

2. TEORI PENUNJANG

Energi adalah hal pokok bagi suatu industri. Tanpa energi listrik maka industri tidak akan mampu menghasilkan apa-apa. Saat energi masih melimpah *conservation* kurang begitu diperhatikan, hal yang sangat ironis sekali. Ketika energi sudah mengalami krisis baru timbul gagasan pentingnya energi *conservation*.

Menurut Dale R. Patrick dan Stephen W. Fardo, *Energy Management is a continuous planning process that use to accomplish the efficient use of energy in a building or system* (206).

Energy Management and Conservation (Patrick and Fardo 206).

Definisi management energy sebuah proses perencanaan yang berkelanjutan yang digunakan untuk efisiensi energi yang dipergunakan disuatu gedung atau sistem. Strategi penghematan energi listrik bagi industri difokuskan pada strategi pengefisienan biaya pada manajemen kelistrikan industri. Jadi yang menjadi pokok pengefisienan adalah sistem kelistrikan yang sudah ada pada suatu industri.

2.1 Energi Conservation Strategi I

Ada beberapa strategi untuk mengadakan penghematan terhadap penggunaan energi listrik. Strategi yang pertama ini menitikberatkan pada strategi pengefisienan biaya untuk manajemen kelistrikan pada industri.

Pengefisienan dilakukan untuk meningkatkan pendapatan suatu industri dengan melakukan beberapa penghematan. Penghematan dilakukan dibeberapa aspek yaitu aspek *monitoring, protection, analysis, operating* dan perawatan. Kita dapat melakukan pengamatan pada aspek-aspek tersebut sehingga efek dari *power management system* benar-benar tercapai.

Keuntungan pada aspek *monitoring* dapat mengurangi "tenaga" dalam mengumpulkan suatu data, mengurangi resiko karyawan saat bertugas, menambah keakuratan suatu data, menghasilkan data yang lebih dengan mengurangi biaya,

menghasilkan data sampling yang lebih tinggi dan mengurangi waktu pada pentransmisi suatu data.

Keuntungan pada aspek *protection* adalah memungkinkan penerapan suatu *protection system* yang lebih *integrated* dan memungkinkan untuk penerapan suatu algoritma proteksi yang lebih baik dalam menghasilkan data untuk analisa.

Keuntungan pada aspek *analysis* adalah penambah modal perencanaan untuk sistim kelistrikan, memungkinkan suatu perkiraan yang lebih akurat, memungkinkan penambahan suatu beban, pengidentifikasian peralatan yang tidak efisien, memungkinkan penganalisaan kualitas daya, menyediakan rekaman semua kegiatan rutin, menyediakan data sumber penyebab analisa kegagalan, mengidentifikasikan *downtime* ketika terjadi *bottleneck* dan memungkinkan pengalokasian ongkos yang lebih akurat.

Keuntungan pada aspek *operation* adalah pengurangan karyawan untuk *control* dan *monitoring*, memungkinkan menampilkan data pada lokasi yang berbeda-beda, mengurangi masalah karena perbedaan waktu, mengurangi masalah karena faktor *switching*, menyediakan peralatan yang memonitor secara terus menerus yang mengurangi konsumsi energi dan pengoptimasian yang lebih baik dari pelatihan dan prosedur kerja.

Keuntungan pada aspek *maintenance* adalah memungkinkan penjadwalan perawatan berdasarkan *operating history* dari peralatan yang terpasang, menghapuskan perawatan yang tidak perlu, mengurangi persediaan suku cadang beberapa peralatan dan mengurangi biaya perawatan keseluruhan.

Untuk memperkirakan berapa biaya dari *power management system* penggolongan jenis *plant* harus diperhatikan terlebih dahulu, pada *plant* yang sudah berdiri atau pada *plant* yang masih baru akan berdiri. Karena pada *plant* yang sudah berdiri tingkat kesulitan lebih tinggi dibanding *plant* yang masih baru.

Pada *plant* yang sudah berdiri aspek yang harus diperhatikan adalah, menentukan tujuan yang akan dicapai dengan jelas, data lengkap tentang semua komponen dari *plant* yang bersangkutan dan mengetahui proses produksi sebagai syarat penggantian komponen nanti.

Hal yang akan dicapai dalam *energy conservation strategy I* ini meliputi pengaplikasi *site wide system* yaitu penggunaan komputer sebagai saran

komunikasi antar daerah yang berjauhan. Sebagai intinya diperlukan software untuk komunikasi dan software aplikasi. Software aplikasi untuk proses analisa dari data-data yang didapat dari tiap bagian yang berjauhan.

Adapun aspek yang akan kita capai dengan adanya *energi conservation strategy I* ini pada aspek *analysis* adalah pertamanya memungkinkannya analisa suatu distorsi. Dengan bantuan *Fast Fourier Transform* (FFT) semua data gelombang dapat dianalisa lebih dalam lagi sehingga bisa diketahui *Total Harmonic Distortion* (THD) dan lokasi tepat munculnya THD. Kedua, memungkinkan adanya analisa gangguan, misalnya analisa kualitas daya akibat tegangan yang kurang stabil.

Pada aspek perawatan memungkinkannya perawatan prediksi atau pencegahan (*preventive predictive maintenance*), yaitu dengan menganalisa data sejarah pengoperasian maka akan lebih mudah menentukan jadwal dalam perawatan. Sehingga pada masa yang akan datang memungkinkan perkiraan perawatan yang dibutuhkan.

Pada aspek *operation*, pertama dapat mengontrol sistim *switching*. Pengaturan ini memungkinkan untuk mengatur peralatan secara *remote* seperti CB, contactor, switch pada beban-beban seperti motor. Kedua, *overload capacity advisement*. Fungsi ini dapat mungkin akan sangat berguna bagi para operator ketika terjadi masalah seperti beban berlebih, temperatur berlebih dengan memberikan masukan-masukan yang mungkin bisa dilakukan untuk mengatasi gangguan tersebut.

Pada aspek proteksi pertama, *protective device function*. Jadi ketika terjadi gangguan sehingga *trip* pada breaker, maka lokasi gangguan akan dengan mudah diketahui. Selanjutnya penyebab / parameter penyebabnya akan diketahui dengan mudah. Kedua, *protective device settings*. Ketika suatu komponen dari industri perlu mengalami semacam perawatan, rusak, penggantian, maka bagian itu harus "lepas" untuk sementara. Dengan adanya fungsi ini, maka memungkinkan untuk "melepasnya" secara remote.

2.2 Energi Conservation Strategi II

Fokus *Energy Conservation Strategy I* mengarah pada penghematan energi listrik yang digunakan. Sedangkan pada *Energi Conservation Strategy II* mengarah

pada aspek pengoptimalisasian suatu proses. Mengintegrasikan energi dan proses suatu system adalah fokus utamanya.

Mengintegrasikan system energi dapat diartikan sebagai tindakan pengoptimalisasian. Berbeda dengan ECS I (*Energy Conservation Strategy I*) yaitu penghematan, ECS II malah mengoptimalkan suatu penggunaan energi. Intinya dengan system yang baik penggunaan energi yang sama bisa menghasilkan hal lebih dibanding sebelumnya (Tanpa ECS II).

Mengintegrasikan proses mempunyai kaitan yang erat dengan mengintegrasikan *energy system*. Dengan pengotimalisasian suatu penggunaan energi maka dapat mencegah energi terbuang sia-sia, hal itu bisa tercapai jika mengitegrasiakan suatu proses yang baik. Dengan memperbaiki proses yang buruk, otomatis kita bisa mengetahui dimana letak ketidakefektifan energi, selanjutnya mengadakan perbaikan dan terciptalah *system* yang mempunyai *output* lebih.

Untuk mengadakan pengotimalisasian penggunaan energi dan perbaikan proses, mendapatkan informasi adalah jalan pertama yang ditempuh. Dengan mengadakan audit energi maka akan didapat informasi yang dibutuhkan untuk melakukan perubahan-perubahan. Selanjutnya akan didapat beberapa *option* untuk diterapkan dalam mengatasi permasalahan.

Ada dua level dalam proses audit energi. Level pertama lebih mengarah pada *observasi*. Tim audit mengadakan perkiraan-perkiraan pada setiap bagian, lalu mengadakan pengukuran penggunaan energi. Level kedua agak berbeda dibanding level pertama. Besarnya penggunaan energi merupakan hal yang penting, karena tanpa management energi bagian yang menggunakan energi besar, lebih memungkinkan ketidakefektifannya dibanding bagian yang menggunakan energi lebih kecil. Oleh karena itu harus dibuat batasan yang jelas tentang hal ini.

Selanjutnya pada setiap level dibagi menjadi empat fase. Fase pertama mengadakan analisa bagian-bagian mana yang mempunyai potensi mengalami gangguan. Gangguan bisa berarti permasalahan hasil produksi yang tidak maksimal, kurang dalam management waktu dan kurangnya sumber daya manusia.

Fase kedua mengarah pada penganalisaan proses produksi (*production flow*). Dengan analisa ini didapat informasi pada bagian mana terdapat kelemahan proses produksi. Dengan memodelkan proses produksi akan didapat prinsip kerja pada setiap bagian sehingga lebih memudahkan dalam mengetahui proses produksi. Seperti, pada bagian *packing* terfokus pada pengepakan, bagian *cooking* terfokus pada pemasakkan, dan lain-lain.

Fase yang ketiga mengarah pada gagasan ide untuk mengatasi masalah. Setelah mengadakan pemodelan pada fase dua maka diketahui detail *step by step* pada *production flow*. Selanjutnya tiap anggota tim bisa menganalisa dan membuat gagasan unik dalam mengatasi permasalahan. Setiap anggota punya solusi yang berbeda-beda, karena tim terdiri dari beberapa orang.

Fase terakhir, fase keempat. Fokusnya lebih mengarah pada pertanggungjawaban. Setelah tim audit energi melakukan serangkaian proses maka sekarang saatnya menyampaikan beberapa *option* untuk diadakan perubahan. Pada fase ketiga setiap anggota menyampaikan gagasannya, maka sekarang saatnya menganalisa setiap gagasan. Setiap gagasan terbaik dikelompokkan menjadi beberapa bagian. Pengelompokan berdasarkan besar biaya untuk merealisasikan ide, tingkat resiko, dan perhitungan keuangan tentang waktu kembalinya modal. Selanjutnya setiap gagasan akan disusun dengan spesifikasi gagasan yang lebih murah biaya realisasinya, tingkat resikonya rendah dan waktu pengembalian modalnya pendek akan menjadi prioritas utama penyampaian dibanding yang lainnya.

