



JURNAL SUTET

Volume 6 - Nomor 1

Januari - Mei 2016

ISSN : 2356-1505

SISTEM PROTEKSI GENERATOR DENGAN TAHANAN TINGGI PADA PLTU LABUHAN ANGIN TERHADAP GANGGUAN SATU FASA KE BUMI

Rinna Hariyati; Heri Suyanto; Marisa Dosma Sitanggang

STUDI GANGGUAN FASA KE TANAH PADA GI YANG MENDAPAT SUPLAI MELALUI KOMBINASI SUTT DAN KABEL TANAH

Wahyudi SN; Tony Koerniawan; Pramudani Wanda Saraswati

PERANCANGAN PENYULANG SPINDEL PADA MOTOR INDUKSI POMPA BANJIR

Irvan Buchari Tamam; Aas Wasri Hasanah; Raka Primipara

EVALUATION OF MEDIUM VOLTAGE PROTECTION NETWORK 20 KV IN PLTD MERAWANG BANGKA

Juara Mangapul Tambunan; Albert Gifson; Harry Saputra

EVALUASI PERENCANAAN KELISTRIKAN

Zalmadi Syamsudin; Andi Makkulau; Lutfian Nizar

STUDI RELE DIFFERENSIAL PADA TRAFU INTERBUS DI GARDU INDUK TEGANGAN EKSTRA TINGGI GANDUL

Agung Hariyanto; Oktaria Handayani; Daru Kurniawan

ANALISIS PENGARUH KABEL TANAH TERHADAP TRANSFER VOLTAGE DENGAN VARIASI LUAS PENAMPANG KABEL DAN JARAK GARDU

Budi Santoso; Muchamad Nur Qosim; Husnul Khatimah Azhari



9 772356 150005

SEKOLAH TINGGI TEKNIK - PLN (STT-PLN)

JURNAL SUTET

VOL. 6

NO. 1

HAL.1 - 47

JANUARI - MEI 2016

ISSN : 2356-1505

SISTEM PROTEKSI GENERATOR DENGAN TAHANAN TINGGI PADA PLTU LABUHAN ANGIN TERHADAP GANGGUAN SATU FASA KE BUMI

Rinna Hariyati¹⁾, Heri Suyanto²⁾, Marisa Dosma Sitanggang³⁾

Teknik Elektro, STT-PLN

¹rinna.hariyati@sttpln.ac.id

²heri.suyanto@yahoo.com

³marisa.dosma@gmail.com

Abstract : High resistance grounding one of the ways protection generator for the single phase earth fault. High resistance grounding utilizes a distribution transformer with a primary voltage rating greater than or equal to the line to neutral voltage rating of the generator. The distribution transformer should have sufficient overvoltage capability so that it does not saturate on single line to ground faults with the generator operated at 105% of rated voltage. The power dissipated in resistor is approximately equal to the reactive volt-amperes of the zero sequence capacitive reactance of the stator windings. For High resistance grounding to be effective, the size of resistor must be carefully selected for each system. IEEE Standard C37.101 provides a detailed example of how to determine the size of the ground resistor to meet the requirements cited above, as well as calculate the resulting ground currents and voltages.

Keywords: Protection Generator, single phase earth fault, high resistance grounding.

Abstrak : Pembumian dengan tahanan tinggi adalah salah satu cara proteksi generator terhadap gangguan satu fasa ke bumi. Pembumian dengan tahanan tinggi generator menggunakan transformator distribusi dengan tegangan primer lebih besar dari atau sama dengan tegangan netral generator. Trafo distribusi harus memiliki kemampuan tegangan yang cukup sehingga tidak jenuh pada gangguan satu fasa ke tanah dengan generator dioperasikan pada 105% dari tegangannya. Daya yang disalurkan ke tahanan kira-kira sama dengan nilai urutan nol kapasitif reaktansi dari lilitan stator. Untuk pembumian dengan tahanan tinggi yang efektif, ukuran tahanan harus dipilih secara hati-hati untuk setiap sistem. IEEE Standard C37.101 memberikan contoh rinci tentang bagaimana untuk menentukan ukuran tahanan pembumian untuk memenuhi persyaratan serta menghitung arus gangguan satu fasa ke bumi yang dihasilkan dan tegangan.

Kata Kunci : Proteksi Generator, Gangguan Satu Fasa Ke Bumi, Pembumian Tahanan Tinggi

1. PENDAHULUAN

Kehandalan suatu sistem tenaga listrik dipengaruhi oleh adanya gangguan dalam sistem tersebut. Dalam melaksanakan pembangkitan, penyaluran, dan distribusi tenaga listrik, gangguan tidak dapat dihindari karena disebabkan oleh alam maupun yang disebabkan karena kegagalan isolasi peralatan listrik itu sendiri. Dengan demikian, generator perlu dilengkapi dengan suatu sistem proteksi yang handal agar gangguan-gangguan tersebut dapat di minimalisir

dan untuk mencegah kerusakan yang dapat terjadi pada generator itu sendiri.

