

TEGANGAN LEBIH TRANSIEN AKIBAT PELEPASAN BEBAN PADA TRANSFORMATOR DENGAN ELECTROMAGNETIC TRANSIENT PROGRAM (EMTP)

Mukhtaher

*Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknologi Industri Universitas Bung Hatta
Kampus III, Jl. Gajahmada No. 19 Gunung Pangilun 25143, Telp (0751) 54257
e-mail @ : taher-te@yahoo.com*

ABSTRACT

Transformator represent equipments of electric for the channeling of electric power from generating centers to consumer, in its operation often happened trouble which in resulting from disconnector so that cause the happening of over voltage. Over voltage which in generating it in the form of transien that happened selective time shorten. Level of tension more this transien have in conducting with various calculation like with laplace transformasi, equation of differensial, and others. At this skripsi of over voltage transien in conducting with Electromagnetic Transient Program (EMTP), where with this EMTP will be got by more accurate value, later then will be made by analysis validasi which is conducted. In this paper is conducted by analysis over voltage effect of disconnector in PLTG Pauh Limo Padang.

1. Pendahuluan

Transformator merupakan peralatan listrik yang sangat penting dalam proses pendistribusian dari pusat-pusat pembangkit ke pusat beban. Agar dapat melayani kebutuhan tersebut maka diperlukan suatu transformator yang handal dan tingkat keamanan yang tinggi. Pada saat operasi sering mengalami gangguan yang dapat mengakibatkan terhentinya penyaluran tegangan. Salah satu gangguan tersebut adalah tegangan lebih yang berupa tegangan transien. Tegangan lebih transien ini besarnya mencapai beberapa kali tegangan sistem.

Tegangan lebih transien (transient over voltage) yang terjadi pada transformator dapat disebabkan oleh

faktor internal misalnya pelepasan beban atau faktor eksternal.

Analisa tegangan lebih transien akibat pelepasan beban dengan menggunakan EMTP dapat memberikan profil tegangan transien akibat pelepasan beban dan level kenaikan tegangan dan batas maksimum yang terjadi apakah sesuai dengan BIL yang diizinkan.

2. Transien Akibat Pelepasan Beban

Surja hubung adalah gejala transien yang disebabkan oleh pemasukan energi (energization), pemutusan energi (de-energezation) dan pemutus disertai pemasukan kembali energi (re-energization) dari suatu rangkaian listrik. Proses pensaklaran

dilakukan oleh saklar atau pemutus (PMT) berupa operasi penutupan (closing), pembukaan (opening) dan penutupan kembali (reclosing). Operasi-operasi tersebut dikenal dengan istilah operasi switching. Tujuan sistem pelepasan beban adalah untuk menjaga keseimbangan antara kapasitas pembangkit yang tersedia dengan beban yang dilayani, apabila terjadi gangguan pada sebagian pembangkitan.

2.1. Transien

Transien merupakan suatu perubahan mendadak dari keadaan atau kondisi yang terjadi pada suatu sistem rangkaian atau jaringan listrik, akibat adanya peluahan energi yang dimiliki oleh masing-masing komponen listrik yang terdapat didalamnya. Transien juga dapat didefinisikan sebagai suatu keadaan peralihan pada saat terjadinya gangguan, sampai pada kondisi mantap (*Steady State*) akibat terjadinya suatu penyuntikan energi secara tiba-tiba. Namun pada periode transien yang demikian komponen rangkaian mendapat tekanan yang sangat besar dari arus atau tegangan. Dalam kasus tertentu dapat mengakibatkan kerusakan pada peralatan dimana transien itu terjadi.

