

# **PEMODELAN DAN SIMULASI TRANSFORMATOR PADA KONDISI OPEN-CIRCUIT PADA SALAH SATU FASANYA**

**Horin Relevando Silitonga\*, Budhi Anto\*\***

\*Mahasiswa Teknik Elektro Universitas Riau \*\*Dosen Teknik Elektro Universitas Riau  
Kampus Binawidya Km 12,5 Simpang Baru Panam, Pekanbaru 28293

Jurusan Teknik Elektro Universitas Riau

Email: relevando@gmail.com

## **ABSTRACT**

*The transformer is widely used for increasing and decreasing the voltage of the power system. Loading on the transformer impact the reliability of the transformer. Sometimes an interruption in the transformer that causes malfunction of transformers, which are open-circuit. This paper describes how the condition occurs in the transformer during an open-circuit. Modeling conducted to observe the characteristics of the transformer. Modeling done by modeling the iron core construction purposes 400kVA step-down transformer 20KV / 400V by using software MATLAB / Simulink R2015A. The results of this paper to show the characteristics of the transformer which indicates that there is an unbalance between voltage and current on the primary side and secondary on the transformer.*

*Keywords : three phase transformer, open-circuit, fault, modeling, MATLAB/Simulink*

## **I. PENDAHULUAN**

Transformator adalah suatu peralatan listrik yang dapat memindahkan energi listrik atau mengubah energi listrik bolak-balik dari satu level ke level tegangan yang lain melalui kinerja satu gandengan magnet dan berdasarkan prinsip induksi elektromagnetik.

Kondisi *open-circuit* menjadi salah satu gangguan yang sering terjadi pada jaringan sistem tenaga, secara khusus pada jaringan tegangan menengah (seperti 20KV atau dibawahnya) di daerah pedesaan atau tempat terpencil. Konduktor penghantar yang rusak, sambungan yang longgar atau fuse yang putus dapat menyebabkan *open-circuit*.

Kondisi *open-circuit* tersebut juga menyebabkan tegangan dan arus pada tiap fasanya menjadi tidak seimbang pada saluran tegangan menengah, ketidakseimbangan fasa tersebut dapat berpengaruh langsung pada transformator, jika transformator tersebut dicatut dengan tegangan dan arus yang tidak seimbang, hal tersebut dapat menyebabkan kerusakan yang permanen pada transformator tersebut.

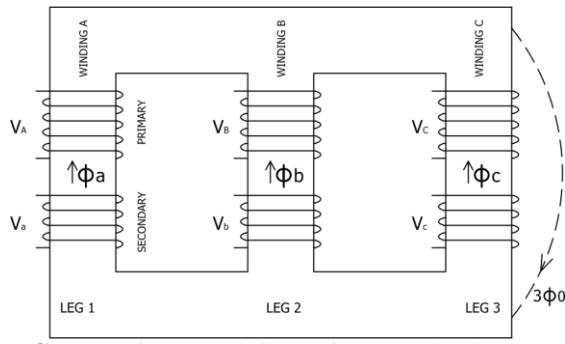
Pada penelitian ini, penulis ingin mengetahui bagaimana karakteristik transformator tersebut bila sisi tegangan menegahnya di berikan kondisi *open-circuit* pada salah satu fasanya.

## **II. LANDASAN TEORI**

### **A. Konstruksi Inti Besi**

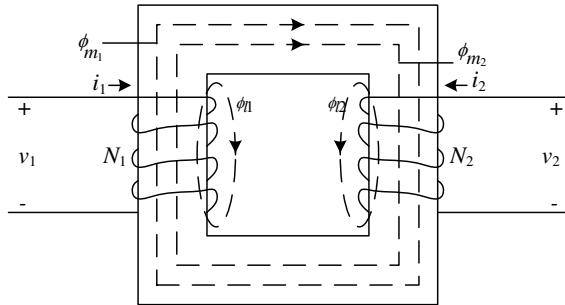
Transformator tiga fasa dibentuk dengan satu dari antara dua cara yaitu; dengan menghubungkan ketiga belitan satu fasa pada satu tangki, atau memisahkan ketiga belitan pada masing-masing inti besi.

Konstruksi inti besi terdiri dari *legs* (atau *limbs*). Belitan primer dan sekunder dapat dihubungkan secara Y atau Δ. Kedua belitan primer dan sekunder dari tiap fasa di tempatkan pada lengan yang sama dengan belitan tegangan tinggi di tempatkan di sisi luar. Keuntungan dari konstruksi ini yaitu pemasangan isolasi tegangan tinggi yang lebih mudah dan fluks bocor yang dihasilkan juga lebih kecil. Konstruksi transformator tiga fasa ditunjukkan pada gambar 1.



