

**PENGARUH *INRUSH SYMPATHETIC CURRENT* TERHADAP
TRANSFORMATOR TIGA FASA**



Disusun oleh:

Muhammad Ridho Assyaukani

15524067

**Jurusan Teknik Elektro
Fakultas Teknologi Industri
Universitas Islam Indonesia**

Yogyakarta

2020

LEMBAR PENGESAHAN

LEMBAR PENGESAHAN

PENGARUH *INRUSH SYMPATHETIC CURRENT* TERHADAP TRANSFORMATOR TIGA FASA

TUGAS AKHIR
ISLAM
Diajukan sebagai Salah Satu Syarat untuk Memperoleh
Gelar Sarjana Teknik
pada Program Studi Teknik Elektro
Fakultas Teknologi Industri
Universitas Islam Indonesia

Disusun oleh:

Muhammad Ridho Assvaukani
15524067

Yogyakarta, 15 Juli 2020

Menyetujui,

Pembimbing



Wahyudi Budi Pramono, S.T., M.Eng.,
985240104

LEMBAR PENGESAHAN

LEMBAR PENGESAHAN

SKRIPSI

PENGARUH *INRUSH SYMPATHETIC CURRENT* TERHADAP TRANSFORMATOR TIGA FASA

Dipersiapkan dan disusun oleh:

Muhammad Ridho Assyaukani

15524067

Telah dipertahankan di depan dewan penguji

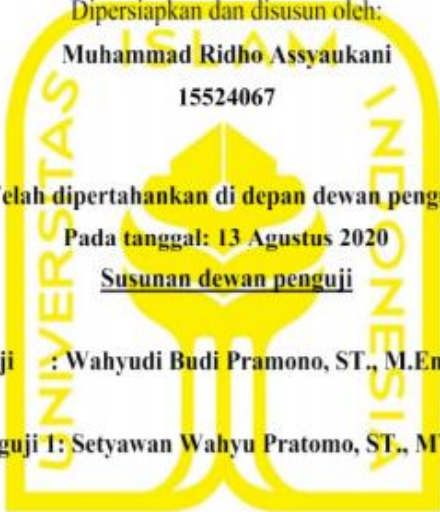
Pada tanggal: 13 Agustus 2020

Susunan dewan penguji

Ketua Penguji : Wahyudi Budi Pramono, ST., M.Eng. 

Anggota Penguji 1: Setyawan Wahyu Pratomo, ST., MT. 

Anggota Penguji 2: Alvin Sahroni, S.T., M.Eng., Ph.D. 


Skripsi ini telah diterima sebagai salah satu persyaratan
untuk memperoleh gelar Sarjana

Tanggal: 13 Agustus 2020

Ketua Program Studi Teknik Elektro



Yusuf Aziz Anwar, S.T., M.Eng., Ph.D.

045240101

PERNYATAAN

PERNYATAAN

Dengan ini Saya menyatakan bahwa:

1. Skripsi ini tidak mengandung karya yang diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu Perguruan Tinggi, dan sepanjang pengetahuan Saya juga tidak mengandung karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.
2. Informasi dan materi Skripsi yang terkait hak milik, hak intelektual, dan paten merupakan milik bersama antara tiga pihak yaitu penulis, dosen pembimbing, dan Universitas Islam Indonesia. Dalam hal penggunaan informasi dan materi Skripsi terkait paten maka akan didiskusikan lebih lanjut untuk mendapatkan persetujuan dari ketiga pihak tersebut diatas.

Yogyakarta, 15 juli 2020



Muhammad Ridho Assyaukani

KATA PENGANTAR



Assalamualaikum. Wr. Wb.

Alhamdulillah robbil' Alamin, segala puji dan syukur penulis penjatkan kepada Allah SWT karena atas karunia berupa nikmat dan kasih sayang-Nya penulis dapat menyusun dan menyelesaikan laporan tugas akhir ini sebagai syarat untuk memperoleh gelar sarjana Teknik Elektro Strata Satu (S1) Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia. Tak lupa shalawat serta salam semoga tercurah kepada junjungan kita Baginda Nabi Muhammad SAW yang telah membawa syafa'atnya dibumi ini dari zaman Jahiliyah hingga ke zaman saat ini.

Penulis sadar bahwa segala hal tiada yang sempurna dalam laporan ini, dimana atas dasar kemampuan individu yang kurang mampu dalam menyelesaikan penulisan laporan ini sehingga penulis banyak mendapatkan bantuan serta dukungan dari berbagai pihak, maka penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada :

1. Orang tua tercinta Bapak Maskub dan Ibu Noor Diana yang memberi dukungan moral ataupun materi yang tiada henti sehingga dapat menyelesaikan laporan tugas akhir tepat waktu. Tak lupa juga untuk adik saya tercinta yaitu Muhammad Naufal Qais yang selalu memberi dukungan moral.
2. Bapak Wahyudi Budi Pramono, S.T., M.Eng. selaku Dosen Pembimbing tugas akhir yang telah membimbing, mendampingi dan memberikan bantuan pikiran sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan tugas akhir ini.
3. Bapak Yusuf Aziz Amrullah, ST., M.Sc., Ph.D selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia.
4. Seluruh Dosen Jurusan Teknik Elektro yang penulis banggakan, terima kasih atas bimbingan selama menempuh kuliah di Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia..
5. Sahabat–sahabat saya didalam perkuliahan yaitu Ari Dwi, Eny, Ridwan, Raka, Fathir, Rayhan, Saifullah, Bingar, Dana, Irsyad, Fatiqe, Amir, Ryan dan Muchlis penulis haturkan banyak terima kasih atas kebersamaannya dari awal sampai akhir kuliah dan motivasinya dalam pengerjaan laporan tugas akhir ini.
6. Keluarga kecil lapangan 2015, Penulis ucapkan banyak terima kasih telah memberikan kontribusi dalam hal semangat tiada akhir dan sukses dunia akhirat.

7. Teman – teman pondok pesantren Ipul, Ali, Muclis yang selalu mengingatkan penulis dalam mengingatkan ibadah dan pemberi semangat dalam pengerjaan laporan skripsi.
8. Teman-teman KKN UII Angkatan 56 Unit 365 yaitu Romy, Sultan, Sihi, Ani, Sofi, Cindy, Hani penulis ucapkan terima kasih banyak atas kerjasamanya selama KKN dan do'a serta motivasi kepada penulis dalam penyelesaian tugas akhir ini. Jadilah orang yang sukses, ingat kepada Tuhan dan selalu memberikan nilai positif dengan lingkungan.
9. Saudara-saudaraku keluarga besar Teknik Elektro Universitas Islam Indonesia Angkatan 2015, terimakasih banyak atas kenangan, kebersamaan, dan bantuannya. Penulis sungguh tidak rugi mengenal kalian dan semoga kalian menjadi pribadi yang baik di mata Allah SWT.
10. Dan banyak pihak lainnya yang tidak dapat penulis sebutkan seluruhnya yang telah membantu dalam penyelesaian skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa laporan ini jauh dari kata sempurna sehingga penulis mengharapkan kritik dan saran yang dapat membangun pada penulisan laporan Tugas akhir
Wassalamualaikum Wr. Wb.