Pada rele gangguan kebumi dengan pembumian tahanan tinggi, generator dibumikan melalui tahanan dan dalam praktek besar nilai tahanan yang digunakan sama atau kurang lebih seharga dengan kapasitansi ke-bumi. Ini bertujuan untuk meminimalkan kerusakan meskipun penyebabnya berupa arus gangguan yang kecil, oleh karenanya batas tegangan lebih transient kurang dari 2,5 kali nilai puncak tegangan normal ke-bumi.

Tetapi dilain pihak dari segi selektifitas pengamanan sistem diharapkan agar PMT generator tidak mudah trip terhadap gangguan dalam sistem, karena lepasnya generator dari sistem akan mempersulit jalannya operasi sistem tenaga listrik. Oleh karena itu penulis mencoba membahas tentang studi proteksi generator pada pembangkit yang di bumikan melalui tahanan tinggi dengan menghitung arus gangguan fasa ke bumi yang mungkin dapat terjadi pada generator pembangkit listrik tenaga uap PT. PLN (Persero) Sektor Pembangkitan Labuhan Angin.

2. LANDASAN TEORI

Pembangkit listrik tenaga uap PT. PLN (Persero) Sektor Pembangkitan Labuhan Angin menggunakan bahan bakar batu bara sebagai sumber energi primer untuk menghasilkan uap dimana uap yang dihasilkan digunakan memutar turbin. Ketika Turbin berhasil berputar maka secara otomatis generator akan berputar, karena antara turbin dan generator berada pada satu poros. Generator inilah yang menghasilkan energi listrik berdasarkan prinsip induksi elektromagnetik.

Energi listrik yang dihasilkan dari generator PT PLN (Persero) Sektor Pembangkitan Labuhan Angin dikirim ke trafo untuk dinaikkan tegangan dari 13,8Kv menjadi 150Kv dan kemudian disalurkan melalui saluran transmisi PLN.

2.1 Fungsi dan Prinsip Kerja Generator

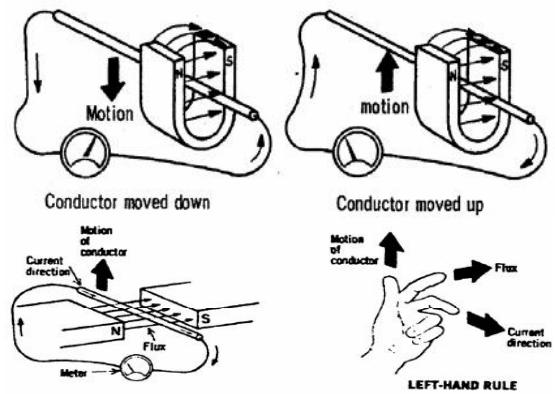
Generator adalah mesin pembangkit listrik yang prinsipnya merubah energi mekanik menjadi energi listrik. Prinsip induksi gaya gerak listrik sesuai dengan hukum Faraday adalah apabila suatu penghantar digerak-gerakkan dalam medan magnet maka pada penghantar tersebut akan timbul GGL (Gaya Gerak Listrik) induksi atau dapat menghasilkan listrik yang besarnya GGL induksi tersebut adalah:

$$e = -N \frac{d\phi}{dt} \text{ Volt} \quad (2.1)$$

N = Jumlah Penghantar

ϕ = Flux / Medan magnet

t = waktu

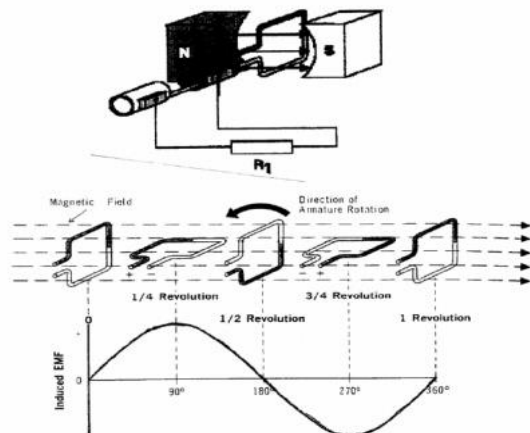


Gambar 2.1. Prinsip GGL Induksi

Prinsip GGL induksi pada gambar diatas, digunakan sebagai dasar generator pembangkit listrik. Sehingga syarat terjadinya GGL induksi adalah:

1. Medan magnet
2. Penghantar
3. Gerakan Relatif

Adapun prinsip Mesin listrik dapat membangkitkan listrik adalah seperti gambar berikut:



Gambar 2.2. Prinsip Arus Bolak Balik yang Dibangkitkan

Gambar 2.2. menunjukkan sebuah gulungan penghantar diputar dalam media medan magnet pada satu putaran penuh (360°), menghasilkan GGL induksi arus bolak balik satu periode. Gelombang arus bolak-balik tersebut biasa disebut dengan gelombang sinusoida.

