

ANALISIS ARUS TRANSIEN PADA SISI PRIMER TRANSFORMATOR TERHADAP PELEPASAN BEBAN MENGGUNAKAN SIMULASI EMTP

Arfita Yuana Dewi

*Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Padang
E-mail arfita_itp@yahoo.com*

ABSTRACT

Transient phenomena can be happened at electrical equipment, like primary side of transformer, transmission circuit, generator, etc. This condition caused by external or internal trouble of equipment, like short circuit, switching equipment. This condition can be happened in short time and it has big magnitude value, then it will effect to electrical equipment. If the transformer has short circuit trouble, switching trouble, big current will flow to transformer circuit.

This research will count the current transient value at primary side of transformer, by using EMTP (Electromagnetic Transient Program).

Based on the simulation to 21,5 MVA transformer, 1241 A nominal current, this research have result that over load value more than 22,5 MVA will have 1243 A current transient. This value is more than nominal current value of primary side, it caused by, if load have big value and primary current have big value too.

Keywords: *wool fiber, acrylic, blending process*

1. PENDAHULUAN

Transformator memegang peranan yang vital dalam proses penyaluran daya. Agar dapat melayani kebutuhan beban tersebut maka diperlukan sistem tenaga listrik yang handal dengan tingkat keamanan yang tinggi. Pada saat operasi sering mengalami gangguan yang mengakibatkan terhentinya penyaluran daya. Salah satu gangguan tersebut adalah transien. Trasiien yang terjadi pada pada transformator disebabkan oleh faktor eksternal misalnya petir, dan faktor internal misalnya pada proses alih hubung (*switching*).

Transformator adalah suatu alat listrik yang dapat memindahkan dan mengubah energi listrik dari suatu rangkaian kerangkaian berikutnya melalui suatu gandengan magnet yang berdasarkan induksi elektromagnetik.

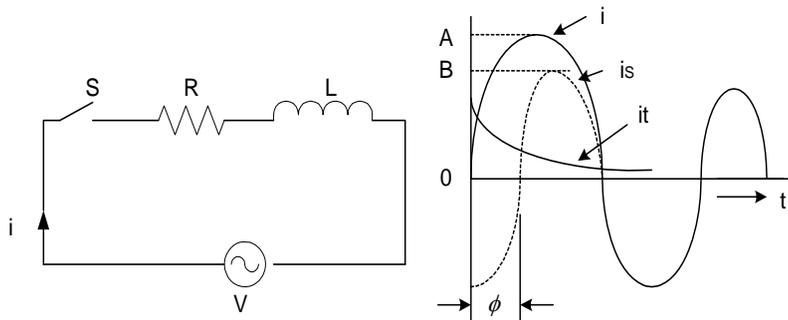
Dalam prakteknya tidak selamanya transformator dapat beroperasi normal, ada kalanya mendapat gangguan, baik gangguan dari luar maupun dari dalam transformator itu sendiri. Salah satu gangguan tersebut berupa gangguan hubung singkat yang dapat menimbulkan gejala transien dan dapat mengakibatkan kerusakan pada transformator tersebut, agar kerusakan pada transformator dapat diminimalisasi maka arus transien yang terjadi disaat *switching* dianalisis agar diketahui apakah besar arus transien yang terjadi masih dalam batasan toleransi sehingga dapat diketahui akibat yang akan ditimbulkan oleh arus transien tersebut.[7]

Transien adalah perwujudan dari perubahan yang mendadak karena terjadi pembukaan dan penutupan saklar atau adanya gangguan pada suatu sistem. Transien berlangsung dalam waktu yang sangat singkat dan magnetudanya sangat berpengaruh terhadap komponen-komponennya yang ada dalam satu sistem. Saat terjadi transien komponen-komponen mengalami tekanan yang sangat besar berupa tegangan dan arus, yang keadaan paling buruk dapat menyebabkan kerusakan peralatan pada sistem dimana transien itu terjadi. [3]

Berdasarkan hal tersebut diatas, maka perlu dilakukan pengujian pada transformator yang disebabkan oleh penutupan saklar terhadap gangguan arus transien pada transformator. Untuk pengujian tersebut dilakukan dengan cara mengevaluasi besar arus transien yang terjadi pada belitan primer transformator ketika switching. Untuk pemodelan yang berupa simulasi ini dilakukan dengan perangkat lunak EMTP (*Electro Magnetic Transients Program*) dengan demikian akan dapat diketahui tingkat keandalan dari transformator sebagai sistem operasi penyaluran beban yang berdaya guna optimal dan efektif.