Yogyakarta, 15 Juli 2020

ARTI LAMBANG DAN SINGKATAN

Singkatan	Arti Singkatan
V	Tegangan
I	Arus
t	Waktu (s)
F	Frekuensi
V_p	Tegangan primer
V_s	Tegangan sekunder
S	Daya sumber
Imp	Impedansi
I_s	Arus sekunder
I_p	Arus primer
I_o	Arus nominal
AC	<i>Alternating Current</i>
MVA	Mega Volt Ampere
T.Cl	Waktu <i>close switch</i>
T.Op	Waktu <i>open switch</i>
kVA	Kilo volt <i>ampere</i>
kV	Kilo volt

ABSTRAK

Transformator merupakan suatu alat kelistrikan yang dapat mengubah tegangan bolak-balik menjadi lebih besar atau lebih kecil. Ketika transformator dihubungkan dengan sumber tegangan, maka terdapat lonjakan arus yang berlangsung cepat. Lonjakan arus tersebut disebut arus *inrush*. Dilanjutkan dengan adanya lonjakan arus *inrush sympathetic*, fenomena *inrush sympathetic* ini akan terjadi pada transformator yang dihubungkan secara paralel. Dimana akan terjadi arus magnetisasi yang berlebih pada saat transformator terhubung paralel. Pengujian tersebut dilakukan untuk mengetahui pemodelan simulasi pada transformator dan seberapa besar pengaruh nilai arus fasa tegangan pada transformator yang terhubung paralel dengan menggunakan *software* ATP-EMTP (*Alternative Transient program–Electromagnetic Transients program*). Pemodelan ini berdasarkan parameter transformator berukuran 250 MVA, 400/132 kV. Dimana dalam pemodelan simulasi ini menggunakan 3 transformator yang terhubung paralel dengan perbandingan antar fasa tegangan transformator. Hasil pengujian terhadap besarnya arus *inrush sympathetic* ini didapatkan pada hasil arus *inrush* fasa A transformator 1 bernilai 12358 A dan *inrush sympathetic* pada fasa A transformator 3 bernilai 3209.9 A dengan membandingkan fasa tegangan transformator 1. Pada pengujian *inrush sympathetic* yang didapatkan melalui *software* ATP-EMTP pada fasa B transformator 2 bernilai 2960 A dan pada fasa B transformator 2 bernilai 12394 A dan fasa B transformator 1 bernilai 9434 A. Dalam simulasi ini dapat ditemukan fenomena *inrush sympathetic current* dan pada fenomena ini tidak terjadi pada semua fasa tegangan transformator, akan tetapi yang terjadi dari fasa tegangan tertentu saja.

Kata kunci: transformator, *inrush current*, *inrush sympathetic current*, ATP-EMTP

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN.....	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	ii
PERNYATAAN.....	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
ARTI LAMBANG DAN SINGKATAN	vi
ABSTRAK	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL.....	xi
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang Masalah	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan masalah.....	2
1.4 Tujuan Penelitian	2
1.5 Manfaat Penelitian	2
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	3
2.1 Studi Literatur	3
2.2 Tinjauan Teori.....	4
2.2.1 Transformator 3 fasa.....	4
2.2.2 Arus <i>Inrush</i>	5
2.2.3 <i>Inrush Sympathetic Current</i>	6
2.2.4 Interaksi Diantara Transformator Paralel	7
2.2.5 ATP-EMTP (<i>Alternative transient program-Electromagnetic transients program</i>)....	9
BAB 3 METODOLOGI.....	11
3.1 Alur penelitian	11

3.2 Perancangan simulasi dengan ATP-EMTP.....	13
3.2.1 Pemodelan <i>Transformator</i> di ATP-EMTP	16
3.3 Analisis Kinerja Pemodelan.....	16
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN.....	17
4.1 Tahap pengujian <i>Inrush Sympathetic</i>	17
4.2 Hasil simulasi ketiga transformator yang terhubung paralel	17
4.2.1 Data hasil nilai fasa simulasi transformator 1	19
4.2.2 Data hasil nilai fasa simulasi transformator 2.....	21
4.2.3 Data hasil nilai fasa simulasi transformator 3.....	23
4.3 Perbandingan hasil nilai arus fasa tegangan ketiga transformator terhubung paralel....	25
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN.....	29
5.1 Kesimpulan	29
5.2 Saran	29
DAFTAR PUSTAKA	30

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Pemodelan transformator inti <i>core type</i> [5].....	4
Gambar 2.2 Pemodelan transformator inti <i>shell type</i>	4
Gambar 2.3 Contoh grafik arus <i>inrush</i> [1]	5
Gambar 2.4 Rangkaian transformator terhubung paralel [3]	6
Gambar 2.5 hasil arus (fase c) dihitung selama interaksi <i>sympathetic</i> antara 2 transformator 180MVA [3].....	8
Gambar 2.6 <i>inrush current</i> I_o pada transformator 3 fasa 180 MVA di <i>energized</i> tanpa ada transformator lain yang terhubung sumber[3].....	8
Gambar 2.7 ATP <i>settings</i>	9
Gambar 2.8 <i>run</i> ATP.....	10
Gambar 2.9 PlotXY	10
Gambar 3.1 <i>flow chart</i> penelitian.....	11
Gambar 3.2 pemodelan simulasi menggunakan ATP-EMTP	13
Gambar 3.3 Blok diagram simulasi.....	14
Gambar 4.1 Skema pengujian <i>software</i> ATP-EMTP.....	17
Gambar 4.2 Hasil dari tiga <i>transformator</i> terhubung paralel.....	18
Gambar 4.3 grafik arus fasa A <i>transformator</i> 1	19
Gambar 4.4 grafik arus fasa B <i>transformator</i> 1	19
Gambar 4.5 grafik arus fasa C <i>transformator</i> 1	20
Gambar 4.6 grafik arus fasa A transformator 2.....	21
Gambar 4.7 grafik arus fasa B <i>transformator</i> 2	22
Gambar 4.8 grafik arus fasa C <i>transformator</i> 2	22
Gambar 4.9 grafik arus fasa A <i>transformator</i> 3	23
Gambar 4.10 grafik arus fasa B <i>transformator</i> 3	24
Gambar 4.11 grafik arus fasa C transformator 3	25
Gambar 4.12 perbandingan fasa tegangan B transformator 1 dan 2	26
Gambar 4.13 perbandingan fasa tegangan A transformator 1 dan 3	27