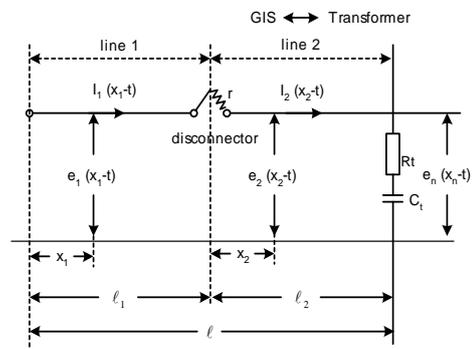
Pada dasarnya rangkaian listrik tersusun atas tiga parameter utama, yaitu : Resistansi (R), Induktansi (L),

Kapasitansi (C). Ketiga parameter tersebut memiliki kemampuan untuk menyimpan energi dalam suatu rangkaian listrik, dimana resistansi menyimpan energi listrik dalam bentuk panas (rugi-rugi tembaga) yang besarnya, $P_c = I^2 \cdot R$ (1) induktor (L) dalam medan magnet,

$$W_L = \frac{1}{2} LI^2 \dots\dots\dots(2)$$

dan capasitor (C) dalam medan listrik,

$$W_C = \frac{1}{2} CV^2 \dots\dots\dots(3)$$



Gambar 1. Sistem yang digunakan dalam analisis

Persamaan Laplace dari rangkaian pada gambar 1 memberikan garis tegangan k (= 1 atau 2) di dalam persamaan :

$$e_k(\alpha_k, t) = E^{(0)} + 2 \sum_{i=1}^{\infty} \text{Re} \left[\frac{G_k(\alpha_k, s^{(i)})}{F(s^{(i)})} \exp(s^{(i)} t) \right] \dots\dots\dots(4)$$

dimana :

$$E^{(0)} = \frac{T_1 E_1 + (T_2 + T_t) E_2}{T + T_t} \dots\dots(5)$$

$$G_k(\alpha_k, s) = \frac{F(s) E_2}{s} - \sinh \frac{s T_1}{s} x \left\{ \frac{\cosh s(T_2 - \frac{\alpha_2}{v_s}) + s T_t \sinh s(T_2 - \frac{\alpha_2}{v_s})}{s T_t \sinh s(T_2 - \frac{\alpha_2}{v_s})} \right\} x (E_1 - E_2) \dots\dots\dots(6)$$

dan, $s^{(i)}$ ($i = 1, 2, 3, \dots$) adalah persamaan akar karakteristik $F(s) = 0$ yang ditulis dengan :

$$s^{(i)} = -\alpha^{(i)} + j\omega^{(i)} \dots\dots(7)$$

dimana tidak menghilangkan kasus $\delta T = \delta T_1 = 0 (i.e, r = r_1 = 0)$, akar menjadi khayal murni : $s^{(i)} = j\omega_0^{(i)}$. Dari $F(j\omega_0^{(i)}) = 0$, $\omega_0^{(i)}$ adalah didalam batas :

$$\left(i - \frac{1}{2} \right) \frac{\pi}{T} < \omega_0^{(i)} \leq i \frac{\pi}{T}$$

Status yang ditandai oleh $\omega_0^{(i)}$ disebut ' Gelombang Harmonik' di dalam catatan ini. Didalam kasus tidak menghilangkan sistem, persamaan (4) dikurangi menjadi:

$$e_1(\alpha_1, t) = E^{(0)} + \sum_{i=1}^{\infty} \cos\left(\omega_0^{(i)} \frac{\alpha}{v_s} \right) E_p^{(i)} \cos(\omega_0^{(i)} t) \dots\dots\dots(8)$$

$$e_2(\alpha_2, t) = E^{(0)} + \sum_{i=1}^{\infty} \left\{ \begin{array}{l} \cos \omega_0^{(i)} \left(T_2 - \frac{\alpha}{v_s} \right) - \\ \tan \omega_0^{(i)} T \sin \omega_0^{(i)} \left(T_2 - \frac{\alpha}{v_s} \right) \end{array} \right\} E_o^{(i)} \cos(\omega_0^{(i)} t) \dots\dots\dots(9)$$

dimana :

