

## **Pemodelan Dampak Tegangan Impuls pada Transformator Daya 150 kV beserta Solusi dengan Menggunakan Program Matlab 6**

**Findy Fil Afaaqin \***  
**Abdul Basid\*\***

**Abstrak:** Skripsi ini bertujuan untuk mempelajari seberapa besar pengaruh tegangan lebih akibat tegangan impuls pada transformator daya 150 kV serta memberikan solusi berupa sistem pengamanannya. Karena untuk memperbaiki kerusakan pada sebuah transformator pada umumnya memerlukan biaya yang tinggi, apalagi untuk sebuah transformator yang besar dan mahal. Hal ini menyebabkan perlunya cara penanggulangan dini pada sebuah transformator. Transformator digunakan secara luas, baik dalam bidang tenaga listrik maupun elektronika. Penggunaannya dalam sistem tenaga memungkinkan dipilihnya tegangan yang sesuai dan ekonomis untuk tiap-tiap keperluan, misalnya kebutuhan akan tegangan tinggi dalam pengiriman daya listrik jarak jauh. Dari hasil tampilan gelombang tegangan impuls dan analisis pada kumparan transformator daya 150 kV. Semakin besar nilai perbandingan kapasitansi pada masing-masing lapisan kumparan, maka akan semakin membahayakan bagi transformator daya apabila terkena tegangan impuls khususnya pada lapisan yang mendekati titik netralnya. Dengan demikian program ini dapat sebagai referensi awal dalam pembuatan transformator daya 150 kV.

**Kata Kunci:** *Pemodelan, Dampak Tegangan Impuls, Transformator Daya 150 kV*

### **PENDAHULUAN**

Pada zaman sekarang ini energi listrik memegang peranan penting dalam kehidupan manusia. Di Indonesia contohnya, pemanfaatannya secara tepat guna dapat merangsang pertumbuhan perekonomian negara ini, sehingga permintaan akan energi listrik semakin meningkat dari tahun ke tahun. Mengingat akan luasnya negara Indonesia maka sistem transmisi dan distribusi memegang peranan penting di dalam penyaluran energi listrik sampai ke beban. Transformator adalah unsur utama dalam penyaluran dan distribusi tenaga listrik. Seiring dengan semakin meningkatnya permintaan energi listrik maka keperluan akan transformator dengan sendirinya mengikuti bertambah besarnya daya listrik yang dibangkitkan. Generator-generator listrik yang terpasang pun dayanya berangsur-angsur semakin besar, demikian pulalah transformator-transformator yang diperlukan guna menyalurkan energi listrik. Oleh karena transformator merupakan unsur utama dari sistem penyaluran dan distribusi energi listrik, maka sistem proteksi atau pengamanan terhadap sebuah transformator yang bertegangan tinggi terhadap gangguan-gangguan yang terjadi baik dari transformator itu sendiri maupun gangguan dari luar sangat diperlukan dan perlu diperhatikan.

Tegangan impuls dapat juga terjadi karena operasi pemutusan (switching operations) pada sakelar yang dilakukan sehingga terjadi gelombang-gelombang tegangan yang diperkuat karena pantulan-pantulan. Walaupun waktu bekerja tegangan impuls sangat singkat (kurang dari 1 mikrodetik) akan tetapi karena gelombang ini dapat mempunyai tegangan puncak yang sangat tinggi dan jumlah energi yang besar, dapat mengakibatkan kerusakan pada sebuah transformator. Sedangkan kita mengetahui bersama bahwa untuk memperbaiki kerusakan pada sebuah transformator pada umumnya memerlukan biaya yang tinggi, apalagi untuk sebuah transformator yang besar dan mahal seperti transformator daya 150 kV yang biasanya menyediakan energi listrik untuk suatu daerah yang besar atau sebuah pabrik yang penting. Kerusakan itu juga akan menyebabkan terganggunya penyediaan tenaga listrik dengan segala akibatnya bagi perusahaan listrik maupun masyarakat pemakainya mengingat transformator adalah unsur utama dalam penyaluran tenaga listrik.

---

(\*) Pemerhati Fisika

(\*\*) Jurusan Fisika UIN Maulana Malik Ibrahim Malang

## KAJIAN TEORI

Penggunaan transformator yang sederhana dan handal itu merupakan salah satu sebab penting bahwa arus bolak-balik sangat banyak dipergunakan untuk pembangkitan dan penyaluran tenaga listrik. Pada penyaluran tenaga listrik terjadi kerugian energi sebesar  $I^2 R$  watt. Kerugian ini akan banyak berkurang apabila tegangan dinaikkan. Dengan demikian maka saluran-saluran transmisi tenaga listrik senantiasa mempergunakan tegangan yang tinggi. Tegangan transmisi yang tertinggi di Indonesia pada saat ini adalah 500 kV atau sama dengan 500.000 volt. Hal ini dilakukan terutama untuk mengurangi kerugian energi yang terjadi. Dan menaikkan tegangan listrik di pusat listrik dari tegangan generator yang biasanya berkisar antara 6 kV sampai 20 kV pada awal saluran transmisi, kemudian menurunkannya lagi pada ujung akhir saluran itu ke tegangan yang lebih rendah, yang dilakukan dengan transformator. Transformator yang dipakai pada jaringan tenaga listrik merupakan transformator tenaga. Disamping itu ada jenis-jenis transformator lain yang banyak dipergunakan, dan yang pada umumnya merupakan transformator yang jauh lebih kecil. Misalnya transformator yang dipakai di rumah tangga untuk menyesuaikan tegangan dari lemari es dengan yang dari jaringan listrik umum atau PLN. Atau transformator yang lebih kecil, yang dipakai pada lampu TL. Atau lebih kecil lagi, yaitu transformator-transformator “mini” yang dipergunakan pada berbagai alat elektronik, seperti pesawat penerima radio, televisi, dan lain sebagainya. (Zuhaili, 1991: 16.)