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Data Transformator	14
Tabel 4.1 Data hasil arus Transformator 1	20
Tabel 4.3 Data hasil arus <i>Transformator 2</i>	23
Tabel 4.4 Data hasil arus <i>transformator 3</i>	25
Tabel 4.5 Hasil perbandingan <i>inrush sympathetic current</i> fasa B transformator 1 dan 2.....	26
Tabel 4.6 Hasil perbandingan <i>inrush sympathetic current</i> fasa A transformator 1 dan 3.....	27

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Saat ini sektor industri semakin berkembang pesatnya dan tentu saja hal ini merupakan perkembangan dari penggunaan teknologi. Tentu penggunaan teknologi tersebut tidak terlepas dari penggunaan energi listrik, semakin besarnya kebutuhan yang digunakan era sekarang ini, semakin juga dibutuhkannya sistem tenaga listrik yang baik. Sehingga pembangkitan sistem tenaga listrik sangat penting untuk menjaga kestabilannya dari pusat tenaga sampai menuju beban.

Salah satu bagian penting pada sistem tenaga listrik adalah transformator. Transformator bertujuan untuk menurunkan tegangan utama dari sistem distribusi listrik untuk tegangan pemanfaatan penggunaan konsumen. Salah satu masalah yang sangat sering diketahui adanya lonjakan arus yang sangat tinggi sebesar 10 – 100 kali dari arus nominalnya dan sering juga disebut dengan *inrush current*. Masalah ini kerap sekali muncul pada saat proses penyalaan pertama kali transformator pada kondisi tidak berbeban maupun yang dihubungkan dengan beban. Hal ini dapat menyebabkan kerugian seperti mal fungsi operasi dari *relay* proteksi, penurunan tegangan (*voltage dip*), bahkan menyebabkan resonansi harmonik sehingga menyebabkan rusaknya peralatan kelistrikan yang tersambung[1]. Dilanjutkan dengan banyaknya kebutuhan konsumsi energi listrik maka dibutuhkannya juga penambahan transformator yang dilakukan dengan cara menghubungkan transformator itu secara paralel, dari menghubungkannya transformator secara paralel maka dapat menimbulkan fenomena *inrush sympathetic current* yang mana pada fenomena *inrush sympathetic* ini dibutuhkannya lebih dari 1 transformator atau lebih. Dimana pada saat transformator itu terhubung secara paralel dengan sumber yang sama dapat mengalami kejenuhan pada transformator tersebut. Dimana arus yang masuk melalui transformator 2 akan tetapi juga melalui transformator 1. Pembagian arus transien ini biasa disebut dengan fenomena *inrush sympathetic*, yang mana arus *inrush sympathetic* ini didapatkan dari durasi waktu yang lebih lama[2].

Munculnya fenomena arus *inrush sympathetic* ini menimbulkan arus magnetisasi yang berlebih selama interaksi diantara transformator yang terhubung paralel. Masalah dalam pengoperasian ini adalah terjadinya *relay differensial* transformator dan tegangan harmonik yang berkepanjangan[3].

Berdasarkan uraian diatas, untuk menguji *inrush sympathetic current* ini perlunya suatu pemodelan rangkaian *single line diagram* mengenai transformator yang digunakan sehingga dapat diketahui secara pasti lonjakan arus *inrush sympathetic* yang terjadi pada fasa tegangan

transformator. Sehingga dalam penelitian ini dimaksudkan untuk membandingkan dan menganalisis fasa tegangan transformator pada sebuah simulasi menggunakan *software*.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian dari latar belakang, maka dapat diidentifikasi masalah – masalah sebagai berikut :

1. Bagaimana merancang pemodelan simulasi transformator yang terhubung paralel dengan menggunakan *software* ATP – EMTP (*Alternative Transient Program – Electromagnetic Transients Program*).
2. Seberapa besar pengaruh nilai arus *inrush sympathetic* disetiap fasa transformator yang dihubung paralel.

1.3 Batasan masalah

1. Simulasi hanya terfokus pada pengaruh besarnya arus *inrush current* pada saat dienergize mencapai arus *steady-state*.
2. Berfokus pada nilai arus fasa yang dihasilkan dengan melakukan analisis disetiap detik.
3. Pada pengujian ini hanya merekam grafik nilai fasa transformator yang dihasilkan oleh *software* ATP-EMTP(*Alternative Transient program – Electromagnetic Transients program*).
4. Data *transformator* yang digunakan dari ATP-EMTP.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari dilakukannya penelitian ini yaitu, agar dapat membuat simulasi pemodelan transformator tiga fasa pada ATP-EMTP dan mengetahui pengaruh - pengaruh *inrush sympathetic* yang terjadi terhadap fasa tegangan transformator yang terhubung paralel.

1.5 Manfaat Penelitian

1. Dapat dijadikan acuan dalam merancang simulasi *transformator* yang terhubung paralel dengan menggunakan ATP-EMTP.
2. Dapat menjadikan penelitian ini sebagai panduan dalam menganalisis *inrush sympathetic current* pada fasa tegangan *transformator*.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Studi Literatur

Pada penelitian ini yang membahas mengenai transformator yang terhubung paralel dalam sebuah rangkaian *single line diagram* serta arus *inrush sympathetic*. Hasil penelitian yang telah dilakukan oleh peneliti – peneliti sebelumnya bermanfaat sebagai masukan serta referensi demi menunjang keberhasilan dari penelitian mengenai analisis *inrush sympathetic* pada transformator yang terhubung paralel.

Penelitian berikutnya membahas mengenai fenomena *inrush sympathetic* dan lonjakan pada transformator terhubung paralel. Pada peneliti ini meneliti tentang reaktansi inti udara, titik pada perpindahan gelombang, kerapatan fluks dan kondisi beban. Semua hasil tersebut diperoleh dari 50 MVA, 220/33 kV, trafo tiga fasa dengan menggunakan simulasi PSCAD[2]. Perbedaan dengan penelitian yang peneliti lakukan yaitu peneliti hanya mengetahui pengaruh *inrush sympathetic* menggunakan *software* ATP-EMTP.

Pada penelitian ini mencari interaksi transformator yang dihubung paralel selama *inrush transient*. Dimana hanya satu transformator yang terlibat dalam pengoperasian sistem dan tegangan harmonik yang berkepanjangan yang dianalisis dalam peneliti ini dengan menggunakan transformator berukuran 180 MVA, 275/66 kV[3]. Perbedaan dengan penelitian yang peneliti lakukan hanya mensimulasikan rangkaian paralel dengan terfokus pada fasa tegangan transformator yang dihasilkan.