2. Keadaan Transien

Transien terjadi pada saat penutupan saklar maka akan terjadi perubahan pada arus [3] dapat dilihat pada gambar 1 di bawah ini :



Gambar 1. (a) Rangkaian Ekuivalen R-L
(b) bentuk gelombang arus untuk rangkaian R-L

Keterangan :

i	=	arus awal (Ampere)
V	=	Tegangan (Volt)
R	=	Tahanan (Ohm)
L	=	Induktansi (Henry)
i_s	=	Arus Keadaan steady-state (Amper)
i_t	=	Arus transien (Ampere)
t	=	Waktu (detik)

Dari gambar 1 diperoleh persamaan differensial tegangan sebagai berikut :

$$V = L \frac{di}{dt} + i.R \quad (1)$$

persamaan transienya :

$$L \frac{di}{dt} + i.R = 0 \quad (2)$$

misal : $i_1 = A e^{\rho t}$

Dimana :

$$L \frac{d}{dt} (A e^{\rho t}) + R.A e^{\rho t} = 0$$

$$L A \rho e^{\rho t} + R A e^{\rho t} = 0$$

$$L \rho + R = 0$$

sehingga :

$$i_t = A e^{-\frac{R}{L} t}$$

dimana :

i_t	=	Arus Transien (Ampere)
A	=	Konstanta
R	=	Tahanan (Ohm)
L	=	Induktansi (Henry)

3. Konsep Dasar Simulasi

3.1 Jenis Studi Kasus

Studi kasus yang dilakukan adalah menganalisis besar arus transien pada sisi primer transformator pada saat pelepasan beban, besar dari arus transien tergantung dari besar kapasitas sumber daya, konfigurasi dari sistem dan jarak gangguan dari unit pembangkit. Adapun faktor-faktor yang menyebabkan terjadinya gangguan pada sistem transmisi [6] adalah :

- Burung dan daun-daun
Jika burung dan daun-daun terbang dekat pada isolator gantung dari saluran transmisi, maka kemungkinan terjadi loncatan api.
- Pohon yang tumbuh dekat saluran transmisi
Dahan atau ranting pohon yang jatuh menimpa saluran transmisi akan menyebabkan terjadinya gangguan hubung singkat.
- Tumbang atau robohnya *tower* transmisi dll.

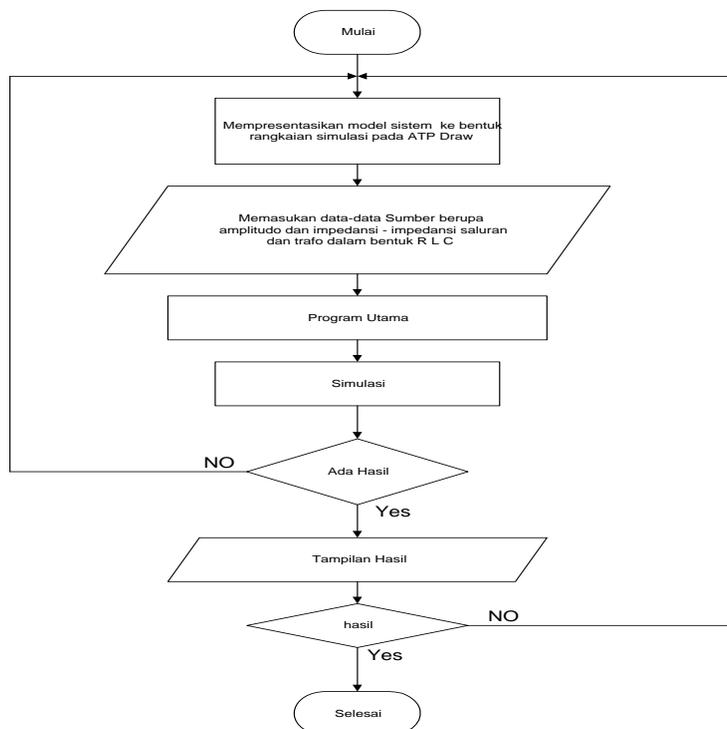
Gangguan hubung singkat tidak hanya merusak peralatan atau elemen-elemen sirkuit, tetapi juga dapat menyebabkan jatuhnya tegangan dan frekuensi sistem, sehingga kerja paralel dari unit-unit pembangkit menjadi terganggu pula.[6]

Salah satu cara untuk dapat menganalisis besar arus transien pada sisi primer saat pelepasan beban pada studi kasus ini, jenis penelitian yang digunakan adalah dengan simulasi EMTP (*Electromagnetic Transients Program*). EMTP adalah suatu program komputer terintegrasi yang didesain untuk menyelesaikan permasalahan peralihan (*transients*) pada sistem tenaga listrik untuk rangkaian terkonsentrasi (*lumped*), rangkaian terdistribusi, atau kombinasi dari kedua rangkaian tersebut.