2.3 HVAC (Heat Ventilation Air Conditioner)

Dalam setiap industri energi yang paling besar digunakan adalah untuk pemindahan *heat*. Hal ini dilakukan untuk berbagai keperluan. Seperti, pada bagian *boiler* membutuhkan suhu yang tinggi untuk memanaskan sesuatu, *chiller* membutuhkan suhu yang rendah untuk mendinginkan sesuatu. Hal ini sangat umum sekali pada industri.

Permasalahan yang timbul adalah kurang baiknya penanganan pada bagian ini akan menyebabkan pemborosan energi dan berdampak pada *cost*. Pada

beberapa industri dengan mengaplikasikan ECS I atau ECS II pada bagian ini dapat mengatasi masalah pemborosan energi ini.

Penggunaan HVAC dalam suatu industri sangat luas sekali. Selain proses produksi menggunakan *heat transfer* (*boiler*, *chiller*, dan lain-lain), proses non-produksi pun menggunakannya. Seperti penggunaan pendingin ruang (AC). Solusi ini umum dilakukan untuk mengatasi tingginya temperatur seperti di Indonesia. Selanjutnya, dengan rendahnya kesadaran efisiensi energi setiap individu, maka dengan mudah energi terbuang sia-sia pada penerapannya. Maka cara mengatasi masalah ini *power management system* jangkauannya menjadi lebih luas lagi, mengarah ke aspek setiap SDM dalam industri. Hal ini tidak menjadi bahasan pada topik ini, aspek teknis adalah fokus utamanya, seperti pada *boiler*, *chiller* dan lain-lain.

Umumnya antara proses pemanasan dan pendinginan pada industri dilakukan saling berkaitan. Seperti pemanasan dilakukan untuk merubah air menjadi uap menggerakkan generator, selanjutnya uap ditangkap untuk kembali didinginkan menjadi air.

2.4 Transformator

2.4.1 Pendahuluan

Transformator adalah suatu alat listrik yang memindahkan dan mengubah energi listrik dari satu atau lebih rangkaian listrik kerangkaian listrik yang lain, melalui suatu gandengan magnet dan berdasarkan prinsip induksi-elektromagnet. Transformator digunakan secara luas, baik dalam bidang tenaga listrik maupun elektronika. Penggunaan transformator dalam *system* tenaga memungkinkan terpilihnya tegangan yang sesuai, dan ekonomis untuk tiap-tiap keperluan misalnya kebutuhan akan tegangan tinggi dalam pengiriman daya listrik jarak jauh.

Dalam bidang elektronika, transformator digunakan antara lain sebagai gandengan impedansi antara sumber dan beban; untuk memisahkan satu rangkaian dari rangkaian yang lain; dan untuk menghambat arus searah sambil tetap melakukan atau mengalirkan arus bolak-balik antara rangkaian. Berdasarkan frekuensi, transformator dapat dikelompokkan sebagai berikut :

1. Frekuensi daya, 50 – 60 c/s.
2. Frekuensi pendengaran, 50 c/s – 20 c/s.
3. Frekuensi radio, diatas 30 c/s.

Dalam bidang tenaga listrik pemakaian transformator dikelompokkan menjadi :

1. Transformator daya;

Trafo ini biasanya disebut sebagai Trafo penaik tegangan (*step up*). Trafo ini biasanya digunakan untuk menaikkan tegangan pembangkitan menjadi tegangan transmisi.

2. Transformator distribusi;

Disebut juga trafo penurun tegangan (*step down*). Trafo ini biasanya digunakan untuk menurunkan tegangan transmisi menjadi tegangan distribusi.

3. Transformator pengukuran;

Disebut juga Trafo instrumen, terdiri atas transformator arus dan transformator tegangan. Trafo instrumen ini digunakan untuk pengukuran. Trafo ini dipakai untuk menurunkan arus dan tegangan agar dapat terjangkau oleh *range* alat ukur. Trafo pengukuran ini dibedakan menjadi dua macam yaitu:

- Trafo arus (*current transformer-CT*).

Trafo arus digunakan untuk mengukur arus beban suatu rangkaian listrik. Dengan menggunakan trafo arus maka arus beban yang besar dapat diukur oleh meter pengukuran yang *rangennya* tidak terlalu besar. Trafo arus ini dapat menyebabkan bahaya jika rangkaian sekundernya terbuka, karena jika rangkaian sekunder terbuka beda potensial pada rangkaian sekundernya sangat besar.

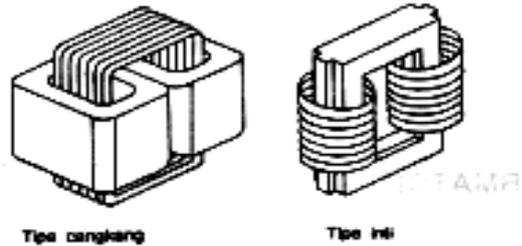
- Trafo tegangan (*potensial transformer-PT*).

Trafo tegangan digunakan untuk mengukur tegangan pada suatu rangkaian listrik. Untuk keamanan, rangkaian sekunder pada trafo tegangan dihubungkan ke tanah/*di ground*. Hal ini diperlukan untuk mencegah adanya beda potensial antara kumparan primer dan sekundernya.

Kerja transformator yang berdasarkan prinsip induksi-elektromagnet, menghendaki adanya gandengan magnet antara rangkaian primer dan

rangkaian sekunder. Gandengan magnet ini berupa inti besi tempat melakukan fluks bersama.

Berdasarkan cara melilitkan kumparan pada inti, dikenal dua macam transformator, yaitu tipe inti dan tipe cangkang.



Gambar 2.1. Jenis transformator berdasarkan cara melilitkan kumparan pada inti.

Sumber: Zuhail (1991., p.16)

2.4.2 Prinsip Kerja

Ketika kumparan primer diberi tegangan, hal ini akan menimbulkan arus sinusoide. Arus tersebut menyebabkan terjadinya medan magnet pada inti besi yang disebut fluks (berbentuk sinusoide). Sehingga pada kumparan sekunder yang mendapat perubahan fluks dari inti besi (induksi) akan timbul Gerak Gaya Listrik (GGL) yang bentuknya juga sinusoide.

Besarnya GGL induksi pada kumparan primer adalah:

$$e_p = -N_p \frac{d\phi}{dt} \text{ volt} \quad (2.1)$$

dimana:

e_p = GGL induksi pada kumparan primer.

N_p = Jumlah lilitan kumparan primer.

$d\phi$ = Perubahan garis-garis gaya magnet dalam satuan weber.

dt = Perubahan waktu dalam satuan detik.

Fluks magnet yang menginduksikan GGL induksi e_p juga dialami oleh kumparan sekunder karena merupakan fluks bersama (*mutual fluks*). Dengan

demikian fluks tersebut menginduksikan GGL induksi e_s pada kumparan sekunder:

$$e_s = -N_s \frac{d\phi}{dt} \text{ volt} \quad (2.2)$$

dimana N_s adalah jumlah lilitan kumparan sekunder.

Dari persamaan e_p dan e_s didapatkan perbandingan lilitan berdasarkan perbandingan GGL induksi, yaitu :

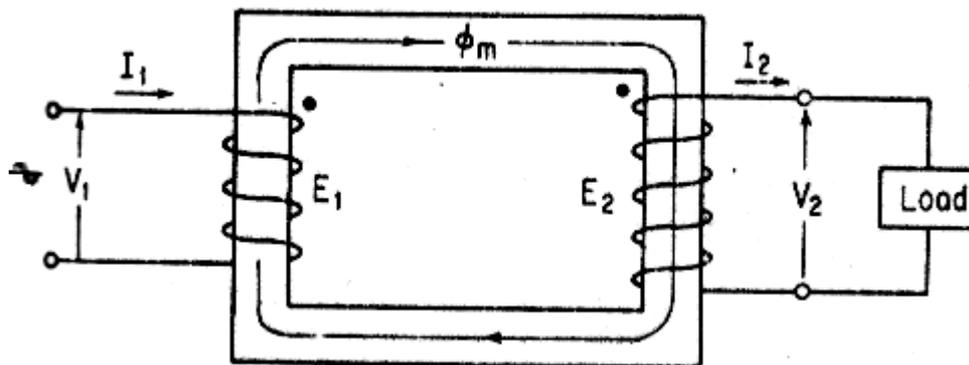
$$a = \frac{e_p}{e_s} = \frac{N_p}{N_s} \quad (2.3)$$

a = nilai perbandingan lilitan transformator (*turn ratio*).

Apabila, $a < 1$, maka transformator berfungsi untuk menaikkan tegangan (*step up*).

$a > 1$, maka transformator berfungsi untuk menurunkan tegangan (*step down*).

Perubahan arus yang terjadi pada rangkaian primer akan menghasilkan terjadinya medan magnetis dimana medan magnetis ini selanjutnya akan menginduksi rangkaian sekunder sehingga terjadi perubahan tegangan pada bagian sekunder tersebut. Dengan menambahkan beban pada bagian sekunder maka arus akan mengalir pada transformator. Hal ini menyebabkan terjadinya proses *transfer* energi dari rangkaian yang satu dengan rangkaian yang lain.



Gambar 2.2. *Step-Down Transformer* Ideal dengan *Magnetic Flux* pada *Core/Intinya*.

Sumber: Kosow, Irving L. (1972., p.517)

Desain Transformator yang paling sederhana seperti yang ditunjukkan pada gambar. Arus yang melewati *coil* pada bagian primer akan menghasilkan medan magnetis. *Coil* primer dan sekunder melilit sebuah inti yang memiliki *magnetic permeability* yang tinggi, contohnya besi; hal ini menjamin bahwa semua garis-garis medan magnet yang dihasilkan oleh lilitan primer menginduksi inti besi lalu melewati lilitan sekunder seperti yang terjadi pada lilitan primer.

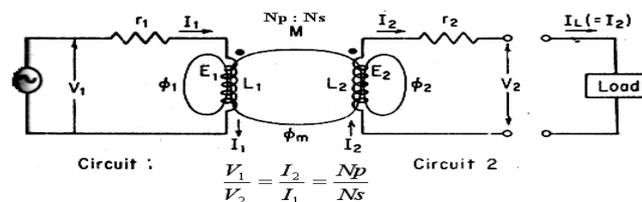
Tegangan yang ada dibagian sekunder (V_s) merupakan hasil dari perkalian antara tegangan pada bagian primer (V_p) dengan *ratio* dari jumlah lilitannya atau dengan perbandingan dari arus yang mengalir pada lilitan sekunder dengan lilitan primer. Hal ini dapat ditunjukkan dengan rumus :

$$\frac{N_p}{N_s} = \frac{V_p}{V_s} = \frac{I_s}{I_p} \quad (2.4)$$

Keterangan :

- N_p = Jumlah lilitan primer.
- N_s = Jumlah lilitan sekunder.
- V_p = Tegangan *Input* (primer).
- V_s = Tegangan *Output* (sekunder).
- I_p = Arus primer (*Input*).
- I_s = Arus *Output* (*Sekunder*).