Gambar 1. Konstruksi transformator tiga lengan

## B. Rangkaian Magnetik Transformator



Gambar 2. Rangkaian Magnetik Transformator

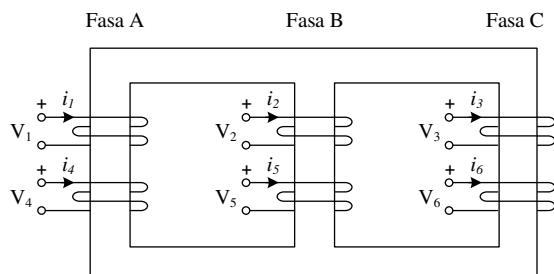
Menurut hukum faraday persamaan tegangan dapat dinyatakan dalam bentuk matriks sebagai berikut :

$$\begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_1 & 0 \\ 0 & r_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_1 \\ i_2 \end{bmatrix} + \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} \lambda_1 \\ \lambda_2 \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$v = ri + \frac{d\lambda}{dt} \quad (2)$$

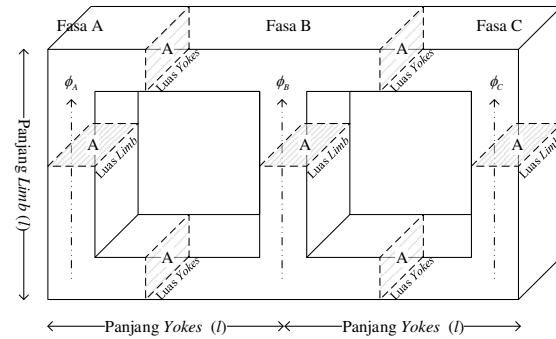
## C. Model Transformator Tiga Fasa

Model transformator tiga fasa, pada dasarnya dapat di modelkan dengan dengan tiga transformator satu fasa yang di kopel pada satu lengan yang ditunjukkan pada gambar 3.



Gambar 3. Konstruksi transformator tiga lengan

Konstruksi inti besi transformator tiga fasa tiga lengan ditunjukkan pada gambar 4.



Gambar 4. Konstruksi inti besi transformator tiga fasa tiga lengan

Tegangan induksi akan menghasilkan fluks magnet pada masing masing belitan dapat di hitung dengan persamaan berikut :

$$\phi = \frac{1}{N} \int E(t) dt \quad (3)$$

Dimana :

$E$  = Gaya gerak listrik induksi

$N$  = Jumlah belitan di sisi primer

$\phi$  = Fluks magnetik

$t$  = Waktu (s)

Fluks yang mengalir pada setiap Luas penampang inti besi (*section*) dari inti besi juga dapat dihitungan dengan persamaan sebagai berikut :

$$\phi = BA \quad (4)$$

Dimana :

$\phi$  = Fluks magnetik

$A$  = Luas penampang inti besi ( $m^2$ )

$B$  = kerapatan fluks

Reluktansi itu sendiri dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$\mathfrak{R} = \frac{l}{\mu A} \quad (5)$$

Dimana :

$\mathfrak{R}$  = Reluktansi (tahanan magnetis)(A-t/Wb)

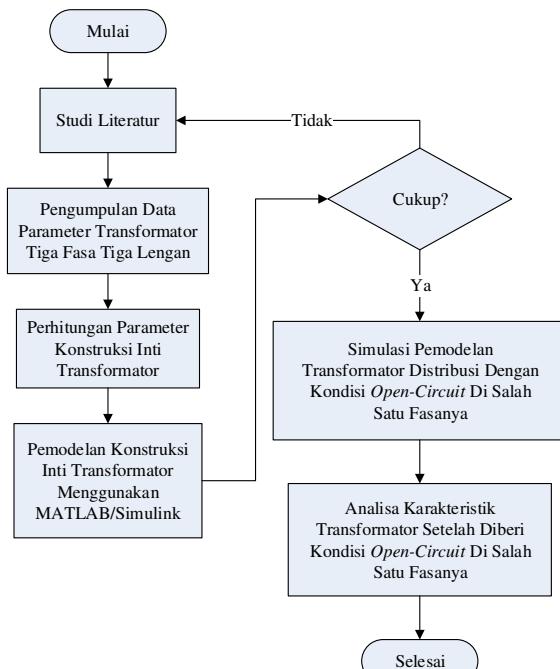
$l$  = Panjang jalur inti besi (m)