$$E_p^{(i)} = \frac{2 \sin \omega_0^{(i)} T_1 (E_1 - E_2)}{\omega_0^{(i)} T \left\{ 1 + (T_1/T) \cos^2 \omega_0^{(i)} T \right\}} \dots\dots\dots(10)$$

$$E_o^{(i)} = \frac{2 \sin \omega_0^{(i)} T_1 \cos \omega_0^{(i)} T (E_1 - E_2)}{\omega_0^{(i)} T \left\{ 1 + (T_1/T) \cos^2 \omega_0^{(i)} T \right\}} \dots\dots\dots(11)$$

bentuk gelombang masukan trafo adalah :

$$e_o(t) = e_2(l_2, t) = E^{(0)} + \sum_{i=1}^{\infty} E_o^{(i)} \cos(\omega_0^{(i)} t) \dots\dots\dots(12)$$

dimana :

$E_o^{(i)}$ = amplitudo harmonik pada tegangan lebih transien sangat cepat pada masukan transformator.

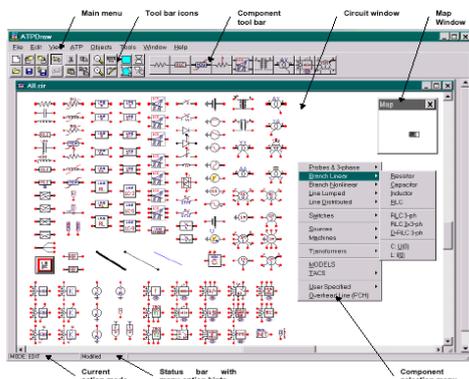
2.2. Electromagnetic Transient Program (EMTP)

Electromagnetic Transients Program (EMTP) merupakan salah satu program komputer untuk menyelesaikan masalah peralihan (transien) pada sistem tenaga multi phase. Pada awalnya program ini bernama Transients Network Analyzer (TNA). Penggunaan EMTP dibagi dalam dua jenis, pertama desain yang meliputi koordinasi isolasi, rating peralatan, spesifikasi peralatan proteksi, sistem kontrol, peningkatan kualitas dan studi harmonik.

Pemasukan data pada program ini berdasarkan pola pikir gambar kartu, file ASCII yang datar dihasilkan dan dimodifikasi dengan editor standar dan data dimasukan dalam kolom-kolom yang sesuai dengan aturan yang diberikan. File masukan data dibaca oleh EMTP dan akan menghasilkan file keluaran yang berupa gambar. Gambar keluaran ini mempunyai ekstensi .pl4 yang berisi undak waktu perhitungan,

lama waktu simulasi dan keluaran yang diinginkan

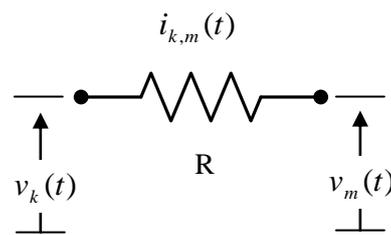
ATP (Alternative Transients Program) merupakan versi dari EMTP yang paling banyak digunakan sekarang ini, hal ini disebabkan karena ATP kompatibel dengan berbagai komputer yang umum dipakai (terutama MS-DOS dan Intel). ATP ini mempunyai dua macam versi yaitu ATP yang berbasis DOS yang merupakan kompilernya sedangkan yang lainnya ATPDraw, yang merupakan interface ATP dengan sistem. Operasi Windows ATPDraw memungkinkan untuk membuat dan mengubah rangkaian listrik yang disimulasikan secara interaktif. Dalam ATPDraw, pengguna bisa membuat rangkaian listrik dengan komponen-komponen yang tersedia dalam program. Rangkaian simulasi yang dibuat pada ATPDraw secara otomatis dapat dijalankan dengan menggunakan ATP EMTP yang berbasis DOS.