2.2 Fungsi Komponen-Komponen Generator pada PT. PLN (Persero) Sektor Pembangkitan Labuhan Angin

Komponen-komponen generator meliputi :

1. Stator

Stator pada generator merupakan gulungan kawat penghantar yang disusun sedemikian rupa dan ditempatkan pada alur-alur inti besi. Penghantar tersebut adalah tempat terbentuknya GGL induksi yang diakibatkan oleh medan magnet putar dari rotor yang memotong kumparan penghantar stator.

2. Rotor

Rotor pada generator merupakan kumparan yang dapat menghasilkan medan magnet melalui proses eksitasi. Kumparan medan magnet disusun pada alur-alur inti besi rotor, sehingga apabila pada kumparan tersebut dialirkan arus searah (DC) maka akan membentuk kutub-kutub magnet utara dan selatan.

Hubungan antara jumlah kutub magnet dan frekuensi, dirumuskan sbb:

$$f = \frac{P.n}{120} \quad (2.2)$$

Dimana:

f = frekuensi

P = jumlah kutub

n = putaran

Bagian-bagian rotor adalah *shaft* rotor, kumparan rotor, *slip ring*, *retaining rings*, *carbon brush*, *fan slip ring*, *bearing*.

3. Fan Blade Generator

Fan Blade Generator adalah bagian dari generator yang berfungsi mengeluarkan disipasi panas dari dalam generator, sumber panas yang terbesar berasal dari inti stator dan inti rotor sumber panas lain berasal dari penghantar/belitan. *Fan Blade Generator* ini digerakkan oleh poros generator itu sendiri. Dengan bentuk fan sentrifugal yang akan menghisap udara dari dalam generator dan mengeluarkan secara sentrifugal.

2.3 Jenis-jenis Gangguan

Beberapa jenis gangguan dan masalah-masalah yang terdapat pada generator-generator antara lain :

1. Gangguan internal

Gangguan internal yang biasa terjadi adalah gangguan fasa atau gangguan tanah pada kumparan stator dan komponen jaringan yang terkait, dan

gangguan tanah pada kumparan rotor generator dan hilangnya sumber penguatan.

2. Gangguan listrik/electrical fault

Jenis gangguan ini adalah gangguan yang timbul dan terjadi pada bagian-bagian listrik dari generator. Gangguan-gangguan tersebut antara lain:

- Hubung singkat 3 fasa,
- Hubung singkat 2 fasa,
- Stator hubung singkat 1 fasa ke tanah/*stator ground fault*,
- Rotor hubung tanah/*field ground*
- Kehilangan medan penguat/*Loss of excitation*

3. Gangguan mekanis / panas (*mechanical / thermal fault*)

Jenis-jenis gangguan mekanik/panas antara lain :

- Generator* berfungsi sebagai motor (*motoring*)
- Pemanasan lebih setempat
- Kesalahan paralel
- Gangguan pendingin stator

4. Gangguan sistem (*system fault*)

Generator dapat terganggu akibat adanya gangguan yang datang/terjadi pada sistem. Gangguan-gangguan sistem yang terjadi umumnya adalah :

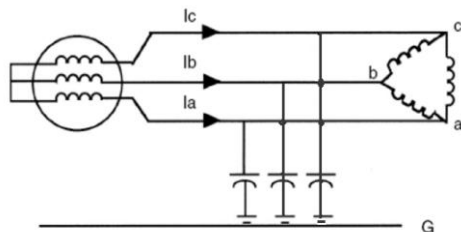
- Frekuensi operasi yang tidak normal (*abnormal frequency operation*).
- Lepas sinkron (*Loss of synchro*)
- Arus beban kumparan yang tidak seimbang (*unbalance armature current*)
- Gangguan kendala operasi
- Kehilangan sumber penggerak prime (*prime-mover*), dimana generator bisa berubah menjadi motor.
- Penguatan berlebihan atau over-eksitasi ditanggulangi dengan rele proteksi tegangan (V) atau hertz.
- Kesalahan operasi seperti pemasukan generator ke jaringan secara tidak sinkron.
- Arus *unbalance* seperti mengalirnya arus urutan negatif, karena salah satu kutub PMT mengalami *flash-over*.
- Generator berbeban lebih sehingga mengalami panas berlebihan.
- Relai frekuensi pada sistem pembangkit.

