ketika rotor diputar oleh penggerak mula, kutub-kutub akan lewat di bawah kumparan jangkar yang berada pada stator, jika fluks medan yang akan memotong penghantar dan menginduksi GGL maka GGL yang dihasilkan adalah GGL AC karena kutubnya memiliki polaritas yang berubah-ubah dan terus-menerus melewati konduktor jangkar. Besarnya GGL yang diinduksikan juga bergantung pada putaran rotor, karena kebanyakan generator sinkron (AC) bekerja pada putaran tetap, maka besarnya GGL tersebut ditentukan oleh arus medan atau arus eksitasi yaitu arus yang dialirkan ke rotor.

Cara kerja dari suatu generator arus bolak-balik (AC) yang paralel dengan generator lainnya secara tidak langsung mendapatkan daya mekanik dari penggerak mula, kemudian mengeluarkan daya listrik secara bersamaan ke beban dan rugi-rugi daya yang dibutuhkan oleh generator itu sendiri, kecuali untuk semua keperluan eksitasi. Dengan setting yang baik, generator yang kedua akan terus mengambil daya yang cukup dari penggerak mula dan sumber arus bolak-balik untuk rugi-rugi tembaga. Selanjutnya bila turbin dilepas dengan sempurna dari generator yang berbeban, maka generator terus beroperasi pada kecepatan sinkronnya. Pada kondisi ini generator lain akan memberikan daya pada generator sinkron untuk mencegah gesekan, rugi tembaga dan rugi eksitasi medan. Untuk

mengetahui penyebab rotor generator sinkron harus selalu berputar pada kecepatan sinkron karena pada prinsipnya bahwa rotor selalu diputar dengan kecepatan sinkron dengan kutub rotor dieksitasi. Dengan kata lain, rotor "terpasak" secara magnetik dengan medan magnet putar.

Saluran-saluran dari daya yang ada pada celah udara antara rotor dan stator bisa dianggap sebagai suatu hubungan antara keduanya, ini adalah suatu hubungan lunak bahwa ia dapat memperlunak bila bebannya berat dan cenderung untuk memisahkan kedua kutub tersebut namun demikian suatu hubungan tidak pernah berhenti jika perputaran berjalan terus. Selama beban generator pada suatu generator sinkron tetapan tak ada gangguan listrik, maka mutlak berputar pada suatu kecepatan yang konstan. Bila beban berubah, walau bagaimanapun ada perubahan sesaat pada kecepatan ini karena poros kutub rotor mengatur kembali dengan baik pada poros kutub stator.

Jika beban bertambah, kutub rotor tergelincir ke belakang sementara penurunan beban menyebabkan rotor bertambah cepat. Selama periode setting dalam waktu yang singkat, generator tidak beroperasi pada kecepatan sinkron secara benar. Oleh karena itu, pada saat kecepatan yang konstan, harus dipergunakan untuk menunjukkan kecepatan generator sinkron secara tepat. Bila generator sinkron bekerja secara paralel, dengan sendirinya maka frekwensi dan tegangan outputnya serta besarnya arus eksitasi akan menentukan besarnya arus output generator sehingga untuk mempertahankan tetapnya tegangan generator, arus penguat harus dinaikkan bila arus beban bertambah karena tanpa penambahan arus penguat tegangan generator akan turun.

Untuk memperoleh hasil yang maksimal dari pemakaian generator sinkron dalam melayani beban, maka suatu hal yang memegang peranan penting adalah cara mengoperasikan mesin tersebut. Beban mendapatkan suatu tenaga listrik yang sesuai dengan tegangan frekwensi kerjanya. Generator harus dapat bekerja secara efisien serta mempunyai umur yang panjang. Demikian pula halnya dengan komponen-komponen pembantunya, seperti : saklar, alat ukur, pengaman, saluran-saluran ke beban dan lain-lain yang harus diketahui masing-masing prinsip kerjanya.

A. Kerja Paralel Generator

Salah satu usaha untuk meningkat kapasitas daya listrik dari suatu pembangkit listrik adalah dengan mengoperasikan dua atau lebih generator secara paralel. Dalam sistim operasi paralel, pembagian beban daya listrik diantara generator yang berparalel dilakukan melalui pengaturan sumber daya mekanis (penggerak mula) dan masing-masing memikul sesuai dengan kapasitas atau nilai rating dari generator tersebut. Jika pada stasiun pembangkit menjadi sedemikian besar sehingga nilai (rating) generator yang sedang bekerja dilampaui maka perlu penambahan generator secara paralel untuk menaikkan penyediaan daya dari stasiun pembangkit tersebut. Begitu juga bila suatu sumber dari supply PLN tidak mampu melayani beban secara maksimal maka diperlukansuatu unit pembangkit tenaga listrik untuk membantunya agar beban dapat terlayani seperti semula. Sebelum generator diparalelkan, persyaratan yang harus dipenuhi adalah:

- a. Urutan phasanya harus sama.
- b. Tegangan terminalnya harus sama.

- c. Tegangannya harus sefasa.
- d. Frekuensinya harus sama.

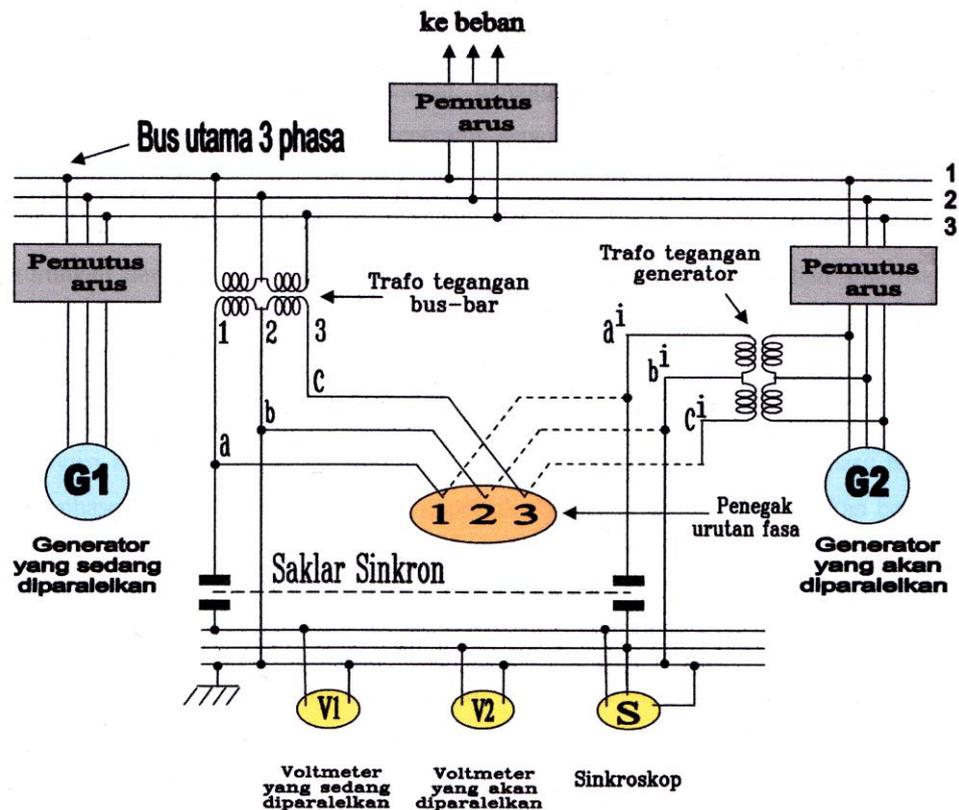
Jika suatu sistem sedang beroperasi dan persyaratan ini terpenuhi, maka sistem tersebut dikatakan dalam keadaan sinkron. Operasi agar generator dalam keadaan sinkron tersebut dinamakan Sinkronisasi. Sebelum generator disinkronkan dengan sistem yang lain untuk pertama kali, urutan fasanya harus diperhatikan untuk penyesuaian dengan sistem yang lain. Hal ini sering dilakukan dengan instrumen pengujian yang disebut indikator urutan fasa.

Salah satu indikator urutan fasa yang sering digunakan sebenarnya adalah motor tiga fasa yang berputar dalam satu arah untuk satu urutan fasa dan berputar dalam arah berlawanan untuk urutan fasa lainnya. Metode untuk pengujian urutan fasa dan hubungan sinkronisasi lainnya akan dijelaskan dengan menggunakan diagram hubungan kerja yang ditunjukkan pada gambar 2-6.

Jika generator telah dipasang dan siap untuk diuji, maka generator dioperasikan kira-kira mendekati kecepatan nominalnya dan tegangan pemutus arus terbuka. Indikator urutan fasa dihubungkan untuk sementara pada transformator tegangan bus bar (sumber PLN) sistem pada titik a, b, c, lalu urutan fasa sistem dicatat pada indikator. Kemudian hubungan indikator urutan fasa dipindahkan ke trafo generator, dengan hubungan sementara dibuat pada titik a, b, c, dan urutan fasanya dicatat.

Untuk menentukan kondisi berikutnya agar persyaratan kerja paralel dipenuhi, dua buah Voltmeter dan Sinkroskop dihubungkan seperti yang ditunjukkan pada gambar 2-6. Saklar sinkron disediakan antara transformator

dengan sumber PLN (bus-bar), dan peralatan sinkronisasi, sehingga peralatan tersebut dapat dioperasikan selama berlangsungnya operasi hubungan sinkron.



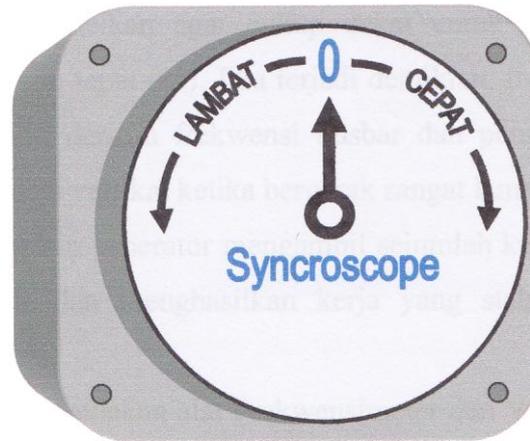
Gambar 2-6. Hubungan kerja paralel antara generator dengan sistem

Setelah tegangan dan frekwensi dari G1 dan G2 sama, maka selanjutnya diusahakan kesamaan phasanya. Maksud dari kesamaan phasa dari kedua generator adalah jalannya gelombang sinus tegangan yang dihasilkan harus bersamaan mencapai harga nol, berikut naik ke harga positif kemudian bersama-sama ke harga maksimumnya secara terus-menerus. Hal tersebut berlaku pada generator satu phasa dan generator tiga phasa.

Perlu diketahui bahwa kumparan-kumparan phasa pada generator tiga phasa diletakkan saling bergeser secara listrik 120° . Hal ini berarti gelombang sinus

dari ketigaphasa generator masing-masing juga bergeser 120° . Jadi untuk menjajarkan setiap generator cukup dengan mengambil salah satu tegangan fasa. Dengan generator bekerja mendekati ternilainya kepesatan, dengan pemutus arus terbuka dan dengan saklar sinkron tertutup, tegangan generator seperti yang ditunjukkan oleh Voltmeter yang baru terpasang disetting agar sesuai dengan tegangan bus-bar seperti yang ditunjukkan oleh Voltmeter yang telah bekerja. Tegangan generator dinaikkan atau diturunkan dengan melakukan setting Exitasi medan generator, kemudian sinkroskop digunakan untuk meyakinkan bahwa tegangan generator sephasa dengan tegangan busbar dan begitupula dengan frekuensinya harus sama.

Sinkroskop adalah instrumen untuk menunjukkan perbedaan fasa dan frekwensi antara dua tegangan. Instrumen ini sebenarnya adalah motor fasa terbagi (split-phase) yang akan menghasilkan kopel jika dua tegangan yang dikenakan berbeda frekuensinya. Tegangan dari bus-bar dan generator yang baru beroperasi dipasang pada sinkroskop. Petunjuk yang terpasang pada rotor instrumen bergerak di atas permukaan skala dengan searah jarum jam maupun berlawanan arah jarum jam, bergantung pada frekwensi generator yang baru beroperasi apakah lebih tinggi atau lebih rendah dibandingkan frekuensi bus-bar. Untuk lebih jelasnya bentuk fisik dari peralatan sinkroskop dapat dilihat pada gambar di bawah ini (gambar 2-7).



Gambar 2-7.Peralatan sinkronisasi (sinkroskop)

Untuk memenuhi persyaratan kerja paralel tersebut maka ada beberapa prosedur yang harus dilakukan, yaitu :

1. Mengatur kecepatan turbin (penggerak mula) dari generator sehingga frekwensi mendekati frekuensi si stem.
2. Mengatur exitasi sehingga tegangan generator sama dengan sistem.
3. Mengamati melalui sinkroskop apakah phasa tegangan generator sama dengan phasa sistem.

Bila sinkroskop menunjuk searah jarum jam maka tegangan generator Leading terhadap tegangan sistem, namun bila berlawanan arah jarum jam maka tegangan generator Leaging terhadap tegangan sistem dan bila tepat menunjuk pada posisi Nol atau tegak lurus mengarah vertikal, maka tegangan generator sephasa dengan system. Jika prosedur tersebut sudah dilakukan dengan benar maka pemutus arus yang menghubungkan generator dengan sistem dimasukkan (ditutup).

Jika urutan fasa dari system adalah sama dengan generator, maka generator siap untuk langkah berikutnya untuk hubungan paralel. Jika seandainya urutan fasa generator berlawanan dengan system, maka dibuat hubungan permanen antara generator dengan pemutus arus dan perlu lagi memeriksa urutan fasa setiap kali akan melakukan sinkronisasi.