EMTP dapat digunakan untuk menganalisis transient pada rangkaian yang mengandung parameter terkonsentrasi (R, L, dan C), saluran transmisi dengan parameter terdistribusi, saluran yang ditransposisi atau saluran yang tidak ditransposisi. EMTP sangat baik digunakan untuk menganalisis *transient* pada operasi *switching surge* dan *lightning surge* karena program ini menyediakan fasilitas pemodelan untuk generator, CB (*Circuit Breaker*), *transformator*, *arrester*, sumber surya petir, dan pemodelan saluran transmisi baik untuk saluran yang tergantung frekuensi maupun tidak.

3.2 Jalannya Penelitian

Jalan Penelitian mempunyai aturan-aturan khusus dalam pemasukan data untuk dianalisis dengan EMTP, yang disebut sebagai prosedur simulasi seperti ditunjukkan pada gambar 2 dibawah:



Gambar 2. Diagram Alir Simulasi EMTP

3.3 Lokasi Kajian

Lokasi Kajian studi kasus ini adalah pada transformator step up 21.5 MVA 10/150 kV di Gardu Induk Maninjau.

3.4 Data - Data Yang dibutuhkan

Untuk mengkaji tentang besar arus transien pada sisi primer transformator untuk itu dibutuhkan data-data yang terdiri dari :

- Data - data konkrit pada saluran transmisi 150 kV GI Maninjau - GI Padang Luar.
- Data kapasitas Transformator Step-up GI Maninjau.
- Data kapasitas Transformator Step-down Padang Luar.
- Data - data kapasitas Pembangkitan di Maninjau.
- *Single Line Diagram* Gardu Induk Maninjau - Gardu Induk Padang Luar.
- Data - data peralatan yang ada di Gardu Induk Maninjau - Gardu Induk Padang Luar.

3.5 Metode Perhitungan dan Analisa Data

Metode perhitungan yang dipakai dalam penelitian ini adalah metode penyelesaian dengan EMTP, dengan menggunakan parameter- parameter saluran yang diasumsikan ke dalam bentuk pemograman EMTP .

Metode Analisa Data adalah dengan menggunakan data - data pada saluran Gardu Induk Maninjau - Gardu Induk Padang Luar dengan materi kajian terdiri dari :

- Pembuatan model saluran Maninjau - Padang Luar.
- Penentuan nilai setiap parameter saluran sesuai dengan kondisi yang ada.
- Penerapan pemodelan kedalam pemograman EMTP.
- Pengamatan hasil untuk analisis arus gangguan maksimum pada saluran.

4. ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.1 Diskripsi Data

Data simulasi yang digunakan untuk pemograman EMTP adalah dengan menggunakan data saluran transmisi sepanjang 42 km, adapun data untuk aplikasi GI Maninjau (sumber/sisi kirim) - GI Padang Luar (ujung saluran/sisi terima) antara lain :

1. Generator
 - a. Kapasitas MVA = 21,5 MVA
 - b. Tegangan Dasar = 150 kV
 - c. Tegangan Kirim = 10 kV
 - d. $\cos \theta$ = 0,79