$A$  = Luas penampang inti besi ( $m^2$ )

$\mu$  = Permeabilitas udara ( $4\pi 10^{-7}$  H/m)

### III. METODE PENELITIAN

Di bawah ini adalah gambaran alur penelitian yang akan dilakukan :



Gambar 5. Flowchart penelitian

Pada penelitian ini dilakukan pemodelan transformator tiga fasa tiga lengan dengan pendekatan konstruksi inti besi transformator. Data data yang diperlukan antara lain adalah spesifikasi umum dari transformator. Selanjutnya dilakukan perhitungan untuk menentukan parameter-parameter dari konstruksi inti besi transformator tiga fasa tiga lengan. Parameter-parameter yang perlu tentukan antara lain adalah dimensi inti, bentuk konstruksi, susunan belitan dengan inti besi, selanjutnya dilakukan perhitungan mengenai dimensi inti transformator, resistansi transformator, reaktansi transformator, jumlah lilitan transformator, inti besi transformator.

Model Transformator Tiga Fasa Pada MATLAB/Simulink

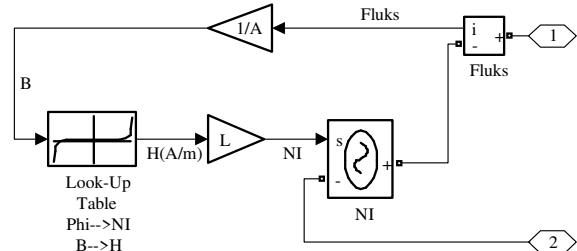


Gambar 6. Model simulink reluktansi bocor pada inti besi transformator



Gambar 7. Blok dari model reluktansi bocor

Model dari lintasan fluks magnet *yoke* dan *core* dimodelkan pada blok pada gambar berikut.

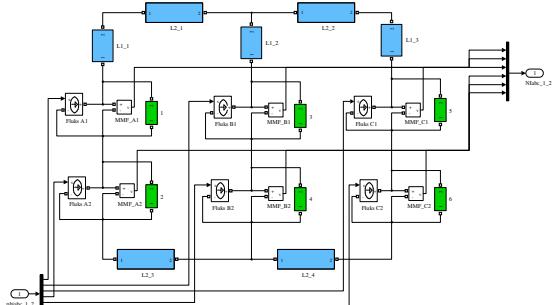


Gambar 8. Model simulink hubungan karakteristik B – H *Curve yoke* dan *core* pada inti besi transformator

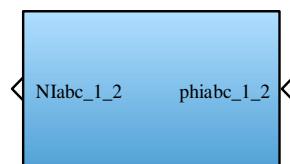


Gambar 9. Blok *yoke-core* pada inti besi transformator

Dan model reluktansi bocor, lintasan magnet, fluks, dan *mmf* dari keseluruhan rangkaian magnetik dari konstruksi inti besi transformator tiga fasa tiga lengan ditunjukkan pada gambar dibawah ini.

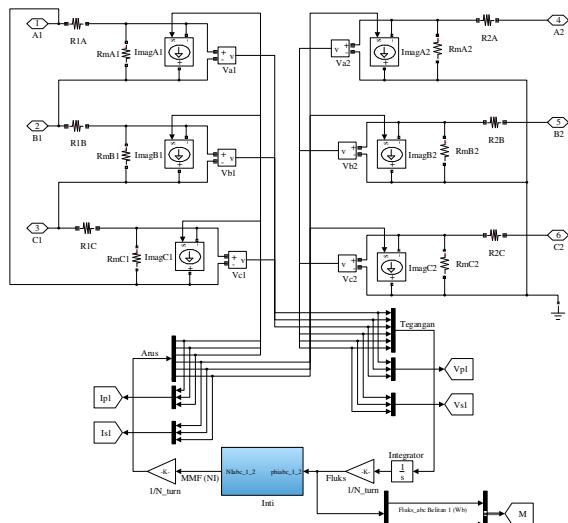


Gambar 10. Model keseluruhan simulink rangkaian magnetik pada inti besi transformator tiga fasa



Gambar 11. Blok Inti Besi Transformator

Rangkaian keseluruhan model transformator tiga fasa tiga lengan ditunjukkan pada gambar 12.