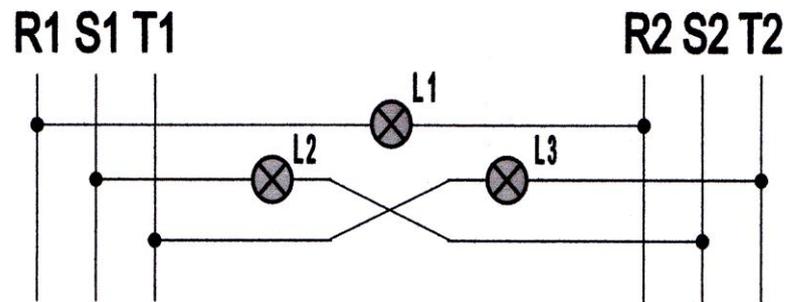
Dalam prakteknya kadang-kadang sukar untuk melakukan setting kecepatan generator yang akan diparalelkan agar cukup dekat untuk menghentikan penunjuk sinkroskop pada posisi yang tepat (0°). Jika terjadi demikian, frekwensi generator harus disetting sedekat mungkin dengan frekwensi busbar dan pemutus arus ditutup tepat sebelum penunjuk mencapai vertikal ketika bergerak sangat lambat dalam arah "cepat".

Hal ini menyebabkan generator mengambil sejumlah kecil beban segera setelah penutupan pemutus arus dan menghasilkan kerja yang stabil dari generator yang diparalelkan. Selain dengan menggunakan alat Frekuensimeter dan Voltmeter AC, selanjutnya ada cara lain yang biasa digunakan untuk memparalelkan suatu sistem dengan sistem lainnya, yaitu dengan menggunakan alat pendeteksi berupa hubungan lampu-lampuserempak. Lampu-lampu serempak dipasang sedemikian rupa sehingga berdasarkan cahaya lampu tersebut dapat diketahui bahwa generator dengan sistem telah sefasa. Untuk menentukan hal tersebut, tentu saja ketajaman mata sangat berperan penting untuk melihat dengan cermat pada terang atau tidaknya cahaya lampu tersebut.

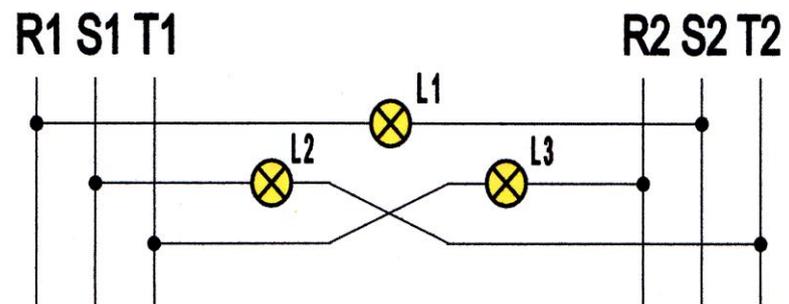
Ditinjau dari cara penyambungan lampu-lampu tersebut dikenal tiga macam cara yang diuraikan sebagai berikut:

1. *Hubungan gelap*, pada sistim hubungan gelap lampu dipasang dalam phase yang sama (R1 dengan R2, S1 dengan S2, T1 dengan T2). Jika generator sudah sephasa dengan system, maka semua lampu akan mati, namun jika keduanya belum sephasa maka semua lampu akan menyala.
2. *Hubungan terang*, untuk sistim hubungan terang lampu-lampu dipasang pada phasa yang berlainan (R1 dengan S2, R2 dengan T1, S1 dengan T2). Jika generator telah sephasa dengan sumber PLN, maka semua lampu akan menyala terang namun bila generator dan system belum sephasa maka lampu yang terpasang akan mati.
3. *Hubungan cahaya berputar*, pada hubungan sistim ini jika hubungan lampu menunjukkan cahaya yang berputar (baik ke kiri atau ke kanan) maka hal ini menunjukkan bahwa generator dengan system belum sephasa, namun bila cahaya lampu tetap (tidak berputar) maka hal tersebut menunjukkan bahwa keduanya telah sephasa dimana lampu-lampu yang dipasang terdapat satu lampu yang mati dan dua lampu lainnya menyala dengan cahaya sama terang. Ketiga hubungan ini dapat dilihat pada gambar 2-8 a, 2-8 b, 2-8 c.

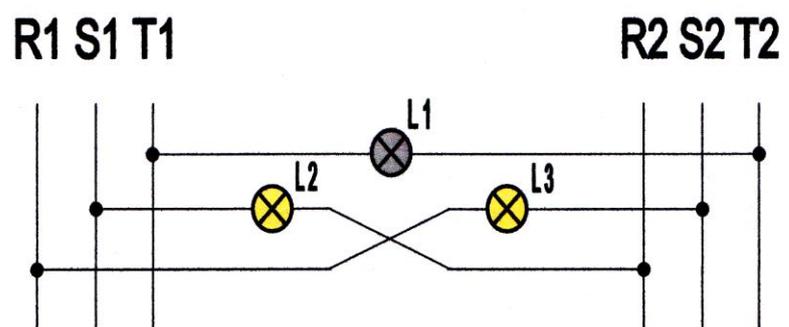
Pada prinsipnya, pertama-tama generator diputar oleh penggerak mula (motor) mendekati putaran sinkronnya, lalu penguatan excitasi diatur sehingga tegangan terminal generator tersebut sama dengan tegangan bus-bar sehingga dapat mendekati frekwensi dan urutan phasa antara tegangan generator dan bus-bar (gambar 2-9). Selain hubungan antara generator dengan system (bus-bar), hal tersebut juga berlaku untuk hubungan kerja paralel antara generator dengan generator.



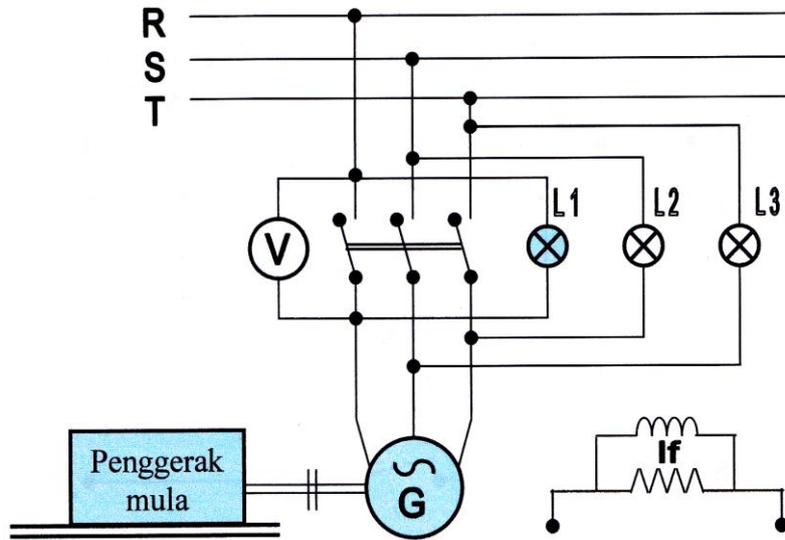
Gambar 2-8 a. Hubungan Gelap



Gambar 2-8 b. Hubungan Terang



Gambar 2-8. Hubungan Cahaya Berputar



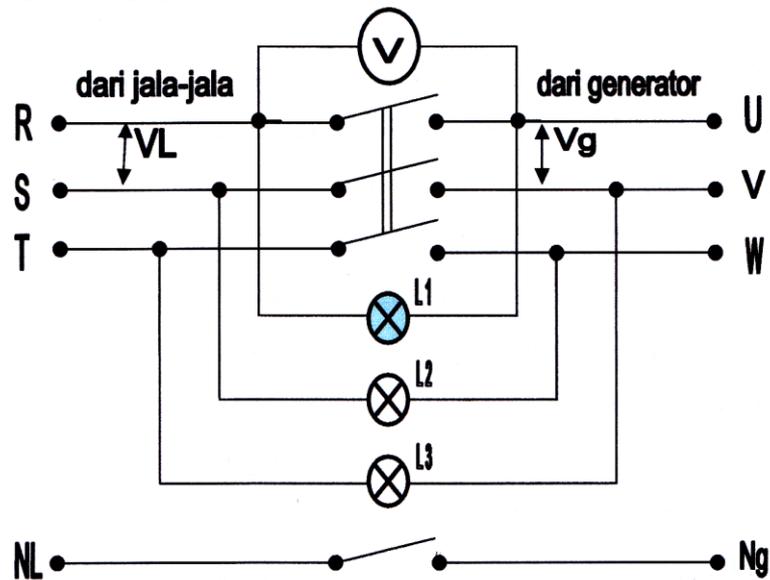
Gambar 2-9. Urutan fasa hubungan paralel

Benar tidaknya hubungan paralel tadi dapat dilihat dari lampu tersebut. Jika rangkaian untuk paralel itu benar (fasa sama), maka lampu L1, L2 dan L3 akan menyala secara bergantian dengan frekwensi $f_l - f_g$ cycle. Sehingga apabila ketiga lampu sedang tidak berkedip, berarti $f_l = f_g$ atau frekwensi tegangan generator dan busbar sudah sama.

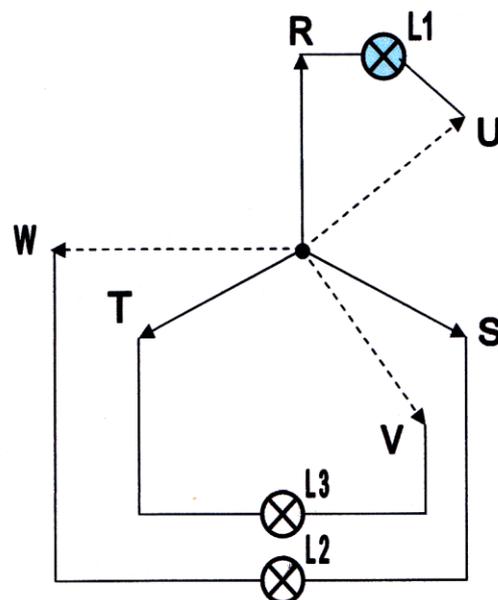
Untuk mengetahuinya dapat diperlihatkan pada lampu L1, L2 dan L3 yang hubungannya seperti pada gambar 2-9, L1 akan mati lalu L2 dan L3 menyala sama terang. Frekwensi tegangan generator diatur oleh turbin, sedangkan besar tegangan diatur oleh penguatan medan. Jika rangkaian untuk paralel itu salah (fasa beda) maka lampu L1, L2 dan L3 akan menyala secara bergantian dengan frekwensi $f_l + f_g$ cycle.

Dalam hal ini dua fasa sembarang pada terminal generator harus ditukarkan, untuk lebih jelasnya dapat diperhatikan pada gambar 2-10 dan 2-11.

Dari gambar tersebut dapat diketahui keterangan hubungan paralel suatu sistem serta jenis hubungan jaringan dimana ia menggunakan jenis hubungan Bintang yaitu hubungan jaringan tiga fasa yang penetralnya didapatkan dari penggabungan ketiga fasa tersebut.



Gambar 2-10. Hubungan jaringan Generator dengan Sistem



Gambar 2-11. Hubungan jaringan jenis hubungan bintang

1. R,S dan T urutan fasa tegangan bus-bar
2. U,V dan W urutan fasa tegangan generator

Jika urutan fasa kedua tegangan system sama, maka lampu LI, L2 dan L3 akan menyala secara bergantian dengan frekwensi fl - fg cycle. Saat memparalelkan sistem adalah saat keadaan lampu LI mati sedangkan lampu L2 dan L3 menyala sama terang dan keadaan ini berlangsung beberapa saat (artinya fl dan fg sudah sangat dekat atau benar-benar sama). Dalam keadaan Ini, posisi semua fasa pada sistem tegangan bus-bar berhimpit dengan semua fasa sistem tegangan generator.

Setelah dua sistem diparalelkan, biasanya sebanding dengan nilainya. Jadi semakin besar nilai generator, maka makin besar bagian beban yang dapat dilayaninya.

Pembagian beban yang layak antara generator dengan bus-bar dapat dilaksanakan dengan melakukan setting pada turbin generator. Pengatur penggerak mula dibuka sedikit demi sedikit hingga mencapai nol. Dengan cara ini, frekwensi system dapat dipertahankan konstan sambil digeser dari generator satu ke generator yang lain. Saklar-saklar kendali pengatur dipasang pada panel saklar sehingga operator dapat mengawasi instrumen panel sambil melakukan setting pembagian beban. Maka generator yang bekerja sendiri harus bekerja pada faktor daya dari beban yang dicatunya. Tetapi jika dua atau lebih generator bekerja paralel, maka faktor daya masing-masing ditentukan oleh medan excitasinya.

Secara umum, besarnya medan excitasi yang layak untuk generator yang bekerja paralel adalah besarnya pembangkitan masing-masing generator yang akan diperlukan jika generator mengalirkan beban itu sendiri pada tegangan dan

frekwensi yang sama. Jika excitasi dari generator yang bekerja paralel dengan generator yang lain dinaikkan melampaui harga normal excitasinya, faktor dayanya berubah menuju Leading dan keluaran arusnya bertambah, tanpa perubahan yang berarti pada kilowatt (kW). Sama halnya jika generator kurang diexcitasi, faktor dayanya menjadi lebih Leading dan keluaran arusnya bertambah tanpa mengubah keluaran kilowatt.

Arus yang bertambah dalam kedua hal tersebut di atas tidak dicatukan ke beban tetapi bersirkulasi diantara generator yang dihubungkan ke sistem, sehingga menambah kerugian daya dan menurunkan kapasitas kemampuannya. Oleh karena itu dalam hampir semua kasus, diinginkan pengoperasian setiap generator pada faktor daya yang sama, agar arus sirkulasinya minimum. Jadi suatu perubahan dalam excitasi medan menyebabkan perubahan beban Ampere (kVA), tetapi bukan beban kilowatt (kW). Pembagian beban kilowatt antara generator sinkron harus dilakukan dengan setting kendali pengatur penggerak mula. Tegangan sistem yang dicatu oleh beberapa generator yang diparalelkan dapat dinaikkan atau diturunkan secara bersama-sama dengan menambah atau mengurangi excitasi medan semua generator. Demikian pula halnya frekwensi sistem dapat dinaikkan atau diturunkan dengan menambah atau mengurangi putaran penggerak mula secara bersama-sama.