Pada peneliti transformator tiga fasa yang dilakukan oleh Urban Rudez, dan Rafael Mihalic[4]. Tujuan dari peneliti ini adalah untuk menyelesaikan dengan menggunakan rangkaian ekuivalen, dengan menggunakan lebih dari dua transformator terhubung paralel. Pembahasan pada peneliti ini menggunakan beban pada salah satu transformator dengan hasil akhir membandingkan dengan pengukuran fenomena *Wide Area Monitoring Systema* (WAMS). Perbedaan dengan penelitian yang peneliti lakukan yaitu peneliti terfokus pada simulasi pemodelan transformator tiga fasa pada ATP-EMTP dan mengetahui pengaruh- pengaruh *inrush sympathetic* yang terjadi terhadap fasa tegangan transformator yang terhubung paralel.

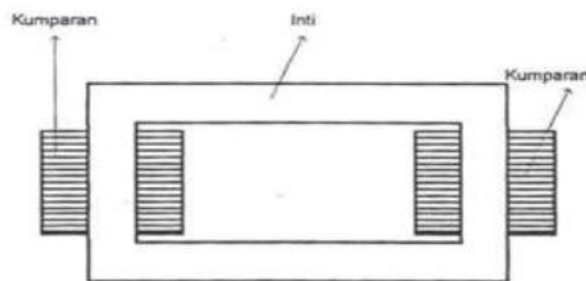
2.2 Tinjauan Teori

2.2.1 Transformator 3 fasa

Transformator merupakan komponen yang sangat penting dalam sistem kelistrikan, secara umum transformator digunakan untuk menaikkan dan menurunkan tegangan. transformator terdiri dari tiga bagian utama yaitu kumparan primer, kumparan sekunder dan inti besi transformator. Transformator bekerja berdasarkan prinsip induksi elektromagnetik. Dimana ketika transformator dialiri sumber arus listrik menimbulkan fluks magnet, fluks magnet yang berubah-ubah akan menimbulkan *ggl* induksi / beda potensial.

Berdasarkan model inti, transformator dibagi menjadi 2 jenis yaitu:

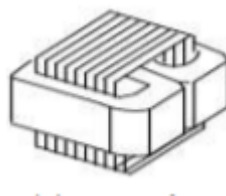
1. *Transformator core type*



Gambar 2.1 Pemodelan transformator inti *core type*[5]

Pada model *core type* berbentuk persegi dan lilitan kumparan transformator berada pada posisi kanan dan kiri. Dan umumnya model ini digunakan untuk tegangan tinggi.

2. *Transformator shell type*



Gambar 2.2 Pemodelan transformator inti *shell type*

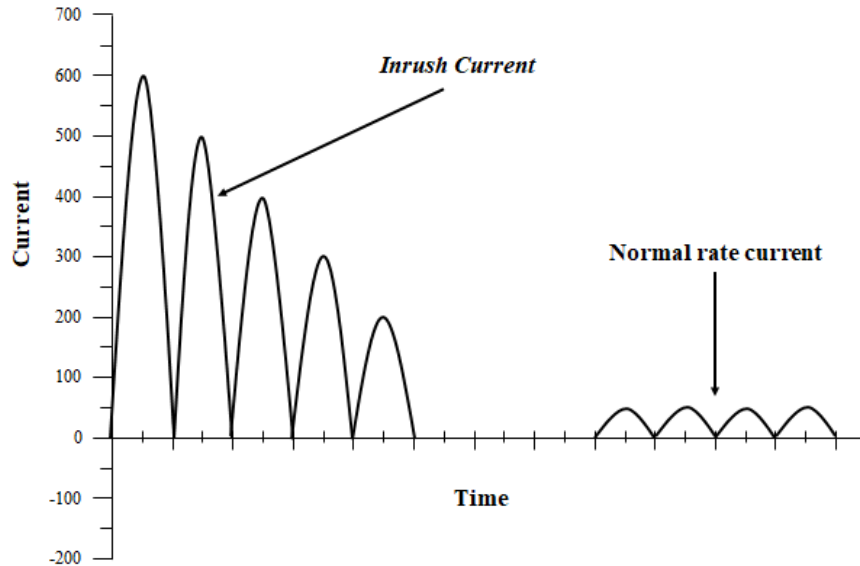
Pada model *shell type* juga sama berbentuk persegi akan tetapi lilitan kumparan berada pada tengah-tengah inti dan juga dikelilingi inti. Umumnya model inti ini digunakan pada tegangan rendah

Dalam rangkaian simulasi untuk mencari arus *inrush sympathetic* ini menggunakan transformator *core type*, dimana pada simulasi ini menggunakan tegangan yang tinggi untuk mendapatkan hasil yang akurat dan pada *core type* memiliki kerapatan fluks yang seragam[3].

2.2.2 Arus *Inrush*

Arus *inrush* adalah arus transien yang terjadi pada saat semua peralatan yang menerapkan prinsip elektromagnetik akan melakukan *energize* atau *starting*. Dalam arus *inrush* memiliki spektrum harmonisa yang luas dan magnetisasi yang besar. Dampak dari timbulnya arus *inrush* yaitu dapat menyebabkan usia peralatan yang makin lama makin berkurang, kesalahan operasi pada *relay – relay* pengaman dan mengurangi kualitas daya sistem.

Pada saat transformator disuplai sumber listrik (*energized*), maka dapat membangkitkan lonjakan arus yang sangat besar senilai 10 – 100 kali dari arus nominalnya. Pada transformator kondisi nyata, resistansi dan impedansi belitan biasanya akan mengurangi besarnya arus *inrush* sampai pada kondisi *steady state* terhadap waktu energisasi yang biasanya hal tersebut dipengaruhi oleh nilai *rating* transformator dan desain parameter transformator itu sendiri. Gambar 2.3 dibawah menggambarkan bahwa arus *inrush* adalah lonjakan arus yang terjadi dengan nilai arus yang sangat besar. Sedangkan arus nominal biasanya bernilai lebih kecil dibandingkan arus *inrush*. Bagaimanapun jika arus *inrush* tidak direduksi maka akan mempengaruhi kestabilan arus normal sehingga nilainya pun ikut tinggi[1].