Gambar 2 Menu Utama ATPDraw (ATP-EMTP) beserta komponen-komponen pemodelan

2.3.1 Resistansi

Secara sederhana resistansi dipresentasikan sesuai dengan hukum Ohm, seperti yang diperlihatkan pada gambar 3 berikut :



Gambar 3. Representasi dari Resistansi Arus yang mengalir pada Resistansi (R) adalah :

$$i_{k,m}(t) = \frac{[v_k(t) - v_m(t)]}{R} \dots\dots(13)$$

2.3.2. Induktansi

Berdasarkan gambar 4. hubungan antara arus dan tegangan pada titik k,m adalah sebagai berikut :

$$v_k - v_m = L \left(\frac{di_{k,m}}{dt} \right) \dots\dots\dots(14)$$

dimana :

v_k = Tegangan induktor ditinjau pada titik k (volt)

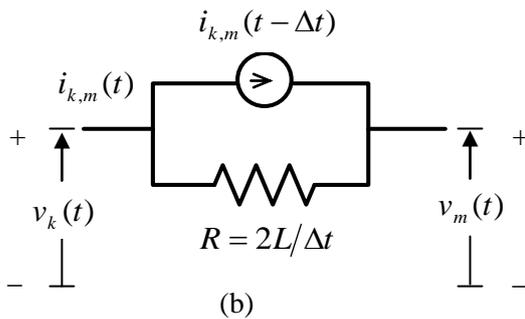
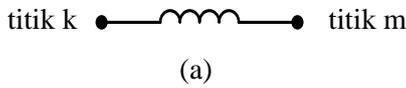
v_m = Tegangan induktor ditinjau pada titik m (volt)

L = Induktansi dari induktor (Henry)

i = Arus yang mengalir dalam induktor (Ampere)

t = Waktu (detik)

Pada sebuah induktor diperoleh hubungan tegangan dan arus induktansi yang mengalir dalam saluran antara titik k dan m, yang dibuat pada gambar (4.a).



Gambar 4 (a) Induktansi pada cabang k,m
(b) Rangkaian Ekuivalen Impedansi

Arus pada induktor mempunyai bentuk

$$i_{k,m}(t) = i_{k,m}(t - \Delta t) + \frac{1}{L} \int_t^t (v_k + v_m) dt \dots\dots\dots(15)$$

dengan aturan trapesoid, diperoleh ;

$$i_{k,m}(t) = \frac{\Delta t}{2L} [v_k(t) - v_m(t)] + I_{k,m}(t - \Delta t) \dots\dots\dots(16)$$

dimana arus ekuivalen $I_{k,m}$ diketahui pada waktu awal (past history), yaitu :

$$I_{k,m}(t - \Delta t) = i_{k,m}(t - \Delta t) + \frac{\Delta t}{2L} [v_k(t - \Delta t) - v_m(t - \Delta t)] \dots\dots\dots(17)$$

2.3.3. Kapasitansi

Pada gambar 5 akan diperoleh arus dan tegangan kapasitansi yang lewat dalam sebuah kapasitor dalam saluran k,m secara matematis dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$i_{k,m}(t) = C \frac{d[v_k(t) - v_m(t)]}{dt} \dots\dots\dots(18)$$

dimana :

i : Arus yang melewati kapasitor (A)

v : Tegangan pada kapasitor (V)

C : Kapasitansi kapasitor (F)

t : Waktu (dt)

Tegangan pada kapasitor dapat dihitung dari persamaan berikut

$$v_k(t) - v_m(t) = \frac{1}{C} \int_{t-\Delta t}^t i_{k,m}(t) dt \dots\dots\dots(19)$$

Tegangan pada waktu t dapat dihitung dari persamaan berikut :

$$v_k(t) - v_m(t) = \frac{1}{C} \int_{t-\Delta t}^t i_{k,m}(t) dt + v_k(t - \Delta t) - v_m(t - \Delta t) \dots\dots\dots(20)$$

dengan menggunakan aturan trapezoidal, diperoleh ;

$$i_{k,m}(t) = \frac{2C}{\Delta t} [v_k(t) - v_m(t)] + I_{k,m}(t - \Delta t) \dots\dots\dots(21)$$

dimana :

$$I_{k,m}(t - \Delta t) = i_{k,m}(t - \Delta t) - \frac{2C}{\Delta t} [v_k(t - \Delta t) - v_m(t - \Delta t)] \dots\dots\dots(22)$$