Prinsip kerja transformator adalah berdasarkan hukum Ampere dan hukum Faraday, yaitu : arus listrik dapat menimbulkan medan magnet dan sebaliknya medan magnet dapat menimbulkan arus listrik. Hubungan antara arus listrik dengan medan magnet dinyatakan oleh hukum Ampere sebagai berikut :

$$\oint H dl = \int IdA$$

dimana :

$I$  = kerapatan arus dalam ampere/m<sup>2</sup>

$H$  = kuat medan dalam ampere Turn/m

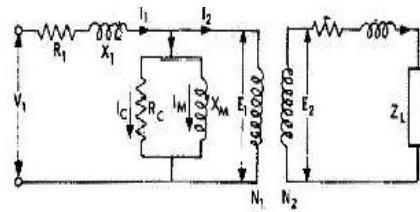
$dA$  = unsur luas

$dl$  = unsur panjang

Jika tegangan ac diberikan pada kumparan primer, perubahan medan magnet yang dihasilkan akan menginduksi tegangan ac berfrekuensi sama pada kumparan sekunder. Namun, tegangan yang timbul akan berbeda sesuai dengan jumlah lilitan pada setiap kumparan. (Giancoli, 1998: 186)

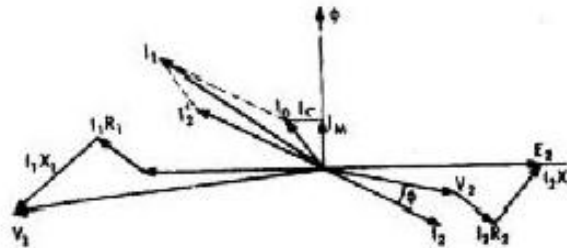
### Rangkaian Ekuivalen Transformator

Tidak seluruh fluks ( $\phi$ ) yang dihasilkan oleh arus pemagnetan  $I_M$  merupakan fluks bersama ( $\phi_M$ ), sebagian dari padanya hanya mencakup kumparan primer ( $\phi_1$ ) atau kumparan sekunder saja ( $\phi_2$ ). Dalam model rangkaian (rangkaiannya ekuivalen) yang dipakai untuk menganalisis kerja suatu transformator, adanya fluks bocor  $\phi_1$  dan  $\phi_2$  yang ditunjukkan sebagai reaktansi  $X_1$  dan  $X_2$ . sedangkan rugi tahanan ditunjukkan dengan  $R_1$  dan  $R_2$ . dengan demikian model rangkaiannya digambarkan seperti pada gambar di bawah ini.



Gambar 1. Rangkaian Ekivalen Transformator

Dari rangkaian di atas dapat dibuat vektor diagramnya sebagai terlukis pada gambar di bawah ini.



Gambar 2. Vektor Diagram Rangkaian Ekivalen Transformator

Dari model rangkaian di atas dapat pula diketahui hubungan penjumlahan vektornya :

$$V_1 = E_1 + I_1 R_1 + I_1 X_1$$

$$E_2 = V_2 + I_2 R_2 + I_2 X_2$$

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2} = a \text{ atau } E_1 = a E_2$$

hingga :

$$E_1 = a(I_2 Z_L + I_2 R_2 + I_2 X_2)$$

karena :

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{N_2}{N_1} = \frac{1}{a} \text{ atau } I_1 = \frac{I_2}{a}$$

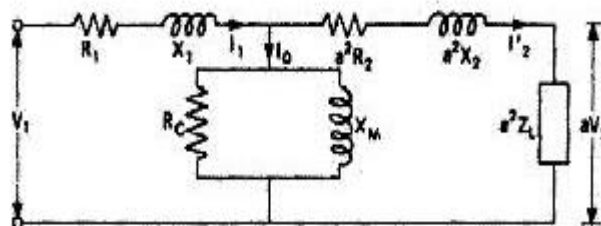
maka :  $E_1 = a^2 I_2' Z_L + a^2 I_2' R_2 + a^2 I_2' X_2$

dan :

$$V_1 = a^2 I_2' Z_L + a^2 I_2' R_2 + a^2 I_2' X_2 + I_1 R_1 + I_1 X_1$$

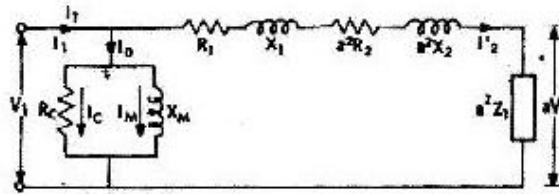
Persamaan terakhir mengandung pengertian, apabila parameter rangkaian sekundernya dinyatakan dalam harga rangkaian primer harganya perlu dikalikan dengan faktor  $a^2$ .

Sekarang model rangkaian menjadi seperti rangkaian di bawah ini.



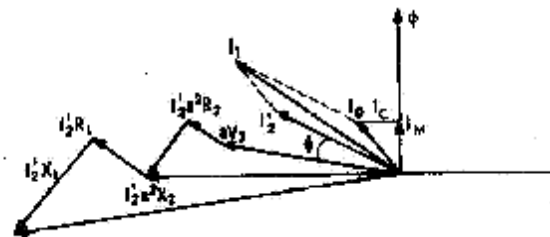
Gambar 3. Rangkaian Transformator Satu Sisi Tegangan

Untuk memudahkan analisis (perhitungan), model rangkaian tersebut dapat diubah menjadi rangkaian seperti pada gambar di bawah ini.