2. Transformator Pembangkit
 - a. Kapasitas MVA = 21,5 MVA
 - b. Tegangan Primer = 10 kV
 - c. Tegangan Sekunder = 150 kV
 - d. $\cos \theta$ = 0,79
3. Transformator GI
 - a. Kapasitas MVA = 30 MVA
 - b. Tegangan Primer = 150 kV
 - c. Tegangan Sekunder = 20 kV
 - d. $\cos \theta$ = 0,8
4. Saluran Transmisi
 - a. Impedansi saluran = $0.121 + j0.4022$ ohm / km
 - b. Tinggi Menara rata-rata = 33,3 meter
 - c. Lebar puncak menara = 1,1 meter
 - d. Lebar kaki menara = 7,5 meter
 - e. Panjang Cross kawat tanah = 5,7 meter
 - f. Panjang Cross fasa atas = 6,8 meter
 - g. Panjang Cross fasa tengah = 7 meter
 - h. Panjang Cross fasa bawah = 7,2 meter
 - i. Jarak kawat fasa-kawat tanah = 19,35 meter
 - j. Jarak antar kawat fasa = 4,5 meter
 - k. Jarak kawat fasa dengan tanah = 4,9 meter
5. Konfigurasi Kawat fasa
 - a. Diameter luar = 21,9 mm
 - b. Tahanan temperatur 20° ohm / km = 0,121 ohm / km
6. Konfigurasi Kawat Tanah
 - a. Diameter luar = 9 mm
 - b. Tahanan temperatur 20° ohm / km = 4,8 ohm / km
7. Isolator
 - a. Ckeepage distance = 292 mm
 - b. Jumlah isolator = 11 buah

4.2 Perhitungan / Analisa Data

Perhitungan yang digunakan untuk menganalisa data adalah dengan menggunakan parameter-parameter simulasi EMTP, adapun perhitungan data-data simulasi adalah sbb :

1. Generator Pembangkit

- a. Amplitudo Generator Pembangkit (Amp)

$$\text{Amp} = \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}} \times V_{dsr}$$

dimana : V_{dsr} adalah tegangan dasar pembangkit = 10 KV

$$\text{maka : Amp} = \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}} \times 10 \text{KV} = \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}} \times 10000 \text{V} = 8164,96 \text{V}_{\text{peak}}$$

b. Impedansi Generator Pembangkit (ZG)

$$Z_{\text{dsr}} = \frac{(V_{\text{dsr}})^2}{S_{\text{dsr}}} \angle \theta = \frac{(KV)^2}{MVA} \angle \theta$$

dimana : V_{dsr} adalah tegangan dasar sisi kirim (primer) = 10 KV

S_{dsr} adalah daya dasar = 21,5 MVA

$\text{Cos } \theta = 0,79$ dan $\text{cos}^{-1} 0,79 = 37,814$

maka :

$$Z_{\text{dsr}} = \frac{(10)^2}{21,5} \angle 37,814$$

$$Z_{\text{dsr}} = 4,651 \angle 37,814 = 3,6 + j2,852$$

Untuk Impedansi 4 generator pembangkit yang dipasang secara paralel adalah :

$$\frac{1}{Z_G} = \frac{1}{3,6 + j2,852} + \frac{1}{3,6 + j2,852} + \frac{1}{3,6 + j2,852} + \frac{1}{3,6 + j2,852}$$

$$\frac{1}{Z_G} = \frac{4}{3,6 + j2,852}$$

$$Z_G = \frac{3,6 + j2,852}{4} = 0,919 + j0,713$$

$$Z_G = R + jXL = 0,919 + j0,713$$

Sehingga :

$$R = 0,919 \Omega$$

$$jXL = 0,713 \text{ H}$$

$$jXL = 2\pi fL$$

dengan harga frekuensi (f) = 50 Hz

$$L = \frac{jXL}{2\pi f} = \frac{0,713}{2 \times 3,14 \times 50} = \frac{0,713}{314}$$

$$L = 2,271 \times 10^{-3} \text{ H}$$

$$L = 2,271 \text{mH}$$

c. Spesifikasi pemrograman komputer untuk pemodelan generator pembangkit dan dengan simulasi EMTP.

2. Transformator Pembangkit Step-Up (ZG)

a. Impedansi Transformator

$$Z_{dsr} = \frac{(V_{dsr})^2}{S_{dsr}} \angle \theta = \frac{(KV)^2}{MVA} \angle \theta$$

dimana : V_{dsr} adalah tegangan dasar sisi kirim (primer) = 10 KV

S_{dsr} adalah daya dasar = 21,5 MVA

$\cos \theta = 0,79$ dan $\cos^{-1} 0,79 = 37,814$

maka :

$$Z_{dsr} = \frac{(10)^2}{21,5} \angle 37,814$$

$$Z_{dsr} = 4,651 \angle 37,814 = 3,6 + j2,852$$

Untuk Impedansi 4 Transformator yang dipasang secara paralel adalah :

$$\frac{1}{Z_G} = \frac{1}{3,6 + j2,852} + \frac{1}{3,6 + j2,852} + \frac{1}{3,6 + j2,852} + \frac{1}{3,6 + j2,852}$$