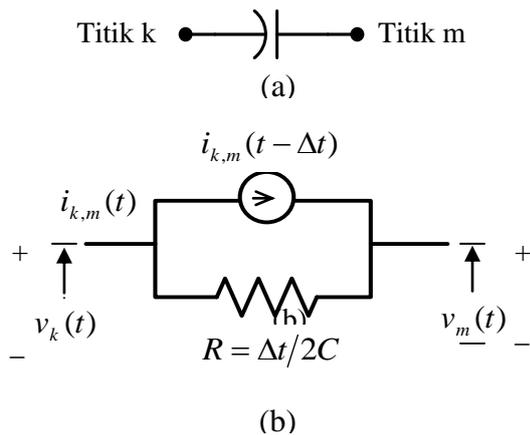
Penyederhanaan persamaan diatas dapat ditulis sebagai berikut :

$$i_{k,m}(t) = \frac{(v_k(t) - v_m(t))}{R} + I_c \dots\dots\dots(23)$$

$$\text{dengan : } R_c = \frac{\Delta t}{2C} \dots\dots\dots(24)$$

$$I_c = i_{k,m}(t - \Delta t) \dots\dots\dots(25)$$

dimana I_c adalah arus yang melalui kapasitor.



gambar 5. (a) kapasitansi (b) rangkaian ekivalen impedansi

Menentukan besarnya amplitudo tegangan dapat digunakan persamaan :

$$V_{peak} = \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}} \times V_{dasar} \text{ Volt} \dots \dots \dots (26)$$

Untuk menentukan besarnya impedansi yang akan digunakan dalam perhitungan EMTP dapat ditentukan dengan :

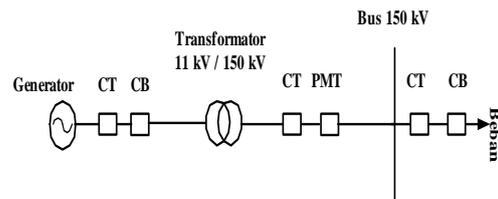
$$Z = \frac{(V_{dasar}^2)}{MVA_{dasar}} \angle \theta \text{ ohm} \dots \dots \dots (27)$$

dan nilai R dan L dapat dihitung dengan rumus :

$$Z = R + jX_L \dots \dots \dots (28)$$

3. Metodologi

Dalam penelitian ini dilakukan simulasi tegangan transien yang terjadi akibat pelepasan beban pada transformator 150 kV. Sebagai studi kasus diambil transformator pada PLTG Pauh Limo. Diagram satu garis unit pembangkit PLTG Pauh Limo dapat dilihat pada gambar 6 dibawah ini.



Gambar 6 Diagram Satu Garis PLTG Pauh Limo Padang

Data yang digunakan untuk analisa tegangan transien dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 1 Data-data Pembangkit, Transformator dan Beban

| No | Jenis | Teg (kV) | Kpsitas (MVA) | Cos φ | |
|----|--------------|----------|---------------|-------|-----|
| 1 | Generator | 11 | 26,688 | 0,8 | |
| 2 | Trafo | Primer | 11 | 27 | 0,8 |
| | | Skunder | 150 | 27 | 0,8 |
| 3 | GI Lb. Alung | 150 | 10 | 0,8 | |
| 4 | GI PIP | 150 | 42 | 0,8 | |
| 5 | GI Simp.Haru | 150 | 20 | 0,8 | |

4. Hasil dan Pembahasan

Hasil perhitungan Circuit breaker dan Current transformer dalam kapasitansi (C) pada masing masing sisi beban dapat dilihat pada tabel 2 berikut ini :

