

STUDI PENGURANGAN ARUS *INRUSH* TRANSFORMATOR DENGAN METODE *SEQUENTIAL PHASE ENERGIZATION* TANPA BEBAN MENGGUNAKAN SOFTWARE *ATP-EMTP*

Unggul Aribowo, Wahyudi Budi Pramono S.T., M.Eng.

Department of Electrical Engineering

Faculty of Industrial Technology Universitas Islam Indonesia

Yogyakarta Indonesia

Email : Unggularibowo.ua@gmail.com



UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

Abstrak

Transformator bekerja berdasarkan prinsip induksi elektromagnetik. Ketika *transformator* dienergize tegangan listrik dan ketika dimatikan maka akan menghasilkan fluks sisa pada inti *transformator* atau yang biasa disebut *residual fluks*. Besar kecilnya arus *inrush* bergantung pada fluks *residual* dalam *transformator*. Arus *inrush* ini bernilai bisa berkali-kali lipat dari arus nominal *transformator* sehingga arus *inrush* pada *transformator* harus sebisa mungkin dikurangi. Banyak cara dalam pengurangan arus *inrush* salah satunya dengan menggunakan pengontrolan *switch* pada saat energize. Apabila arus ini berlangsung terus menerus akan berdampak pada usia *transformator* serta mengganggu kerja rele proteksi. Maka itu perlu adanya upaya pengurangan arus *inrush*. Ada beberapa cara dalam pengurangan arus *inrush* salah satunya menggunakan metode *sequential phase energization (SPE)*. Metode ini dinilai sangat simpel dan efektif dalam pengurangan arus *inrush*, secara garis besarnya metode *SPE* ini bekerja dengan cara memperhatikan *delay* waktu antar *switch* setiap fasanya agar mendapatkan hasil yang optimal. Maka dari itu Tugas akhir ini akan berfokus pada pengurangan arus *inrush*. Pada tahap pertama mensimulasikan pengurangan arus *inrush* menggunakan metode *SPE* dan membandingkan hasil sebelum menggunakan metode *SPE* dan sesudah menggunakan metode *SPE*. Dalam simulasi ini menggunakan metode *SPE* berhasil mengurangi lonjakan arus *inrush* pada fasa 1 sebesar 33,25 %, fasa 2 sebesar 61,59 % dan fasa 3 sebesar 57,24 %. Dari hasil simulasi ini pengurangan arus *inrush* menggunakan metode *SPE* layak diaplikasikan.

Kata Kunci : *transformator*, Arus *inrush*, *sequential phase energization (SPE)*.

1. PENDAHULUAN

Arus *inrush* timbul saat *transformator* mau dioperasikan. Arus *inrush* mempunyai lonjakan yang tinggi dan tiba-tiba. Sehingga apabila tidak ada tindakan untuk menguranginya akan berdampak serius pada *transformator* dan sistem tenaga listrik. Maka dari itu pengurangan arus *inrush* ini sangat diperlukan agar *transformator* dan sistem tenaga listrik berumur panjang.

Transformator merupakan komponen elektronika yang digunakan untuk menurunkan atau menaikkan tegangan listrik dan kerjanya menggunakan prinsip induksi elektromagnetik. Ketika *transformator* dialiri arus bolak-balik (AC) maka akan menimbulkan arus yang berubah-ubah sehingga fluks magnetik akan mengalir melalui inti besi dan melewati kumparan sekunder. Akibat dari induksi magnetik yang berubah-ubah maka akan menimbulkan fluks magnetik yang berubah-ubah ini akan menimbulkan gaya gerak listrik (ggl) induksi.

Metode yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah *sequensial phase energization* secara sederhananya metode ini memberi *delay* pada masing-masing fasa (1, 2, 3) *transformator* karena arus *inrush* setiap fasanya berbeda. Untuk mengetahui arus *inrush* setiap fasa dilakukan simulasi menggunakan software *ATP-EMTP*.