Gambar 2.3 Contoh grafik arus *inrush* [1]

Faktor – faktor yang mempengaruhi arus *inrush*, antara lain :

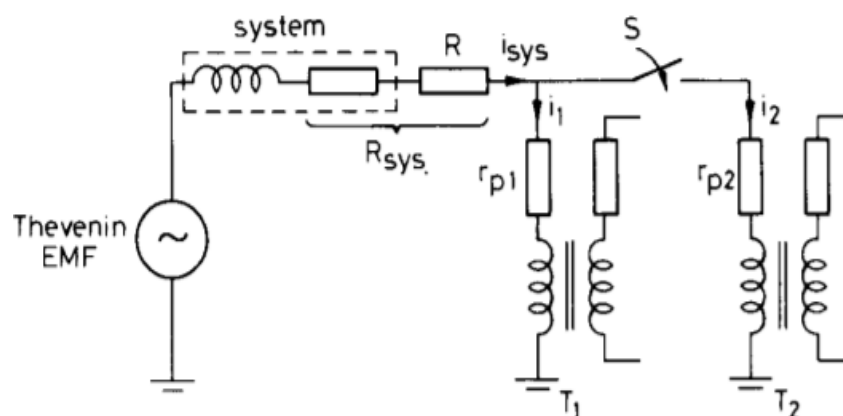
1. Pergeseran fasa tegangan pada saat awal transformator dinyalakan, faktor ini berkaitan dengan fluks dimana pada saat pergeseran sudut fasa tegangan 0 derajat maka nilai arus *inrush* berada pada kondisi tertinggi dan pada saat pergeseran sudut fasa tegangan 90

derajat maka arus *inrush* berada pada kondisi yang rendah, hal ini disebabkan oleh nilai parameter resistansi dan induktansi yang didesain pada transformator, bahkan dalam beberapa kasus, pada sudut 90 derajat arus sudah berada pada kondisi nominal .

2. Ukuran *rating* transformator, faktor ini berkaitan transformator mengenai *rating* transformator dimana impedansi dan resistansi pada transformator dengan *rating* besar cenderung memiliki nilai angka kecil sedangkan pada transformator dengan *rating* kecil cenderung memiliki impedansi dan resistansi yang besar. Hal ini menyebabkan pada waktu berkurangnya nilai arus *inrush* menuju arus normal, untuk transformator dengan *rating* (<1000VA) maka arus *inrush* biasanya berkurang dalam waktu sekitar 0,1 detik. Sedangkan pada transformator dengan *rating* besar arus *inrush* biasanya berkurang sekitar 1 detik bahkan bisa lebih lama [1].

2.2.3 Inrush Sympathetic Current

Inrush sympathetic current adalah sebuah fenomena dalam rangkaian transformator yang terhubung secara paralel 1 atau lebih, Dimana fenomena ini akan muncul dan terjadi pada fasa tegangan transformator dalam rangkaian paralel. Selama besarnya arus yang masuk pada transformator maka akan menyebabkan timbulnya *inrush* yang masuk pada transformator dan akan mengakibatkan arus magnetisasi yang berlebih pada transformator yang terhubung paralel. Hal ini mengakibatkan fluks dari kedua transformator mengalami perubahan pada transformator 2, yang mana akan mengakibatkan fasa tegangan transformator 2 mengalami perubahan yang tidak terduga[6].



Gambar 2.4 Rangkaian transformator terhubung paralel [3]

Pada Gambar 2.4 diatas adalah transformator yang dihubungkan secara paralel menggunakan satu sumber yang sama, Pada saat transformator 1 mendapatkan arus tegangan maka transformator 2 akan menerima arus tegangan pada saat waktu *switch* yang ditentukan. Setelah arus itu masuk melalui *switch* untuk memberikan arus tegangan pada transformator 2, maka fenomena *inrush sympathetic* ini akan timbul pada transformator 2. Yang mana *inrush sympathetic* dalam rangkaian transformator akan mengalami fenomena tersebut dalam jangka waktu yang lebih lama[2].

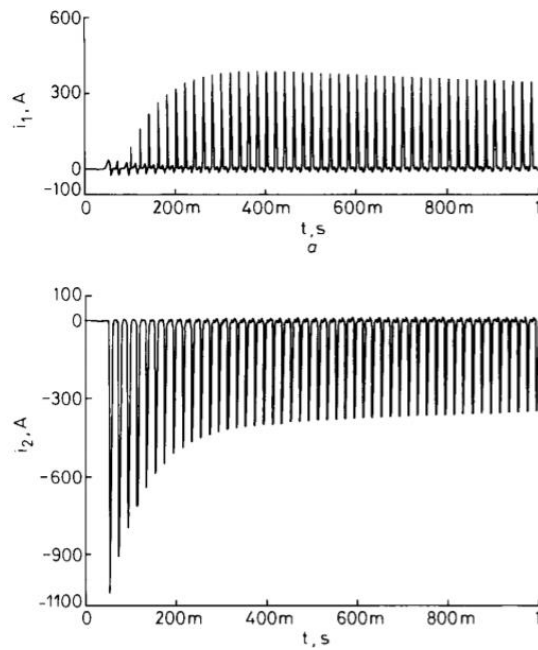
Inrush sympathetic ini dapat menyebabkan 2 masalah untuk proteksi transformator :

1. Sistem proteksi pada transformator 1 saat diberi arus akan memungkinkan kegagalan proteksi dikarenakan arus masuk yang tinggi.
2. Sistem arus masuk pada kedua transformator yang terhubung paralel akan menimbulkan masalah pada saat sistem itu sendiri[7].

2.2.4 Interaksi Diantara Transformator Paralel

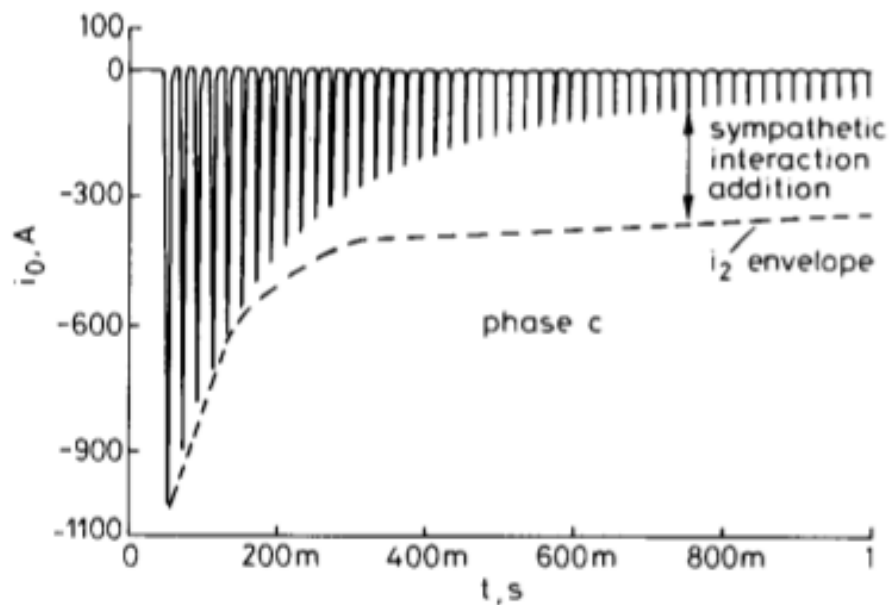
Simulasi tiga fasa transformator yang terhubung paralel dapat kita lihat pada Gambar 2.5 dimana pada gambar tersebut menunjukkan interaksi fasa arus transformator yang terhubung paralel. Rangkaian yang digunakan untuk menyelidiki interaksi yang dihasilkan diantara dua transformator dapat diperhatikan pada Gambar 2.4 dimana paralel mengisyaratkan bahwa primer transformator terhubung dengan *busbar* yang sama. Untuk itu interaksi pada dua transformator ini mengakibatkan efek arus *inrush* yang tinggi pada transformator.