Gambar 4. Rangkaian Transformator Pengganti

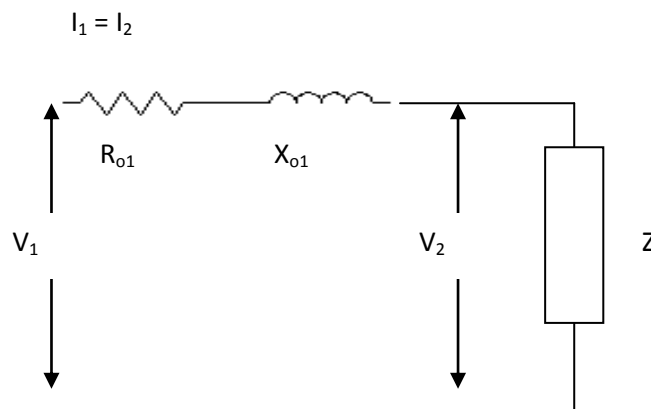
Vektor diagram rangkaian di atas untuk beban dengan faktor kerja terbelakang dapat dilukiskan seperti pada gambar di bawah ini.



Gambar 5. Vektor Diagram Rangkaian Satu Sisi Tegangan

(Zuhal, 1991: 22- 24)

Rangkaian ekuivalen dengan parameter sekunder dipindah pada sisi primer terlihat pada gambar 3. rangkaian ini juga dikenal sebagai rangkaian ekuivalen lengkap (*exact equivalent circuit*). Suatu penyerdehanaan dapat diperoleh dengan memindahkan rangkaian magnetisasi melintasi apitan-apitan masukan (Gambar 4). perlu dicatat bahwa dalam hal ini  $R_o = V_1/I_c$  dan  $X_o = V_1/I_{Im}$ . Penyerdehanaan lebih jauh diperoleh dengan mengabaikan  $I_o$  sebagaimana terlihat pada gambar 6.

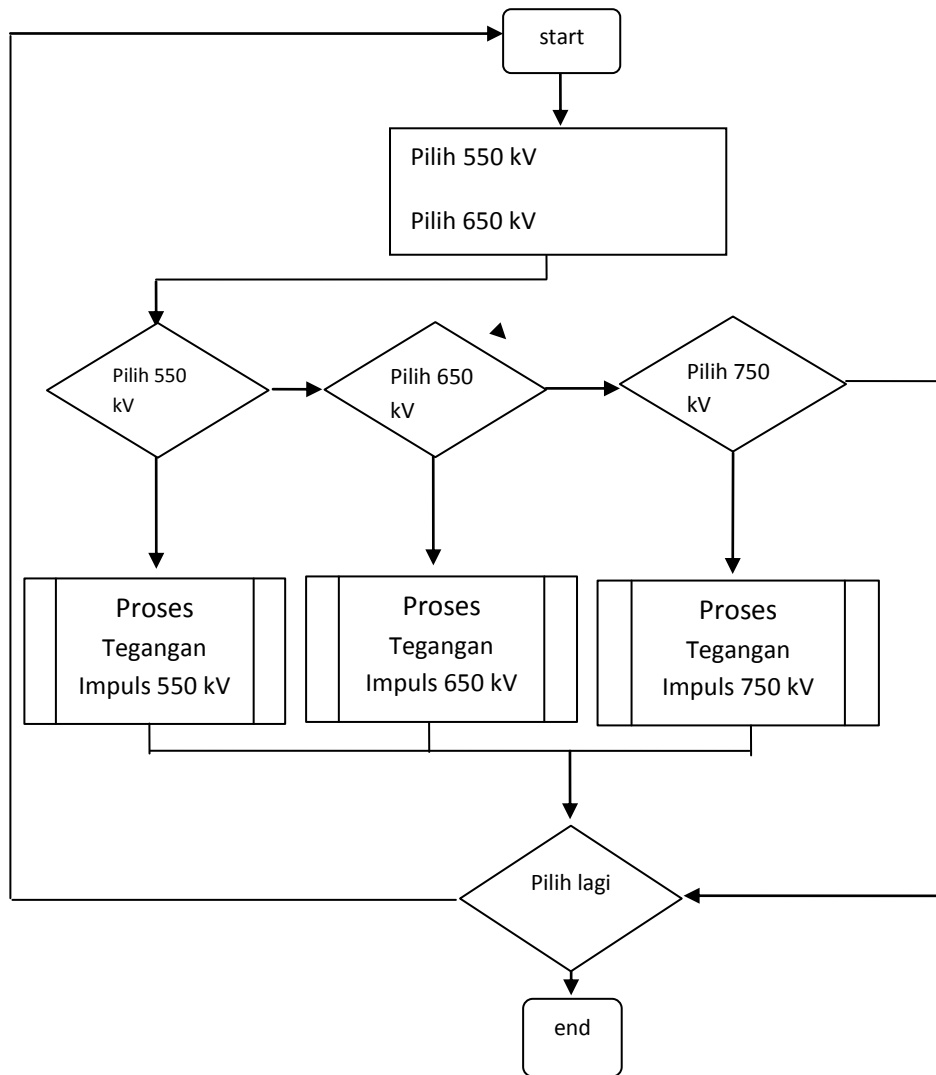


Gambar. 6. Rangkaian Ekuivalen yang sangat disederhanakan

**METODE PENELITIAN**

**Diagram Alir (flowchart)**

Perancangan software terlebih dahulu dilakukan dengan membuat diagram alir (*flowchart*).