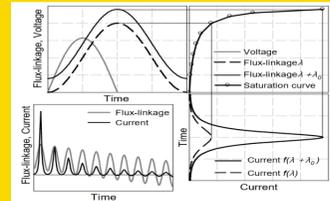
2. MODEL MATEMATIS

Arus *inrush* terjadi ketika *transformator* dienergize pada sumber arus bolak-balik, maka menghasilkan arus transien dalam beberapa detik sebelum mencapai keadaan stabil. Arus *inrush* akan mengalir pada rentang waktu yang pendek hingga keadaan stabil. Besarnya arus *inrush* bisa mencapai 8-12 kali dari arus nominal *transformator*.

Ada beberapa faktor yang mempengaruhi nilai besar dan kecilnya arus *inrush* yaitu:

1. Sudut *switching* tegangan
2. Fluks sisa pada inti *transformator*
3. Karakteristik inti *transformator*

Proses terjadinya arus *inrush* dapat dilihat pada gambar



Berdasarkan Gambar diatas dapat dijelaskan bahwa arus *inrush* terjadi pada saat *transformator* diberi tegangan, *transformator* akan bekerja sebagai hambatan sehingga akan menyebabkan fluks tertinggal 90° dari tegangan. Nilai maksimal gelombang fluks terjadi apabila gelombang fluks telah mencapai ¼ lonjakan dari gelombang tegangan. Selama *transformator* beroperasi, nilai fluks akan naik dua kali lipat dari nilai maksimum fluks saat kondisi normal.

Ketika fluks dalam kondisi maksimal akan menyebabkan inti *transformator* dalam kondisi saturasi sehingga akan menghasilkan arus *inrush* yang sangat besar.

Arus *inrush* dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 1

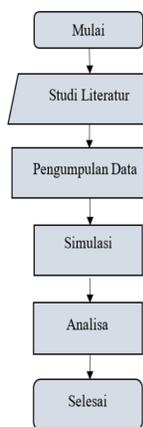
$$I_{inrush} = \frac{\sqrt{2}V}{\sqrt{(\omega L)^2 + R^2}} \left(\frac{2B_N + B_R + B_S}{B_N} \right)$$

Dimana:

- V = tegangan.
- L = induktansi gulungan *transformator*.
- R = resistansi.
- B_R = kerapatan fluks sisa dari inti *transformator*.
- B_S = kerapatan fluks saturasi (jenuh) dari inti.
- B_N = nilai arus nominal[2].

3. PERANCANGAN SISTEM

1. Diagram Alir

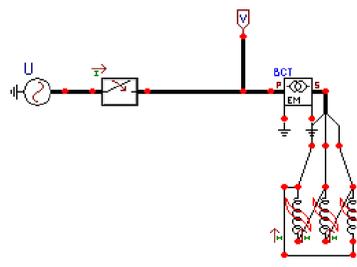


Tahap pertama yaitu mencari studi literatur yang berhubungan dengan penyelesaian tugas akhir ini. Studi literatur yang dilakukan adalah dengan membaca penelitian-penelitian yang sudah ada dari buku dan jurnal yang dapat digunakan sebagai referensi dalam pelaksanaan penelitian. Tahap kedua yaitu mengumpulkan data. Data yang dikumpulkan yaitu data *transformator* 3 fasa yang terdiri dari data spesifikasi *transformator* dan perubahan fluks terhadap arus. Data inilah yang akan diinput pada komponen simulasi pada *ATP-EMTP*. Setelah data dikumpulkan, selanjutnya masuk ke tahap ketiga yaitu melakukan simulasi pada software *ATP-EMTP*. Simulasi yang dilakukan yaitu simulasi yang berupa pembuatan single diagram. Dalam pembuatan simulasi terbagi menjadi 2 jenis yaitu simulasi sistem tanpa metode *SPE* dan simulasi sistem dengan