2.4 Pembumian Generator

Metode pembumian suatu generator menentukan jenis proteksi gangguan tanah yang muncul pada sistem tersebut. Arus ini dapat bervariasi dari beberapa ampere sampai sebesar arus gangguan tiga fasa.

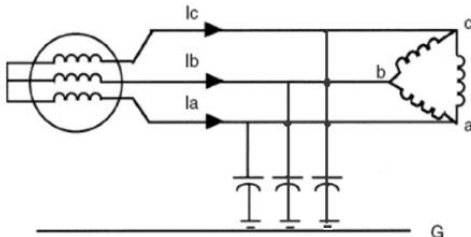
2.4.1 Sistem yang tidak dibumikan

Suatu sistem dikatakan tidak dibumikan apabila tidak terdapat hubungan fisik antara netral dan tanah. Hanya terdapat kapasitansi dari sistem tersebut ke tanah. Kapasitansi terbesar adalah kapasitansi yang berasal dari belitan stator generator.

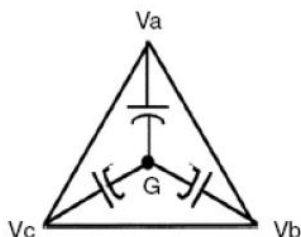


Gambar 3.1. Generator yang tidak dibumikan

Jika kapasitansi pada tiap fasa ke tanah sama besarnya, maka tegangan fasa ke netral pada keadaan normal akan muncul pada tiap fasa dan tanah. Arus hubung singkat fasa ke tanah pada sistem yang tidak dibumikan adalah fungsi dari kapasitansi shunt ke tanah dan biasanya bernilai kurang dari 10 A.



Gambar 3.2. Arus pengisian kapasitansi ke tanah pada sistem yang tidak dibumikan



Gambar 3.3. Tegangan kapasitansi tiap fasa ke tanah

2.4.2 Pembumian langsung

Pada sistem pembumian langsung, tidak ada impedansi yang dihubungkan secara sengaja antara titik netral generator dengan tanah. Setiap terjadi gangguan hubung singkat selalu mengakibatkan terputusnya saluran. Arus gangguan sangat besar sehingga berbahaya bagi peralatan. Pada metode ini, arus gangguan tanah dapat mencapai nilai arus gangguan tiga fasanya.

Pembumian langsung pada generator hanya dapat dilakukan jika reaktansi urutan nol (X_0) generator cukup besar. Reaktansi ini berguna untuk membatasi arus gangguan tanah agar lebih kecil dari arus gangguan tiga fasa. Metode ini hanya dapat diterapkan pada generator yang didesain khusus agar tahan terhadap arus gangguan yang tinggi.

2.4.3 Pembumian melalui tahanan tinggi

Tahanan tinggi dihubungkan antara titik netral generator dengan tanah. Terkadang, tahanan rendah dihubungkan pada belitan sekunder transformator satu fasa atau pada pembumian netral transformator.

Metode ini membatasi arus gangguan tanah sebesar 5-10 A.

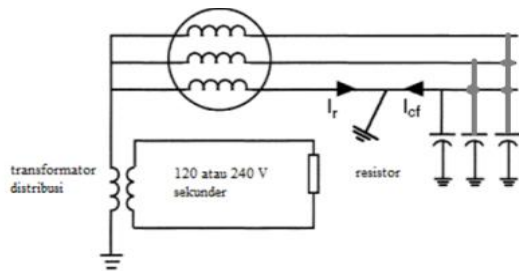
Karakteristik pembumian tahanan tinggi adalah:

- Tidak terjadi pemutusan pada gangguan tanah yang pertama (kontinuitas pelayanan baik).
- Tidak berbahaya bagi manusia yang berada dekat dengan titik gangguan.
- Memperkecil resiko kerusakan pada peralatan.
- Memperkecil tegangan lebih transien akibat gangguan busur tanah.

2.4.4 Pembumian melalui transformator distribusi

Pembumian melalui transformator distribusi adalah cara yang paling sering digunakan sering digunakan untuk pembumian impedansi tinggi. Tahanan yang dilihat pada netral generator sama dengan nilai ohmic dari resistor sekunder dikali dengan akar dari turn ratio transformator. Rangkaian ekuivalen juga dapat diperoleh dengan memasang sebuah resistor langsung antara netral

dan tanah. Kelebihan penggunaan transformator distribusi adalah menghindari pemakaian resistor tegangan tinggi yang relatif mahal.



Gambar 3.4. Pembumian dengan transformator distribusi

Belitan primer transformator harus mempunyai rating tegangan yang sama atau lebih besar dari tegangan fasa-netral generator. Belitan sekunder transformator pembumian biasanya mempunyai tegangan sekunder 120 V atau 240 V. Transformator pembumian harus mempunyai ketahanan terhadap tegangan lebih untuk menghindari saturasi jika generator bekerja pada tegangan yang lebih tinggi dari *rating* tegangannya.