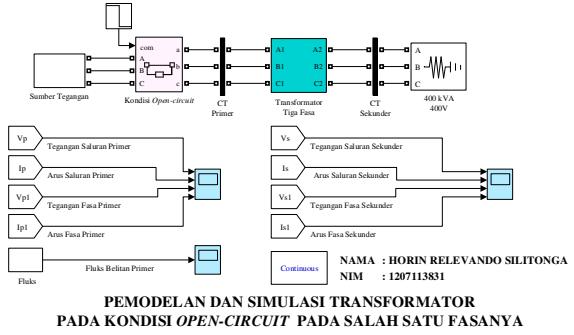


Gambar 12. Rangkaian keseluruhan model transformator tiga fasa tiga lengan

Setelah melakukan perhitungan parameter konstruksi model transformator tiga fasa tiga lengan maka didapatkan parameter untuk diinputkan kedalam model MATLAB/Simulink. Data parameter sebagai berikut.

Tabel 1. Data Parameter Transformator Tiga Fasa

| Data Parameter Transformator Tiga Fasa |                  |
|--|------------------|
| Daya Transformator                     | 400 KVA          |
| Frekuensi Transformator                | 50 Hz            |
| Tegangan Primer                        | 20 KV            |
| Resistansi Belitan Primer              | 21.73 $\Omega$   |
| Reaktansi Belitan Primer               | 298.16 $\Omega$  |
| Jumlah Belitan Primer                  | 3984 lilitan     |
| Tegangan Sekunder                      | 400 V            |
| Resistansi Belitan Sekunder            | 0.00233 $\Omega$ |
| Reaktansi Belitan Sekunder             | 0.036 $\Omega$   |
| Jumlah Belitan Sekunder                | 46 lilitan       |
| Tinggi Core                            | 0.84 m           |
| Luas Permukaan Core                    | 0.0195 $m^2$     |
| Lebar Yoke                             | 0.46 m           |
| Luas Permukaan Yoke                    | 0.02145 $m^2$    |
| Rugi Inti                              | 1360 watt        |

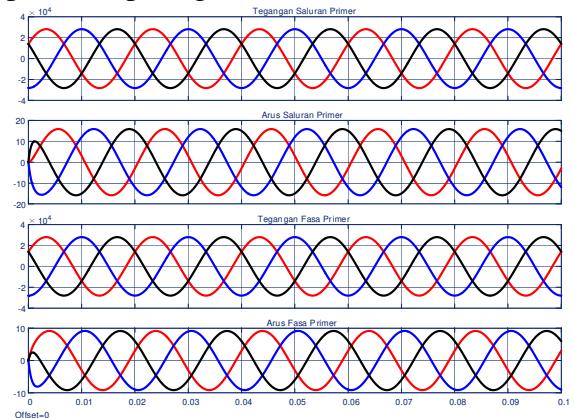


Gambar 13. Model Keseluruhan

#### IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

##### A. Transformator Saat Normal

Setelah dilakukan simulasi pada transformator dengan kondisi normal dan dibebani sebesar 100% dari kapasitasnya yaitu 400 KVA maka dihasilkan karakteristik tegangan dan arus pada sisi primer seperti gambar dibawah.

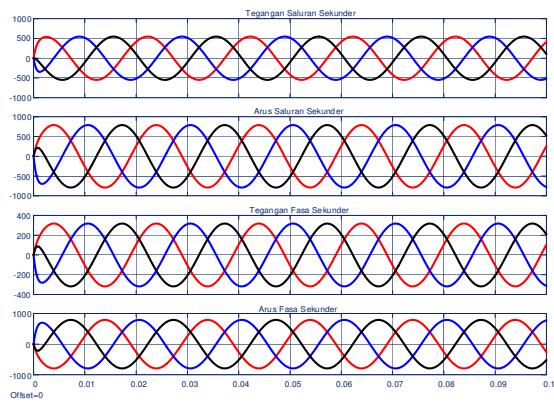


Gambar 14. Karakteristik tegangan dan arus primer saat normal beban 100%

Berdasarkan gambar diatas karakteristik hasil simulasi saat kondisi normal menunjukkan bahwa tegangan dan arus pada belitan dan saluran kondisi stabil dengan tegangan puncak saluran sebesar 28 KV, arus puncak saluran sebesar 15.86 A, tegangan puncak belitan sebesar 28 KV, dan arus puncak belitan sebesar 9.14 A. Perbedaan besar arus saluran dengan arus belitan dikarenakan sisi primer transformator hubung delta.