$$\frac{1}{Z_G} = \frac{4}{3,6 + j2,852}$$

$$Z_G = \frac{3,6 + j2,852}{4} = 0,919 + j0,713$$

$$Z_G = R + jXL = 0,919 + j0,713$$

Sehingga :

$$R = 0,919 \Omega$$

$$jXL = 0,713 H$$

$$jXL = 2\pi fL$$

dengan harga frekuensi (f) = 50 Hz

$$L = \frac{jXL}{2\pi f} = \frac{0,713}{2 \times 3,14 \times 50} = \frac{0,713}{314}$$

$$L = 2,271 \times 10^{-3} H$$

$$L = 2,271 \text{mH}$$

3. Transformator Gardu Induk Step Down Pada Sisi Terima

a. Impedansi Transformator

$$Z_{dsr} = \frac{(V_{dsr})^2}{S_{dsr}} \angle \theta = \frac{(KV)^2}{MVA} \angle \theta$$

dimana : V_{dsr} adalah tegangan dasar sisi kirim (primer) = 150 KV

S_{dsr} adalah daya dasar = 21,5 MVA

$\cos \theta = 0,799$ dan $\cos^{-1} 0,79 = 36,87$

$$\text{Maka : } Z_{dsr} = \frac{(150)^2}{30} \angle 36,87 = \frac{22500}{30} \angle 36,87 = 750 \angle 36,87$$

$$Z_{dsr} = 599,999 + j450,001$$

Apabila : $Z = R + jXL$

Maka : $R = 599,999$

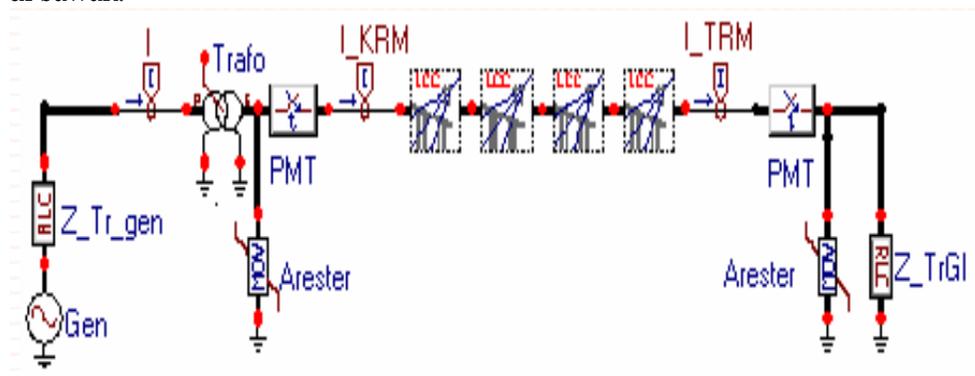
$jX_L = 450,001$

$$L = \frac{jX_L}{2\pi f} = \frac{450,001}{2 \times 3,14 \times 50} = \frac{450,001}{314} = 1433mH$$

4.3 Pembahasan

Materi simulasi dilakukan dengan cara meletakkan probe arus dan tegangan pada titik pengukuran disepanjang saluran adalah sebagai berikut :

- Dilakukan pensimulasian dalam kondisi normal dengan memperhatikan arus dan tegangan pada sisi kirim dan pada sisi terima untuk fasa A, B dan C.
- Melihat simulasi dalam kondisi switching dengan beban yang berbeda-beda. Pemodelan rangkaian simulasi dengan EMTP dapat dilihat seperti gambar 3 di bawah.



Gambar 3. Rangkaian Simulasi dalam keadaan normal

Proses hasil simulasi yang dilakukan terhadap rangkaian simulasi seperti gambar 3 yang diansumsikan untuk transformator sebesar 21.5 MVA yang display dari pembangkit dari PLTA maninjau.