B. Panel Kontrol

Setiap sistem tenaga listrik dilengkapi beberapa peralatan yang terpasang dalam suatu ruang tertutup dimana segala jenis kontrol ditempatkan sesuai jenis peralatannya yang disebut panel kontrol. Pada panel tersebut berisi peralatan pembagi, pengontrol dan proteksi sistem tenaga yang dibangkitkan Dalam

kaitannya dengan generator maka hal yang sangat penting ialah peralatan pengaman atau proteksi seperti yang akan diuraikan sebagai berikut:

3. Pemutus/Circuit Breaker (CB)

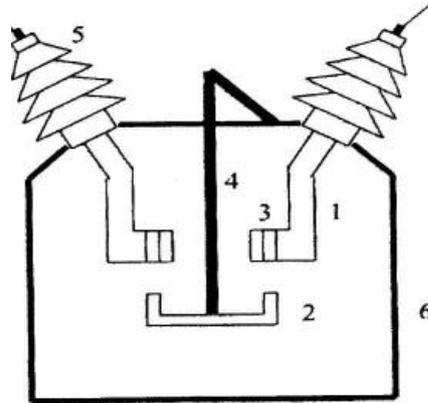
Dalam instalasi pembangkit tenaga listrik dilengkapi dengan sistim proteksi untuk mencegah terjadinya kerusakan pada peralatan sistem dan mempertahankan kestabilan sistem ketika terjadi gangguan, sehingga kontinuitas pelayanan dapat dipertahankan.

Salah satu komponen sistim proteksi tersebut adalah pemutus daya atau circuit breaker dalam istilahnya sering disebut PMT. Syarat-syarat yang harus dipenuhi oleh suatu pemutus daya agar dapat melakukan pengamanan, adalah sebagai berikut:

1. Mampu menyalurkan arus maksimum sistem secara kontinyu.
2. Mampu memutuskan dan menutup jaringan dalam keadaan berbeban maupun terhubung singkat tanpa menimbulkan kerusakan pada pemutus daya itu sendiri.
3. Dapat memutuskan arus hubung singkat dengan kecepatan tinggi agar arus hubung singkat tidak sampai merusak peralatan sistem, membuat sistem kehilangan kestabilan dan merusak pemutus daya itu sendiri.

Konstruksi suatu pemutus daya ditunjukkan pada gambar 2-12. Bagian utama pemutus daya adalah kontak tetap dan kontak bergerak. Kontak bergerak dapat digerakkan secara manual atau dengan bantuan motor listrik atau sistem pneumatik. Jika kontak bergerak ditarik ke atas, maka pemutus daya dalam kondisi

tertutup. Jika kontak bergerak didorong ke bawah, maka pemutus daya dalam keadaan terbuka.



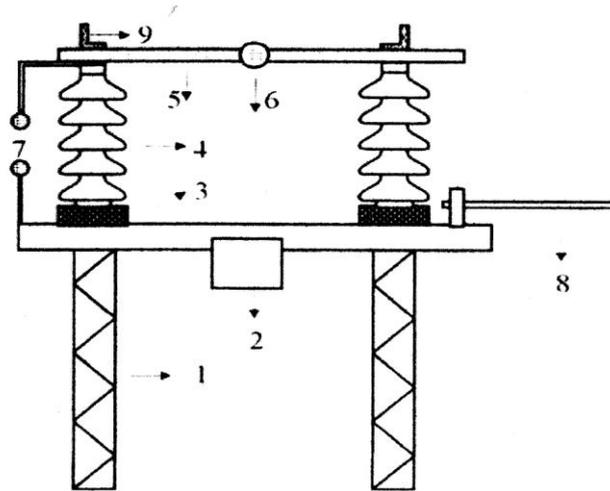
Gambar 2-12. Konstruksi Pemutus Daya

4. Pemisah/Disconnection Switch (DS)

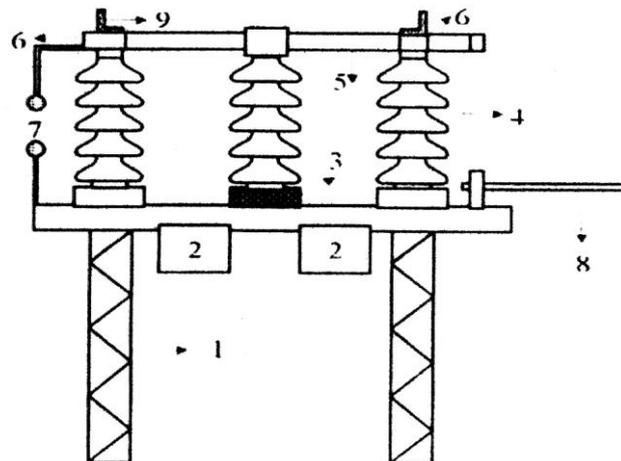
Untuk menjaga kontinuitas pelayanan, maka peralatan harus dirawat secara teratur. Saat perawatan tersebut dilaksanakan, maka seksi atau bagian yang dirawat harus dipisahkan dari sistem, sehingga bebas dari tegangan tinggi. Dengan demikian petugas dapat melaksanakan perawatan dengan aman. Untuk mencegah terjadinya bahaya tegangan tinggi, maka peralatan yang dirawat harus benar-benar terlihat oleh petugas bahwa peralatan sudah terpisah dari rangkaian sistem. Hal ini dapat dilakukan dengan alat yang disebut saklar pemisah atau PMS (Disconnection Switch). Saklar pemisah adalah peralatan yang dapat memutus dan menutup rangkaian yang arusnya rendah (± 5 ampere) atau pada rangkaian dimana pada saat saklar terbuka tidak terjadi perbedaan tegangan yang besar pada kutub saklarnya.

Suatu peralatan saklar pemisah bila dilihat dari jumlah kutubnya dibagi atas dua jenis, yaitu saklar pemisah kutub tunggal dan saklar pemisah tiga kutub. Berdasarkan pemasangannya dibagi atas pasangan dalam dan pasangan

luar. Sedang ditinjau dari konstruksinya dibagi atas dua jenis yaitu : (a) tiga isolator pendukung, pendukung tengah berputar dan pemisah ganda (b) dua isolator pendukung dan pemisah tunggal. Lebih jelasnya dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 2-13. Saklar Pemisah, dua isolator, pemisah Tunggal



Gambar 2-14. Saklar Pemisah, tiga isolator, pemisah Ganda

Saklar pemisah di atas mempunyai dua saklar, yaitu saklar utama dan saklar pembumian. Dalam prakteknya, setelah saklar utama dibuka, saklar pembumian ditutup. Kedua saklar ini mempunyai hubungan interlok, sehingga saklar pembumian dapat ditutup setelah saklar utama terbuka dan saklar utama tidak dapat ditutup sebelum saklar pembumian dibuka.

Pengoperasian saklar dapat dilakukan dengan manual atau dengan peralatan elektro-mekanik. Jika dilakukan dengan elektro-mekanik maka pengoperasian dapat dilakukan di lokasi pemasangannya atau dari ruang kontrol.

5. Potensial Transformer (FT)

Potensial Transformer (PT) atau trafo tegangan adalah trafo satu fasa dengan type step-down yang mentransformasi tegangan sistem ke suatu tegangan rendah yang layak untuk perlengkapan indikator, alat ukur, rele dan alat sinkronisasi. Hal ini dilakukan atas pertimbangan harga dan bahaya yang dapat ditimbulkan tegangan tinggi bagi operator. Tegangan perlengkapan seperti indikator, meter dan rele yang dirancang sama dengan tegangan terminal sekunder trafo tegangan. Dalam penggunaannya trafo tegangan dibagi atas dua jenis, yaitu :

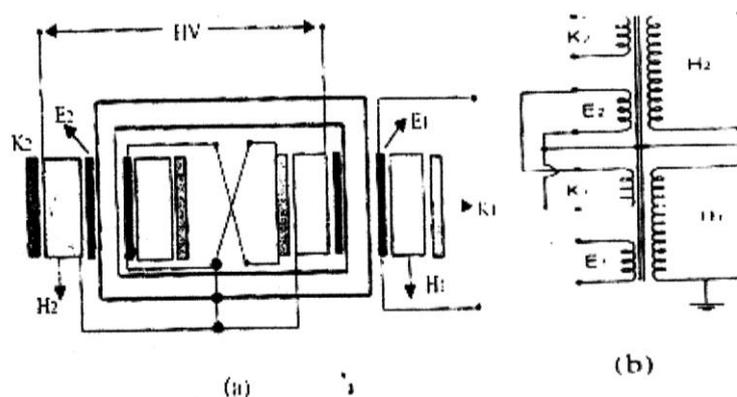
- a. Trafo Tegangan Magnetik (TTM)
- b. Trafo Tegangan Kapasitip (TTK)

Untuk penjelasan kedua jenis trafo tegangan tersebut diuraikan sebagai berikut:

a. Trafo Tegangan Magnetik

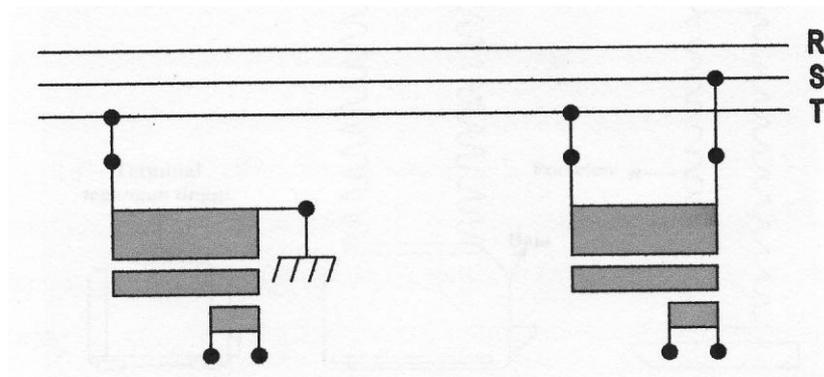
Konstruksi dari trafo tegangan magnetik seperti yang terlihat pada gambar 2-15. Perancangan dari prinsip kerja suatu trafo tegangan magnetik ada beberapa hal, yaitu:

1. Kapasitasnya kecil (10 - 150 VA), karena bebannya hanya alat-alat ukur, rele dan indikator yang konsumsi dayanya kecil.
2. Galat faktor transformasi dan sudut phasa tegangan primer dengan tegangan sekunder dirancang lebih kecil untuk mengurangi kesalahan pengukuran.
3. Salah satu terminal 'tegangan tinggi'nya selalu dibumikan.
4. Tegangan pengenal sekunder trafo biasanya adalah 100 V atau 100V3 V.



Gambar 2-15. Konstruksi Trafo Tegangan Magnetik

Trafo tegangan yang salah satu terminalnya dibumikan disebut trafo tegangan kutub tunggal, sedang trafo tegangan yang kedua terminalnya diisolir dari bumi disebut trafo tegangan kutub ganda, Hal ini seperti terlihat pada gambar 2-16

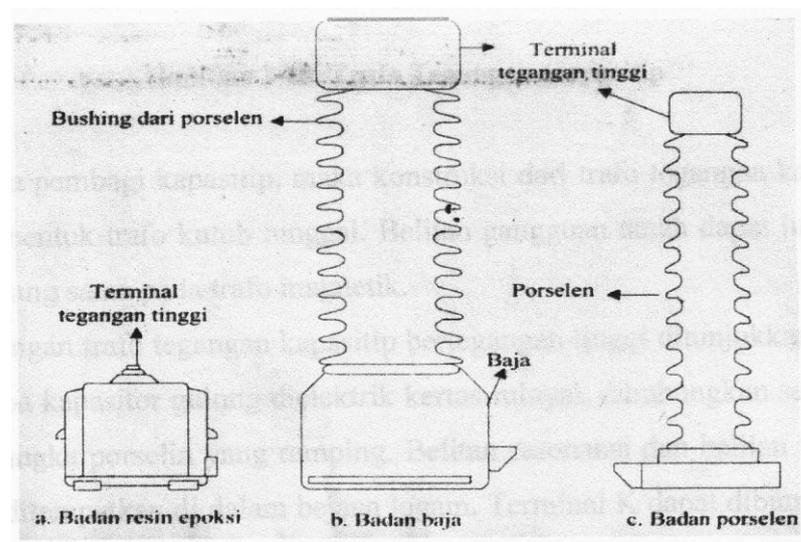


Gambar 2-16. Trafo tegangan Kutub Tunggal dan Ganda

Dari gambar di atas dapat diketahui bahwa trafo dua kutub hanya digunakan untuk tegangan pengenal sampai 30 KV, sedang trafo kutub tunggal digunakan untuk tegangan yang lebih tinggi. Jenis konstruksi trafo tegangan tergantung pada nilai tegangan operasi dan tempat instalasi. Untuk pemakaian pasangan dalam, trafo ukur tegangan biasanya diisolasi dengan resin epoksi, dimana semua belitan dan termasuk inti besi dibenam dalam bahan isolasi. Untuk operasi pasangan luar, trafo resin epoksi masih dapat dipakai untuk tegangan pengenal yang tidak terlalu tinggi. Kedua pemasangan ini seperti terlihat pada gambar 2-17.a.