menggunakan metode *SPE*. Pada simulasi tanpa menggunakan metode *SPE* waktu *close* setiap fasanya akan sama. Hal ini guna melihat lonjakan arus *inrush* yang terjadi. Hasil simulasi tanpa metode *SPE* akan tampil dalam bentuk grafik. Simulasi menggunakan metode *SPE* waktu *close* setiap fasa pada *switch* berbeda dengan tanpa menggunakan metode *SPE*. Hal ini dikarenakan metode *SPE* saat *switch close* ada selang waktu setiap fasanya. Dalam pemilihan waktu *close* metode *SPE* dengan cara mencari arus terkecil pada fasa 1 mulai dari sudut 0- 360° Sudut inilah yang akan menjadi acuan pergeseran setiap fasanya. Sudut ini akan dikonversikan ke detik. Sehingga akan terjadi selang waktu setiap fasanya. Setelah tahap simulasi diselesaikan, kemudian masuk ketahap ke empat yaitu Analisa hasil. Analisa dilakukan dengan dua tahap, pertama ialah dengan mengamati hasil simulasi yang diperlihatkan pada software *ATP-EMTP* tanpa metode *SPE*, selanjutnya ialah dengan mengamati hasil simulasi yang menggunakan metode *SPE*. Kedua hasil simulasi tersebut akan ditampilkan dalam bentuk grafik. Guna memudahkan dalam pembacaan, hasil akan ditampilkan dalam bentuk tabel.

Setelah didapatkan hasil dari dua simulasi yang dilakukan maka dapat dilanjutkan dengan membandingkan hasil menggunakan metode *non SPE* dan menggunakan metode *SPE* dan selanjutnya membuat kesimpulan terhadap penelitian yang telah dilaksanakan.

2. Simulasi Sistem



memodelan *single line diagram* menggunakan software *ATP-EMTP* dengan suplay tegangan 170 kV dengan daya 60 MVA. Pada *starting* simulasi ini tanpa menggunakan beban dan *transformator* pada kondisi saturasi (jenuh).

3. Pemilihan *close switch*

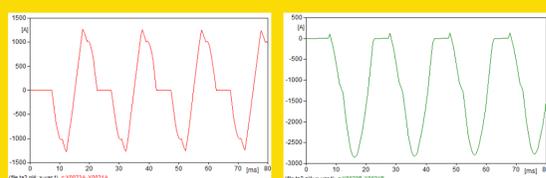
| Sudut (°) | Waktu (detik) | Arus (A) |
|-----------|---------------|----------|
| 0 | 0 | -3000 |
| 45 | 0,0025 | -2565,3 |
| 90 | 0,005 | 1235,4 |
| 120 | 0,00666 | 2126,3 |
| 150 | 0,0083 | 2844,7 |
| 180 | 0,01 | 2981,1 |
| 210 | 0,0116 | 2867,2 |
| 240 | 0,0133 | 2163,2 |
| 270 | 0,015 | -1290 |
| 300 | 0,0166 | -2103,8 |
| 330 | 0,018 | -2755,3 |
| 360 | 0,02 | -3000 |

Pemilihan waktu *close switch* 3 fasa berdasarkan arus terkecil yang didapatkan dari hasil simulasi yang dimulai dari sudut 0° sampai 360°. Sudut tersebut akan digunakan untuk *delay* setiap fasanya pada *switch* 3 fasa. Pemilihan waktu *close switch* dapat dilihat pada tabel disamping.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

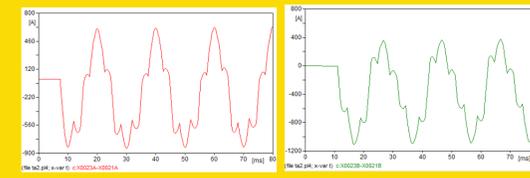
1. Hasil Simulasi Tanpa Metode *SPE*

Simulasi tanpa metode *SPE* dibagi menjadi 3 fasa dan gabungan dari ketiga fasa. Pembagian ini bertujuan untuk mengetahui seberapa besar lonjakan arus *inrush* dari setiap fasa. Adapun hasil dari simulasi tanpa metode *SPE* dapat dilihat pada Gambar 4.1 sampai Gambar 4.4



2. Hasil Simulasi Menggunakan Metode *SPE*

Dalam proses simulasi menggunakan metode *SPE* dibagi menjadi 3 fasa dan gabungan dari ketiga fasa. Pembagian ini bertujuan untuk mengetahui seberapa besar lonjakan arus *inrush* dari setiap fasa. Adapun hasil dari simulasi menggunakan metode *SPE* dapat dilihat pada Gambar 4.5 sampai Gambar 4.8