Dengan jumlah lilitan yang tepat, maka transformator dapat dipakai untuk memperbesar tegangan yaitu dengan cara membuat jumlah lilitan pada sisi sekunder (N_s) lebih banyak daripada sisi primer (N_p). Demikian juga sebaliknya, transformator juga dapat digunakan untuk menurunkan tegangan, yaitu dengan cara membuat lilitan pada sisi sekunder jumlahnya lebih sedikit daripada sisi primer. Skematik dari transformator dapat dilihat pada gambar berikut :



Gambar 2.3. Skematik Transformator.

Sumber: Kosow, Irving L. (1972., p.515)

Jika lilitan sekunder dihubungkan dengan beban maka hal tersebut akan menyebabkan arus mengalir, tenaga listrik akan ditransmisikan dari rangkaian primer menuju kerangkaian sekunder. Idealnya, transformator sangatlah efisien karena semua *incoming* energi akan ditransformasi mulai dari saat berada di lilitan primer dimana energi diubah menjadi medan magnetis hingga kelilitan sekunder. Jika kita menemukan kondisi ini, *incoming electric power*-nya harus sama dengan *outgoing power*.

$$P_{incoming} = I_P V_P = P_{outgoing} = I_S V_S \quad (2.5)$$

2.4.3 Bagian-Bagian dari Transformator

Suatu transformator terdiri atas beberapa bagian yang mempunyai fungsi masing-masing

a. Bagian utama.

1. Inti besi.

Inti besi berfungsi untuk mempermudah jalan fluks, yang ditimbulkan oleh arus listrik yang melalui kumparan. Merupakan sirkuit magnetis yang dibuat dari besi silikon dengan metode penyambungan dan membentuk rangkaian tertutup. Hal tersebut untuk mengurangi rugi-rugi besi yang ditimbulkan oleh “*Eddy Current*”, getaran dan bising. Berfungsi untuk menampung fluks yang ditimbulkan arus listrik yang ada pada belitan kumparan trafo.

2. Kumparan trafo.

Beberapa lilitan kawat berisolasi membentuk suatu kumparan. Kumparan tersebut diisolasi baik terhadap inti besi maupun terhadap kumparan lain dengan isolasi padat seperti karton, pertinax dan lain-lain.

Umumnya pada trafo terdapat kumparan primer dan sekunder. Bila kumparan primer dihubungkan dengan tegangan/arus bolak-balik maka pada kumparan tersebut timbul fluks yang menginduksikan tegangan, bila pada rangkaian sekunder ditutup (rangkaian beban) maka akan mengalir arus pada kumparan ini. Jadi kumparan sebagai alat transformasi tegangan dan arus.

3. Kumparan tertier.

Kumparan tertier diperlukan untuk memperoleh tegangan tertier atau untuk kebutuhan lain. Untuk kedua keperluan tersebut, kumparan tertier selalu dihubungkan delta. Kumparan tertier sering dipergunakan juga untuk penyambungan peralatan bantu seperti kondensator *synchrone*, kapasitor *shunt* dan *reactor shunt*, namun demikian tidak semua trafo daya mempunyai kumparan tertier.

4. Minyak trafo.

Kumparan dan inti trafo seluruhnya direndam dalam minyak trafo, terutama trafo-trafo tenaga yang berkapasitas besar dimana minyak trafo selain berfungsi sebagai media isolasi juga sebagai media pemindah panas (sebagai pendingin), karena itu minyak trafo harus mempunyai tegangan tembus dan daya hantar panas yang cukup tinggi. Dalam pemakaiannya, minyak ini karena pengaruh panas dan rugi-rugi dalam trafo akan timbul hidrokarbon, yang bisa menurunkan tegangan tembus minyak. Minyak trafo harus memenuhi persyaratan sebagai berikut:

- Kekuatan isolasi tinggi;
- Penyalur panas yang baik berat jenis yang kecil, sehingga partikel-partikel dalam minyak dapat mengendap dengan cepat;
- Viskositas yang rendah agar lebih mudah bersirkulasi dan kemampuan pendinginan menjadi lebih baik;
- Titik nyala yang tinggi, tidak mudah menguap yang dapat membahayakan;
- Tidak merusak bahan isolasi padat;
- Sifat kimia yang stabil.

Ketahanan listrik minyak dapat turun karena pengaruh asam, kandungan air, dan kotoran lain (misal: kertas, kayu, dan tekstil). Untuk memperbaiki mutu minyak trafo perlu dilakukan proses pemurnian minyak yaitu dengan menggunakan mesin *treatment/purifier*. Dalam proses *treatment* ini minyak trafo dipanaskan oleh *heater*, divakum, dan disaring melalui *filter* untuk menghilangkan kotoran yang terkandung dalam minyak trafo.

5. Bushing.

Hubungan antara trafo ke jaringan dibagian luar tangki melalui sebuah *bushing* yaitu sebuah konduktor yang diselubungi oleh isolator, dimana alat ini berfungsi sebagai penyekat antara konduktor tersebut dengan tangki trafo. Biasa dibuat dari bahan porselen, damar sintesis, ataupun dengan menggunakan terminal batang tembaga dengan isolator damar sintesis. *Bushing* pada trafo ada 2 (dua) jenis, yaitu *bushing* primer dan *bushing* sekunder. *Bushing* primer digunakan sebagai *line in* dari tegangan primer yang akan masuk ke trafo yang berasal dari Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM). Pada setiap trafo terdapat 3 (tiga) buah *bushing* primer yang digunakan untuk 3 (tiga) fasa yaitu fasa u, fasa v dan fasa w.

Sedangkan *bushing* sekunder digunakan sebagai *line out* dari tegangan sekunder yang akan keluar dari trafo yang selanjutnya masuk ke *Low Voltage (LV) Panel*. Pada trafo pada umumnya terdapat 4 *bushing* sekunder, yaitu untuk fasa u, fasa v, fasa w dan fasa n (netral). Tapi terdapat pula trafo yang memiliki 7 *bushing* sekunder, kondisi ini terdapat pada trafo yang digunakan untuk *tapping* tegangan sekunder (110 dan 220 Volt), jadi 3 (tiga) *bushing* untuk fasa 110, 3 (tiga) *bushing* untuk fasa 220, dan *bushing* terakhir untuk titik netral.

6. Tangki dan Konservator.

Dibuat dari plat baja bersepuh lapisan seng, berfungsi untuk tempat minyak isolasi, sehingga harus kedap terhadap uap air. Untuk menampung pemuatan minyak trafo, maka tangki dilengkapi dengan konservator. Konservator adalah sebuah tabung yang mempunyai sebagian ruang kosong untuk menampung volume pemuatan minyak trafo.

b. Peralatan Bantu.

1. Pendingin.

Pada inti besi dan kumparan-kumparan akan timbul panas akibat rugi-rugi besi dan rugi-rugi tembaga. Bila panas tersebut mengakibatkan kenaikan suhu yang berlebihan, akan merusak isolasi didalam trafo, maka untuk mengurangi kenaikan suhu yang berlebihan tersebut trafo perlu dilengkapi dengan *system* pendingin untuk menyalurkan panas keluar trafo. Media yang

digunakan pada *system* pendingin dapat berupa: Udara/gas, minyak dan air. Pengalirannya (sirkulasi) dapat dengan cara :

- Alamiah (*natural*).
- Tekanan/paksaan (*forced*).

Pada umumnya *system* pendingin menggunakan *system* ONAN (*Oil Natural Air Natural*), yaitu pendinginan lilitan trafo menggunakan minyak isolasi yang bekerja secara alamiah dan pendinginan kembali minyak isolasi menggunakan udara yang bekerja secara alamiah pula melalui dinding tangki dan sirip-siripnya. Untuk trafo distribusi dengan kapasitas yang lebih besar dan pembebanan yang lebih, maka *system* pendingin dapat menggunakan kipas angin / *fan* yang diputar oleh motor listrik. Contoh: *system* ONAF (*Oil Natural Air Force*).

2. Tap Changer (perubah tap).

Tap Changer adalah perubah perbandingan transformator untuk mendapatkan tegangan operasi sekunder sesuai yang diinginkan dari tegangan jaringan/primer yang berubah-ubah. *Tap changer* dapat dilakukan baik dalam keadaan berbeban (*on-load*) atau dalam keadaan tak berbeban (*off load*) tergantung jenisnya. Alat ini berfungsi untuk mendapatkan tegangan operasi pada sisi beban/sekunder yang lebih baik sesuai dengan standar yang dibutuhkan jika tegangan disisi primer berubah-ubah. Pada trafo distribusi pemindahan sadapan (*tap changer*) dilakukan dalam kondisi tanpa beban (*off load*), yang dapat dibagi lagi menjadi 3 (tiga) macam, yaitu:

- ❖ Sadapan 3 langkah: 21 ; 20 ; 19 kV.
- ❖ Sadapan 5 langkah: 22 ; 21 ; 20 ; 19 ; 18 kV.
- ❖ Sadapan 5 langkah: 21 ; 20.5 ; 20 ; 19.5 ; 19 kV.

3. Alat pernapasan.

Karena pengaruh naik turunnya beban trafo maupun suhu udara luar, maka suhu minyakpun akan berubah-ubah mengikuti keadaan tersebut. Bila suhu minyak tinggi, minyak akan memuai dan mendesak udara di atas permukaan minyak keluar dari dalam tangki, sebaliknya bila suhu minyak turun, minyak menyusut maka udara luar akan masuk ke dalam tangki.

Kedua proses di atas disebut pernapasan trafo. Permukaan minyak trafo

akan selalu bersinggungan dengan udara luar yang menurunkan nilai tegangan tembus minyak trafo, maka untuk mencegah hal tersebut, pada ujung pipa penghubung udara luar dilengkapi tabung berisi kristal zat hygroskopis.

4. Indikator.

Untuk mengawasi selama trafo beroperasi, maka perlu adanya *indicator* pada trafo sebagai berikut:

- Indikator suhu minyak.
- Indikator permukaan minyak.
- Indikator *system* pendingin.
- Indikator kedudukan *tap*.
- dan sebagainya.

c. Peralatan Proteksi.