Untuk tegangan yang lebih tinggi dipakai trafo kutub tunggal dengan isolasi minyak'kertas. Rancangan trafo tersebut terdiri dari jenis tangki logam dan jenis kerangka isolasi. Pada jenis pertama, badan aktif trafo tegangan dimasukkan dalam bejana baja dan dilengkapi dengan bushing untuk melewati tegangan tinggi ke terminalnya (gambar 2-17.b). Pada jenis kedua, badan aktif trafo semua dibungkus dengan porselin (gambar 2-17.c, biasanya digunakan untuk tegangan yang lebih besar dari 66 kV. Pemilihan rancangan ini bergantung pada susunan bahan aktif

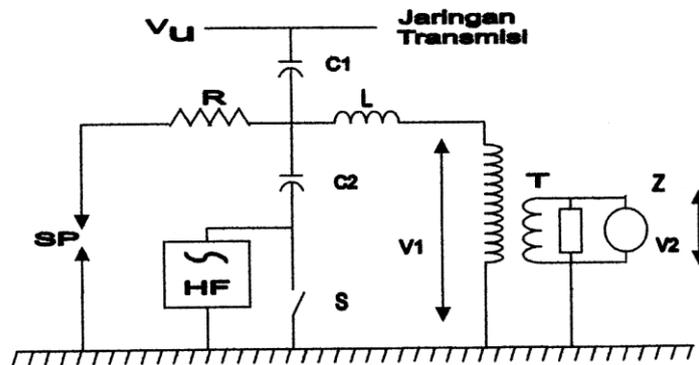
trafo (inti dan belitan).Dilihat dari segi pemakaian tempat, jenis kerangka isolasi adalah lebih baik karena konstruksinya lebih kecil.Penjelasan dari pemasangan trafo di atas dapat lihat pada gambar 2-17.



Gambar 2-17. Konstruksi Badan Trafo Tegangan

b. Trafo Tegangan Kapasitip

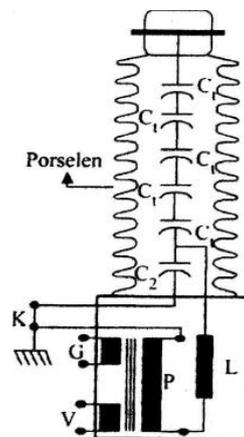
Pada tegangan pengenal yang lebih besar dari 110 kV, untuk alasan ekonomis biasanya digunakan trafo pembagi tegangan kapasitip sebagai pengganti trafo tegangan induktif. Trafo ini akan lebih ekonomis lagi jika digunakan sekaligus untuk keperluan pengukuran tegangan tinggi, sebagai pembawa sinyal komunikasi (power line carrier) dan kendali jarak jauh (remote control). Menggunakan pembagi kapasitip tegangan tinggi hanya untuk menurunkan tegangan sekunder ke suatu harga standar dan hal ini tidak ekonomis.Oleh karena itu, pembagi tegangan kapasitip menggunakan sebuah trafo magnetik. Skema dari trafo tersebut dapat dilihat pada gambar di bawah ini (Jika peralatan komunikasi tidak ada, saklar S harus ditutup):



Gambar 2-18. Trafo Tegangan Kapasitip

Karena adanya pembagi kapasitip, maka konstruksi dari trafo tegangan kapasitip dibuat hanya dalam bentuk trafo kutub tunggal. Belitan gangguan tanah dapat juga disediakan dengan cara yang sama pada trafo magnetik.

Rancangan trafo tegangan kapasitip bertegangan tinggi ditunjukkan pada gambar 2-19. Beberapa kapasitor gulung dielektrik kertas-minyak dihubungkan seri dan disusun di dalam kerangka porselin yang ramping. Belitan resonansi dan belitan trafo magnetik intermediasi ditempatkan di dalam bejana logam. Terminal K dapat dibumikan langsung maupun dihubungkan dengan alat komunikasi yang sinyalnya menumpang pada kawat jaringan sistem

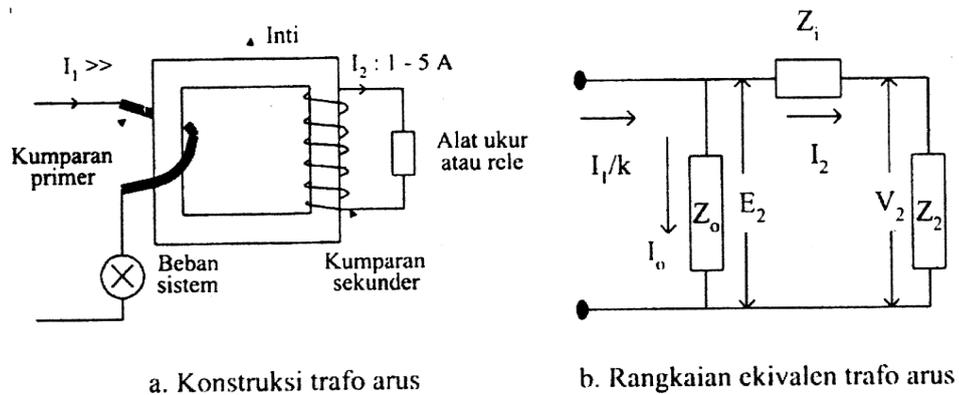


Gambar 2-19. Konstruksi Trafo Tegangan Kapasitip

C. Current Transformer (CT)

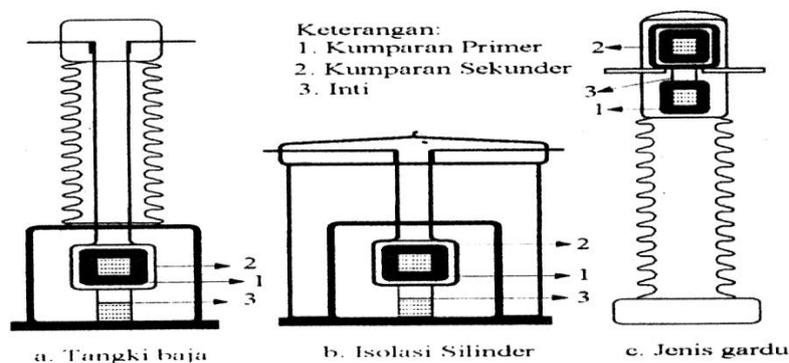
Selain trafo tegangan, pada sistem proteksi instalasi tenaga listrik juga dilengkapi lengan trafo arus atau CT (Current Transformer). Trafo arus digunakan untuk pengukuran arus yang besarnya ratusan ampere dan arus yang mengalir dalam jaringan tegangan tinggi. Jika arus yang hendak diukur mengalir pada jaringan tegangan rendah dan besarnya di bawah 5 A, maka pengukuran dapat dilakukan secara langsung dengan menggunakan suatu Ammeter yang dihubungkan seri dengan jaringan. Tetapi jika arus yang hendak diukur mengalir pada jaringan tegangan tinggi, meskipun besarnya di bawah 5 A, maka pengukuran tidak dapat dilakukan secara langsung dengan menggunakan suatu Ammeter, karena cara yang demikian berbahaya bagi operator. Cara itu juga berbahaya bagi Ammeter yang digunakan karena isolasi tidak dirancang untuk memikul tegangan tinggi. Begitu pula jika arus yang hendak diukur mengalir pada jaringan tegangan rendah dan besarnya lebih dari 5 A, maka pengukuran tidak dapat dilakukan secara langsung dengan menggunakan Ammeter karena pada umumnya batas kemampuan alat ukur tersebut hanya mengukur arus dibawah 5 A.

Di samping untuk pengukuran arus, trafo arus juga dibutuhkan untuk pengukuran daya dan energi, pengukuran jarak jauh dan rele proteksi. Kumputan primer trafo arus dihubungkan seri dengan jaringan atau peralatan yang akan diukur arusnya, sedang kumputan sekunder dihubungkan dengan meter atau rele proteksi. Pada umumnya, peralatan ukur dan rele membutuhkan arus 1 atau 5 A. Untuk konstruksi dari skema trafo arus dapat dilihat pada gambar 2-20.



Gambar 2-20. Konstruksi Trafo Arus

Trafo arus bekerja sebagai trafo yang terhubung singkat. Kawasan kerja trafo arus yang digunakan untuk pengukuran biasanya 0,05 sampai 1 atau 2 kali arus yang akan diukur. Trafo arus untuk tujuan proteksi biasanya harus mampu bekerja lebih dari 100 kali arus pengenalnya. Suatu trafo arus bertegangan tinggi untuk gardu induk pasangan luar dibuat dengan isolasi minyak-kertas dan ditempatkan dalam kerangka porselen. Jenis konstruksi trafo ini dibedakan atas susunan bagian-bagian aktifnya (inti, belitan), yaitu jenis tangki logam, jenis kerangka isolasi dan jenis gardu (gambar 2-21). Trafo arus jenis gardu memiliki kelebihan dimana penyulang pada rangkaian primernya lebih pendek, digunakan untuk arus hubung singkat yang besar.



Gambar 2-21. Konstruksi Badan Trafo Arus

Konstruksi trafo arus dengan isolasi epoksi-resin sering dipakai untuk pasangan luar sampai tegangan 110 kV. Pada tegangan menengah, umumnya digunakan trafo arus epoksi-resin karena memiliki kekuatan hubung singkat belitan lebih tinggi, sebab semua belitannya tertanam pada bahan isolasi.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

A. Waktu dan Tempat

a. Waktu

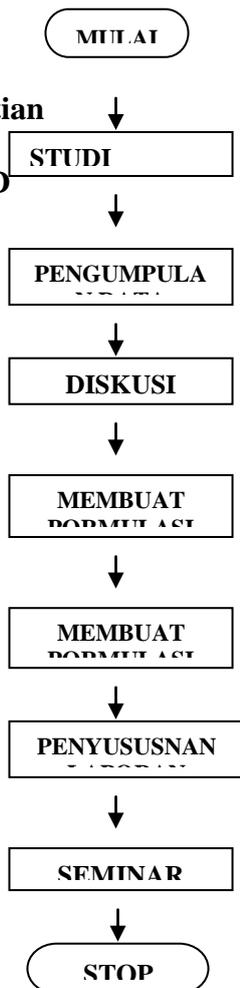
Pembuatan tugas akhir ini akan dilaksanakan selama 6 bulan, mulai dari bulan April 2016 sampai dengan Desember 2016 sesuai dengan perencanaan waktu yang terdapat pada jadwal penelitian.

b. Tempat

Penelitian dilaksanakan di Kabupaten Sinjai pada pembangkit listrik tenaga diesel Sinjai.

B. Metode Penelitian

FLOWCHARD



Metode penelitian ini berisikan langkah-langkah yang ditempuh penulis dalam menyusun tugas akhir ini. Metode penelitian ini disusun untuk memberikan arah dan cara yang jelas bagi penulis sehingga penyusunan tugas akhir ini dapat berjalan dengan lancar.

C. Langkah-langkah Penelitian

Adapun langkah-langkah yang ditempuh oleh penulis dalam penyusunan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Metode Pustaka

Yaitu mengambil bahan-bahan penulisan tugas akhir ini dari referensi-referensi serta literatur-literatur yang berhubungan dengan masalah yang dibahas.

2. Metode Penelitian

Mengadakan penelitian dan pengambilan data di Kabupaten Sinjai pada pembangkit listrik tenaga diesel Sinjai..Kemudian mengadakan pembahasan/analisa hasil pengamatan dan menyimpulkan hasil analisa tersebut.

3. Metode Diskusi/Wawancara

Yaitu mengadakan diskusi/wawancara dengan dosen yang lebih mengetahui bahan yang akan kami bahas atau dengan pihak praktisi di Kabupaten Sinjai pada pembangkit listrik tenaga diesel Sinjai.

BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

A. Tinjauan Umum PLTD Sinjai

Setiap pembangkit tenaga listrik memiliki sistem pengoperasian yang berbeda-beda dilihat dari hal yang menjadi dasar pembangkitannya, seperti tenaga uap, tenaga air, tenaga matahari dan tenaga diesel. Namun secara umum sistem yang digunakan semuanya hampir sama mulai dari turbin, exiter, motor, generator dan pelaksanaan hubungan paralel dengan sistem lainnya.

Dari beberapa pembangkit listrik yang ada, yang lazim digunakan adalah pembangkit listrik tenaga diesel. Hal ini dimungkinkan karena pengadaannya yang mudah dengan material yang begitu efisien karena suku cadang yang memadai dan dapat ditempatkan pada berbagai kawasan, namun yang kerap menjadi permasalahan adalah penggunaan bahan bakar minyak dan kemampuan daya outputnya. Salah satu contoh unit pembangkit yang akan diuraikan sistem pengoperasiannya adalah unit pembangkit PLTD Kab Sinjai. Pembangkit listrik tenaga diesel di kabupaten Sinjai adalah salah satu unit pembangkitan yang termasuk dalam wilayah jaringan JBBS (Jenneponto, Bantaeng, Bulukumba, Sinjai) dimana beroperasi dalam wilayah kerja Cabang Bulukumba. Dalam operasinya, PLTD Sinjai bekerja secara Interkoneksi sebesar 20 kV dengan unit pembangkit lainnya yang ada dalam sistem JBBS dimana PLTD Sinjai berada pada unit paling akhir dari hubungan sistem tersebut. Dalam sistem Interkoneksi, agar dapat meningkatkan mutu pelayanan supply tenaga listrik perlu ada komunikasi

antara PLTD melalui hubungan frekwensi gelombang radio dimana unit PLTD Sinjai berada pada frekwensi 165.600 MHz Stand By.

D. Prinsip Kerja PLTD Sinjai

PLTD kabupaten Sinjai termasuk dalam unit pembangkitan kecil sebab hanya dioperasikan untuk menanggulangi kekurangan daya dan tegangan yang disebabkan bertambahnya beban, di lain pihak supply tenaga listrik belum mampu mengimbangnya dimanasistem operasinya tergantung pada sistem distribusi yang ada pada wilayah kerjaPLN Ranting Sinjai yang kerja normalnya masih menerima supply tenaga listrik dari kabupaten Bone.