Gambar 7. flowchart tampilan figure menu pilihan

**Pembuatan Rangkaian Pengujian dengan Matlab**

Untuk membuat rangkaian pengujian tegangan implus pada transformator daya 150 kV, maka terlebih dahulu perlu spesifikasi transformator yang akan diuji menggunakan program Matlab Simulink. Data spesifikasi transformator ini nantinya akan digunakan untuk menghitung nilai dari resistansi dan reaktansi yang terdapat pada lilitannya. Nilai-nilai ini kemudian akan dipakai dalam rangkaian simulasinya.

**Data Spesifikasi Transformator**

Data pada transformator daya yang akan dibutuhkan untuk rangkaian pengujian adalah sebagai berikut.

- Merek : UNINDO
- Rated Power : 60 MVA
- No. Of phase per unit : 3
- No. of winding per phase : 3
- Stabilizing winding : yes
- Vector group : Yyn0(d)
- Type of cooling : ONAF&ONAN, ONAN
- Nominal voltage
  - Primary Winding : 150 kV
  - Secondary winding : 20 kV

- Frequency : 50 Hz
- Impulse withstand voltages
  - Primary winding : 650 kV
  - Secondary winding : 125 kV
- Percent resistance drop at full load.  
p.f. 1 & 75 deg. C
  - At principal tap : 0,35 %
  - At max. tap : 0,34 %
  - At min. tap : 0,46 %
- Percent reactance drop at full load.  
p.f. 1 & 75 deg.C
  - At Principal tap : 12,49%
  - At max. tap : 13,18%
  - At min. tap : 12,22 %

**Perhitungan Nilai Resistansi dan Induktansi.**

Dari data transformator di atas maka dapat dihitung nilai dari resistansi dan kapasitansi pada transformator sebagai berikut.

$$S_{base} = 60 \text{ MVA}$$

Persamaan tegangan dasar menjadi :

$$V_{base} = \frac{150 \text{ kV}}{\sqrt{3}} = 86,602 \text{ kV}$$

Berdasarkan persamaan 2.19, maka impedansi dasar dapat dihitung:

$$Z_0 = \frac{V_1}{I_0} = \frac{jX_m R_C}{R_C + jX_m},$$

Dimana,

$$I_0 = \frac{S_{base}}{V_{base}} \text{ maka,}$$

$$Z_{base} = \frac{V_{base}^2}{S_{base}} = \frac{86,602^2 \text{ kV}}{60 \text{ MVA}} = 125$$

$$R = Z_{base} \times \text{percent resistance drop at principal tap} = 125 \times 0,35 \% = 0,4375$$

$$R_{\text{per phase}} = \frac{R}{3} = \frac{0,4375}{3} = 0,146$$

Reaktansi  $X_L$  juga bergantung pada frekuensi. Semakin besar frekuensi, semakin cepat perubahan fluks magnet yang terjadi pada induktor. Jika ggl yang terinduksi oleh medan ini tetap sama dengan ggl sumber sebagaimana mestinya, maka besar arusnya harus lebih kecil. Sebab sumber sebagaimana mestinya, maka besar reaktansi  $X_L$  dan kita harapkan  $X_L \propto fL$ . Ini tentunya konsisten dengan kenyataan bahwa jika frekuensi bernilai nol (sehingga menjadi dc) tidak terdapat ggl balik dan tidak ada impedansi terhadap aliran muatan. Perhitungan yang teliti (dengan menggunakan kalkulus), begitu juga eksperimen, menunjukkan bahwa konstanta kesebandingannya adalah  $2 \phi$ . Jadi

$$X_L = 2\pi fL$$

(Giancoli. 2001 : 197-198)

$$X_L = Z_{base} \times \text{percent reactance drop at principal tap}$$

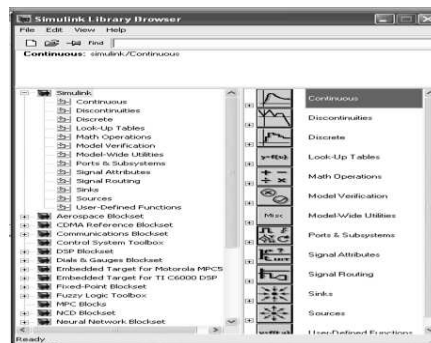
$$= 125 \times 12,49 \% = 15,6125$$

$$L = \frac{X_L}{2\pi f} = \frac{15,6125}{2 \times 3,14 \times 50} = 0,05 \text{ Henry}$$

$$L_{\text{per phase}} = \frac{L}{3} = \frac{0,05}{3} = 0,0167 \text{ Henry}$$

**Pembuatan Rangkaian Simulasi Transformator dengan Matlab**

Software yang digunakan untuk mensimulasikan rangkaian pengujian transformator daya adalah program Matlab dengan menggunakan fasilitas Simulink dan *Power System Blockset* sebagai sumber parameter-parameter yang akan dipakai.



Gambar 8. Simulink Library Browser

Selanjutnya dari *Simulink Library Browser*, diambil parameter-parameter dalam bagian *Power System Blockset* yang dibutuhkan untuk membentuk rangkaian simulasinya.

Parameter-parameter yang digunakan dalam rangkaian simulasi tegangan impuls transformator daya 150 kV terbagi dalam tiga bagian, yaitu :

- Parameter pembentuk tegangan implus.
- Parameter pembentuk kumparan transformator.
- Parameter tampilan hasil simulasi.