Resistor yang dihubungkan pada belitan sekunder harus dipilih sedemikian rupa agar gangguan tanah yang datang dari transformator distribusi sama atau lebih besar dari arus gangguan tanah yang datang dari kapasitansi shunt sistem. Biasanya arus dari transformator distribusi di atur agar sama dengan arus kapasitansi shunt sistem. Jika resistor yang dipilih memenuhi spesifikasi, maka arus gangguan yang muncul biasanya akan bernilai 5-15 A.

2.4.5 Pembumian melalui kumparan peterson

Metode ini mempunyai skema yang sama dengan pembumian dengan tahanan tinggi, kecuali reaktor yang dapat diatur nilainya yang dipasang pada sekunder trafo.

2.4.6 Pembumian melalui tahanan rendah

Titik netral generator dihubungkan ke tanah melalui sebuah tahanan yang berfungsi untuk membatasi arus gangguan tanah sampai beberapa ratus ampere (200-600 A). Arus gangguan ini

sangat besar dan dapat merusak stator, namun pada saat yang sama, arus ini cukup besar sehingga dapat dirasakan oleh relai sehingga didapat sistem proteksi yang handal dan selektif.

Sistem pembumian melalui tahanan rendah jarang digunakan sekarang karena besarnya resiko kebakaran stator generator akibat besarnya arus yang mengalir saat gangguan. Namun, sistem pembumian ini paling sering digunakan untuk industri yang menggunakan tegangan menengah.

Karakteristik pembumian melalui tahanan rendah adalah :

- Pemutusan akibat gangguan dapat dilakukan,
- Memperkecil tegangan lebih *transient* akibat gangguan busur tanah, Memperkecil kerusakan pada titik gangguan.

3. METODE PENELITIAN

Pengambilan data pada penelitian ini dilakukan di PT. PLN (Persero) Area Gardu Induk Simpang Haru.

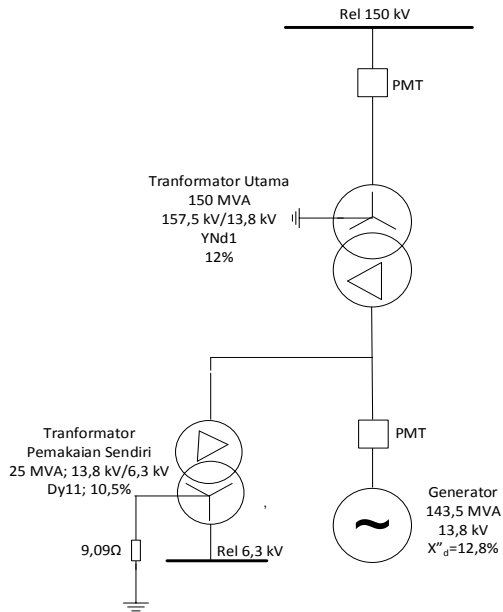
- Melakukan koordinasi dengan PT. PLN (Persero) Sektor Pembangkitan Labuhan Angin
- Melakukan koordinasi dengan pihak daerah setempat
- Mencari data secara literature di perpustakaan yang mendukung materi yang akan cari sebagai penelitian
- Melakukan pengambilan data pada PT. PLN (Persero) Sektor Pembangkitan Labuhan Angin, tentang data penelitian yang dibutuhkan.
- Melakukan klasifikasi data yang telah didapat.
- Melakukan perhitungan data penelitian.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Teknis

Berikut ini adalah data-data dari sistem generator unit 2 PLTU Labuhan Angin :

- Diagram satu garis sistem Generator-Trafo Unit 2 PLTU Labuhan Angin



Gambar 4.1. Diagram satu garis unit sistem generator-trafo Unit 1 PLTU Sektor Labuhan Angin

2. Data Generator
 - a. Pabrik Pembuat : Jinan Generator
 - b. Tegangan : 13,8 kV
 - c. Kapasitas : 143750 KVA (115 MW)
 - d. Kutub : 2 poles
 - e. Arus Beban : 601,1 A
 - f. Putaran : 3000 rpm
 - g. Faktor Daya : 0,8 (lagging)
 - h. Frekuensi : 50 Hz
 - i. X_d^n : 12,8 %
3. Data Transformator Daya
 - a. Pabrik Pembuat : Hengyang Transformer
 - b. Tipe : SFP Z10 / Step Up
 - c. Daya Pengenal : 150 MVA
 - d. Konstanta Belitan Trafo : 157,5 kV / 13,8kV
 - e. Grup Vektor : Ynd1
 - f. Frekuensi : 50 Hz
 - g. Impedansi : 12%
4. Data Traformator Pemakaian Sendiri
 - a. Pabrik Pembuat : Hengyang Transformer
 - b. Daya Pengenal : 25 MVA
 - c. Konstanta Belitan Trafo : 13,8 kV / 6,3 kV
 - d. Grup Vektor : Dyn11
 - e. Frekuensi : 50 Hz
 - f. Impedansi : 10,5 %