Dalam keadaan normalnya, supply tegangan yang didistribusikan oleh PLN Ranting Sinjai mencapai 20 KV / 10 MW dan keadaan tersebut memang dirasakan masih kurang memuaskan bagi pelanggan yang sering mengalami gangguan listrik.Untuk mengantisipasinya maka pengadaan suatu pembangkit tenaga listrik di kabupaten Sinjai merupakan jalan yang sangat membantu dalam hal pelayanan distribusi listrik. Untuk sistem yang ada pada unit PLTD Sinjai, pengoperasian sistem sangat sederhana, walaupun demikian dalam menjalankan mesin tersebut harus mengikuti prosedur standarisasi dan prinsip dasar ilmu kelistrikan serta mengikuti petunjuk yang ada dalam aturan K3 atau Kesehatan dan Keselamatan Kerja.

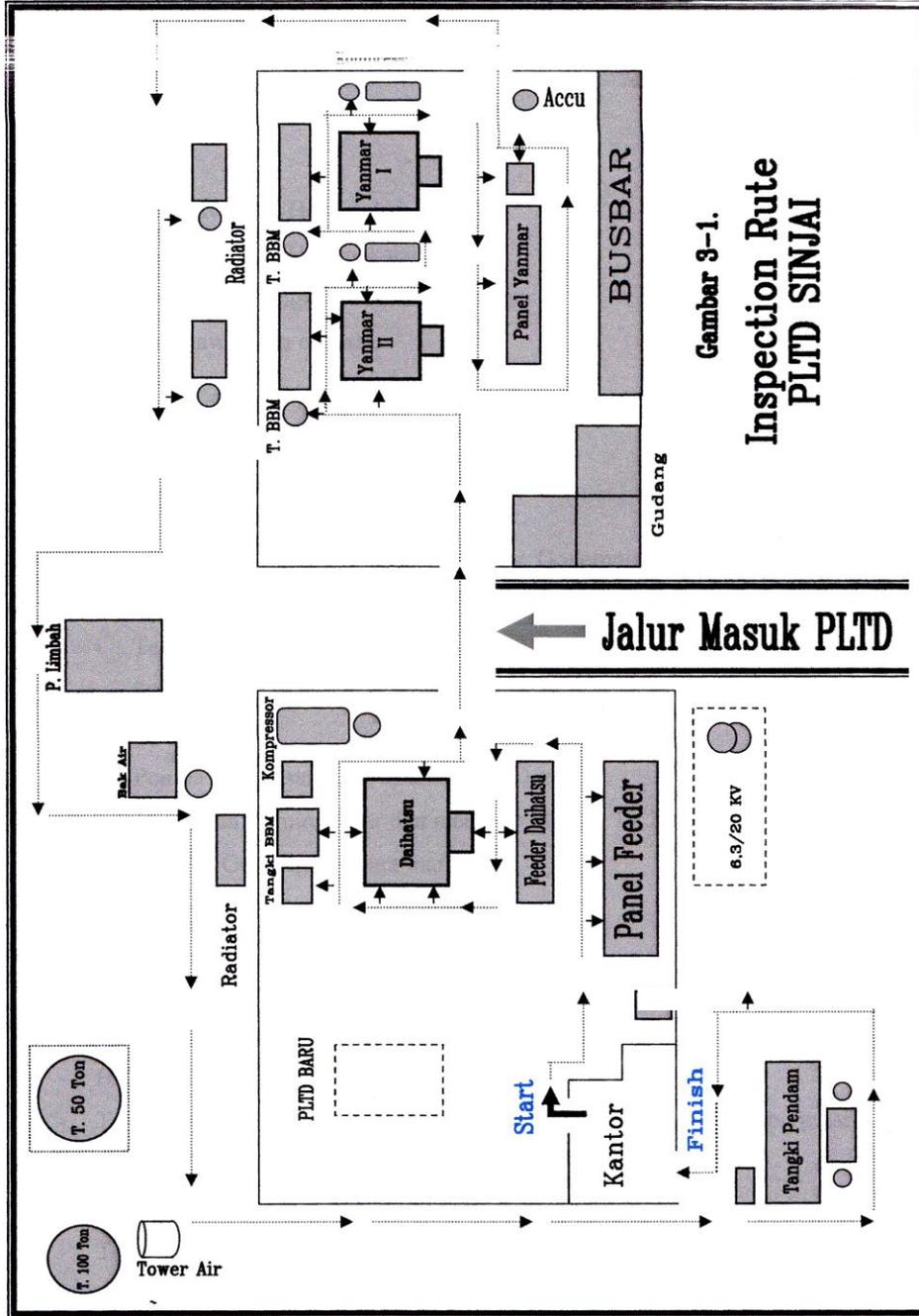
PLTD Pemkab Sinjai memiliki 3 (tiga) unit generator yang mana mengoperasikan dua jenis mesin yang terdiri dari 1 (satu) unit mesin Daihatsu dan 2 (dua) unit mesin Yanmar. Masing-masing generator memiliki tegangan output sebesar 6,3 kV dengan daya terpasang untuk mesin Daihatsu sebesar 500 kW dan

mesin Yanmar masing-masing 250 kW. Keadaan masing-masing generator tetap dalam kondisi normal dan beroperasi sejak tahun 1979 sampai sekarang. Kondisi secara keseluruhan dari unit pembangkit PLTD Sinjai dapat dilihat melalui denah lokasi (lay out) pada gambar 3-1.

Prinsip kerja dari pembangkit yang ada pada PLTD Sinjai secara umum tidak berbeda dari pembangkit lainnya, yaitu membangkitkan tenaga listrik untuk memenuhi keperluan supply daya yang tidak maksimal dari sumber PLN (bus-bar) dan menutupi permintaan daya akibat gangguan sistem. Sumber PLN dalam hal ini disupply dari kabupaten Bone (sistem Sul-Sel) yang mendistribusikan tegangan 20 kV, dimana dalam penyalurannya hanya mampu bekerja pada 19 kV untuk tegangan maksimalnya. Generator PLTD Sinjai yang melepaskan tegangan 6,3 kV dinaikkan ke tegangan 20 kV melalui trafo Step Up untuk keperluan hubungan kerja paralel dengan sistem bus-bar.

Untuk ketiga generator tersebut dalam hubungan kerjanya dengan trafo menggunakan hubungan Y atau bintang yang mana penetralannya diambil dari penggabungan ketiga fasa dari sistem. Jadi semua generator beroperasi masing-masing secara interkoneksi begitupula hubungannya dengan sistem dari PLN (bus-bar).

STUDI SISTEM OPERASI PLTD SINJAI



Gambar 3-1.
Inspection Rute
PLTD SINJAI

B. Sistem Operasi PLTD Kab. Sinjai

1. MESIN DAIHATSU

a. Pemeriksaan Sebelum Start

1) Mencatat

- Stand awal kWH Produksi.
- Stand awal kWH Pemakaian sendiri.
- Stand awal Tangki harian bahan bakar.
- Stand awal Jam operasi.

2) Memeriksa

- Level Minyak pelumas dalam Carter. Level Air pendingin pada tangki air.
- Level Tangki harian bahan bakar.
- Level Minyak pelumas Turbo Charger, Governoor dan bantalan generator. Level Pelumas Rocker Arm.
- Tekanan Tabung udara Start (20 - 32 bar).
- Sumber DC 110 Volt pada Panel Accumulator,

3) Mempersiapkan

- Pompa pelumasan awal selama 3 (tiga) menit.
- Masukkan Turning Gear dan memutar Flywell 1-2 putaran.
- Turning Gear lepas secara manual.
- Mesin siap di Start.

b. Urutan Pelaksanaan Start

1. Naikkan Handle Control Rack pada posisi Start.
2. Buka tabung udara Start.
3. Tekan katub udara Start dan tunggu beberapa detik sampai mesin berputar.
4. Turunkan Handle pada posisi RUN setelah mesin operasi.

5. Tutup kembali kran katub Handle udara Start.
6. Tekan tombol untuk arus Exitasi sehingga parameter pada panel mesin aktif.
7. Atur frekwensi pada posisi 50 Hertz dengan memutar Speed Setting pada Governoor.
8. Atur tegangan pada posisi 6,3 kV pada Voltage Regulator.
9. Periksa parameter-parameter mesin dan pastikan dalam kondisi normal.
10. "ON"kan Motor kipas pendingin Radiator.
11. Biarkan Mesin operasi tanpa beban selama 5 menit untuk pemanasan.
12. Mesin sudah dalam keadaan Start.

c. Urutan Pelaksanaan Paralel

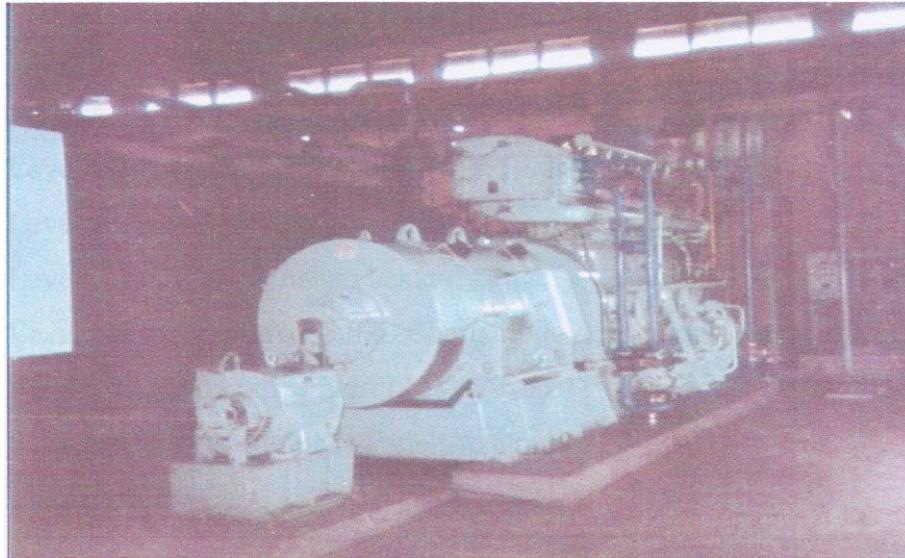
1. Putar Switch Sinkronisasi ke kanan.
2. Tekan Relay (84TX) ke atas untuk mengaktifkan parameter Sinkronisasi.
3. Samakan tegangan dan frekwensi terhadap Bus-bar (gardu induk Bone).
4. "ON"kan OCB Generator pada saat jarum Sinkronisasi menunjuk angka 12 atau saat lampu sinkron padam.
5. Bila sudah paralel, 'OFF' kan kembali Switch Sinkron ke kiri.
6. Mesin sudah dalam keadaan paralel dengan Sistem.

d. Pengaturan Pemindahan Beban

1. Naikkan beban secara bertahap mulai 25 %, 50% - 80 % dari daya mampu mesin.
2. Cos ϕ diatur pada posisi Leading (Induktif).
3. Lakukan pencatatan setiap 30 menit terhadap mesin generator sesuai dengan Log Sheet.

e. Urutan Stop Mesin Generator

1. Turunkan beban mesin secara bertahap, kembalikan pada saat pembebanan.
2. Bila beban menghampiri Nol, OFF' kan OCB Generator.
3. Atur kembali tegangan generator 6,3 kV pada Voltage Generator.
4. Atur kembali frekwensi mesin 50 Hertz pada Speed Setting Governoor. Biarkan mesin beroperasi tanpa beban selama 5 menit untuk pendinginan.
5. Kembalikan Handle Control Rack pada posisi Start. Putar saklar Stop mesin ke kanan untuk menghentikan mesin.
6. "OFF"kan motor kipas pendingin Radiator.
7. Catat Stand akhir kWH Produksi.
8. Catat Stan akhir kWH Pemakaian sendiri.
9. Catat Stand akhir tangki harian bahan bakar.
10. Catat Stand akhir jam operasi.



Gambar 3-2. Mesin Daihatsu PLTD Sinjai.

Table 1. Data Teknis Mesin Daihatsu

Merk mesin / Type / Nomor seri	Daihatsu / 6PSHTC-26D / 6263 652
Tahun produksi	1978, Osaka -Jepang
Tahun operasi / penggunaan	1979 sampai sekarang
Daya output / Tegangan output / Frekwensi	625 kVA 76300 Volt/ 50 Hz
Jumlah phasa / Cos ϕ / Grounding	3 (tiga) & 1 0,8 / 0,5 %
Tegangan Exiter	120 Volt DC
Arus Exiter	115 Ampere
Kecepatan putaran	750 rpm
Berat total	4,740 kg (4,7 ton)
Jumlah mesin / Jumlah Cylinder	1 (satu) unit / 6 (enam) cylinder
Daya terpasang	5000 Watt

2. MESINYANMAR

a. Pemeriksaan Sebelum Start

1) Mencatat

- Stand awal kWH Produksi.
- Stand awal kWH Pemakaian sendiri.
- Stand awal Tangki harian bahan baker.
- Stand awal Jam operasi.

2) Memeriksa

- Level Minyak pelumas dalam Carter.
- Level Air pendingin pada tangki air.
- Level Tangki harian bahan bakar.
- Level Minyak pelumas Turbo Charger, Governoor dan bantalan generator. Tekanan Tabung udara Start (20 - 32 bar).
- Sumber DC 110 Volt pada Panel Accumulator,

3) Mempersiapkan

- Pompa pelumasan awal selama 2 (dua) menit.
- Masukkan Turning Gear dan memutar Flywell 1-2 putaran.
- Turning Gear lepas secara manual.
- Mesin siap di Start.

b. Urutan Pelaksanaan Start

1. "ON"kan MCB AC Input, DC Input, Panel Generator, Panel mesin pada panel Accumulator.
2. "ON" kan saklar motor compressor untuk tabung udara Start (posisi otomatis)
3. Setelah tekanan tabung udara mencapai 30 Bar, buka kran tabung udara Start pada mesin.