Table 2 : hasil perhitungan CB dan CT

| No | Sisi Beban | C B (μF) | CT (μF) |
|----|--------------|----------|---------|
| 1. | GI Lb. Alung | 16,98 | 16,98 |
| 2. | GI PIP | 16,98 | 16,98 |
| 3. | GI simp haru | 25,47 | 26,54 |

Hasil perhitungan Nilai Resistansi dan Induktansi pada masing masing sisi

beban dapat dilihat pada tabel 3 berikut ini :

Table 3 : hasil perhitungan Resistansi dan Induktansi

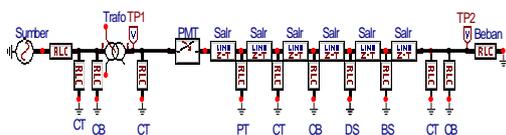
Sedangkan nilai Amplitudo Sumber (Amp) :

$$V_{Peak} = \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}} \times 150000 \text{ (volt)}$$

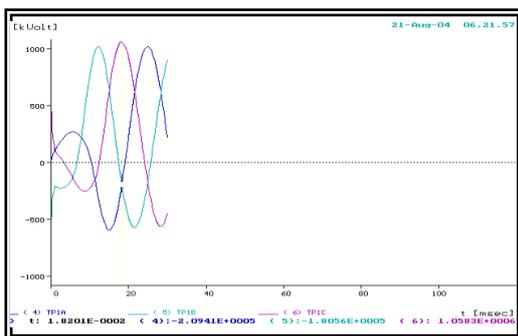
$$V_{Peak} = 122474,4871 \text{ (volt)}$$

4.1. Pelepasan Beban GI Lubuk Alung

gambar 7 dibawah ini memperlihatkan rangkaian simulasi pada keadaan pelepasan bebabn pada PLTG pauh Limo dengan Gi Lubuk Alung



Gambar 7 Rangkaian simulasi pada keadaan pelepasan Beban PLTG Pauh Limo Dengan GI Lubuk Alung



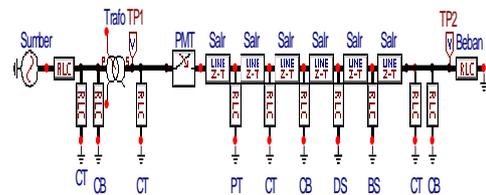
Gambar 8 Profil tegangan lebih transien pada sisi keluaran transformator untuk beban GI Lubuk Alung

4.2. Pelepasan Beban GI Padang Industrial Park

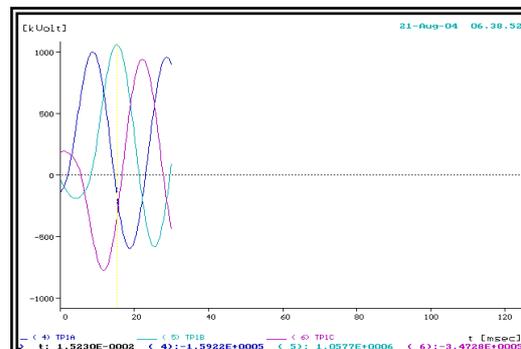
gambar 9 dibawah ini memperlihatkan rangkaian simulasi pada keadaan pelepasan bebabn pada PLTG pauh

| No. | Jenis | Resistansi (Ohm) | Induktansi (mH) |
|-----|-------------|------------------|-----------------|
| 1 | Generator | 3,627 | 8,66 |
| 2 | Trafo | Primer | 3,585 |
| | | Skunder | 666,67 |
| 3 | GI Lb Alung | 179,999 | 4299,4 |
| 4 | GI PIP | 428,56 | 1024 |
| 5 | GI Simp.H | 899,9 | 2149 |

Limo



Gambar 9 Rangkaian simulasi pada keadaan pelepasan Beban PLTG Pauh Limo Dengan GI PIP