**Parameter Pembentuk Tegangan Implus**

Sumber tegangan yang digunakan adalah sumber tegangan bolak-balik (AC), untuk transformator daya 150 kV. Terdapat empat bagian parameter yang dipakai untuk membentuk sumber tegangan implus, yaitu :

- Sumber tegangan
 

Ada berbagai jenis sumber tegangan yang terdapat di *Power System Blockset* akan tetapi sumber tegangan yang dipakai di sini adalah sumber tegangan AC. Sumber tegangan AC ini berfungsi untuk memberikan tegangan implus transformator daya 150 kV. Nilai tegangannya diisi pada baris *Peak Amplitude (V)* dengan nilai *Phase* = 1 dan *Frequency* = 50 Hz.
- Ground
 

Jenis parameter ground dalam *Power System Blockset* yang dipakai dalam rangkaian simulasi ini adalah *output ground*. Jenis ground ini dipilih berdasarkan kesesuaian "port" dengan sumber tegangan AC agar dapat terhubung dengan baik.
- Timer
 

Fungsi dari parameter timer di sini adalah untuk membatasi waktu terjadinya tegangan implus pada transformator. Karena waktu berlangsungnya tegangan implus sangat cepat, maka dalam rangkaian simulasinya diambil contoh waktu 50 s

berdasarkan waktu berlangsungnya tegangan petir pada umumnya dan setelah itu sumber tegangan akan dimatikan lewat *Breaker*.

- *Breaker*

Dalam parameter pembentuk tegangan implus, parameter *breaker* berfungsi sebagai penghubung dan pemutus tegangan implus yang masuk ke rangkaian transformator berdasarkan timer.

Keempat parameter ini kemudian disatukan ke dalam sebuah rangkaian sehingga membentuk rangkaian sumber tegangan implus.

### Parameter Pembentuk Kumputan Transformator

Bagian transformator yang sering mengalami dampak terjadinya tegangan implus adalah bagian kumputan. Oleh karena itu pada rangkaian simulasinya secara khusus difokuskan pada lilitan transformator daya. Lilitan tersebut kemudian diubah menjadi rangkaian berkomponen RLC seperti pada rangkaian ekuivalen pada gambar 2.9.

Untuk membentuk rangkaian simulasinya, diambil beberapa parameter dalam *Power System Blockset* yaitu *Series RLC branch*, *Parallel RLC branch*, dan *Output ground*.

- *Series RLC Branch*

Parameter ini digunakan untuk membentuk rangkaian ekuivalen lilitan transformator kumputan primer dengan nilai  $R = 0,146$  dan  $L = 0,0167$  H, seperti hasil perhitungan pada bagian 3.2.2. di atas. Sedangkan nilai C (kapasitansi) pada parameter ini dipakai nilai tak terhingga dikarenakan nilai kapasitansinya akan dibuat dengan parameter terpisah.

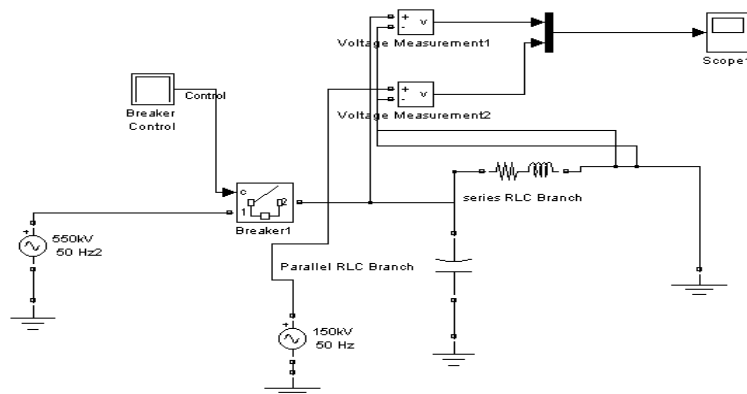
- *Parallel RLC branch*

Parameter *Parallel RLC branch* juga digunakan untuk membentuk rangkaian ekuivalen kumputan transformator, yaitu bagian kapasitansi pada lilitan primer dan bagian RC yang terhubung dengan ground.

- *Ground*

Untuk parameter ground digunakan *Output ground* seperti pada parameter pembentuk tegangan implus. Dari beberapa parameter ini kemudian digunakan *Output ground*.

Dari beberapa parameter ini kemudian dibentuk rangkaian pengganti lilitan transformator daya 150 kV.



Gambar 9. Rangkaian simulasi tegangan impuls transformator daya 150 kV



**HASIL DAN PEMBAHASAN****Analisa Berupa Tabel Hasil Simulasi**

Analisa yang dilakukan di sini adalah berupa pembuatan tabel berdasarkan tegangan impuls transformator 150 kV, yaitu 550 kV, 650 kV dan 750 kV. Untuk hasil secara lengkap dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 1. Hasil Simulasi dengan Tegangan Impuls 550 kV

<b>Nilai</b>	<b>Tegangan Puncak (kV)</b>	<b>Tegangan Puncak Transformator 150 (kV)</b>
0	519,10	142,66
1	519,25	142,66
2	519,25	142,66
3	519,25	142,66
4	473,70	129,90
5	470,80	129,90
6	470,80	129,90
7	470,80	129,90
8	470,80	129,90
9	470,80	129,90

Tabel 2. Hasil Simulasi dengan Tegangan Impuls 650 kV

<b>Nilai</b>	<b>Tegangan Puncak (kV)</b>	<b>Tegangan Puncak Transformator 150 (kV)</b>
0	609,71	142,66
1	609,89	142,66
2	609,89	142,66
3	609,89	142,66
4	554,14	129,90
5	550,49	129,90
6	550,49	129,90
7	550,49	129,90
8	550,49	129,90
9	550,49	129,90