4. Naikkan Handle pada posisi Start sampai mesin berputar.
5. Turunkan Handle pada posisi RUN setelah mesin operasi.
6. Tutup kembali kran katub Handle udara Start.
7. Tutup kembali kran tabung udara Start.
8. Atur frekwensi pada posisi 50 Hertz dan atur tegangan pada posisi 6,3 kV.
9. Periksa parameter-parameter mesin dan pastikan dalam kondisi normal.
10. "ON"kan saklar pompa pendingin Oil Cooler.
11. "ON"kan saklar Motor pendingin Radiator.
12. Biarkan Mesin operasi tanpa beban selama 5 menit untuk pemanasan.
13. Mesin sudah dalam keadaan Start.

c. Urutan Pelaksanaan Paralel

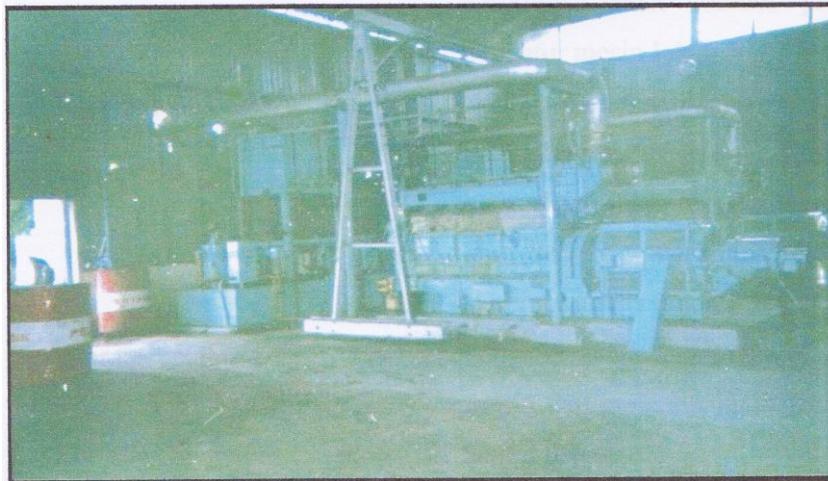
1. Putar Switch Sinkronisasi ke kanan,
2. Tekan Relay (84TX) ke atas untuk mengaktifkan parameter Sinkronisasi.
3. Samakan tegangan dan frekwensi terhadap Bus-bar (gardu induk Bone).
4. 'ON' kan OCB Generator pada saat jarum Sinkronisasi menunjuk angka 12 atau saat lampu sinkron padam.
5. Bila sudah paralel, 'OFF' kan kembali Switch Sinkron ke kiri.
6. Mesin sudah dalam keadaan paralel dengan Sistem.

d. Pengaturan Pemindahan Beban

1. Naikkan beban secara bertahap mulai 25 %, 50% - 80 % dari daya mampu mesin.
2. Cos cp diatur pada posisi Lagging (Induktif).
3. Lakukan pencatatan setiap 30 menit terhadap mesin generator sesuai dengan Log Sheet.

e. Urutan Stop Mesin Generator

1. Turunkan beban mesin secara bertahap, kembalikan pada saat pembebanan.
2. Bila beban menghampiri Nol, 'OFF' kan OCB Generator.
3. Atur kembali tegangan generator 6,3 kV pada Voltage Generator.
4. Atur kembali frekwensi mesin 50 Hertz pada Speed Setting Governoor.
5. Biarkan mesin beroperasi tanpa beban selama 5 menit untuk pendinginan.
6. 'OFF' kan saklar Pompa Air pendingin Oil Cooler.
7. 'OFF' kan saklar Motor pendingin Radiator.
8. Matikan mesin secara manual dengan Handle Engine pada posisi Stop.
9. Catat Stand akhir kWH Produksi.
10. Catat Stan akhir kWH Pemakaian sendiri.
11. Catat Stand akhir tangki harian bahan bakar.
12. Catat Stand akhir jam operasi.



Gambar 3-3. Mesin Yanmar PLTD Sinjai.

Table 2. Data Teknis Mesin Yanmar

Merk mesin / Type / Nomor sen	Yanmar / 6ML-HTS / 7030 FMF
Tahun produksi	1978
Tahun operasi / penggunaan	1982 sampai sekarang
Daya output / Tegangan output / Frekwensi	270 kVA / 6300 Volt / 50 Hz
Jumlah phasa / Cos (p / Grounding	3 (tiga) 0 / 0,8 / 0,5 %
Tegangan Exiter	105 Volt DC
Arus Exiter	1 1 5 Ampere
Kecepatan putaran	750 rpm
Berat total	2,640 kg (2,6 ton)
Jumlah mesin / Jumlah Cylinder	2 (dua) unit / 6 (enam) cylinder
Daya terpasang	250 kiloWatt

Dari pengoperasian kedua jenis generator tersebut, dapat dijelaskan lebih lanjut melalui uraian sebagai berikut:

- a. Sistem untuk mengoperasikan: Dengan menggunakan udara tekan (air compressor), mesin di Start secara manual di sisi mesin dan urutan berikutnya tekan tombol pada panel pengatur mesin lokal.
- b. Sistem untuk menghentikan : Untuk menghentikan mesin secara manual terdapat pada mesin dan dapat juga dihentikan melalui sistem jarak jauh dengan penekanan tombol serta sistem otomatis untuk keadaan darurat.
- c. Sistem mengukur kecepatan : Pengatur kecepatan manual pada sisi mesin dan pengatur jarak jauh dengan sistem listrik.
- d. Sistem pendingin : Pendingin yang digunakan pada mesin turbo charger dan katub pembuangan adalah pendingin air tawar.
- e. Sistem pemanasan : Pemanasan sistem bahan bakar serta bahan pelumas dipanaskan dengan uap dan kebutuhan di luar pembangkit dihasilkan oleh gas buang dari Boler.
- f. Sistem gas buang : Untuk penggunaan sistem gas buang pada generator tersebut sistemnya berdiri sendiri.
- g. Sistem ventilasi : Saluran ventilasi udara dikeluarkan melalui unit monitor generator bagian atas stasiun pembangkit (power station) yang menggunakan pengisap.
- h. Konstruksi bangunan : Konstruksi bangunan pada stasiun pembangkit merupakan bangunan bertingkat dua. Ruang pemurnian minyak (heavy oil) dan

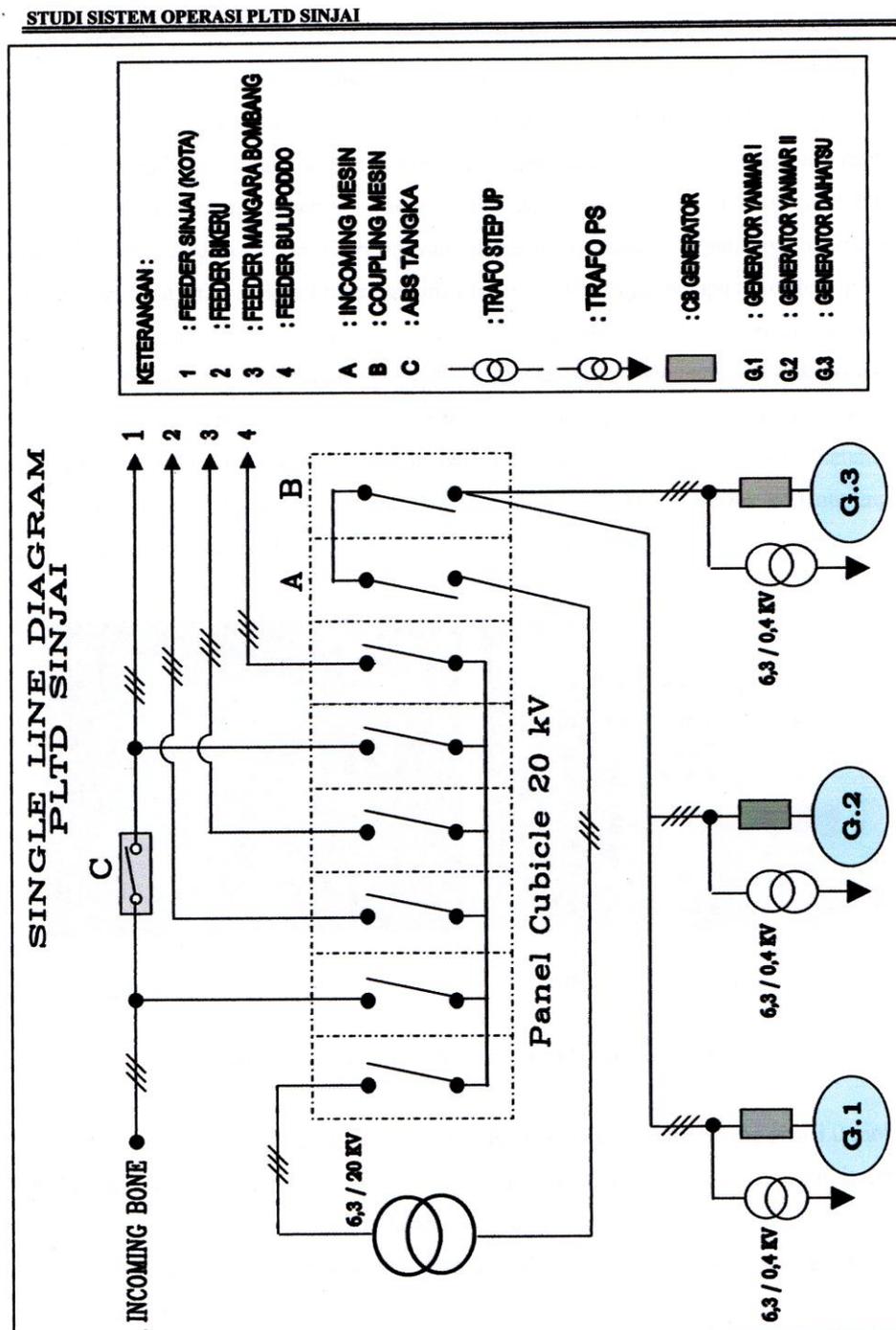
pompa air pendingin sekunder serta ruang pengolahan air (water treatment) tersebut terbuat dari konstruksi baja dan gamping (slate).

C. Kerja Paralel Dengan Sumber PLN

Dalam kondisi kerja normal, penyediaan daya energi listrik disupply melalui sumber PLN. Namun jika terjadi beban puncak dan gangguan secara tiba-tiba dari sistem kabupaten Bone, maka generator harus selalu siap untuk dioperasikan dengan catatan bahwa gangguan benar-benar terjadi mengingat efisiensi operasi mesin.

Dalam melakukan hubungan kerja paralel dengan sumber PLN dari kabupaten Bone, adalah jika sistem tersebut dalam keadaan tidak normal. Dengan dasar tersebut maka generator harus difungsikan. Hal ini berarti Saklar ABS dalam keadaan terbuka yang memutuskan tenaga listrik dari Sistem dengan pihak Pendistribusian PLN Ranting Sinjai dan masuk ke panel Incoming Bone untuk disinkronkan dengan generator. Ketiga generator yang telah beroperasi disinkronkan masing-masing outputnya dengan sistem pada kemampuan maksimal daya output sebesar 800 kW dimasukkan ke bagian Coupling Mesin yang dihubungkan ke Incoming Mesin untuk diangkat tegangannya pada trafo Step Up dari 6,3 kV menjadi 20 kV. Setelah hal tersebut terlaksana dengan penunjukan tegangan, terminal, urutan fasa dan frekwensi yang sama dengan sumber PLN, maka aliran listrik dapat disalurkan melalui saklar PMS untuk melayani beban yang ada pada beberapa Feeder atau penyulang untuk proses pendistribusian kepada pelanggan.

Dari seluruh urutan kerja paralel tersebut dapat diperlihatkan melalui diagram Single Line PLTD Sinjai sebagai berikut (gambar 3-4



Perlu menjadi catatan bahwa proses pemindahan beban tergantung dari besarnya gangguan pada sistem dan besarnya daya yang dibutuhkan oleh beban di luar. Hal yang perlu diperhatikan adalah setelah sistem dari kabupaten Bone telah kembali pada keadaan normal maka generator harus segera dimatikan. Hal ini dilakukan untuk menghindari terjadinya Over Current yang dapat menyebabkan terputusnya beberapa pengaman pada jaringan kabel udara seperti LBS, Cut Out, dan beberapa trafo step up.

Jika generator sudah dalam keadaan "ON", terlebih dahulu generator tersebut harus mencapai kecepatan nominalnya sebelum diparalelkan sehingga alat sinkronisasi dapat menunjukkan tegangan, frekwensi dan phasa tegangan antara keduanya. Kecepatan nominal dan penunjukan dari parameter-parameter tersebut dapat diketahui pada panel kontrol 6,3 kV dari masing-masing generator sebelum masuk ke Coupling Mesin. Lemari kontrol 6,3 kV dapat dilihat pada gambar di bawah ini:



a. Panel Kontrol Daihatsu



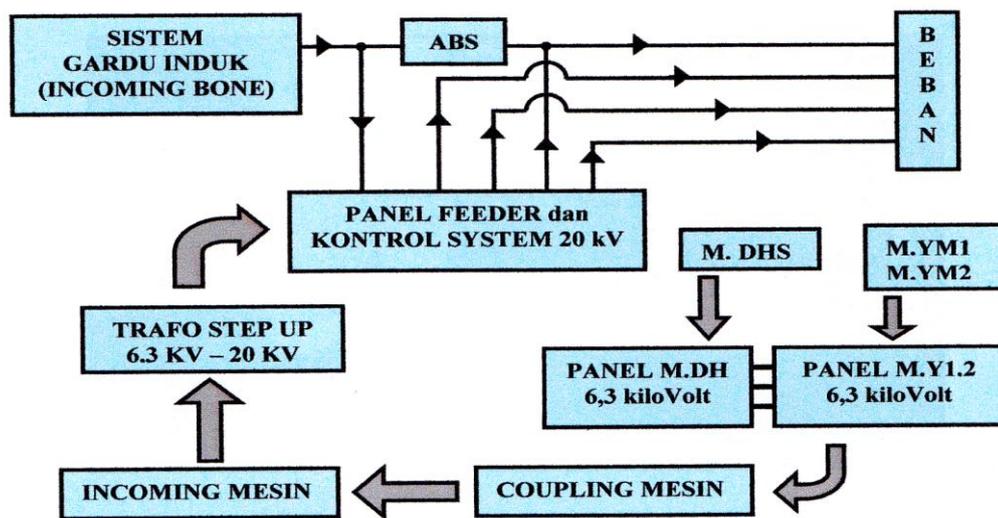
b. Panel Kontrol Yanmar 1 dan 2

Gambar 3-5. Lemari Panel Kontrol 6,3 kV dari setiap Mesin

Adanya kondisi yang kurang akurat pada peralatan, kadang-kadang posisi 0 (nol) pada sinkroskop sangat sulit untuk diteliti sehingga saklar dimasukkan pada waktu jarum sinkroskop masih berputar sangat lambat searah jarum jam dengan sudut $\pm 5^\circ$ dari vertikalnya. Sudut ini merupakan toleransi terhadap waktu pada saat saklar generator telah terhubung.