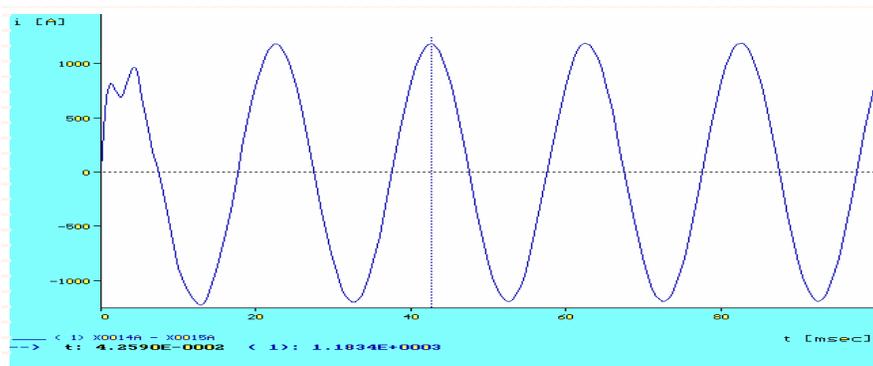
Dengan menggunakan metoda EMTP, maka simulasi yang dilakukan akan menghasilkan keluaran profil arus kondisi normal dan arus puncak pada saat switching.

4.3.1 Kondisi Normal

Berdasarkan dari rangkaian simulasi yang dapat dilihat pada gambar 3, dengan pengaturan waktu untuk PMT yang ada pada saluran adalah $T_{cl} = 0$ detik dan $T_{op} = 0.35$ detik, dan waktu ATP simulasi (T_{maks}) = 0,5 detik dengan waktu langkah (*steep*) simulasi (Δ_t) = 1×10^{-5} detik atau 1E-5 detik. Hasil simulasi pada kondisi normal menunjukkan profil tegangan seperti gambar 4. Hasil simulasi dalam kondisi normal atau sebelum gangguan menampilkan karakteristik gelombang untuk sisi kirim dan sisi terima, dimana sistem sedang beroperasi

secara normal menyalurkan daya listrik dari Maninjau (sisi kirim) ke Padang Luar (sisi terima) dengan tegangan puncak sebesar $1.2214E+0005$ Volt atau 122,14 KV untuk sisi kirim dan untuk tegangan puncak pada sisi terima sebesar $1.2132E+0005$ Volt atau 121,32 KV terjadinya penurunan tegangan dari sisi kirim ke sisi terima tersebut karena dipengaruhi oleh panjang saluran, impedansi, dan juga rugi-rugi daya dan arus pada sisi primer transformator sebesar 1242 A.

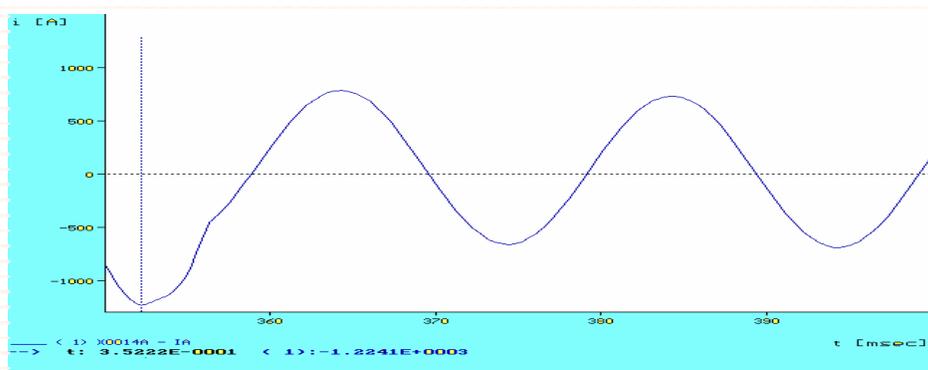
Berdasarkan dari rangkaian simulasi yang dapat dilihat pada gambar 3, dan hasil simulasi pada kondisi normal menunjukkan profil arus seperti gambar 4 hasil simulasi dalam kondisi normal atau sebelum waktu *switching* menampilkan karakteristik gelombang dimana sedang beroperasi secara normal dengan arus puncak sebesar $1,2265E + 0003$ A atau 1226,5 A dengan beban 21,5 MVA.