Interaksi *inrush sympathetic* pada transformator 3 fasa dengan parameter data transformator telah dilakukan percobaan oleh H.Bronzeado dan R. Yacamini mereka menggunakan simulasi transformator 3 fasa dengan parameter yang sama menggunakan 180MVA, 275/166 kV yang terhubung paralel. Sistem diasumsikan memiliki nilai reaktansi 10% dan resistansi 2% pada 100MVA. Nilai parameter yang dilakukan untuk uji coba oleh H. Bronzeado dan R. Yacamini adalah untuk saluran transmisi panjang. Untuk mendapatkan arus *inrush sympathetic* ini diamati melalui *software*. Berikut gambar hasil simulasi yang dianalisis oleh H. Bronzeado dan R. Yacamini untuk mengetahui magnetisasi pada arus *inrush sympathetic*.



Gambar 2.5 hasil arus fasa c dihitung selama interaksi *sympathetic* antara 2 transformator 180MVA [3]

Pada Gambar 2.5 dapat dilihat Pada saat interaksi *inrush sympathetic* dimana arus yang masuk pada transformator 2 mengalami keterlambatan masuknya arus dibandingkan dengan normal masuknya arus pada Gambar 2.6 transformator 1 tanpa adanya transformator lain yang terhubung[3].

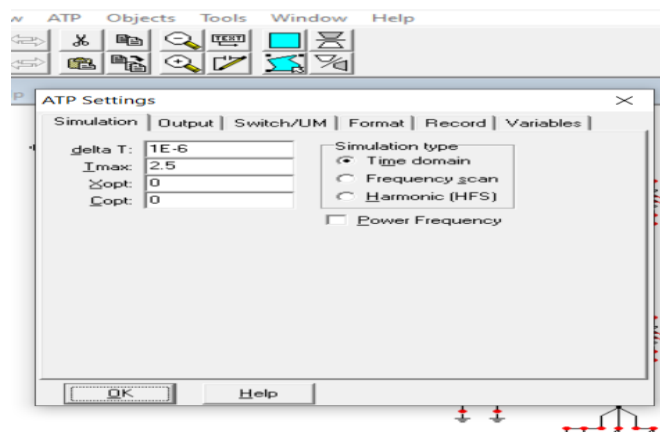


Gambar 2.6 *inrush current* i_0 pada transformator 3 fasa 180 MVA di *energized* tanpa ada transformator lain yang terhubung sumber[3]

Pada gambar 2.6 menunjukkan bahwa tidak ada transformator lain yang terhubung pada sumber tenaga. Dapat kita perhatikan pada Gambar 2.6 puncak arus pada transformator 1 ini lebih kecil dibandingkan dengan hasil arus pada Gambar 2.5 transformator 2, dimana efek dari interaksi transformator yang terhubung paralel pada transformator 2 mengalami penurunan arus tegangan yang mendekati setengah siklus [3].

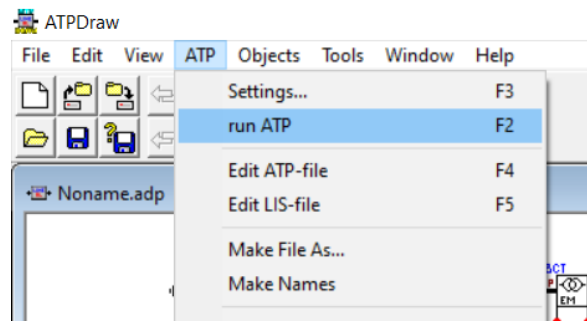
2.2.5 ATP-EMTP (*Alternative transient program-Electromagnetic transients program*)

ATP-EMTP adalah sebuah *software* yang digunakan peneliti untuk membantu menangani pencarian nilai fasa tegangan pada *transformator*. Pada perancangan simulasi menggunakan ATP-EMTP (*Alternative Transient program – Electromagnetic Transients program*) dengan merangkai *single line diagram* pada *software* ATP-EMTP yang bertujuan untuk memberikan nilai masukan dan perintah kepada rangkaian tersebut.



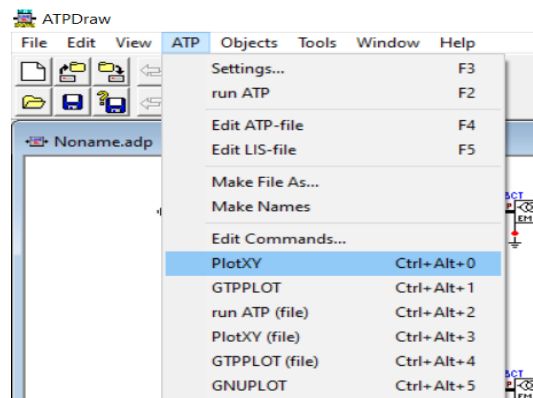
Gambar 2.7 ATP settings

Pada Gambar 2.7 diatas menampilkan petunjuk untuk melakukan *settings* bagian simulasi mana yang peneliti perlukan untuk menemukan hasil fasa tegangan yang dibutuhkan dalam penelitian. Selanjutnya dengan menyesuaikan *Tmax*, hal ini diperlukan untuk mengetahui seberapa banyak jarak waktu yang kita butuhkan dari hasil yang ditemukan peneliti.



Gambar 2.8 *run ATP*

Pada Gambar 2.8 diatas digunakan untuk *running* simulasi dari rangkaian, apabila sebuah rangkaian tersebut masih salah dalam pemasukan data dan jika terjadinya sebuah *error* dalam simulasi maka dalam rangkaian yang dibuat dalam penelitian mengalami salah penempatan komponen.



Gambar 2.9 PlotXY

Pada Gambar 2.9 diatas bahwa fungsi dari PlotXY adalah simulasi yang akan menampilkan semua grafik yang dibutuhkan dengan penempatan komponen yang tepat dalam pencarian grafik dalam rangkaian. Untuk itu perlunya komponen yang tepat dalam rangkaian agar didapatkannya hasil yang diinginkan peneliti.