Selama operasi kerja paralel antara generator dan sumber PLN berjalan, keadaannya harus selaiu dikontrol untuk mengantisipasi perubahan yang terjadi. Sebab biasanya gangguan terjadi tidak begitu lama dan jika kondisi normal telah kembali maka hubungan paralel kembali dibuka dan generator dapat di Offkan. Untuk pemindahan beban antara keduanya, harus dihubung paralel terlebih dahulu dan selanjutnya disamakan daya outputnya setelah itu peralihan beban sudah dapat dilakukan. Untuk mendapatkan hasil yang maksimal dari hubungan paralel maka kontinuitas dari generator harus selalu terjamin dengan melakukan pengontrolan terhadap parameter mesin dengan kata lain petugas yang berwenang harus stand by setiap waktu selama mesin beroperasi.

Secara umum urutan dari hubungan kerja paralel pada PLTD Sinjai dengan sistem dapat dilihat pada gambar skema hubungan kerja berikut ini:



Gambar 3-6. Urutan Kerja Paralel generator dengan system

Masing-masing bagian pada proses hubungan kerja paralel terdiri dari beberapa sistem yang telah memenuhi syarat untuk proses kerja paralel generator, seperti perangkat Sistem Cubicle 20 kV yaitu peralatan listrik yang terpasang pada ruang tertutup dengan fungsi sebagai pembagi dan pengontrol serta parameter-parameter untuk penunjukan keterangan nilai/harga pengukuran. Selain itu terdapat peralatan yang terdiri dari beberapa pengaman yang sering disebut dengan sistem proteksi, namun proteksi disini adalah peralatan yang termasuk dalam bagian ruang tertutup atau lemari panel tersebut yang mana terdiri dari trafo arus, trafo tegangan, pemutus daya dan saklar pemisah serta beberapa relay untuk melindungi sistem. Bentuk fisik dari panel 20 kV pada PLTD Sinjai dapat dilihat pada gambar 3-7.

Fungsi dari pengaman yaitu untuk menjamin keandalan sistem penyaluran tenaga listrik, di samping itu cara kerja dari pengaman sangat cepat dalam memutuskan dan menghubungkan aliran listrik baik dalam keadaan normal

maupun tidak tergantung dari rating keadaan yang terjadi pada sistem. Perangkat peralatan listrik yang terpasang pada stasiun pembangkit harus disesuaikan dengan jenis generator yang digunakan.



Gambar 3-7. Peralatan Sistem Cubicle 20 kV PLTD Sinjai.

Sebelum masuk ke panel kontrol 20 kV, tegangan yang dikeluarkan Incoming Mesin harus benar-benar menunjukkan tegangan sebesar 20 kV. Hal ini diperoleh melalui alat yang mengangkat tegangan dari 6,3 (tegangan generator) ke 20 kV yang disebut Trafo Step Up seperti yang ditunjukkan pada gambar 3-8.



Gambar 3-8. Trafo Step Up 6,3 kV - 20 kV PLTD Sinjai

Untuk peralatan sistim Cubicle 20 kV pada unit PLTD Sinjai terdiri dari:

1. CB/PMT : Circuit Breaker/Pemutus Tenaga
2. CT : Current Transformer/Trafo Arus
3. PT : Potensial Transformer/Trafo Tegangan
4. DS/PMS : Disconnection Switch/Pemisah
5. Bus-bar : Rail/Sumber PLN
6. Meter : A, KV, KWH Meter
7. Lemari Kontrol : Pelindung peralata

Dari beberapa peralatan tersebut, PLTD Sinjai menggunakan 2 jenis PMT yaitu PMT Minyak/Oil Circuit Breaker(OCB) dan PMT Udara/Vacum Circuit Breaker(VCB).

D. Analisis Kapasitas dari relay Proteksi Dan Pemutus Yang Digunakan

Besarnya kapasitas dari relay proteksi yang digunakan pada PLTD Sinjai yang kami bahas tidak secara keseluruhan, akan tetapi dengan mengambil beberapa relay proteksi sebagai contoh untuk mengevaluasinya. Adapun relay proteksi tersebut antara lain :

1. Relay Deferenisial

Adapun jenis relay yang digunakan adalah type RBAH yang disetting pada $5A \pm 5\%$. Relay ini akan bekerja jika ada perbedaan arus antara kedua keluaran sekunder trafo arus sebesar:

$$I = 5 \times 0,25 = 1,25 \text{ A}$$

Ratio trafo arus pada PLTD Sinjai adalah B900/5. Atau dengan kata lain relay ini akan bekerja jika perbedaan arus sebesar :

$$1,25 \times 5\% = 69 \text{ A}$$

Pada saat peningkatan arus sebesar 69 A atau saat arus yang mengalir pada sisi primer sebesar 6969 A, relay diferensial akan bekerja.

2. Relay Daya Balik

Relay yang digunakan adalah relay type RT 210 yang diset pada 12J Watt. Time dial settingnya adalah $1 \times c$, dimana $c = 0,5$ detik.

$$\text{Ratio trafo arus} = 6900/5$$

$$\text{Ratio trafo tegangan} = 6800/110$$

Relay ini akan bekerja dengan waktu 0,5 detik pada saat terjadi daya balik sebesar :

$$12,7 \text{ xx} = 1051560 \text{ Watt}$$

$$\times 100\% = 8,59\%$$

Jadi dengan disetting 12,7 watt pada relay, maka generator ini telah diproteksi pada 8,59 % dari daya yang terpasang pada generator.

3. Analisis hubung singkat untuk menentukan pemutus (CB)

Data-data pada PLTD Sinjai :

Untuk data pada generator 1 yang dipararel dengan generator 2 pada sisi tegangan tinggi trafo tiga fasa pada PLTD Sinjai mempunyai rating yang sama.

- Untuk generator

$$\text{Kapasitas generator} = 1.530 \text{ kVA}$$

$$\text{Tegangan} = 6.300 \text{ Volt}$$

$$\text{Reaktansi sub peralihan} = 16\%$$

- Untuk trafo

$$\text{Kapasitas trafo} = 1530 \text{ kVA}$$

$$\text{Tegangan} = 6300/20000 \text{ Volt}$$

$$\text{Reaktansi sub peralihan} = 8,36 \%$$

Sebelum gangguan, tegangan pada sisi tegangan tinggi 20 kV. Jadi besarnya arus sub peralihan pada generator jika terjadi hubung singkat pada sisi tegangan tinggi trafo.

$$\text{Untuk } G_1 = G_2 = X''d = 0,16 \text{ x } 0,16 \text{ PU}$$

$$E_g = 0,635 \text{ PU}$$

Untuk transformator

$$T_1 = T_2 \rightarrow x = 0,0836 \text{ PU}$$

Besarnya arus sub peralihan dalam hubung singkat tersebut adalah

$$I =$$

$$I'' =$$

$$=$$

$$=$$

$$= 2668$$

$$= 2,575 \times 140,218$$

Tegangan pada sisi delta trafo adalah :

$$(-j 2,668)(j 0,0836) = 0,223 \text{ per unit}$$

Dan pada generator

$$I_1 = I_2 =$$

$$=$$

$$=$$

$$= 2,575$$

$$= -j 2,575 \text{ per unit}$$

Untuk mendapatkan arus dalam ampere, nilai per unit dikalikan dengan arus dasar rangkaian :

$$\begin{aligned} I_1=I_2 &= 2,575 \\ &= 2,575 \\ &= 2,575 \times 140,218 \\ &= 361,061 \text{ Ampere} \end{aligned}$$

Sedangkan data yang ada bahwa pemutus (OCB) yang terpasang dalam rating arus kontinyu sebesar 630 Ampere dan pada saat terjadi kenaikan arus yang melebihi dari harga rating arusnya (630 A), maka OCB akan bekerja memutuskan sistem. OCB yang terpasang pada PLTD Sinjai sudah memenuhi syarat

E. Waktu Pengoperasian Generator

Pada prinsipnya, pengoperasian generator dilakukan pada saat sistem dari kabupaten Bone tidak bekerja dengan normal. Dalam hal ini biasanya daya yang didistribusikan tidak maksimal dan itu berlangsung pada waktu-waktu tertentu yang tidak ditetapkan, dengan kata lain, bahwa generator difungsikan jika terjadi gangguan pada jaringan ataupun mengalami jatuh tegangan (drop) dari kondisi normalnya yaitu pada tegangan 20 kV. Kedua hal tersebut merupakan kondisi umum dimana dengan kondisi tersebut maka generator harus selalu dalam keadaan Stand By untuk segera dioperasikan. Lebih jelasnya, pengoperasian generator dilakukan pada kondisi-kondisi sistem yang diuraikan sebagai berikut:

a. Jatuh Tegangan (Drop)

1. Jatuh tegangan pada Sistem

Terjadinya jatuh tegangan pada sistem apabila sistem (sumber PLN Kab.Bone) tidak memberikan tegangan yang maksimal pada posisi normalnya yaitu 20 kV, hal ini bisa saja terjadi pada waktu yang tidak ditetapkan dengan bermacam-macam penyebab yang terjadi pada daerah jaringan wilayah kerja kabupaten Bone sehingga PLTD Sinjai harus segera dioperasikan. Jika hal ini tidak terlaksana maka akan ada pemadaman untuk sementara pada sistim pendistribusian aliran listrik di kabupaten Sinjai.

Dalam keadaan beroperasi, kemampuan generator tidak selamanya maksimal dari yang diharapkan seperti halnya energi listrik yang disuply dari sistem kabupaten Bone. Kemampuan maksimal dari ketiga generator yang beroperasi pada titik puncaknya kadang-kadang hanya mencapai 800 kiloWatt untuk menaikkan kembali tegangan. Dalam melayani keempat feeder sering pula terjadi penurunan daya yang disebabkan generator tidak mampu memenuhi semua penyulang dalam hal ini salah satu feeder ada yang menggunakan beban secara berlebihan dan ini menyebabkan generator Over Load, untuk mengantisipasinya maka salah satu feeder harus diputuskan dengan berdasar pada feeder yang paling minim pelanggannya

Hal ini untuk menjaga kontinuitas dan kestabilan serta ketahanan generator dalam melayani kebutuhan energi listrik.

2. Jatuh tegangan pada Beban Puncak

Yang dimaksud dengan beban puncak adalah pemakaian energi listrik dimana beban yang terlayani melampaui dari kapasitas yang diberikan oleh sistem (sumber PLN Kab. Bone) sehingga tegangan yang nilainya 20 kV tidak dapat

melayani beban tersebut disebabkan pemakaian daya yang sangat tinggi. Untuk mengimbangnya maka generator dioperasikan guna menutupi kebutuhan daya. Hal ini terjadi secara berkala yaitu pada waktu penggunaan energi listrik secara bersamaan oleh konsumen pada pukul 18.00 sampai dengan pukul 21.00, dimana mesin Daihatsu beroperasi selama tiga jam dan mesin Yanmar beroperasi selama dua jam. Pada waktu tersebut pemakaian energi listrik naik dimulai dari penerangan lampu jalan, penerangan rumah tangga dan pengoperasian berbagai peralatan elektronik dengan kebutuhan daya yang berbeda-beda.

b. Gangguan Jaringan Sistem

1. Jaringan Kabel Putus

Untuk Jaringan yang mengalami gangguan seperti kabel yang putus seringkali terjadi dalam hal pendistribusian energi listrik baik dalam wilayah kerja PLN Ranting Sinjai ataupun supply yang diterima dari sumber PLN Kab. Bone. Perlu diketahui bahwa generator dioperasikan jika gangguan yang terjadi pada Jaringan dari sumber PLN, namun Operator mesin tetap pada posisi Stand By dan selalu melakukan pengontrolan terhadap parameter-parameter yang ada pada setiap Feeder atau penyulang untuk mengetahui bahwa tegangan, daya, urutan fasa serta frekwensi dari generator tetap dalam kondisi normal sambil menunggu hingga sistem normal kembali. Apabila gangguan yang terjadi berada pada Jaringan pendistribusian PLN Sinjai, maka saklar tegangan rendah (LBS) pada salahsatu feeder yang mengalami gangguan segera diputuskan untuk hal keamanan perbaikan Jaringan.

2. Jaringan Hubung Singkat

Gangguan hubungan singkat yang terjadi pada Jaringan sistem secara umum sama dengan gangguan kabel putus, yaitu akan terjadi pemutusan aliran listrik. Namun yang memutuskan aliran listrik adalah sebuah saklar bertekanan udara (ABS) yang akan terputus secara otomatis akibat adanya kejutan dari hubung singkat yang terjadi.