Gambar 4. Profil arus pada keadaan normal

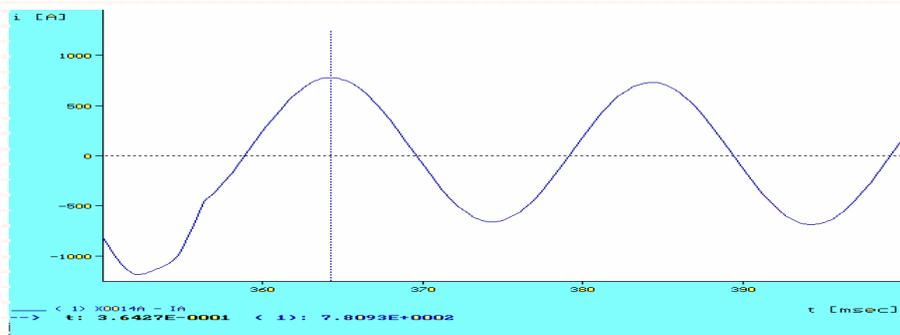
4.3.2 Kondisi Switching

Untuk simulasi dalam kondisi *switching*, transien akan terlihat disaat *switching* dengan pengaturan waktu pada PMT, Hasil simulasi saat *switching* menunjukkan profil arus seperti gambar 5 hasil simulasi pada saat pelepasan beban dengan arus transien sebesar $1,2241E + 0003$ A atau 1224.1 A.



Gambar 5. Profil Arus Transien pada saat *switching*

Dan pada gambar 6 menunjukkan profil arus setelah terjadinya pelepasan beban dengan arus sebesar $7,846E+0002$ A atau 784,6 A karena pada saat itu transformator tidak berbeban.



Gambar 6. Profil arus transien setelah switching

Tabel 1. Nilai-nilai arus transien dengan setting waktu tetap dengan beban yang berbeda

Beban (MVA)	ARUS (A)		
	t = 0	t = 0.35	setelah switching
22,5	1237,8	-1243	787
21,5	1216.5	-1224.1	784,6
20	1183,4	-817,5	780,9
15	1042,9	-692,1	766,7

5. SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan analisis arus yang telah dilakukan, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

- Besar beban dari transformator sebesar 21,5 MVA dengan besar arus 1241 A maka beban yang dapat di izinkan antara 20 MVA sampai 22,5 MVA karena pada beban 22,5 MVA arus pada sisi primer melebihi titik aman apabila terjadi pelepasan beban.
- Bila beban yang berada pada sisi kirim besar maka arus pada sisi primer transformator akan besar pula dan apabila beban disisi kirim kecil maka arus disisi primer akan pula.
- Besar arus pada sisi kirim 5.368 A dan pada sisi terima sebesar 6.071 berarti arus pada sisi terima lebih besar dari arus pada sisi kirim.
- Arus transien yang besarnya melebihi batas aman akan dapat merusak peralatan atau elemen-elemen sirkuit, tetapi juga dapat menyebabkan jatuhnya tegangan dan frekuensi sistem, sehingga kerja paralel dari unit-unit pembangkit menjadi terganggu pula.

- Besar arus puncak transien pada saat pelepasan beban lebih besar dari arus sebelum beban dilepaskan.

Saran

- Untuk pengkajian yang lebih mendalam tentang penelitian, analisis arus gangguan hubung singkat dua fasa ini masih diperlukan pengetahuan serta ketelitian yang lebih baik lagi. Sedangkan penggunaan EMTP dalam penyelesaian ini sebagai metodologi penelitian hanya sebatas untuk melihat tampilan harga dan bentuk profil gelombang arus yang terjadi pada sisi kirim dan sisi terima dalam keadaan normal dan gangguan dengan memvariasikan letak titik gangguan disepanjang saluran Maninjau dan Padang Luar. Namun program EMTP ini masih dapat dikembangkan penggunaannya dalam melakukan penelitian.
- EMTP ini dapat juga dijadikan sebagai sarana dan salah satu metoda untuk menyelesaikan dan menganalisis permasalahan transients pada sistem tenaga listrik, rangkaian control, mesin-mesin listrik, maupun masalah tegangan tinggi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Dugan R.C., McGranaghan M.F., Beaty H.W., (1996) *Electrical Power Systems Quality*, The McGraw Hill Companies.
- [2] Fallon C.M., McDermott B.A., (1996) *Development and Testing of a Real-Time Digital Voltage Flickermeter*, IEEE.
- [3] Gupta, (2004), *Power System Analysis and Design*, S.chand & Company LTD
- [4] Nadu, (1982), *High Voltage Engineering*, The McGraw Hill Companies.
- [5] Saadat, H., (1999), *Power System Analysis*, International Edition EPRI, McGraw-Hill., New York.
- [6] Stevenson, W.D .Jr., (1982), *Elements of Power System Analysis*, McGraw-Hill, Kogakusha, Ltd., New Delhi.
- [7] Tobing, (2003), *Peralatan Tegangan Tinggi*, PT. Gramedia Pustaka Utama Jakarta.