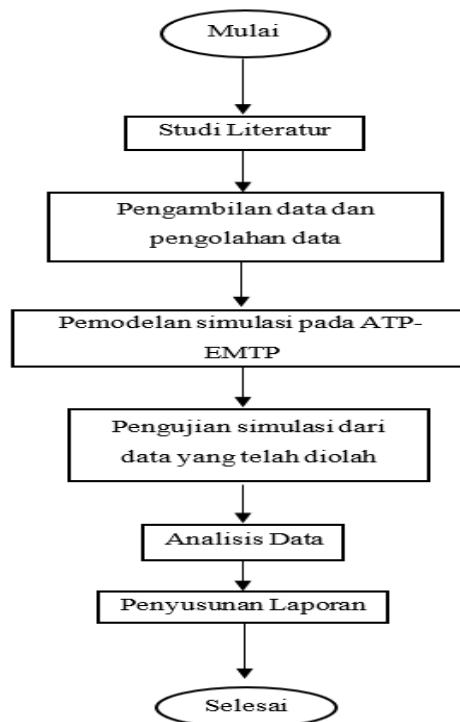
BAB 3

METODOLOGI

Dalam melakukan penelitian ini menggunakan metodologi dengan beberapa tahap. Simulasi rangkaian transformator yang terhubung paralel dengan menggunakan satu sumber tenaga yang dimana menggunakan tiga *switch* yang terhubung pada setiap transformator untuk mendapatkan hasil grafik arus *inrush sympathetic* pada transformator tiga fasa yang terhubung paralel. Rangkaian ini disimulasikan dengan menggunakan ATP-EMTP kemudian dimasukkan nilai variabel transformator yang akan digunakan. Kemudian diproses *running* pada ATP-EMTP yang mana akan menghasilkan grafik siklus arus disetiap fasa yang dihasilkan oleh transformator. Hasil keluaran arus *inrush sympathetic* dapat ditampilkan melalui plotXY pada fungsi ATP-EMTP.

3.1 Alur penelitian

Berikut merupakan *flow chart* mengenai langkah – langkah penelitian yang dilakukan oleh penulis sehingga didapatkannya hasil yang diinginkan sesuai dengan tujuan penelitian. Gambar 3.1 dibawah mengilustrasikan alur penelitian yang dilakukan oleh penulis :



Gambar 3.1 *Flow chart* penelitian

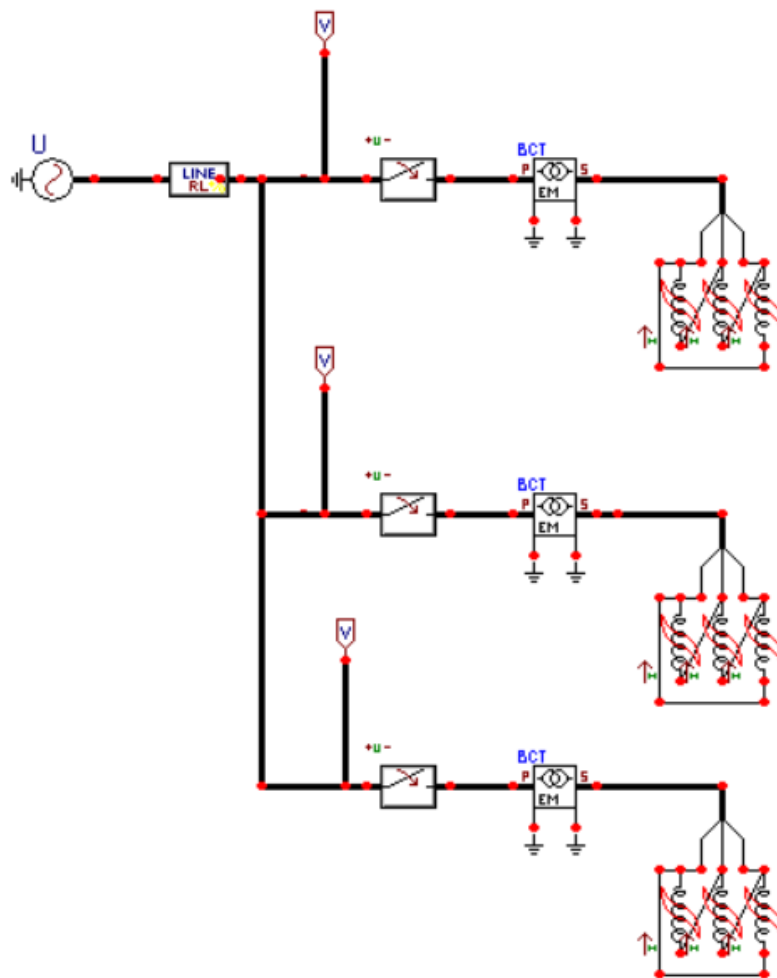
Alur penelitian seperti pada Gambar 3.1 diatas terdiri dari studi literatur, pengambilan data dan pengolahan data transformator yang akan digunakan, pemodelan simulasi, pengujian simulasi dari data yang telah diolah, analisis data, penyusunan laporan. Dalam langkah melakukan pengumpulan studi literatur yang bertujuan untuk memahami teori – teori yang menunjang dalam pengambilan data tentang *inrush sympathetic current*. Kemudian dilanjutkan dengan pemodelan simulasi rangkaian transformator yang terhubung paralel yang akan digunakan pada pengujian simulasi rangkaian tersebut. Selanjutnya data hasil keluaran arus pada pengujian tersebut akan dianalisis efek dari arus *inrush sympathetic*. Setelah terkumpul maka mulai untuk melakukan penyusunan laporan. Dibawah adalah penjelasan mengenai alur penelitian sebagai berikut :

1. **Studi literatur**, pada tahap ini penulis mencari dan mempelajari studi literatur tentang pemodelan transformator dan arus *inrush sympathetic* agar penulis dapat memahami teori pemodelan dan hasil arus *inrush sympathetic*.
2. **Pengambilan data dan pengolahan data**, pada tahap kedua ini akan dilakukan setelah selesai melakukan studi literatur, pengambilan data dari arus *inrush sympathetic* ini dilakukan dengan *software* ATP-EMTP. Pengambilan data ini dilakukan dengan menguji 3 transformator yang dirangkai secara paralel pada *software* ATP-EMTP. Dari pengujian ini akan menghasilkan ketiga gambar grafik arus fasa tegangan transformator yang mana hasil dari gambar grafik tersebut akan dilakukan penentuan waktu agar tercapainya grafik arus *inrush sympathetic* pada ketiga fasa tegangan transformator.
3. **Pembuatan Pemodelan**, pada tahap ketiga ini penulis melakukan pembuatan pemodelan dimana pemodelan ini bentuknya berupa rangkaian *single line diagram* yang parameternya telah ditentukan dan diketahui berdasarkan studi literatur dari penelitian yang pernah dilakukan sebelumnya.
4. **Pengujian simulasi dengan studi kasus**, pada tahap keempat ini pemodelan diuji menggunakan jurnal – jurnal dari [2][3][8].
5. **Pengujian simulasi dari data yang sudah diolah**, pada tahap kelima ini apabila telah dapat menghasilkan simulasi arus *inrush sympathetic* yang sesuai dasar teori, maka simulasi dilanjutkan dengan melakukan penambahan periode waktu dari transformator pada ATP-EMTP sampai menemukan hasil yang sesuai dengan tujuan dilakukannya oleh penulis.