1. Relay *Buchholz*.

Relay *Buchholz* adalah relay alat/relay untuk mendeteksi dan mengamankan terhadap gangguan di dalam trafo yang menimbulkan gas.

Gas yang timbul diakibatkan oleh:

- Hubung singkat antar lilitan pada/dalam phasa.
- Hubung singkat antar phasa.
- Hubung singkat antar phasa ke tanah.
- Busur api listrik antar laminasi.
- Busur api listrik karena kontak yang kurang baik.

Relay *Buchholz* digunakan untuk gangguan kecil yang berpotensi menjadi gangguan besar setelah selang waktu tertentu, misalnya percikan busur api yang kecil dalam waktu tertentu mungkin menjadi besar. Relay ini pertama kali hanya memberi sinyal pada saat terjadi gangguan, *tetapi* jika gangguan cukup besar dan dengan kecepatan tertentu maka relay *Buchholz* akan bekerja pada tingkat dua dan akan memberi perintah pada pemutus daya untuk trip.

2. Pengaman tekanan lebih.

Alat ini berupa membran yang dibuat dari kaca, plastik, tembaga atau katup berpegas, berfungsi sebagai pengaman tangki trafo terhadap kenaikan

tekan gas yang timbul di dalam tangki yang akan pecah pada tekanan tertentu dan kekuatannya lebih rendah dari kekuatan tangki trafo.

3. Relay tekanan lebih.

Relay ini berfungsi hampir sama seperti relay Bucholz, yakni mengamankan terhadap gangguan di dalam trafo. Bedanya relay ini hanya bekerja oleh kenaikan tekanan gas yang tiba-tiba dan langsung mentriapkan PMT atau *circuit breaker*.

4. Relay Diferensial.

Berfungsi mengamankan trafo dari gangguan di dalam trafo antara lain *flash over* antara kumparan dengan kumparan atau kumparan dengan tangki atau belitan dengan belitan di dalam kumparan ataupun beda kumparan. Relay diferensial digunakan juga untuk mengamankan gangguan antar fasa dan 1 fasa ketanah di mana trafo tersebut dibumikan.

5. Relay Arus lebih.

Berfungsi mengamankan trafo arus yang melebihi dari arus yang diperkenankan lewat dari trafo tersebut dan arus lebih ini dapat terjadi oleh karena beban lebih atau gangguan hubung singkat. Relay arus lebih digunakan sebagai pengaman cadangan relay diferensial ataupun sebagai pengaman cadangan bila pengaman di penyulang gagal bekerja. Relay ini biasanya diletakkan dikedua sisi dan titik netral pembumian atau hanya disalah satu sisi transformator dan dititik netralnya.

6. Relay Tangki tanah.

Berfungsi untuk mengamankan trafo bila ada hubung singkat antara bagian yang bertegangan dengan bagian yang tidak bertegangan pada trafo. Relay tangki digunakan untuk mengamankan gangguan 1 fasa ke bumi. Dalam hal ini badan trafo diisolasi dan dibumikan melalui relay arus lebih. Isolasi transformator terhadap bumi minimal 10 ohm (Ω).

7. Relay Hubung tanah.

Berfungsi untuk mengamankan trafo bila terjadi gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah.

8. Relay Termis.

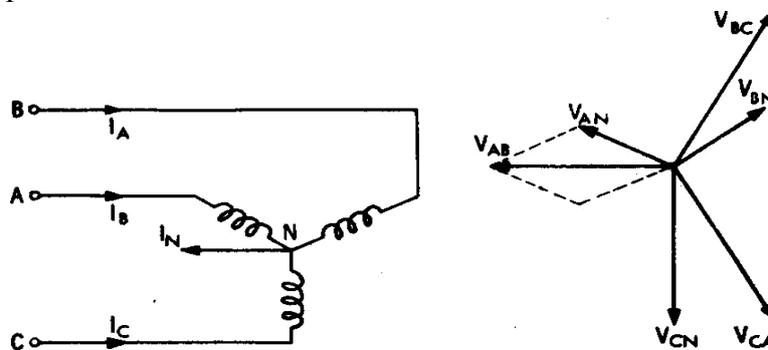
Berfungsi untuk mencegah/mengamankan trafo dari kerusakan isolasi kumparan, akibat adanya panas lebih yang ditimbulkan oleh arus lebih. Besaran yang diukur di dalam relay ini adalah kenaikan temperatur. Relay suhu umumnya mempunyai beberapa tingkat, tingkat pertama pada transformator ONAF atau OFAF adalah untuk menggerakkan kipas angin. Tingkat kedua membunyikan alarm/sinyal sehingga memungkinkan mengurangi beban dengan cara pemindahan beban. Tingkat ketiga langsung pemutus diperintahkan untuk trip.

2.4.4 Hubungan Transformator Tiga Fasa

Pada umumnya dikenal tiga cara untuk menyambung lilitan pada transformator tiga fasa untuk masing-masing sisi, yaitu :

- Hubungan Bintang (Y).

Arus pada transformator tiga fasa dengan kumparan yang dihubungkan secara bintang yaitu, I_A , I_B , dan I_C , masing-masing mempunyai beda fasa sebesar 120° .

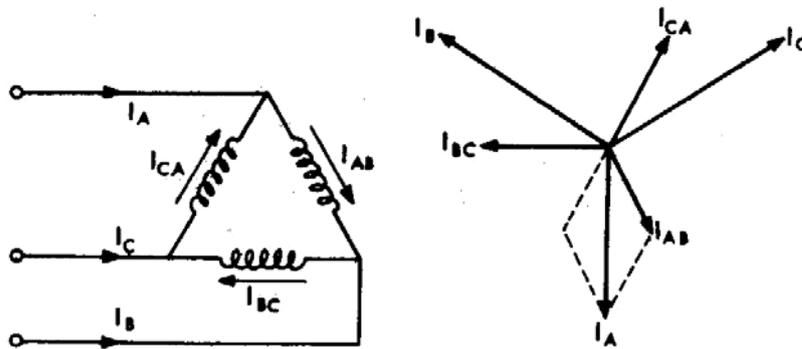


Gambar 2.4. Rangkaian Hubungan Bintang

Sumber: Zuhail (1991., p.43)

- Hubungan Segitiga (Δ).

Tegangan pada transformator tiga fasa dengan kumparan yang dihubungkan secara delta, yaitu V_{AB} , V_{BC} , dan V_{CA} , masing-masing mempunyai beda fasa sebesar 120° .

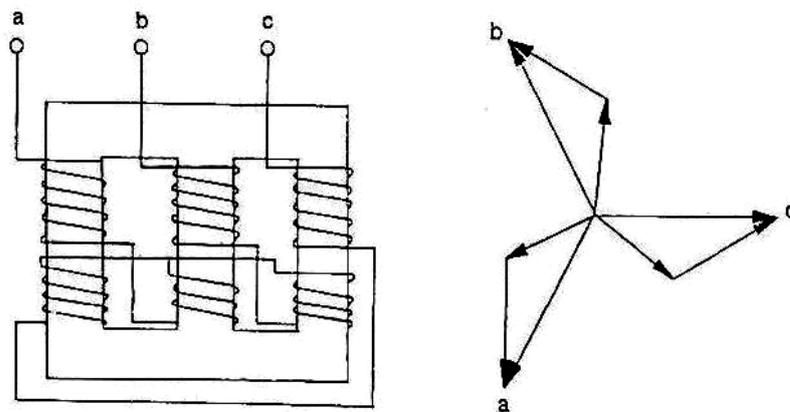


Gambar 2.5. Rangkaian Hubungan Delta

Sumber: Zuhail (1991., p.42)

- Hubungan Zig-zag.

Pada hubungan zig-zag dimana masing-masing lilitan 3 fasa pada sisi tegangan rendah dibagi menjadi dua bagian dan masing-masing dihubungkan pada kaki yang berlainan.



Gambar 2.6. Rangkaian Hubungan Zig-Zag.

Sumber: Zuhail (1991., p.45)

2.4.5 Pengujian Transformator

Pengujian transformator dilaksanakan menurut SPLN'50-1982 dengan melalui tiga macam pengujian, sebagaimana diuraikan juga dalam IEC 76 (1976), yaitu :

1. Pengujian Rutin.

Pengujian rutin adalah pengujian yang dilakukan terhadap setiap transformator, meliputi:

- Pengujian tahanan isolasi;

Pengukuran tahanan isolasi dilakukan pada awal pengujian dimaksudkan untuk mengetahui secara dini kondisi isolasi trafo, untuk menghindari kegagalan yang fatal dan pengujian selanjutnya, pengukuran dilakukan antara:

- sisi HV – LV.
- sisi HV – *Ground*.
- sisi LV- *Ground*.
- X1/X2-X3/X4 (trafo 1 phasa).
- X1-X2 dan X3-X4)trafo 1 phasa yang dilengkapi dengan *circuit breaker*.

Pengukuran dilakukan dengan menggunakan *megger*, lebih baik yang menggunakan baterai karena dapat membangkitkan tegangan tinggi yang lebih stabil. Harga tahanan isolasi ini digunakan untuk kriteria kering tidaknya trafo, juga untuk mengetahui apakah ada bagian-bagian yang terhubung singkat.

- Pengujian tahanan kumparan;

Pengukuran tahanan kumparan adalah untuk mengetahui berapa nilai tahanan listrik pada kumparan yang akan menimbulkan panas bila kumparan tersebut dialiri arus.

Nilai tahanan belitan dipakai untuk perhitungan rugi-rugi tembaga trafo. Pada saat melakukan pengukuran yang perlu diperhatikan adalah suhu belitan pada saat pengukuran yang diusahakan sama dengan suhu udara sekitar, oleh karenanya diusahakan arus pengukuran kecil.

Peralatan yang digunakan untuk pengukuran tahanan di atas 1 ohm adalah *Wheatstone Bridge*, sedangkan untuk tahanan yang lebih kecil dari 1 Ohm digunakan *Precision Double Bridge*. Pengukuran dilakukan pada setiap phasa trafo, yaitu antara terminal:

Untuk terminal tegangan tinggi:

- a. Trafo 3 Phasa.
 - Phasa A - Phasa B.

- Phasa B - Phasa C.
 - Phasa C - Phasa A.
- b. Trafo 1 phasa.
- Terminal H1-H2 untuk trafo *double bushing*.
 - Terminal H1-Ground untuk trafo *single bushing*.

Untuk sisi tegangan rendah:

- a. Trafo 3 Phasa.
- Phasa A- Phasa B.
 - Phasa B - Phasa C.
 - Phasa C - Phasa A.