5. Tahanan Netral Pembumihan
 - a. Pabrik Pembuat : Baoding Tianver Heng Tong
 - b. Impedansi Tahanan Netral : 0,7 Ω
 - c. Tegangan Nominal : 13,8 kV
6. Relai pembumihan
 - a. Jenis : Relai Tegangan Lebih
 - b. Pabrik Pembuat : Shaanxi Northwest Power
 - c. Posisi Sadapan (Tap) : 10 V
 - d. Time Dial : 0,5 second
 - e. Rating : 220 Volt

4.2 Perhitungan

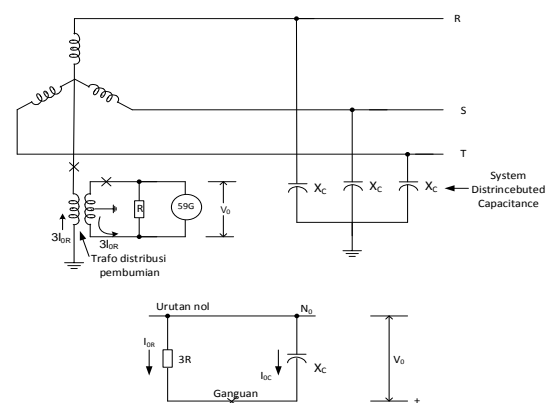
Berikut ini akan dihitung besarnya arus gangguan satu fasa ke bumi yang mungkin dapat terjadi pada sistem generator-trafo Unit 2 PLTU Labuhan Angin.

4.2.1 Kapasitansi Total per Fasa (C)

Besarnya total kapasitansi (C_{tot}) ke bumi dari sistem generator-trafo Unit 2 PLTU Labuhan Angin yaitu 0,437 μF .

4.2.2 Arus Gangguan Satu Fasa ke Bumi

Arus gangguan satu fasa ke bumi akan mencapai maksimum, apabila gangguan terjadi pada terminal generator. Untuk sistem generator-trafo yang dibumikann dengan tahanan tinggi, besarnya arus gangguan satu fasa ke bumi dapat dihitung sebagai berikut:



Gambar 4.2. Pembumihan Titik Netral dengan Tahanan Tinggi

Reaktansi kapasitif $X_C = \frac{1}{j\omega.C}$, dan total kapasitansi ke bumi per fasa (0,579 μF) pada frekuensi kerja 50 Hz, maka reaktansi kapasitifnya adalah:

$$X_c = -j \frac{10^6}{2\pi \cdot f \cdot C}$$

$$X_c = -j \frac{10^6}{2\pi(50)(0,579)}$$

$$= 5497,58 \Omega/\text{fasa}$$

Kapasitansi ini dalam pu pada basis 100 MVA, 13,8 kV adalah sebagai berikut:

$$Z_b = \frac{kV^2}{mVA} = \frac{13,8^2}{100} = 1,904 \Omega$$

$$X_c pu = \frac{5497,58 \angle -90^\circ}{1,904}$$

$$= 2887,384 \angle -90^\circ pu$$

Tahanan pembumian generator dipilih sama dengan kapasitansinya. Jadi 3R pada urutan nol sama dengan 2887,384 pu, pada basis 100 MVA, 13,8 kV.

4.2.2.1 Jaringan urutan positif dan negatif

Generator 143,75 MVA; 12,8%; pada basis 100MVA,

$$X_{G1} = \frac{100mVA}{143,75mVA} \times 0,128pu = j0,089pu$$

Transformator utama 150MVA; 12%; pada basis 100MVA,

$$X_{T1} = \frac{100mVA}{150mVA} \times 0,12pu = j0,08pu$$

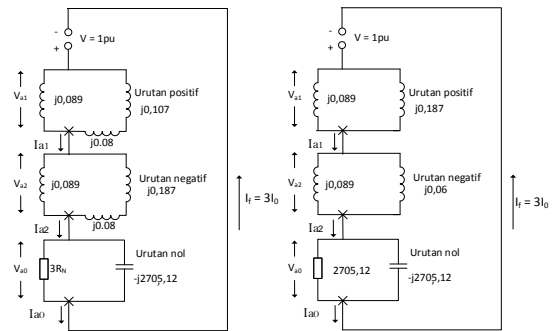
Sistem 150kV; 10,7% pada basis 100MVA,

$$X_{s1} = \frac{100mVA}{100mVA} \times 0,107pu = j0,107pu$$

Transformator utama dan sistem tersambung seri, lihat gambar 4.3.2.1, jadi impedansi totalnya = $j0,08pu + j0,107pu = j0,187pu$.