Setelah dilakukan simulasi pada transformator dengan kondisi normal dan transformator tersebut dibebani sebesar 100% dari kapasitasnya yaitu 400 KVA maka dihasilkan karakteristik tegangan dan

arus pada sisi sekunder seperti gambar dibawah.

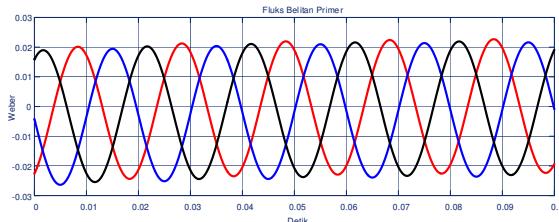


**Gambar 15.** Karakteristik tegangan dan arus sekunder saat normal beban 100%

Berdasarkan gambar diatas karakteristik hasil simulasi saat kondisi normal menunjukkan bahwa tegangan dan arus pada belitan dan saluran kondisi stabil dengan tegangan puncak saluran sebesar 548 V, arus puncak saluran sebesar 790 A, tegangan puncak belitan sebesar 318 V, dan arus puncak belitan sebesar 792 A. Perbedaan besar tegangan saluran dengan tegangan belitan dikarenakan sisi sekunder transformator hubung wye.

## B. Transformer Saat *Open-circuit*

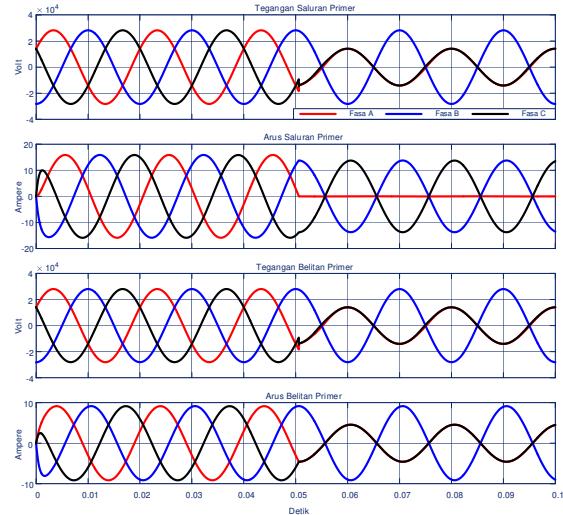
Setelah dilakukan simulasi pada transformator dengan kondisi normal dan transformator tersebut dibebani sebesar 100% dari kapasitasnya yaitu 400 KVA maka dihasilkan karakteristik fluks magnet yang terdapat pada transformator seperti gambar dibawah.



**Gambar 16.** Karakteristik fluks magnet saat normal beban 100%

Berdasarkan gambar diatas karakteristik hasil simulasi saat kondisi normal menunjukkan bahwa fluks magnet yang terdapat pada transformator kondisi stabil dengan besar fluks magnet sebesar 0.02 Weber.

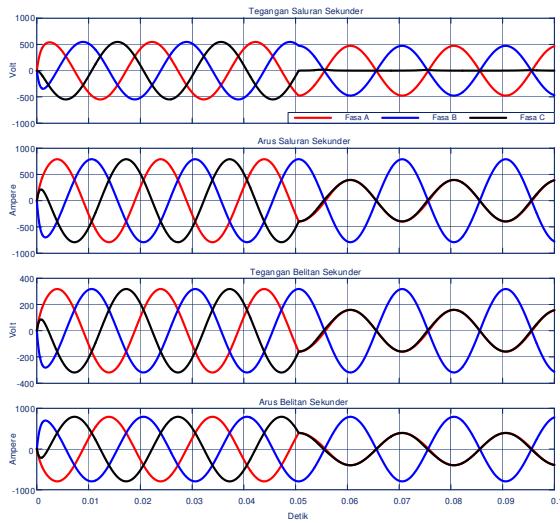
Setelah dilakukan simulasi pada transformator dengan kondisi *open-circuit* pada fasa A dan dibebani sebesar 100% dari kapasitasnya yaitu 400 KVA maka dihasilkan karakteristik tegangan dan arus pada sisi primer seperti gambar dibawah.



**Gambar 17.** Karakteristik tegangan dan arus primer saat *open-circuit* beban 100%

Berdasarkan gambar diatas dapat dilihat bahwa karakteristik tegangan saluran serupa dengan tegangan belitan, dimana saat terjadi gangguan pada fasa A terjadi jatuh tegangan pada saluran AB dan CA menjadi 14 KV dan karakteristik tegangannya menjadi sefasa sedangkan pada saluran BC terlihat normal 28 KV. Dapat juga dilihat bahwa untuk arus saluran pada fasa A saat terjadi gangguan menjadi 0 A dan karakteristik arus pada fasa yang sehat menjadi terbalik 180° dan besar arusnya menjadi lebih rendah dibanding saat kondisi normal.