- b. Trafo 1 phasa.
- Terminal X1-X4 dengan X2-X3 dihubung singkat.

Pengukuran dengan *Wheatstone bridge* digunakan untuk tahanan di atas 1 ohm. Pengukuran dengan *Precision double bridge* digunakan untuk tahanan yang lebih kecil dari 1 ohm.

- Pengukuran perbandingan belitan.

Pengukuran perbandingan belitan adalah untuk mengetahui perbandingan jumlah kumparan sisi tegangan tinggi dan sisi tegangan rendah pada setiap *tapping*, sehingga tegangan *output* yang dihasilkan oleh trafo sesuai dengan yang dikehendaki. toleransi yang diijinkan adalah:

- 0,5 % dari rasio tegangan atau
- 1/10 dari persentase impedansi pada *tapping nominal*.

Pengukuran perbandingan belitan dilakukan pada saat *semi assembling* yaitu setelah *coil* trafo dirakit dengan inti besi dan setelah *tap changer* terpasang, pengujian kedua ini bertujuan untuk mengetahui apakah posisi *tap* trafo telah terpasang secara benar dan juga untuk pemeriksaan *vector group* trafo. Pengukuran dapat dilakukan dengan menggunakan *Transformer Turn Ratio Test (TTR)*, misalnya merek James G. Biddle Co Cat. No.55005 atau Cat. No. 550100-47.

- Pengujian perbandingan belitan Pengujian *vector group*.

Pemeriksaan *vector group* bertujuan untuk mengetahui apakah polaritas terminal-terminal trafo positif atau negatif. Standar dari notasi yang dipakai adalah *Additive* dan *Subtractive*.

- Pengujian rugi besi dan arus beban kosong.

Pengukuran ini untuk mengetahui berapa daya yang hilang yang disebabkan oleh rugi histerisis dan *eddy current* dari inti besi (*core*) dan besarnya arus yang ditimbulkan oleh kerugian tersebut. Pengukuran dilakukan dengan memberikan tegangan nominal pada salah satu sisi dan sisi lainnya dibiarkan terbuka.

- Pengujian rugi tembaga dan impedansi.

Pengukuran ini bertujuan untuk mengetahui besarnya daya yang hilang pada saat trafo beroperasi akibat dari tembaga (W_{cu}) dan *stray loss* (W_s) trafo yang digunakan. Pengukuran dilakukan dengan memberi arus nominal pada salah satu sisi dan pada sisi yang lain dihubung-singkat, dengan demikian akan terbangkit juga arus nominal pada sisi tersebut, sehingga trafo seolah-olah dibebani penuh. Perhitungan rugi beban penuh (W_{cu}) dan impedansi (I_z), dimana pada waktu pengukuran tahanan belitan (R), W_{cu} dan I_z dilakukan pada saat suhu rendah (udara sekitar (t)), maka W_{cu} dan I_z perlu dikoreksi terhadap suhu acuan 75°C .

- Pengujian tegangan terapan (*Withstand Test*).

Pengujian ini dimaksudkan untuk menguji kekuatan isolasi antara kumparan dan *body* tangki. Pengujian dilakukan dengan memberi tegangan uji sesuai dengan standar uji dan dilakukan pada:

- Sisi tegangan tinggi terhadap sisi tegangan rendah dan *body* yang di ke tanahkan.
- Sisi tegangan rendah terhadap sisi tegangan tinggi dan *body* yang digroundkan.
- Waktu pengujian 60 detik.

- Pengujian tegangan induksi (*Induce Test*).

Pengujian tegangan induksi bertujuan untuk mengetahui kekuatan isolasi antara *layer* dari tiap-tiap belitan dan kekuatan isolasi antara belitan

trafo. Pengujian dilakukan dengan memberi tegangan *supply* dua kali tegangan nominal pada salah satu sisi dan sisi lainnya dibiarkan terbuka. Untuk mengatasi kejenuhan pada inti besi (*core*) maka frekuensi yang digunakan harus dinaikkan sesuai dengan kebutuhan. Lama pengujian tergantung pada besarnya frekuensi pengujian.

- Pengujian kebocoran tangki.

Pengujian kebocoran tangki dilakukan setelah semua komponen trafo terpasang. Pengujian dilakukan untuk mengetahui kekuatan dan kondisi *packing* dan las trafo. Pengujian dilakukan dengan memberikan tekanan nitrogen (N₂) sebesar kurang lebih 5 psi dan dilakukan pengamatan pada bagian-bagian las dan *packing* dengan memberikan cairan sabun pada bagian tersebut. Pengujian dilakukan sekitar 3 jam apakah terjadi penurunan tekanan.

2. Pengujian jenis.

Pengujian jenis adalah pengujian yang dilaksanakan terhadap sebuah trafo yang mewakili trafo lainnya yang sejenis, guna menunjukkan bahwa semua trafo jenis ini memenuhi persyaratan yang belum diliput oleh pengujian rutin. Pengujian jenis meliputi:

- Pengujian kenaikan suhu.

Pengujian kenaikan suhu dimaksudkan untuk mengetahui berapa kenaikan suhu oli dan kumparan trafo yang disebabkan oleh rugi-rugi trafo apabila trafo dibebani. Pengujian ini juga bertujuan untuk melihat apakah penyebab panas trafo sudah cukup efisien atau belum.

Pada trafo dengan *tapping* tegangan di atas 5% pengujian kenaikan suhu dilakukan pada *tapping* tegangan terendah (arus tertinggi), pada trafo dengan *tapping* maksimum 5% pengujian dilakukan pada *tapping* nominal.

Pengujian kenaikan suhu sama dengan pengujian beban penuh, pengujian dilakukan dengan memberikan arus trafo sedemikian hingga membangkitkan rugi-rugi trafo, yaitu rugi beban penuh dan rugi beban kosong.

- Pengujian Impedansi.

Pengujian impedansi dilakukan dengan menggunakan alat bantu ukur untuk mengetahui besar impedansinya.

3. Pengujian khusus.

Pengujian khusus adalah pengujian yang lain dari uji rutin dan jenis, dilaksanakan atas persetujuan pabrik dengan pembeli dan hanya dilaksanakan terhadap satu atau lebih trafo dari sejumlah trafo yang dipesan dalam suatu kontrak. Pengujian transformator, meliputi :

- Pengujian dielektrik.
- Pengujian impedansi urutan nol pada trafo tiga fasa.
- Pengujian hubung singkat.
- Pengujian harmonik pada arus beban kosong.
- Pengujian tingkat bunyi akustik.
- Pengukuran daya yang diambil oleh motor-motor kipas dan pompa minyak.

4. Pengujian Jenis (*Type Test*).

- Pengujian tegangan *impulse*.

Pengujian *impulse* ini dimaksudkan untuk mengetahui kemampuan dielektrik dari *system* isolasi trafo terhadap tegangan surja petir. Pengujian impuls adalah pengujian dengan memberi tegangan lebih sesaat dengan bentuk gelombang tertentu. Bila trafo mengalami tegangan lebih, maka tegangan tersebut hampir didistribusikan melalui efek kapasitansi yang terdapat pada :

- Antar lilitan trafo.
- Antar *layer* trafo.
- Antara *coil* dengan *ground*.

- Pengujian tegangan tembus oli.

Pengujian tegangan tembus oli dimaksudkan untuk mengetahui kemampuan dielektrik oli. Hal ini dilakukan karena selain berfungsi sebagai pendingin dari trafo, oli juga berfungsi sebagai isolasi. Persyaratan yang ditentukan adalah sesuai dengan *standart* SPLN 49 - 1 : 1982, IEC 158 dan IEC 296 yaitu:

- Untuk nilai lebih besar atau sama dengan 30 KV/2,5 mm sebelum *purifying*.
- Untuk nilai lebih besar atau sama dengan 50 KV/2,5 mm setelah *purifying*.

2.4.6 Pemeliharaan Transformator

Memperbaiki kerusakan transformator pada umumnya memerlukan biaya yang tinggi. Kerusakan itu juga akan menyebabkan terganggunya penyediaan tenaga listrik dengan segala akibatnya bagi Pabrik. Oleh karena itu perlu diusahakan untuk mengurangi terjadinya gangguan pada transformator. Pemeliharaan yang baik akan dapat mencegah terjadinya berbagai kerusakan.

a) Cara Pemeliharaan Transformator Distribusi.

Secara berkala sebuah transformator perlu untuk diperiksa sehingga mencegah terjadinya kerusakan dengan konsekuensi kebakaran. Transformator yang telah bekerja dengan baik selama sekian tahun, disebabkan suatu kelalaian dapat secara mendadak mengalami kerusakan tanpa terlihat tanda-tanda terjadinya gangguan. Hal demikian akan menyebabkan terjadinya biaya perbaikan yang tinggi, diperlukan cadangan yang mahal, dan terdapatnya kerugian produksi.

Pada dasarnya pemeliharaan sebuah transformator yang baik terdiri atas kegiatan-kegiatan berikut yang secara berkala harus dilakukan, yaitu:

- a) Memeriksa isolasi lilitan dan keadaan minyak pendingin.
- b) Memeriksa peralatan yang dipakai seperti kipas, *system* pendinginan, *arrester* dan pentanahan.
- c) Membersihkan semua bagian transformator agar terlindung dari kotoran, karat dan korosi.
- d) Memeriksa semua peralatan pengamanan dan pengukuran.
- e) Memeriksa bagian dalam dari transformator.

Disamping itu juga harus diperhatikan dan diatur hal-hal berikut:

- a) Semua bagian transformator yang dialiri arus listrik harus bekerja dalam lingkungan yang bebas lembab.
- b) Seluruh instalasi harus bersih dari kotoran, karat dan korosi.
- c) Semua bagian yang bergerak atau berputar perlu secara teratur diminyaki.

d) Semua bejana yang berisi cairan isolasi maupun cairan perbandingan dijaga agar tidak bocor dan tidak terpengaruh cuaca.

b) Proses Pemeliharaan Transformator Distribusi.

Frekuensi pemeriksaan dan pemeliharaan sebuah transformator pada umumnya tergantung kepada besarnya daya dan pentingnya transformator dalam suatu *system*. Sebuah transformator yang besar dan mahal untuk diganti biasanya akan memerlukan pemeriksaan dan pemeliharaan yang lebih banyak daripada misalnya sebuah transformator distribusi yang kecil.

Transformator yang besar biasanya dilengkapi dengan banyak peralatan seperti pompa dan kipas angin yang pada gilirannya memerlukan pemeliharaan berkala. Berikut beberapa hal yang penting untuk diperiksa secara teratur.