Sementara impedansi total ini dihubungkan paralel dengan impedansi generator. Jadi nilai impedansi penggantinya adalah:

$$z_1 = z_2 = \frac{j0,187pu \times j0,089}{j0,187 + j0,089} = j0,06 pu$$



Gambar 4.3. urutan jaringan pada gangguan fasa tunggal ke bumi dalam pu pada basis 100 MVA, 13,8 kV

4.2.2.2 Jaringan urutan nol

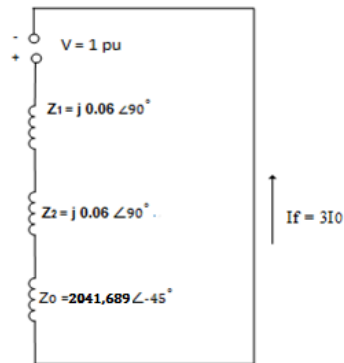
Pada jaringan urutan nol, 3R paralel dengan X_0 , seperti pada gambar 4.3.2.3, maka pengganti jaringan urutan nol dihitung sebagai berikut:

$$Z_0 = \frac{3R \times (-jX_c)}{3R - jX_c}$$

$$= \frac{2887,384 \times (-2887,384)}{2887,384 + (-2887,384)}$$

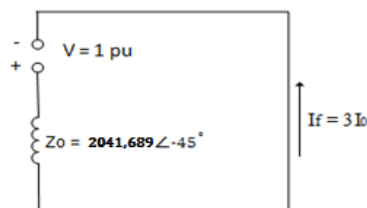
$$= \frac{(2887,384)^2 \angle -90^\circ}{2887,384 \times \sqrt{2} \angle -45^\circ}$$

$$= 2041,689 \angle -45^\circ pu$$



Gambar 4.4. Rangkaian Ekivalen Impedansi

Dari hasil perhitungan diatas ternyata nilai $Z_1 = Z_2 = j0,06 pu < Z_0 = 2041,689 pu$; sehingga $Z_1 = Z_2 = j0,06 pu$ dapat diabaikan seperti pada gambar 4.5.



Gambar 4.5. Rangkaian Ekivalen Impedansi Akhir

$$I_1 = I_2 = I_0 = \frac{V_s}{Z_0} = \frac{1}{2041,689 \angle -45^\circ} = 0,00049 \angle 45^\circ \text{ pu}$$

$$\text{Arus basis} = \frac{100000 \text{ kVA}}{\sqrt{3} \times 13,8 \text{ kV}} = 4183,697 \text{ A}$$

Jadi arus gangguan adalah:

$$I_1 = I_2 = I_0 = 0,00049 \times 4183,697 = 2,05 \text{ A}$$

$$I_f = 3 \times I_0 = 3 \times 2,05 \text{ A} = 6,15 \text{ A}$$

Ratio trafo distribusiah 13800 / 230 V

$$\text{jadi ratio trafo} = \frac{13800 \text{ V}}{230 \text{ V}} = 60$$

Tahanan primer 3R sama dengan X_C . Jadi tahanan yang dipilih nilainya

$$= \frac{X_C}{3} = \frac{5497,58}{3} = 1832,527 \Omega$$

Besar tahanan sebenarnya yang dihubungkan pada sekunder trafo distribusi adalah:

$$R = 1832,527 \times \left(\frac{230}{13800}\right)^2 = 0,509 \Omega$$

Arus Pelepasan (*charging current*) normal dari sistem adalah:

$$I_{OC} = \frac{13800 \cdot \sqrt{3}}{5497,58} = 1,449 \text{ A}$$

$$I_{OR} = \frac{13800 \cdot \sqrt{3}}{5497,58} = 1,449 \text{ A}$$

Arus primer trafo distribusi:

$$3I_{OR} = 3 \times 1,449 = 4,347 \text{ A}$$

Arus pada sisi sekunder trafo distribusi :

$$= 4,347 \times a = 4,347 \times \left(\frac{13800}{230}\right) = 260,82 \text{ A}$$

Tegangan V_0 yang diperoleh pada sisi primer pada tegangan fasa ke bumi adalah:

$$V_0 = 260,82 \times 0,509 = 132,757 \text{ V}$$

Daya yang diserap oleh tahanan sewaktu terjadi gangguan satu fasa ke bumi adalah:

$$P = I^2 R = 260,82^2 \times 0,509 = 34625,797 \text{ W} = 34,625 \text{ kW pada } 13,8 \text{ kV}$$