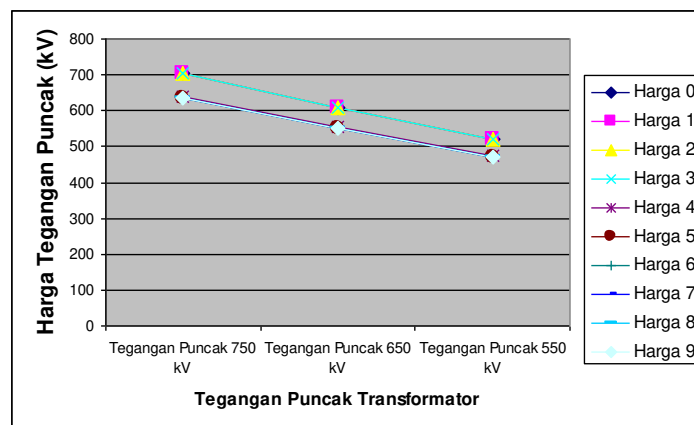
Tabel 3. Hasil Simulasi dengan Tegangan Impuls 750 kV

Nilai	Tegangan Puncak (kV)	Tegangan Puncak Transformator 150 (kV)
0	703,51	142,66
1	703,72	142,66
2	703,72	142,66
3	703,72	142,66
4	639,39	129,90
5	635,18	129,90
6	635,18	129,90
7	635,18	129,90
8	635,18	129,90
9	635,18	129,90

Dari hasil pada ketiga tabel ini, dapat dibuat analisa sebagai berikut :

- Dari harga tegangan impuls yang berbeda-beda, yaitu 550 kV, 650 kV dan 750 kV yang disimulasikan pada kumparan transformator, dapat dilihat bahwa untuk harga tegangan impuls yang semakin meningkat, maka harga tegangan puncak juga akan semakin naik dibandingkan dengan harga tegangan puncak Transformator 150 kV.
- Semakin besar harga tegangan impuls yang diberikan pada kumparan transformator, maka akan semakin membahayakan bagi lapisan kumparan transformator apabila terkena tegangan impuls.
- Harga tegangan impuls puncak cenderung turun mengikuti naiknya nilai, yaitu dari nilai = 0 sampai nilai = 9.

**Analisa Berupa Grafik Hasil Simulasi**



Gambar 10. Grafik Harga-harga Puncak Tegangan Impuls 750 kV, 650 kV dan 550 kV

Hasil analisa grafik adalah sebagai berikut :

- Dari Gambar 10, dapat dilihat bahwa semakin kecil tegangan impuls yang diberikan maka semakin kecil pula tegangan puncak. Hal ini berarti bahwa semakin jauh tegangan impuls masuk ke dalam kumparan transformator daya, maka selain harga tegangannya mengalami penurunan, harga-harga tegangannya

pun mulai memiliki nilai yang berbeda-beda sesuai dengan perbandingan besar kapasitansi yang ada pada kumparan transformator daya tersebut.

- Dari grafik dan hasil tampilan simulasi, terlihat bahwa gelombang yang disebabkan oleh tegangan impuls ternyata merupakan gelombang osilasi dengan nilai tegangan yang cukup tinggi. Dampak yang terjadi yaitu pada bahan isolasi akan terjadi penurunan kumparan (kegagalan) isolasi akibat adanya tegangan lebih dan kuat medan yang tinggi. Bahan isolasi yang sering mengalami kegagalan adalah minyak transformator dan bahan isolasi padat (kertas) yang melapisi kumparan transformator. Selain itu dampak yang sering terjadi adalah saat terkena tegangan impuls, pada kumparan transformator timbul getaran dan panas yang disebabkan oleh tegangan lebih tersebut.

**Analisa Selisih Penurunan Tegangan**

Tabel 4. Selisih Penurunan Tegangan Pada Kumparan Transformator

Tegangan Impuls (kV)	Nilai	Selisih Tegangan Antara Puncak Impuls dengan Tegangan Puncak 150 kV
550	0	376.44
	1	376.59
	2	376.59
	3	376.59
	4	343.8
	5	340.9
	6	340.9
	7	340.9
	8	340.9
	9	340.9
650	0	467.05
	1	467.23
	2	467.23
	3	467.23
	4	424.24
	5	420.59
	6	420.59
	7	420.59
	8	420.59
	9	420.59
750	0	560.85
	1	561.06
	2	561.06
	3	561.06
	4	509.49
	5	505.28
	6	505.28
	7	505.28
	8	505.28
	9	505.28

Dari tabel di atas didapat bahwa selisih penurunan tegangan dapat terlihat dengan jelas adalah antara tegangan puncak tegangan impuls dengan tegangan puncak 150 kV. Dari hasil tabel diperoleh harga selisih penurunan tegangan impuls sangat tinggi. Hal ini berarti dengan semakin besar nilai perbandingan kapasitansi pada masing-masing lapisan

kumparan, maka akan semakin membahayakan bagi transformator daya apabila terkena tegangan impuls khususnya pada lapisan yang mendekati titik netralnya.