Terjadinya pemutusan pada ABS terhadap Jaringan tiga fasa yang mengalami gangguan mengakibatkan tidak adanya aliran listrik atau tidak terjadi pendistribusian energi listrik, pada saat itu maka PLTD Sinjai dioperasikan guna menggantikan supply daya yang sedang bermasalah sampai ada titik terang dari perbaikan gangguan tersebut.

F. Analisis Generator PLTD Sinjai

a. Faktor Pengadaan Generator PLTD Sinjai

Dari hasil survey yang dilakukan beberapa bulan, data yang diperoleh menunjukkan bahwa keberadaan daripada pusat pembangkit tenaga listrik PLTD Sinjai sangat dibutuhkan dan penuh perencanaan jauh sebelum didirikannya pembangkit tersebut. Sebelum adanya PLTD Sinjai sekitar tahun 1978, keadaan wilayah kabupaten Sinjai sangat terisolir. Adapun beberapa faktor yang mempengaruhi keberadaan generator PLTD Sinjai adalah :

1. Faktor Lingkungan, dengan adanya generator PLTD Sinjai maka daerah sekitar kabupaten Sinjai dalam keadaan aman dengan adanya penerangan yang sudah memadai sehingga masyarakat dapat tenang dan tentram.

2. Faktor Ekonomis, tanpa adanya generator maka industri kecil menengah bahkan perusahaan tidak dapat memproduksi secara maksimal sehingga perekonomian tidak merata.
3. Faktor Kebutuhan Daya, sebelum adanya generator PLTD Sinjai daya yang disupply dari kabupaten Bone tidak mencukupi untuk melayani kekurangan daya yang dibutuhkan oleh masyarakat Sinjai, begitupula jika terjadi gangguan secara tiba-tiba dan Sistem Bone maka terjadi pemadaman untuk sementara dalam waktu yang tidak ditetapkan.

Dengan adanya pusat pembangkit listrik tenaga Diesel sangat jelas bahwa perannya sangat penting untuk membantu dan membawa perubahan yang berarti bagi kehidupan masyarakat. Untuk itulah keberadaan generator PLTD Sinjai sangat diperlukan.

b. Pengaturan Pengoperasian Generator

1. Pengaturan operasi mesin untuk PLTD Sinjai digunakan untuk dua proses yaitu:
 - a) Operasi mengangkat tegangan Sistem (Normal Sistem)
 - b) Operasi pada saat gangguan Sistem (Isolated)
 - c) Operasi Mengangkat Tegangan Sistem (Normal Sistem)
 - d) Pada pukul 17.30 memantau perubahan tegangan yang terjadi.
 - e) Pukul 17.45 menanyakan ke PLN Ranting Sinjai apakah semua Kapasitor telah masuk.
 - f) Pukul 17.55 melakukan Start pada semua mesin (Y1, Y2 dan MD).

- g) Tepat pukul 18.00 dan tegangan Sistem menunjukkan 220 Volt maka mesindiparalelkan dengan Sistem. MCB dimasukkan satu persatu dan diatur kenaikan bebannya secara bertahap sampai batas daya mampunya.
 - h) Selama mesin beroperasi, dilakukan pemantauan setiap saat terhadap keadaan mesin yang terjadi.
 - i) Melakukan pencatatan setiap 30 menit sesuai dengan Form Kit: 01.
 - j) Pada saat beban puncak antara pukul 18.00 sampai dengan 19.30 dilakukan pemantauan terhadap perubahan yang terjadi.
 - k) Apabila tegangan Sistem terlalu rendah dan diperkirakan Mesin tidak mampu mengikuti tegangan Sistem, maka dikoordinasikan dengan PLN Ranting Sinjai untuk mengurangi beban di luar.
 - l) Bila keadaan telah kritis dan belum ada pengurangan beban di luar, salah satu Feeder (Bulupoddo atau Mangara Bombang) harus dilepas.
 - m) Bila tegangan telah normal dan keadaan aman untuk Mesin, maka Feeder yang dilepas dimasukkan kembali.
 - n) Isolated (Gangguan Sistem) Bila terjadi gangguan pada Sistem, Incoming Bone dilepaskan begitu pula dengan semua penyulang (Feeder).
2. Melakukan Start pada semua mesin (Y1, Y2 dan MD) lalu memparalel ketiganya.

3. Menanyakan ke PLN Ranting Sinjai melalui gelombang radio (VHF) apakah semua ABS telah dilepas dan beban trafo Feeder Sinjai telah dikurangi
4. Operator Stand By didepan panel Mesin untuk mengantisipasi masuknya beban. Setelah Feeder Sinjai dimasukkan maka Mesin telah berbeban.
5. Mengatur beban ke tiap-tiap Mesin dan menghitung beban yang telah masuk.
6. Apabila masih ada Spart beban pada Mesin, disampaikan ke PLN Ranting Sinjai untuk memasukkan trafo satu persatu sampai batas mampu Mesin (850 kW).
7. Pada Saat Sistem Dari G.I Bone Kembali Normal
8. Melepaskan "Incoming Mesin" dan memasukkkan "Incoming Bone".
Hal ini berarti tegangan dari Bone telah menyuply Feeder Sinjai.
9. Mengatur frekwensi dan tegangan Mesin lalu mengalihkan sisa beban padaPemakaian sendiri ke Mesin Daihatsu dengan melepaskan MCB Mesin Yanmar.
10. Mengisi kembali Spring (Charger) Incoming Mesin.
11. Melepaskan (Off - kan) MCB Mesin Daihatsu dan memasukkan Incoming Mesinsehingga kontrol PLTD telah tersuply dari Bone.
12. Setelah melakukan pendinginan kurang lebih 5 menit, menghentikan semuaMesin (Stop).

13. Mengkoordinasikan dengan PLN Ranting Sinjai untuk memasukkan Feeder yang masih padam.

c. Pola Pengaturan Pembebanan Mesin

Pembebanan Mesin disesuaikan dengan kapasitas dan daya mampu Mesin sehingga pada saat dibebani harus sesuai dengan Standart dan prosedur pengoperasian. Pola pembebanan ini dapat dilakukan sesuai dengan prosedur yang baik, yaitu secara bertahap mulai dari beban 25 %, 50%, 75% sampai 100% sesuai dengan daya mampu Mesin. Hal ini dilakukan untuk tetap menjaga pembebanan yang baik dimana mempengaruhi tingkat keandalan suatu SPD. Cara pembebanan yang baik pada Generator adalah sebagai berikut:

1. Pukul 18.00 Wita,	beban Mesin Yanmar 1	60 KW.
	beban Mesin Yanmar 2	55 KW
	beban Mesin Daihatsu	100KW
2. Pukul 18.05 Wita,	beban Mesin Yanmar 1	120 KW
	beban Mesin Yanmar 2	110KW
	beban Mesin Daihatsu	200 KW
3. Pukul 18.10 Wita,	beban Mesin Yanmar 1	180 KW
	beban Mesin Yanmar 2	165 KW
	bebanMesin Daihatsu	300 KW
4. Pukul 18.15 Wita,	beban Mesin Yanmar 1	240 KW
	beban Mesin Yanmar 2	220 KW
	beban Mesin Daihatsu	400 KW

Beban terakhir ini (18.15 Wita) dipertahankan sampai tegangan Sistem normal (230 Volt) pada pukul 20.00 Wita, dimana salah satu Mesin sudah bisa

dilepas dari Sistem sehingga pada pukul 21.00 Wita semua Mesin yang ada di PLTD Sinjai di Stop.

d. Pola Pengaturan Waktu/Jam Operasi

Pengaturan Jam operasi dari tiap-tiap Sentral PLTD pada umumnya berbeda, hal ini disesuaikan dengan kondisi/frekwensi beban yang terjadi di daerah masing-masing dan juga penyesuaian dengan daya mampu dan tingkat keandalan tiap-tiap SPD yang dimiliki Sentral PLTD tersebut Untuk PLTD Sinjai, jam operasi pada umumnya antara pukul 18.00 Wita sampai dengan jam 21.00 Wita dengan menginjeksi tegangan dari Sistem Gardu Induk Bone, karena pada jam tersebut tegangan mengalami penurunan yang sangat drastis, sedang diluar dari waktu tersebut tegangan dalam keadaan normal.

Adapun pengaturan jam operasi PLTD Sinjai sebagai berikut:

1. Pada jam 17.55 Wita, semua Mesin dioperasikan (Start)
2. Pada jam 18.00 Wita, semua Mesin diparalel satu demi satu
3. Pada jam 20.00 Wita, Mesin Yanmar 2 dilepas dari Sistem lalu dimatikan (Stop)

Mesin Yanmar 2 lebih awal dihentikan karena tingkat keandalan dan efisiensinya tidak memadai dibandingkan dengan Mesin yang lain.

4. Pada jam 20.30 Wita Mesin Yanmar 1 dilepas dari Sistem lalu dimatikan (Stop)
5. Pada jam 21.00 Wita Mesin Daihatsu dimatikan (Stop)

Mesin Daihatsu dimatikan paling akhir karena lebih andal dan memiliki daya mampu yang lebih besar dibanding Mesin Yanmar.

Dengan pengoperasian generator yang sesuai dengan Standart Operasi Prosedur (SOP) oleh Petugas Perpiketan maupun pihak Distribusi, maka dalam pemulihan suatu gangguan Sistem dapat terlaksana dengan cepat dan tepat agar pemadaman sedapat mungkin bisa diperkecil.

e. Hasil Dari Kerja Paralel

Hubungan kerja paralel antara generator dengan sumber PLN memberikan daya dan energi listrik yang konstan agar pendistribusian tetap stabil meskipun setelah mengalami jatuh tegangan atau gangguan lainnya, dengan adanya generator maka jatuhnya tegangan pada Sistem dapat dikembalikan ke nilai tegangan semula yaitu 20 kV. Hal yang demikian sangat membantu dalam pemenuhan kebutuhan energi listrik bagi pelanggan dalam menjalankan aktivitasnya serta membantu kelancaran produktivitas dalam kehidupan sehari-hari. Disamping itu keandalan dari peralatan listrik dapat tetap terjaga dengan adanya suply daya yang stabil dan terlayani secara kontinyu.

BAB V

PENUTUP

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian maka diperoleh bahwa :

1. Pengoperasian generator pada PLTD Kab. Sinjai menggunakan sistem operasi yang sesuai dengan Standart Operasi Prosedur (SOP) yang umumnya digunakan pada pembangkit listrik untuk unit PLTD pembangkitan kecil, yaitu pembangkit dengan generator yang tidak beroperasi untuk 24 jam dan memiliki kapasitas daya di bawah 10 MW.
2. Sistem proteksi yang digunakan di PLTD Sinjai belum andal betul, hal ini disebabkan karena masih ada gangguan yang proteksinya belum menggunakan relay proteksi akan tetapi menggunakan pengaman jenis mekanik yang cara kerjanya lambat dan kurang teliti.
3. Pada PLTD Sinjai, tingkat pemeliharaan yang dilakukan pada generator dan sistem proteksinya sudah cukup bagus, ini dapat dilihat dari jarang nya gangguan yang timbul akibat kegagalan fungsi dari sistem proteksinya maupun operasional dari generator.
4. Hubungan kerja paralel antara generator PLTD Sinjai dengan Incoming Bone bekerja secara Interkoneksi yaitu saling berhubungan satu dengan yang lain. Begitupula dengan ketiga generator yang beroperasi yang mana fungsi utamanya membantu kekurangan daya yang dibutuhkan beban.

B. Saran

Melihat banyaknya peralatan yang beroperasi secara terpisah pada perangkat peralatan generator, penulis menyarankan agar setiap peralatan tersebut dilengkapi dengan gambar rangkaian dan skema single line dari prinsip kerjanya. Hal ini didasari adanya beberapa panel kontrol yang tidak memiliki keterangan gambar sehingga dapat menyulitkan proses perbaikan dan pemeliharaan apabila sewaktu-waktu terjadi gangguan pada perangkat tersebut.

Untuk memenuhi kebutuhan supply daya secara kontinyu, penulis menyarankan agar ke depan ketiga generator yang sekarang beroperasi dan masih berfungsi dengan baik supaya tetap dipertahankan keberadaannya. Walaupun jaringan Gardu Induk Sistem Bakaru telah masuk, namun tidak menutup kemungkinan terjadi gangguan secara tiba-tiba pada sistem seperti pemadaman dari Gardu Induk ataupun gangguan jaringan dalam wilayah kerja pihak Distribusi PLN Ranting Sinjai. Dengan adanya PLTD Sinjai yang tetap Stand By, maka pemadaman tidak akan berlangsung lama.

DAFTAR PUSTAKA

- Dandekar M.M, Sharma K.N. 2013. Pembangkit Listrik Tenaga Air. Jakarta : Universitas Indonesia.
- Lister, Eugene C. 2013. Mesin dan Rangkaian Listrik. Jakarta : Erlangga
- Berahim Hamzah Ir., 2012, Teknik Tenaga Listrik 3 Andi Offset, Edisi Pertama Yogyakarta.
- Fitzgerald, A. E., dkk, 2012. Mesin-mesin Listrik, Erlangga, Jakarta. Gross Charles A, Power System Analisis, Edisi Kedua, Wiley.
- Lister Eugene C., 2013, Mesin Dan Rangkaian Listrik, (Terjemahan : Gunawan Hanafi Ir. Drs.), Edisi Keenam, Erlangga.
- William D., Stevenson Jr., 2012, Analisis Sistem Tenaga Listrik, Edisi Keempat, Alih Bahasa Ir. Kamal Idris, Erlangga.
- Weedy B. M., 2012, System Tenaga Listrik, (Terjemahan : Daliatih H. Gulo), Edisi Ketiga, Aksara Persada Indonesia.
- Zuhal., 1993, Dasar Teknik Tenaga Listrik Dan Elektronika Daya, Gramedia, Jakarta.