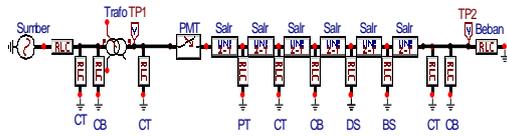


Gambar 10 Profil tegangan lebih transien pada sisi keluaran transformator untuk beban GI PIP

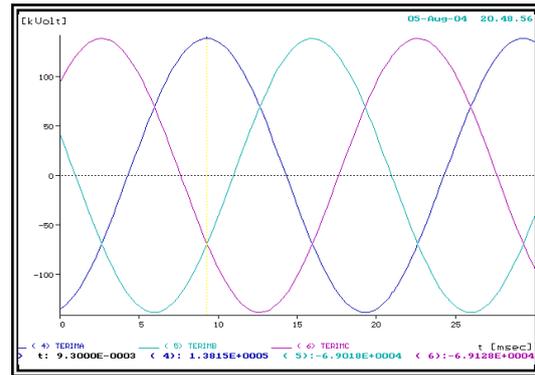
4.2. Pelepasan Beban GI Simpang Haru

gambar 11 dibawah ini memperlihatkan rangkaian simulasi pada keadaan

pelepasan beban pada PLTG pauh Limo dengan GI Simpang Haru

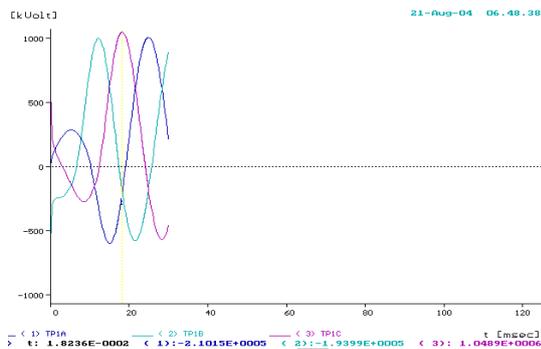


Gambar 11 Rangkaian simulasi pada keadaan pelepasan Beban PLTG Pauh Limo Dengan GI Simpang Haru



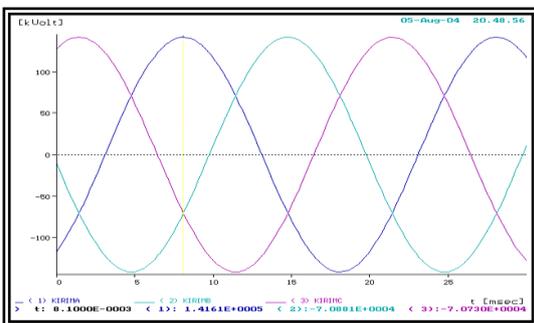
Gambar 14 Profil tegangan pada sisi terima (keadaan normal)

Pada saat pembukaan pada masing masing fase tidak bergerak pada titik yang sama hal ini disebabkan karena adanya beda fase antara masing-masing fase yaitu perbedaannya sebesar 120^0 . Untuk perbedaan nilai tegangan antara kondisi normal dengan kondisi gangguan disini dipengaruhi oleh besarnya nilai tegangan sumber dan beban yang dilepaskan serta jarak antara pelepasan beban dengan transformator pada pembangkit sebagai sumber tegangan yang menjadi fokus analisis. Hal ini berarti bahwa tegangan lebih akibat pelepasan beban yang terjadi pada PMT yang ada sesudah transformator pada pembangkit menyebabkan lonjakan tegangan yang terjadi pada transformator pada pembangkit sangat jauh berbeda dengan harga tegangan operasi normal. Untuk selisih nilai antara lonjakan tegangan lebih yang terjadi dengan nilai tegangan



Gambar 12 Profil tegangan lebih transien pada sisi keluaran trafo untuk beban GI Simpang Haru

Sedangkan pada saat operasi normal didapatkan grafik tegangan sebagai berikut :



Gambar 13 Profil tegangan pada sisi kirim (keadaan normal)

operasi normal, dipengaruhi oleh panjangnya saluran yang digunakan, dimana pada proses penyaluran beban normal dari pusat pembangkit menuju pusat beban akan mengalami rugi-rugi daya sepanjang saluran yang dilewati serta dipengaruhi juga oleh faktor dari setiap komponen-komponen dari sistem pentanahan yang digunakan.