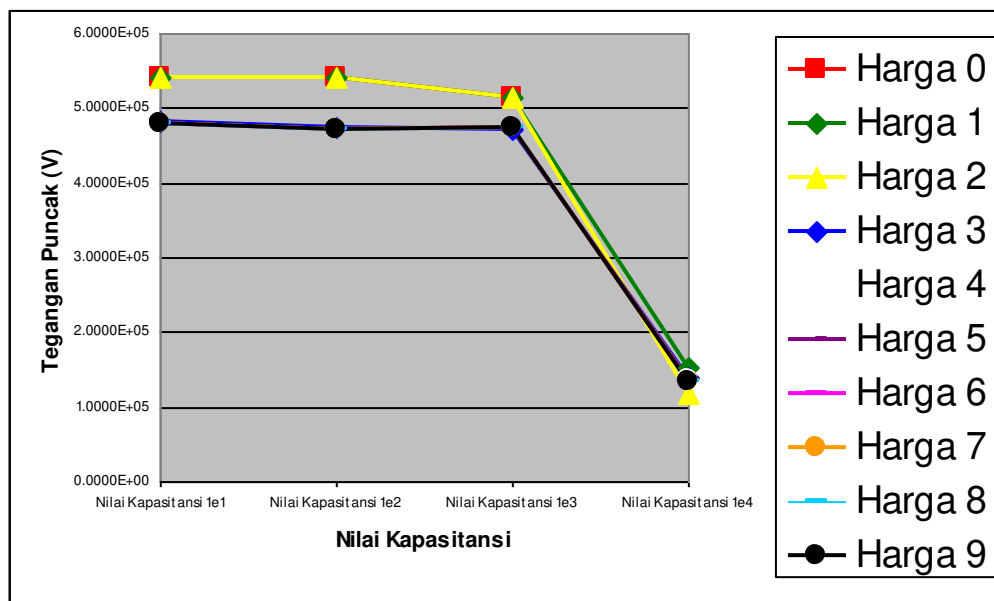
**Proteksi Tegangan Impuls**

Kerusakan transformator terjadi pada kapasitansi maka solusi untuk mencegah terjadinya tegangan impuls dengan memberi nilai yang tepat pada kapasitansi transformator.

- Untuk tegangan impuls 550 kV

Tabel 5. Tegangan Impuls 550 kV dengan nilai kapasitansi berbeda-beda

Tegangan Impuls (kV)	Nilai	Tegangan Puncak dengan nilai kapasitansi $1 \times 10^1$ (kV)	Tegangan Puncak dengan nilai kapasitansi $1 \times 10^2$ (kV)	Tegangan Puncak dengan nilai kapasitansi $1 \times 10^3$ (kV)	Tegangan Puncak dengan nilai kapasitansi $1 \times 10^4$ (kV)
550	0	539.87	541.86	513.02	151.72
	1	539.87	542.01	514.65	153.83
	2	539.87	542.01	514.65	118.73
	3	481.89	473.70	472.19	138.32
	4	480.05	470.80	473.22	135.56
	5	480.05	470.80	473.22	135.56
	6	480.05	470.80	473.22	135.56
	7	480.05	470.80	473.22	135.20
	8	480.05	470.80	473.22	135.14
	9	480.05	470.80	473.22	135.14

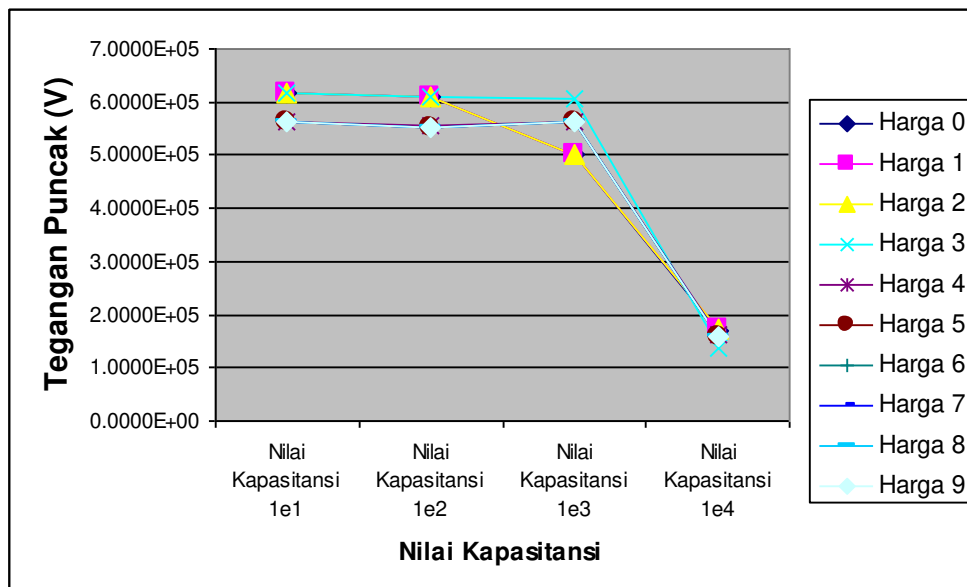


Gambar 11. Grafik Tegangan Impuls 550 kV dengan nilai kapasitansi berbeda-beda

- Untuk tegangan impuls 650 kV

Tabel 6. Tegangan Impuls 650 kV dengan nilai kapasitansi berbeda-beda

Tegangan Impuls (kV)	Nilai	Tegangan Puncak dengan nilai kapasitansi $1 \times 10^1$ (kV)	Tegangan Puncak dengan nilai kapasitansi $1 \times 10^2$ (kV)	Tegangan Puncak dengan nilai kapasitansi $1 \times 10^3$ (kV)	Tegangan Puncak dengan nilai kapasitansi $1 \times 10^4$ (kV)
650	0	617.40	609.71	501.05	169.75
	1	617.40	609.89	500.84	173.92
	2	617.40	609.89	500.84	174.48
	3	617.40	609.89	695.42	136.25
	4	564.10	554.14	562.33	161.59
	5	561.71	550.49	563.58	158.53
	6	561.71	550.49	563.58	158.12
	7	561.71	550.49	563.58	158.07
	8	561.71	550.49	563.58	158.06
	9	561.71	550.49	563.58	158.06