Daya trafo distribusi dalam kVA adalah:

$$3I_{OC} \times 13,8 = 3 \times 1,449 \times (13,8 \text{ kV} \cdot \sqrt{3}) = 34,634 \text{ kVA}$$

Dari data, diketahui jika daya transformator pembumian

$$= 29,3 \text{ kW} \times 0,8 = 36,625 \text{ kVA}$$

Nilai tahanan pembumian yang terpasang pada PLTU sektor Labuhan Angin dengan menggunakan trafo tipe distribusi metode tahanan tinggi adalah:

$$R_p = \frac{X_C}{3} = \frac{5497,58}{3} = 1832,527 \Omega$$

$$R_s = R_p \times \left(\frac{1}{a}\right)^2 = 1832,257 \times \left(\frac{230}{13800}\right)^2 = 0,509 \Omega$$

Nilai tahanan pembumian yang terpasang pada PLTU unit 2 sisi sekunder trafo pembumian sesuai data adalah 0,53 Ω , jadi tahanan pembumian sisi primer trafo pembumian adalah:

$$R_n = a^2 \times R_s = \left(\frac{13800}{230}\right)^2 \times 0,509 = 1832,4 \Omega$$

Dengan kata lain, sistem pembumian dengan tahanan tinggi yang diterapkan pada sistem generator-trafo unit II PLTU Labuhan Angin telah memenuhi standar IEEE std.142-1972, yaitu $R_p \leq \frac{X_{CO}}{3}$

Untuk mencegah terjadinya resonansi maka persyaratannya penyetelan arus rele (Iset) harus lebih besar dari arus kapasitansi totalnya (I_C). Besarnya arus netral ditentukan sebesar 10 A, dengan demikian maka :

$$R_N = \frac{13800 / \sqrt{3} \text{ V}}{10 \text{ A}} = 796,74 \Omega$$

Tahanan pembumian yang terpasang $R_n = 2427,84 \Omega$; maka arus menjadi :

$$I_{netral} = \frac{13800 / \sqrt{3} \text{ V}}{1832,527 \Omega} = 4,347 \text{ A}$$

Kapasitansi total = 0,437 μF per fasa, jadi:

$$X_C = \frac{10^6}{2\pi f C} = \frac{10^6}{2\pi \times 50 \times 0,579} = 5497,58 \Omega$$

Arus kapasitansi per fasa :

$$I_{C,f} = \frac{V_f}{X_C} = \frac{13800 / \sqrt{3} \text{ V}}{5497,58 \Omega} = 1,449 \text{ A}$$

Penyetelan arus rele (I_{set}) sebesar 4,347 A dan arus kapasitansi totalnya (I_C) sebesar 1,449 A, jadi sudah memenuhi syarat ($I_{set} > I_C$).

5. KESIMPULAN

Dari hasil perhitungan dan pembahasan pada bab-bab sebelumnya maka dapat dibuat beberapa kesimpulan, sebagai berikut :

1. Jumlah kapasitansi ke bumi atau 5497,58
2. Besarnya arus-pelepasan (*charging current*) besar .
3. Tahanan pembumian titik netral generator $R_n = 1832,527 \Omega$ pada sisi primer (13.8 kV) transformator distribusi pembumian, pada sisi sekunder (230 V), sedangkan yang terpasang pada unit 4 PLTU Sektor Labuhan Angin
4. Dan hasil perhitungan daya transformator distribusi pembumian 34,634 kVA, dari data diketahui daya transformator distribusi pembumian 36,625 kVA.
5. Jadi sistem pembumian dengan tahanan tinggi yang diterapkan pada sistem generator-trafo unit II PLTU Sektor Labuhan Angin telah memenuhi standar IEEE std. 142-1972.
6. Penyetelan arus rele (I_{Set}) sebesar 4,347 A dan arus kapasitansi totalnya (IC) sebesar 1.449 A sudah memenuhi syarat (I_{Set} > IC).

6. REFERENSI

1. Hasan Basri,Ir. 2003. Diktat Kuliah Proteksi Sistem Tenaga Listrik Jilid 1 dan Jakarta : ISTN.
2. Installing Instruction For Static Excitation, Pemeliharaan Listrik Sektor Pembangkitan Labuhan Angin
3. Kadir, Abdul. 1999. Mesin Sinkron. Djambatan, Jakarta.
4. Marsudi, Djiteng. 2003. Pembangkitan Energi Listrik. PT. Jalamas Berkatama, Jakarta.
5. Marsudi, Djiteng. 2006. Operasi Sistem Tenaga Listrik Edisi Kedua. Graha Ilmu, Jakarta.
6. Operation Manual Of Motor, Pemeliharaan Listrik Sektor Labuhan Angin