Tabel 4 Nilai-nilai profil tegangan lebih transien pada masing-masing beban pada Phasa A.

| Beban | Tegangan Lebih Transien (MV Peak) | Waktu Puncak (detik) |
|-----------------|-----------------------------------|----------------------|
| GI Lubuk Alung | 1,0178 | 24,93E-003 |
| GI PIP | 0,99758 | 8E-003 |
| GI Simpang Haru | 1,0101 | 24,942E-003 |

Tabel 5 Nilai-nilai profil tegangan lebih transien pada masing-masing beban pada Phasa B.

| Beban | Tegangan Lebih Transien (MV Peak) | Waktu Puncak (detik) |
|-----------------|-----------------------------------|----------------------|
| GI Lubuk Alung | 1,0187 | 12,215E-0003 |
| GI PIP | 1,0577 | 15,23E-0003 |
| GI Simpang Haru | 1,0038 | 12,233E-0003 |

Tabel 6 Nilai-nilai profil tegangan lebih transien pada masing-masing beban pada Phasa C.

| Beban | Tegangan Lebih Transien (MV Peak) | Waktu Puncak (detik) |
|-----------------|-----------------------------------|----------------------|
| GI Lubuk Alung | 1,0583 | 18,218E-0003 |
| GI PIP | 0,94005 | 22,15E-0003 |
| GI Simpang Haru | 1,0489 | 18,199E-0003 |

5. Kesimpulan

1. Electromagnetic Transient Program (EMTP) salah satu program komputer yang dirancang khusus untuk membantu menganalisa permasalahan peralihan (transien) pada sistem tenaga listrik untuk rangkaian terkonsentrasi, rangkaian terdistribusi atau kombinasi keduanya.
2. Karakteristik tegangan lebih transien yang dihasilkan dari beberapa model simulasi, memberikan bentuk karakteristik dan nilai puncak gelombang transien yang berbeda-beda pada masing-masing phasa. Semakin dekat beban dengan sumber pelepasan beban maka akan semakin tinggi tegangan yang didapatkan dan waktunya akan sangat cepat. Sebaliknya jika semakin jauh beban dengan sumber pelepasan beban maka akan semakin rendah tegangan yang didapat dan waktunya akan semakin lama. Hal ini disebabkan oleh pengaruh impedansi saluran serta perambatan gelombang transien yang cukup lama untuk sampai ujung saluran akan semakin berkurang, sehingga menghasilkan karakteristik transien yang terjadi adalah $8/20 \mu s$.

DAFTAR PUSTAKA

1. Arismunandar. A, S. Kuwahara, **“Teknik Tenaga Listrik, Saluran Transmisi”**, Pradya Paramita, Jakarta, 1993.
2. Dommel, Herma W., **“Electromagnetic Transient Program (EMTP Theory Book)”**, Vancouver, Canada, 1996.
3. Greendwood, Allan, **“Electrical Transient In Power Systems”**, Second Edition, Jhon Willey & Sons, Canada 1991.
4. Hutaaruk TS. **“Gelombang berjalan dan Proteksi Surja”**, Erlangga, Jakarta, 1989.
5. Hutaaruk TS, **“Transmisi Daya Listrik”**, Erlangga, Jakarta, 1984.
6. Stevenson, William D, **“Analisis Sistem Tenaga Listrik”**, Edisi keempat, Erlangga., 1992.
7. Theraja, BL, **“Electrical Technology”**, New Delhi, S Chand & Company Ltd, 1991.