1. Beban dan Tegangan.

Arus yang mengalir di dalam transformator akan menentukan jumlah *losses* berupa panas. Oleh karena itu pencatatan arus perlu dilakukan secara teratur dan sering. Bila arus melebihi suatu nilai tertentu, *tetapi* belum melebihi *setting* relay sebaiknya diberikan sebuah indikator. Salah satu caranya menggunakan suatu *system* alarm atau sebuah lampu merah yang akan memberikan indikasi yang diperlukan. Selain arus, beban dan tegangan perlu secara berkala dicatat.

2. Tinggi permukaan cairan.

Untuk mencegah panas yang berlebih pada transformator maka diperlukan pendingin. Tinggi permukaan cairan pendingin atau cairan isolasi harus dijaga agar tetap berada pada tingkat yang seharusnya. Cairan ini perlu diperiksa tiap hari dan ditambah cairan bila ternyata terjadi kekurangan karena penguapan atau kebocoran. Kebocoran perlu segera diperbaiki untuk menghindari terjadi kerusakan yang lebih parah.

3. Suhu.

Untuk sebuah transformator yang besar dan terutama pada instalasi gardu induk, suhu lingkungan perlu dicatat setiap jam. Suhu lingkungan sangat mempengaruhi karena suhu transformator yang sebenarnya merupakan penambahan dari suhu sekelilingnya. Secara umum transformator dirancang

untuk beban penuh pada suhu lingkungan dari sekitar 30°C bagi udara pendinginan dengan maksimum 40°C.

Suhu cairan juga harus dicatat setiap jam. Suhu minyak ini biasanya berada sekitar 10°C - 15°C di bawah bagian terpanas transformator, yaitu suhu lilitan. Suhu terpanas lilitan ini juga perlu dicatat setiap jam, karena suhu tinggi akan menentukan kecepatan proses penuaan dari isolasi lilitan. Bila suhu tertinggi dilampaui, beban listrik harus diturunkan atau pendinginan perlu ditingkatkan. Jika tercatat suhu mengalami kenaikan, sedangkan beban tidak berubah berarti ada sesuatu yang tidak beres pada transformator dan perlu dilakukan pemeriksaan.

4. Perubah Tegangan.

Kebanyakan transformator memiliki suatu peralatan perubah tegangan yang memungkinkan mengubah rasio perbandingan dalam keadaan berbeban atau tanpa beban. Bila sebuah transformator sedang dalam pemeliharaan atau diperbaiki, posisi semula pengubah tegangan perlu dicatat dan setelah pekerjaan selesai harus dikembalikan ke posisi semula. Bagian mekanik dari pengubah tegangan yang tampak dari luar perlu diperiksa secara berkala (tingkat aus, tingkat kekotoran, korosi, kebocoran, atau kerusakan). Bila terdapat indikasi atas fungsinya yang kurang baik, maka perlu dilakukan pertimbangan pemeriksaan internal dan pengukuran rasio perbandingan.

5. Pentanahan.

Semua bagian yang terbuat dari logam dan yang tidak dialiri arus listrik, perlu dihubungkan secara baik dengan tanah. Hubungan pentanahan ini perlu diperiksa dan diukur setiap bulan.

6. Alat proteksi.

Semua alat proteksi harus diperiksa secara berkala seperti *arrester* surja, pengamanan arus lebih, relay Buchholz, dan pengamanan diferensial. Dalam kaitan ini perlu diperhatikan apakah semua hubungan dan kontak berada dalam keadaan baik. Pemeriksaan dan pembersihan secara teratur dan berkala merupakan hal yang penting.

7. Cairan Isolasi.

Pemeriksaan dan pemeliharaan secara teratur terhadap cairan isolasi sebuah transformator merupakan cara yang paling efektif untuk mempertahankan kondisi operasinya sehingga dapat diperoleh masa pemanfaatan yang panjang. Hal penting yang perlu diperhatikan adalah bahwa udara dan kelembaban dapat berhubungan dengan dengan cairan isolator.

Oksigen di udara yang berhubungan dengan minyak yang panas dapat mengakibatkan terjadinya oksidasi dan terbentuknya bahan asam dan endapan. Kadar asam yang terdapat minyak trafo merupakan suatu ukuran taraf dateriorasi dan kecenderungan untuk membentuk endapan. Endapan ini akan sangat mengganggu karena melekat pada semua permukaan transformator dan mempersulit pendinginan. Suatu endapan setelah mencapai tebal 0,2 – 0.4 mm pada inti dan kumparan akan dapat meningkatkan suhu sampai 10 atau 15°C.

2.4.7 Rugi-Rugi pada Transformator (Losses)

Losses pada transformator bisa diakibatkan oleh:

- *Winding resistance.*

Arus yang mengalir pada kumparan akan menyebabkan timbulnya *resistive heating* pada konduktor. Pada frekuensi yang tinggi, *skin effect* dan *proximity effect* akan menyebabkan penambahan resistansi dari kumparan dan juga akan memperbesar *losses*.

- *Hysteresis losses.*

Setiap kali medan magnetiknya *reverse*, sejumlah energi hilang akibat adanya histerisis pada bagian inti. Untuk setiap material dari inti transformator, *loss* yang terjadi akibat *Hysteresis* ini sebanding dengan frekuensinya dan merupakan fungsi dari *peak flux density*.

- *Eddy currents.*

Material yang bersifat ferromagnetik merupakan konduktor yang bagus, dan inti transformator dibuat dari material padat yang *short circuit* pada tiap bagian pada batang inti besi. Oleh karena itu arus Eddy berputar-putar di dalam inti transformator dan ini merupakan hal yang normal jika terdapat fluks magnetik. *Eddy current* ini jugalah yang menyebabkan terjadinya

resistive heating pada inti transformator. Rugi-rugi akibat *Eddy Current* merupakan fungsi yang kompleks dari frekuensi suplai kuadrat dan akar dari ketebalan material.

- *Magnetostriction.*

Fluks magnetik pada material yang bersifat ferromagnetik, misalnya inti transformator, menyebabkan terjadinya *magnetostriction*. Efek ini menyebabkan munculnya suara dengungan pada transformator. Hal ini menyebabkan adanya *frictional heating* pada *core* yang terkena efek ini.

- *Mechanical losses.*

Pada peristiwa *magnetostriction*, medan magnetik yang berubah-ubah menyebabkan terjadinya fluktuasi gaya elektromagnetik antara lilitan primer dan sekunder. Vibrasi ini terjadi pada logam yang saling berdekatan, membuat suara dengungan menjadi lebih keras dan juga peristiwa ini akan menyerap sejumlah kecil daya.

- *Stray losses.*

Akan terjadi induktansi bocor saat ada energi yang disuplai balik terhadap *source* pada setengah *cycle* berikutnya setelah ada energi yang diberikan pada medan magnetisnya. Fluks bocor yang terjadi didekat material yang bersifat konduktif akan menyebabkan terjadinya peningkatan *eddy current* yang kemudian akan dikonversikan menjadi panas.

2.5 Generator Set

2.5.1 Pendahuluan

Generator listrik adalah sebuah alat yang memproduksi energi listrik dari sumber energi mekanik. Prinsip kerja dari generator adalah

1. Tegangan EMF yang dibangkitkan menghasilkan arus jangkar.
2. Memenuhi prinsip Hukum Lens, yaitu :

“Arus listrik yang diberikan pada penghantar stator akan menimbulkan momen elektro-magnetik yang bersifat melawan putaran rotor sehingga menimbulkan EMF pada kumparan rotor.” Proses ini dikenal sebagai pembangkitan listrik.

2.5.2 Komponen Utama Genset

Ada 3 komponen utama dalam genset, yaitu :

1. *Prime Mover* atau penggerak mula, dalam hal ini mesin diesel/engine.

Prime mover generator adalah bagian yang memutar rotor. Dimana dalam *system* pembangkit tenaga diesel digunakan mesin diesel.

Berdasarkan putarannya, dibagi menjadi :

- a) *Slow Speed*.

Diesel slow speed memiliki putaran kurang dari 600 rpm. Diesel ini memiliki tingkat keausan yang rendah karena putarannya yang rendah sehingga tahan sampai 20 tahun operasi. Tetapi mempunyai berat yang besar yaitu antara 50 – 60 Kg/kVA. Selain itu, membutuhkan air pendingin 60 Liter/kWH. Karena putarannya rendah maka daya yang dibangkitkan per silinder mencapai 150 kW.

- b) *Medium Speed*.

Diesel medium speed mempunyai putaran antara 750-1000 rpm. Mempunyai tingkat keausan yang rendah sehingga tahan beroperasi sampai 20 tahun. Berat dari *diesel medium speed* lebih ringan dari *slow speed* yaitu 30 kg/kVA. Diesel dengan kecepatan *medium* memerlukan air pendingin 50 Liter/kWH dan dapat menghasilkan daya 100 kW/silinder.

- c) *High Speed*.

Diesel high speed mempunyai putaran lebih dari 1500 rpm, sehingga mempunyai tingkat keausan yang tinggi terutama pada *piston ring*, *silinder* dan *bearing*. Hal ini menyebabkan *life-timenya* berada sekitar 10-15 tahun. *Diesel high speed* mempunyai berat jenis yang kecil yaitu 10 kg/kVA. Diesel ini memerlukan air pendingin sebanyak 40 Liter/kWH, dan mampu menghasilkan daya sampai 75 kW/silinder.

2. Generator.
3. Radiator.

Merupakan komponen yang berfungsi untuk proses pendinginan Generator Set.

2.5.3 Keuntungan dan Kerugian dari Generator Set

Penggunaan genset dapat memberikan beberapa keuntungan, yaitu :

- Respon mesin genset terhadap perubahan beban lebih cepat dibandingkan dengan mesin uap/air.
- Kontinuitas dan kestabilan suplai daya lebih terjamin atau lebih handal.
- Efisiensi untuk beban lebih kecil. Generator memiliki efisiensi yang cukup baik untuk penarikan beban minimum 60% dari beban *full load*.
- Pemeliharaan lebih murah.
- Tegangan mudah diatur.
- Umur pemakaiannya relatif lama.

Tetapi, genset juga memiliki kelemahan, yaitu :

- Tidak ekonomis karena pemakaian listrik dari genset lebih mahal daripada pembelian listrik dari Perusahaan Listrik Negara karena mahalnya harga bahan bakar minyak.
- Tidak dapat menanggung beban yang besar. Generator hanya dapat menarik beban maksimum sesuai dengan ratingnya yang relatif kecil.
- Bising. Faktor kebisingan tergantung dari besarnya beban yang ditanggung dimana semakin besar beban maka semakin besar pula tingkat kebisingan mesin. Sebaliknya, semakin kecil beban maka kebisingannya juga rendah.
- Menyebabkan pencemaran terhadap lingkungan. Karena menggunakan bahan bakar fosil, maka saat beroperasi generator akan mengeluarkan asap yang cukup banyak.