3. Perbandingan Tanpa Metode dan Menggunakan Metode

Perbandingan tanpa metode dan dengan metode dapat dilihat pada tabel dibawah:

| Fasa | Arus Nominal | | Persentase Pengurangan Arus <i>Inrush</i> |
|------|---|---|---|
| | Tanpa Metode <i>SPE</i> (I _{nom}) | Menggunakan Metode <i>SPE</i> (I _{nom}) | |
| 1 | 5,35 | 3,57 | 33,25 % |
| 2 | 12,34 | 4,74 | 61,59 % |
| 3 | 12,36 | 5,28 | 57,24 % |

Pada Tabel 4.1 tanpa menggunakan metode *SPE* pada fasa 1 menunjukkan lonjakan arus *inrush* sebesar -1235,4 A atau mengalami lonjakan 5,35 kali dari arus nominal. Fasa 2 menunjukkan lonjakan arus *inrush* sebesar -2850,5 A atau lonjakan 12,34 kali dari arus nominal. Fasa 3 menunjukkan lonjakan arus *inrush* sebesar 2855,8 A atau mengalami lonjakan 12,36 kali dari arus nominal. Hasil simulasi tanpa menggunakan metode *SPE* tampak arus *inrush* mulai *steady state* pada 7,8 detik. Sedangkan saat menggunakan metode *SPE* fasa 1 menunjukkan lonjakan arus *inrush* sebesar -824,55 A atau mengalami lonjakan 3,57 kali dari arus nominal. Fasa 2 menunjukkan lonjakan arus *inrush* sebesar -1094,6 A atau mengalami lonjakan 4,74 kali dari arus nominal. Fasa 3 menunjukkan lonjakan arus *inrush* sebesar -1221 A atau mengalami lonjakan 5,28 kali dari arus nominal. Hasil simulasi menggunakan metode *SPE* menunjukkan arus *inrush* yang timbul pada ketiga fasa mencapai nilai *steady state* 5,2 detik. Sehingga metode *SPE* pada fasa 1 terjadi pengurangan sebesar 33,25 %, fasa 2 terjadi pengurangan 61,59 % dan fasa 3 terjadi pengurangan sebesar 57,24 %.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan dari penelitian ini yaitu:

1. Fluks sisa sangat berpengaruh dalam lonjakan arus *inrush*, akan tetapi fluks sisa dapat dikurangi dengan mengontrol waktu *switching* yang tepat pada *transformator*.
2. Metode *SPE* tergolong efektif dalam pengurangan arus *inrush*.
3. Pada kondisi tidak menggunakan metode *SPE* arus *inrush* yang terbaca pada fasa 1 sebesar 1235,4 A, fasa 2 sebesar -2850,5 A, dan fasa 3 sebesar 2855,8 A. Pada saat menggunakan metode *SPE* arus *inrush* yang terbaca pada fasa 1 sebesar -824,55 A, fasa 2 sebesar -1094,6, fasa 3 sebesar -1221 A.
4. Metode ini berhasil mereduksi lonjakan arus *inrush* pada fasa 1 sebesar 33,25 %, fasa 2 sebesar 61,59 % dan fasa 3 sebesar 57,24 %.

Saran untuk penelitian selanjutnya yaitu membandingkan metode *SPE* dengan metode lainnya yang bertujuan agar dapat mengetahui metode yang lebih efisien dalam mengetahui pengurangan arus *inrush* sehingga dapat diaplikasikan dalam sistem nyata.

6. REFERENSI

- [1] R. A. Turner, K. S. Smith "Resonance Excited By Transformer Inrush Current in Inter-connected offshore Power Systems," *IEEE Transmission and Distribution*, vol vol 1, pp 978-985, 2008.
- [2] K. J. Patel, "Effects of Transformer Inrush Current," *Dissertation Faculty of Health University of Southern Queensland*, 2013.
- [3] N. Chiesa, "Power Transformer Modelling For Inrush Current Calculation" *Doctoral Theses Faculty of Information Technology Norwegian University of Science and Technology*, 2010.
- [4] E. Sitorus, "Studi Pengaruh Arus Inrush dan Arus Hubung Singkat Terhadap Pengaman *Transformator*," *Skripsi Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara*, 2010.