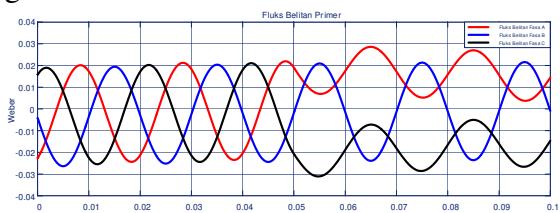
Setelah dilakukan simulasi pada transformator dengan kondisi *open-circuit* pada fasa A dan dibebani sebesar 100% dari kapasitasnya yaitu 400 KVA maka dihasilkan karakteristik tegangan dan arus pada sisi sekunder seperti gambar dibawah.



**Gambar 18.** Karakteristik tegangan dan arus sekunder saat *open-circuit* beban 100%

Berdasarkan gambar diatas dapat dilihat bahwa tegangan saluran berbeda dengan tegangan belitan, dimana saat terjadi gangguan pada fasa A terjadi jatuh tegangan pada saluran AB dan BC, karakteristik tegangannya menjadi terbalik  $180^\circ$  sebesar 473.6 V dan pada saluran CA tegangannya menjadi 0 V. Dapat juga dilihat bahwa karakteristik arus saluran dan arus belitannya sama, hanya saja bernilai terbalik  $180^\circ$  sebesar 396 A. Untuk tegangan belitan karakteristiknya serupa dengan karakteristik arus saluran dan nilai tegangannya jatuh menjadi 159 V.

Setelah dilakukan simulasi pada transformator dengan kondisi *open-circuit* dan transformator tersebut dibebani sebesar 100% dari kapasitasnya yaitu 400 KVA maka dihasilkan karakteristik fluks magnet yang terdapat pada transformator seperti gambar dibawah.



**Gambar 19.** Karakteristik fluks magnet saat *open-circuit* beban 100%

Berdasarkan gambar diatas karakteristik hasil simulasi saat kondisi *open-circuit* menunjukkan terjadi ketidakseimbangan fluks yang berada pada

transformator dimana fluks magnet pada fasa A mengalami kenaikan menjadi 0.0286 Weber dan fluks pada fasa C juga mengalami kenaikan menjadi sebesar 0.0311 Weber. Sedangkan fluks magnet pada fasa B terlihat normal.

## V. KESIMPULAN DAN SARAN

### A. Kesimpulan

Dari penelitian yang dilakukan dapat disimpulkan bahwa pemodelan transformator kondisi *open-circuit* pada salah satu fasanya menggunakan MATLAB/Simulink R2015A berjalan dengan baik dimana terdapat jatuh tegangan pada semua kondisi saat diberi gangguan *open-circuit*, jatuh tegangan terbesar yaitu saat transformator dibebani 100% dengan besar jatuh tegangan sebesar 3.12 % dan terdapat karakteristik transien.

### B. Saran

Untuk pengembangan penelitian selanjutnya, dapat mencoba melakukan pemodelan beban dinamis.

## DAFTAR PUSTAKA

- SUONAN JiaLe, xu LiQiang, JIAO ZaiBin. 2015. “*New equivalent circuit of three-phase three-limb transformer based on magnetic circuit characteristics*”. The International Conference on Advanced Power System Automation and Protection.
- Matjaž Dolinar, Drago Dolinar, Gorazd Stumberger, Boštjan Polajžer, and Jože Ritonja. 2006. “*A Three-Phase Core-Type Transformer Iron Core Model With Included Magnetic Cross Saturation*”. IEEE Transactions On Magnetics, VOL. 42, NO. 10.
- Amir Norouzi. 2013. “*Open Phase Conditions in Transformers Analysis and Protection Algorithm*”. GE Digital Energy. Markham, ON
- Paul Krause, Oleg Wasynczuk, Scott Sudhoff, Steven Pekarek. 2013. “*Analysis Of Electric Machinery And Drive Systems*”. Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc

Dehuai Zeng (Ed.). 2011. “*Advances in Electrical Engineering and Electrical Machines*”. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.

Nasser D. Tleis. 2008. “*Power Systems Modelling and Fault Analysis*”. Elsevier Ltd