2.5.4 System Kontrol

System kontrol yang digunakan untuk generator ada dua macam, yaitu:

1. *System* Kontrol Otomatis.

Untuk menyediakan daya darurat, *system* harus mempunyai kontrol otomatis *starting* mesin, pengisi aki otomatis dan alat *transfer* otomatis. Secara umum sumber daya adalah sumber normal dari PLN dan generator mesin menyediakan daya darurat apabila sumber daya gagal. Sumber daya

dimonitor dan mesin akan *start* otomatis bila ada kesalahan seperti tegangan atau frekuensi tidak normal.

System ini memasukan beban secara otomatis pada saat generator stabil pada tegangan dan kecepatan yang telah ditentukan. Bila sumber daya telah berjalan normal, alat pemindah akan memindah ulang beban dan mematikan mesin secara otomatis.

2. *System* Kontrol Manual.

System kontrol manual dilakukan pada saat beban tidak merupakan beban kritis dan harus ada operator setiap saat untuk pengawasan.

Adapun bagian dari *system* kontrol generator yang sangat umum adalah:

1. *Engine Governing*.

System ini memonitor putaran generator dan mengatur putaran generator menjadi stabil seperti yang diharapkan. *System governing* ada dua, yaitu:

a. *Electrical System Governing*.

System ini bekerja dengan cara membandingkan sinyal *input* dari generator dan sinyal referensi dari prosessor dan hasil perbandingan ini diumpankan ke unit kontrol untuk diteruskan ke *governing* supaya mempercepat atau memperlambat putarannya, sehingga putaran generator menjadi stabil meskipun bekerja pada *full load* maupun *half load*.

b. *System* Mekanis.

Dalam *system* mekanis dikenal banyak tipe, tetapi tipe yang paling umum dipakai adalah *PSG Governor* yang dilengkapi dengan:

- *Internal return spring*.
- *External adjustable drop*.
- *Electric speed setting*.

Dimana bekerja dengan memanfaatkan gaya sentripetal yang dihasilkan generator itu sendiri.

2. *Automatic Voltage Regulator (AVR)*

Automatic Voltage Regulator (AVR) bertugas mengatur kestabilan tegangan *output* generator. Biasanya *AVR* bekerja dengan cara membandingkan tegangan *output* dengan tegangan referensi dari hasil *setting*

dan hasilnya diumpangkan ke unit kontrol yang akan menambah atau mengurangi tegangan *output*. Adapun bagian-bagian AVR terdiri dari:

- *Control Ampifier.*
- *Voltage reference.*
- *Voltage sensing.*
- *Pararel operation compounding.*
- *V/Hz limiting.*
- *PF/VAR control.*
- *Leading VAR limit.*
- *Current limit.*

Dengan semakin majunya teknologi maka *system start* generator ada tiga cara, yaitu:

1. *Start Manual.*

System ini digunakan pada generator-generator kecil yaitu kurang dari 10 PK, dimana *start* dilakukan dengan memberikan bantuan torsi awal dengan cara memutar secara manual.

2. *Electrical start.*

Start dengan *accu* ini biasanya digunakan untuk generator menengah yang kurang dari 500 PK, dimana untuk memutar generator digunakan motor yang disuplai oleh *accu* dengan tegangan 12-24 volt dan dilengkapi dengan *battery charger*.

3. *Compressor Air start.*

System start ini hanya digunakan oleh generator-generator besar atau lebih dari 500 PK. Untuk *start* digunakan tekanan angin yang cukup besar yaitu mencapai 30 atm, tekanan udara ini diperoleh dari kompresor.

2.5.5 Operasi Generator Secara Paralel

Dalam pengoperasian pembangkit listrik dengan generator, karena faktor keandalan dan fluktuasi jumlah beban, maka disediakan dua atau lebih generator yang dioperasikan dengan tugas terus-menerus, cadangan dan bergiliran untuk generator-generator tersebut.

Penyediaan generator tunggal untuk pengoperasian terus menerus adalah suatu hal yang riskan, kecuali bila bergilir dengan sumber PLN atau peralatan UPS. Untuk memenuhi peningkatan beban listrik maka generator-generator tersebut dioperasikan secara paralel antar generator atau paralel generator dengan sumber pasokan lain yang lebih besar misalnya dari PLN. Sehingga diperlukan pula alat pembagi beban listrik untuk mencegah adanya sumber tenaga listrik terutama generator yang bekerja paralel mengalami beban lebih mendahului yang lainnya.

2.5.6 Prinsip Alat Pembagi Beban Generator

Governor beroperasi pada mesin penggerak sehingga generator menghasilkan keluaran arus yang dapat diatur dari 0 % sampai dengan 100% kemampuannya. Jadi masukan ke mesin penggerak sebanding dengan keluaran arus generatormya atau dengan kata lain pengaturan *Governor* 0 % sampai dengan 100 % sebanding dengan arus generator 0% sampai dengan 100 % pada tegangan dan frekuensi yang konstan. *Governor* bekerja secara hidrolis/mekanis, sedangkan sinyal masukan dari keluaran arus generator berupa elektrik, sehingga masukan ini perlu diubah ke mekanis dengan menggunakan *elektrik actuator* untuk menggerakkan motor listrik yang menghasilkan gerakan mekanis yang diperlukan oleh *Governor*.

Pada beberapa generator yang beroperasi paralel, setelah sebelumnya disamakan tegangan, frekuensi, beda fasa dan urutan phasanya, perubahan beban listrik tidak akan dirasakan oleh masing-masing generator pada besaran tegangan dan frekuensinya selama beban masih dibawah kapasitas total paralelnya, sehingga tegangan dan frekuensi ini tidak digunakan sebagai sumber sinyal bagi *Governor*.

Untuk itu digunakan arus keluaran dari masing-masing generator sebagai sumber sinyal pembagian beban *system* paralel generator-generator tersebut. Saat diparalelkan pembagian beban generator belum seimbang/sebanding dengan kemampuan masing-masing generator.

Alat pembagi beban generator dipasangkan pada masing-masing rangkaian keluaran generator, dan masing-masing alat pembagi beban tersebut

dihubungkan secara paralel menggunakan kabel untuk menjumlahkan sinyal arus keluaran masing-masing generator dan sinyal kemampuan arus masing-masing generator.

Arus keluaran generator yang dideteksi oleh alat pembagi beban merupakan petunjuk posisi *Governor* berapa persen, atau arus yang lewat berapa persen dari kemampuan generator. Hasil bagi dari penjumlahan arus yang dideteksi alat-alat pembagi beban dengan jumlah arus kemampuan generator-generator yang beroperasi paralel dikalikan 100 (%) merupakan nilai posisi *Governor* yang harus dicapai oleh setiap mesin penggerak utama sehingga menghasilkan keluaran arus yang proporsional dan sesuai dengan kemampuan masing-masing generator.

Bila ukuran generator sama maka jumlah arus yang dideteksi oleh masing-masing alat pembagi beban dibagi jumlah generator merupakan arus beban yang harus dihasilkan oleh Generator Setelah *Governornya* diubah oleh *electric actuator* yang menerima sinyal dari alat pembagi beban sesaat setelah generator diparalelkan.

2.5.7 Instalasi Teknis Generator

2.5.7.1 Komponen Pembantu Pembagi Beban Generator

Dalam prakteknya alat pembagi beban generator dipasang dengan bantuan komponen-komponen seperti berikut : trafo arus, trafo tegangan (sebagai pencatu daya), *electric actuator*, potensiometer pengatur kecepatan dan saklar-saklar bantu.

- a. Trafo arus berfungsi sebagai *transducer* arus keluaran generator sampai dengan sebesar arus sinyal yang sesuai untuk alat pembagi beban generator (biasanya maksimum 5 A atau = 100 % kemampuan maksimum generator).
- b. Trafo tegangan berfungsi sebagai pembagi tegangan, umumnya dengan tegangan 110 V AC, 50 Hz; dibantu adapter untuk keperluan tegangan DC.
- c. *Electric actuator* merupakan peralatan yang menerima sinyal dari alat pembagi beban sehingga mampu menggerakkan motor DC digovernor sampai dengan arus keluaran generator mencapai yang diharapkan.

- d. Potensiometer pengatur kecepatan adalah alat utama untuk mengatur frekuensi dan tegangan saat generator akan diparalelkan atau dalam proses sinkronisasi. Tegangan umumnya sudah diatur oleh AVR, sehingga naik turunnya tegangan hanya dipengaruhi oleh kecepatan putaran mesin penggerak. Setelah generator diparalelkan atau sudah sinkron dengan yang telah beroperasi kemudian menutup MCCB generator. Fungsi *potensiometer* pengatur kecepatan ini diambil alih oleh alat pembagi beban generator. Untuk lebih akuratnya pengaturan kecepatan dalam proses sinkronisasi secara manual, biasanya terdapat *potensiometer* pengatur halus dan *potensiometer* pengatur kasar.
- e. Pada *system* kontrol otomatis paralel generator dapat dilakukan oleh SPM (modul paralel generator) dengan mengatur tegangan dan frekuensi keluaran dari generator, kemudian mencocokkan dengan tegangan dan frekuensi *system* yang sudah bekerja secara otomatis, setelah cocok memberikan sinyal penutupan ke MCCB generator sehingga bergabung dalam operasi paralel. Untuk mencocokkan tegangan dan frekuensi dapat dilihat dalam satu panel sinkron yang digunakan bersama untuk beberapa generator, dimana masing-masing panel generator mempunyai saklar sinkron disamping SPM-nya.
- f. Saklar-saklar bantu pada alat pembagi beban generator berfungsi sebagai alat manual proses pembagian (pelepasan & pengambilan) beban oleh suatu generator yang beroperasi dalam *system* paralel. Setelah generator beroperasi secara paralel, generator-generator dengan alat pembagi bebannya selalu merespon secara aktif segala tindakan kenaikan atau penurunan beban listrik, sehingga masing-masing generator menanggung beban dengan prosentasi yang sama diukur dari kemampuan masing-masing.

2.5.7.2 Peletakan dan Perawatan Generator

1. Peletakan Generator.

Peletakan generator dalam suatu sentral listrik sangatlah penting diperhatikan karena peletakan yang salah dapat mempengaruhi kinerja *system*. Adapun hal yang harus diperhatikan adalah:

- Ventilasi Ruang Sentral.