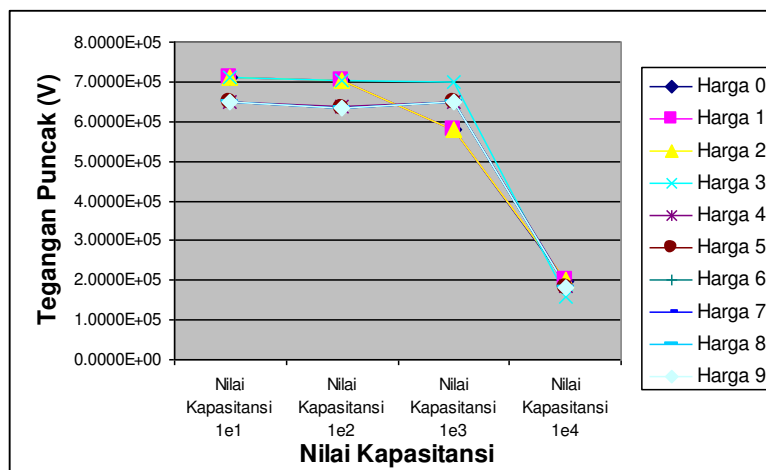


Gambar 12. Grafik Tegangan Impuls 650 kV dengan nilai kapasitansi berbeda-beda

- Untuk tegangan impuls 750 kV

Tabel 7. Tegangan Impuls 750 kV dengan nilai kapasitansi berbeda-beda

Tegangan Impuls (kV)	Nilai	Tegangan Puncak dengan nilai kapasitansi $1 \times 10^1$ (kV)	Tegangan Puncak dengan nilai kapasitansi $1 \times 10^2$ (kV)	Tegangan Puncak dengan nilai kapasitansi $1 \times 10^3$ (kV)	Tegangan Puncak dengan nilai kapasitansi $1 \times 10^4$ (kV)
750	0	712.38	703.51	578.14	195.87
	1	712.39	703.72	577.89	200.68
	2	712.39	703.72	577.89	201.32
	3	712.39	703.72	698.56	157.21
	4	650.89	639.39	648.84	186.45
	5	648.13	635.18	650.28	182.92
	6	648.13	635.18	650.28	182.45
	7	648.13	635.18	650.28	182.38
	8	648.13	635.18	650.28	182.37
	9	648.13	635.18	650.28	182.37



Gambar 13. Grafik Tegangan Impuls 750 kV dengan nilai kapasitansi berbeda-beda

Dari tabel 5, 6, 7 dan grafik 2, 3 dan 4 dapat disimpulkan bahwa dengan nilai kapasitansi  $1 \times 10^4$ , nilai tegangan puncak impuls mendekati nilai tegangan puncak transformator daya 150 kV. Hal ini menunjukkan bahwa pada nilai kapasitansi.  $1 \times 10^4$  transformator daya 150 kV bernilai normal

**KESIMPULAN**

Pemodelan untuk mensimulasikan tegangan impuls pada transformator daya 150 kV dapat dimodelkan dengan menggunakan program Matlab Simulink.

1. Dengan tegangan impuls yang berbeda-beda, yaitu 550 kV, 650 kV dan 750 kV yang disimulasikan pada kumparan transformator, menunjukkan bahwa untuk harga tegangan impuls yang semakin meningkat, maka harga tegangan puncak pada setiap kumparan juga akan semakin meningkat mengikuti kenaikan harga tegangan impuls yang diberikan.

2. Semakin besar harga tegangan impuls yang diberikan pada kumparan transformator, maka akan semakin membahayakan bagi lapisan kumparan transformator apabila terkena tegangan impuls.
3. Dari hasil analisa penurunan tegangan impuls dapat terlihat dengan jelas adalah antara tegangan puncak tegangan impuls dengan tegangan puncak 150 kV. Dari hasil tabel diperoleh harga selisih penurunan tegangan impuls sangat tinggi. Hal ini berarti dengan semakin besar nilai perbandingan kapasitansi pada masing-masing lapisan kumparan, maka akan semakin membahayakan bagi transformator daya apabila terkena tegangan impuls khususnya pada lapisan yang mendekati titik netralnya.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Ade Murti Susepto. 2008. *Analisis Pengaruh Ketidakseimbangan Beban terhadap Arus Netral dan Losses pada Trafo Distribusi Menggunakan Software cunull*. <http://inherent-unib.net/>
- Departement Of Mathematics. *Mengenal Matlab*. Sebelas Maret University. Surakarta. <http://www.math.uns.ac.id/files/statmat/mengenal.matlab.php>.
- Giancoli, Douglas C. 1998. *Fisika 2 Edisi Kelima*. Jakarta: Erlangga.
- Hartanto, Thomas Wahyu Dwi dan Prasetyo, Y. Wahyu Agung. 2003. *Analisa Desain Sistem Kontrol dengan Matlab*. Yogyakarta: Andi.
- Malvino, Albert Paul. 2003. *Prinsip-prinsip Elektronika*. Jakarta: salemba Teknika. [pln-litbang.co.id/beta/standarisasi/pdf/spln\\_7\\_1978.pdf](http://litbang.co.id/beta/standarisasi/pdf/spln_7_1978.pdf)
- Shihab, M.Quraish. 2003. *Tafsir Al-Mishbah Pesan, Kesan dan Keserasian al-qur'an Vol. 11*. Bandung : Mizan Pustaka
- Shihab, M.Quraish. 2006. *Mukjizat Al-Quran: Ditinjau dari Aspek Kebahasaan, Isyarat Ilmiah dan Pemberitaan Gaib*. Bandung : Mizan Pustaka
- Standar Perusahaan Listrik Negara. 1997. *Spesifikasi Transformator Tenaga Tegangan Tinggi*. [http://plnkm.com/estandard/data\\_spln/SPLN\\_61\\_1997.pdf](http://plnkm.com/estandard/data_spln/SPLN_61_1997.pdf)
- Tobing, Bonggas L. *Peralatan Tegangan Tinggi*. Jakarta : PT Gramedia Pustaka.
- Zuhail. 1980. *Dasar Tenaga Listrik*. Bandung : ITB.