Ventilasi ruang sentral hendaknya diatur sedemikian rupa sehingga udara dapat bertukar secara baik dan kalau perlu dapat ditambahkan *fan*. Sebagai standar dapat diasumsikan bahwa setiap kWh dibutuhkan sekitar 4-8 m² udara. Dan debit udara dapat dianggap 2,2 m²/second. Jadi bila perlu dipasang *fan*, maka daya *fan* yang diperlukan dapat dihitung sebagai berikut:

$$P_{fan} = \frac{P_{gen} \times Q}{102 \times e} \quad 2.6$$

Dimana:

- P_{fan} : Daya *fan* yang diperlukan (W)
- Q : Debit udara (m³/s)
- e : Efisiensi *fan* (%)
- P_{gen} : Daya Generator yang ada (kWH)

- Panel Penerangan.

Panel penerangan hendaknya diberi *circuit breaker* untuk tiap unitnya dan diusahakan cukup terang untuk operator. Biasanya dipakai 600 lumen per m³.

- *Traveling Crane*.

Untuk keperluan pemasangan dan perbaikan hendaknya pada sentral yang besar dilengkapi *traveling crane*. Adapun ukuran daya *crane* yang diperlukan sebagai berikut:

- Untuk sentral kecil : 15 kVA.
- Untuk sentral besar : 100 kVA.

- *Fuel System*.

Fuel system hendaknya dibagi menjadi dua yakni *storage tank* dan *daily tank*, hal ini untuk meningkatkan keamanan dan mempermudah pengontrolan pemakaian bahan bakar dan sekaligus pengisiannya. Disamping itu hal yang harus diperhatikan adalah:

- Sentral hendaknya dibangun kedap suara dan di pakai atap beton cor;
- Tinggi atap sentral paling sedikit dua kali tinggi mesin.

Hal ini guna pembongkaran atau perbaikan;

- Pipa-pipa pembuangan hendaknya dibungkus sehingga tidak membahayakan operator dan orang lain;
- Jarak dibelakang panel harus ada ruang, dan ruang ini paling tidak seluas 30 cm²;
- Kaki panel hendaknya tidak menyentuh lantai, *tetapi* harus diberi jarak minimal 6,5 cm;
- Untuk pipa perlu diperhatikan bahannya:
 - Untuk pipa *fuel* sebaiknya dari bahan tembaga.
 - Untuk pipa air sebaiknya dari pipa hitam.
 - Untuk pipa udara sebaiknya *stainless steel*.

2. Perawatan Generator.

Perawatan generator dilakukan dengan:

- Perawatan rutin.

Perawatan rutin biasanya dilakukan setiap minggu atau setiap bulan menurut jenis dan kualitas generator. Perawatan ini meliputi pembersihan dan pengecekan minyak dan saluran-saluran udara, minyak maupun sisa pembakaran dari kotoran yang mungkin menyumbat. Atau juga penggantian *valve-valve* tertentu yang habis masa pakainya.

- *Overhaul*.

Overhaul atau pembongkaran mesin bisa dilaksanakan setiap 4000 jam operasi untuk generator dengan 1500 rpm, dan 5000 jam operasi untuk generator 1000 rpm. Yang perlu diadakan penggantian pada *overhaul* adalah bagian-bagian sebagai berikut:

- *Piston ring* setiap *piston*.
- *Cylinder Line*.
- *Inlet Valve*.
- *Outlet Valve*.
- *Injection Vavle*.

Sedang yang perlu *setting* ulang:

- *Inlet Valve*.
- *Outlet Valve*.

Sedang hal lain yang harus di cek adalah :

- Elastisitas fleksibel *coupling*.
- Pipa-pipa saluran.
- *Water jacket*.
- Alat-alat sensor dan pengukur.

2.6 Circuit Breaker

Circuit Breaker adalah sebuah alat pengaman rangkaian listrik yang berfungsi memutuskan arus nominal maupun arus gangguan. Jika terjadi gangguan dan arus melebihi batas, relay akan memerintahkan *circuit breaker* untuk memutuskan arus. Sekarang banyak *circuit breaker* yang digabung dengan komponen lain seperti:

- *Over Voltage relay*.
- *Under Voltage relay*.
- *Thermal over current Protection*.
- *Earth Fault relay*.

No Fuse Breaker termasuk dalam keluarga *Circuit Breaker*. Fungsi dari NFB adalah :

- Menggantikan peran fuse dalam memutuskan rangkaian apabila terjadi *short circuit*.
- Sebagai pengaman over current dengan *system* bimetal.

Cara pengoperasian NFB adalah sebagai berikut :

- NFB dapat dibuka dan ditutup secara manual dengan memindahkan *handle* ke posisi ON ataupun OFF secara berulang-ulang kali.
- Jika *handle* berada pada posisi di tengah-tengah antara posisi ON dan OFF, maka dikatakan NFB berada pada posisi *trip* sebagai akibat pemutusan terhadap *short circuit*.
- Untuk menyalakan atau mengaktifkan NFB kembali maka posisi *handle* yang berada diposisi trip dimatikan atau dibawa pada posisi OFF, baru setelah itu NFB dapat di-ON-kan kembali.

2.7 Kabel

2.7.1 Pendahuluan

Kabel-kabel yang digunakan dalam instalasi listrik banyak sekali ragamnya. Oleh karena itu jenis kabel dinyatakan dalam bantuan huruf maupun kadang-kadang juga dengan angka. Kabel-kabel yang diproduksi Indonesia menggunakan bahan isolasi termoplastik. Untuk kabel arus kuat umumnya digunakan PVC dengan tegangan nominal masih terbatas 6-10 kV. Kabel-kabel dengan bahan isolasi kertas dan beselubung logam tidak atau belum dibuat di dalam negeri.

Sebagai bahan penghantar untuk kabel digunakan tembaga atau aluminium. Tembaga yang digunakan untuk penghantar kabel umumnya tembaga elektrolis, dengan kemurnian sekurang-kurangnya 99,9%. Tahanan jenis tembaga lunak untuk hantaran listrik telah diberlakukan secara internasional, yaitu tidak boleh melebihi $0,017241 \Omega \text{ mm}^2/\text{m}$ pada suhu 20°C .

Adapun untuk mengidentifikasi hantaran, digunakan warna yaitu:

- Untuk hantaran pentanahan hanya boleh digunakan warna majemuk hijau-kuning. Warna ini tidak boleh digunakan untuk tujuan lain.
- Pada instalasi dengan hantaran netral atau kawat tengah, harus digunakan warna biru. Hanya pada instalasi tanpa hantaran netral atau kawat tengah, warna biru boleh dipakai untuk tujuan lain, kecuali untuk menandai hantaran pentanahan.
- Pada instalasi tiga fasa, warna untuk fasa-fasanya yaitu:
Fasa 1 (fasa R) : merah.
Fasa 2 (fasa S) : kuning.
Fasa 3 (fasa T) : hitam.
- Ketentuan diatas berlaku untuk semua instalasi pasangan tetap maupun sementara, termasuk dalam perlengkapan hubung-bagi.
- Untuk perawatan di dalam peralatan listrik dianjurkan supaya digunakan hanya satu warna saja, khususnya hitam, kecuali untuk hantaran pentanahan dan netral. Bila dipandang perlu, penggunaan warna dan warna majemuk lain di dalam peralatan listrik tidak dilarang.

- Kabel berselubung berurat tunggal boleh digunakan untuk hantaran fasa, netral, maupun pentanahan, asalkan isolasinya yang terlihat dikedua ujung kabel (bagian yang dikupas selubungnya) dibalut dengan pita bewarna yang sesuai dengan warna-warna tersebut diatas.

Ketentuan-ketentuan di atas berlaku untuk hantaran berisolasi tunggal seperti kabel NYA dan NGA, maupun untuk kabel berurat banyak, misalnya kabel NYM, NYY dan lain-lainnya. Secara umum tugas kabel adalah:

- Memberikan konduktivitas sehingga dapat menghantarkan arus listrik dari pembangkit ke beban.
 - Memberikan isolasi listrik yang baik untuk menghindari kebocoran listrik
- Dalam kabel tersebut timbul juga kerugian berupa:

- *Copper loss.*
- *Dielectric loss.*
- *Eddy current loss.*
- *Corona loss.*

Jenis-jenis kabel :

- NYA.

Direkomendasikan untuk digunakan pada instalasi tetap pada kotak distribusi atau rangkaian pada panel-panel. Kabel ini hanya diperbolehkan untuk tempat yang kering, tidak boleh tempat yang basah atau lembab atau tempat yang terkena panas dan hujan secara langsung.

- NYM.

Direkomendasikan khusus untuk instalasi tetap di dalam bangunan yang penempatannya bisa di dalam atau di luar plester tembok ataupun dalam *conduit* (pipa).

- NYY.

Kabel ini dirancang untuk instalasi tetap di dalam tanah yang harus diberikan pelindung khusus, misalnya : *duct*, pipa PVC atau besi baja. Bisa ditempatkan di luar atau di dalam bangunan baik pada kondisi basah ataupun kering.

- NYFGbY.

Dirancang khusus untuk instalasi dalam tanah yang ditanam langsung tanpa memerlukan pelindung tambahan.

Kerugian-kerugian tersebut timbul dalam bentuk panas. Panas harus ditransfer ke medium pendingin.

2.7.2 Perhitungan Diameter Kabel

Kuat hantaran arus merupakan kriteria terpenting dalam menentukan pilihan kabel dalam instalasi listrik. Karena kesalahan pemilihan diameter kabel dapat berakibat fatal pada *system* dan orang yang berada di sekitar. Dalam brosur atau pamflet yang dikeluarkan pabrik biasanya dicantumkan kuat hantaran arus (KHA). Tabel atau spesifikasi yang tercantum dalam brosur biasanya dihitung dalam keadaan ideal dan standar, sedangkan yang terjadi di lapangan keadaan ideal susah dicapai jadi dalam perhitungan diameter kabel harus ada faktor toleransi.

Contoh perhitungan pemilihan kabel yang menghasilkan daya 1100 kVA, *power factor* beban generator 0.8 lag.

$$\begin{aligned} \text{Daya Aktif} &= 1100 \times 0,8 \\ &= 880 \text{ kW} \end{aligned}$$

$$\text{Dengan rumus } P(\text{kW}) = \sqrt{3} \times V \times I \times \cos Q$$

$$\begin{aligned} \text{Maka, } I &= \frac{880 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 380 \times 0,8} \\ &= 1671.3 \text{ Ampere} \end{aligned}$$

Bedasarkan harga I kita dapat menentukan jenis kabel yang digunakan.