6. **Analisis hasil**, pada tahap keenam ini setelah didapatkannya hasil arus *inrush sympathetic*, hasil dibandingkan dengan data pegujian lapangan untuk validasi dan dianalisis kesesuaian dengan dasar teori yang digunakan dalam pemodelan maupun arus *inrush sympathetic*.
7. **Selesai**, pada tahap terakhir ini penelitian seharusnya telah selesai dilaksanakan, penulis akan lanjut ke penulisan laporan tugas akhir.

3.2 Perancangan simulasi dengan ATP-EMTP

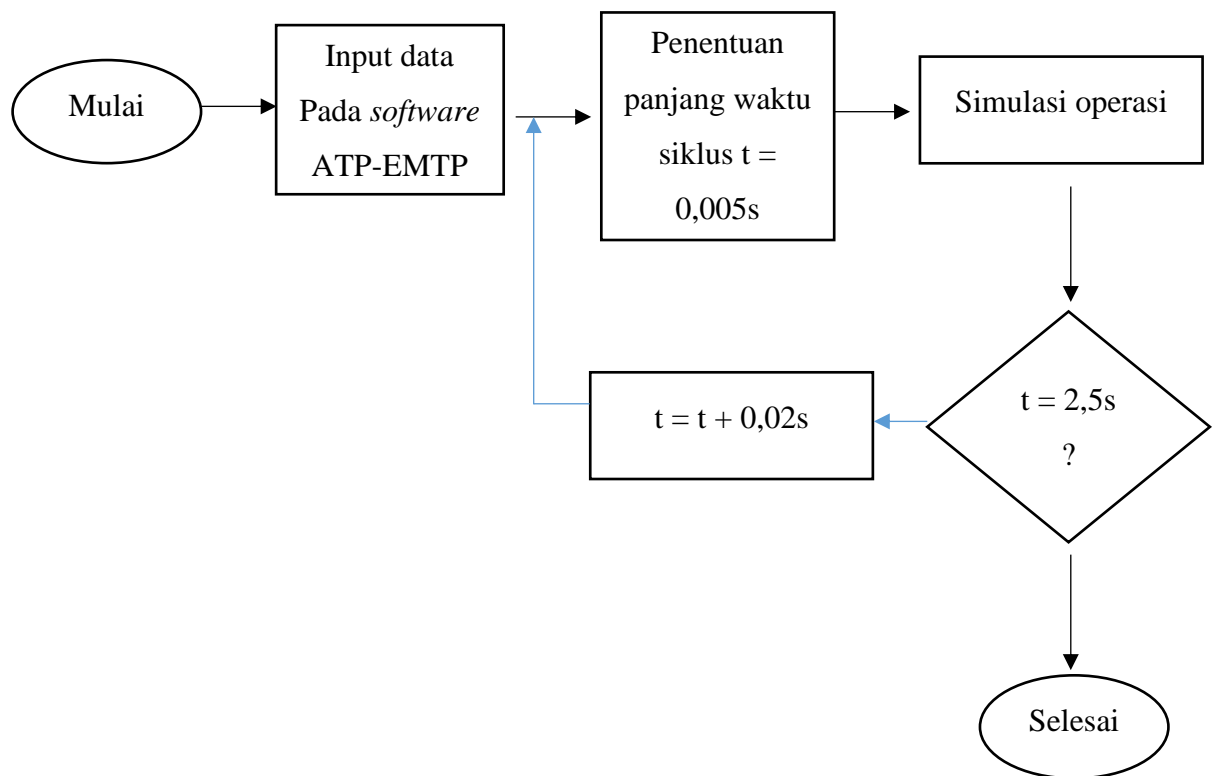
Pada Gambar 3.2 dibawah adalah pemodelan *single line diagram* menggunakan *software* ATP-EMTP dengan sumber tegangan 400 kV dengan daya transformator 250 MVA. Pada *starting* simulasi ini dilakukan tanpa menggunakan beban.



Gambar 3.2 pemodelan simulasi menggunakan ATP-EMTP

Pada Gambar 3.2 dapat dilihat pemodelan simulasi yang dilakukan menggunakan *software* ATP-EMTP, dari Gambar 3.2 menggunakan tiga transformator yang dihubungkan secara paralel dengan menggunakan satu sumber utama dari ketiga transformator tanpa beban dengan hasil keluaran fasa tegangan transformator pada sisi sekunder.

Blok diagram dibawah merupakan suatu penjelasan mengenai sistem yang dibuat berupa hubungan antar blok. Pada penelitian penulis Gambar 3.3 mengilustrasikan jalannya simulasi yang dilakukan pada *software* ATP-EMTP:



Gambar 3.3 Blok diagram simulasi

1. **Input data simulasi** : masukan simulasi ini berasal dari *input* nilai – nilai data transformator. Parameter masukan untuk pemodelan yang buat ini pada mulanya akan dilakukan pemasukan parameter transformator pada *software* ATP-EMTP. Parameter masukan ini sebagian diambil dari Tabel 3.1. Data transformator tiga fasa Tabel 3.1 merupakan *datasheet* transformator tiga fasa yang akan digunakan dalam simulasi.

Tabel 3.1 Data Transformator

Tegangan primer (kV)	400
----------------------	-----

Tegangan sekunder (kV)	132
Daya Transformator (MVA)	250
Frekuensi (Hz)	50
Arus primer (A)	380.84
Arus sekunder (A)	1093.4
Impedansi (%)	15
fasa	3 fasa
Hubung belitan	Y/Y

Berdasarkan dari Tabel 3.1 data transformator tiga fasa diatas, dapat diketahui parameter masukan sebagai berikut adalah data transformator yang akan dilakukan pengujian dalam simulasi ini sebagai objek utama dalam pengujian.

2. **t = 0,005s** : simbol persamaan ini merupakan pernyataan bahwa awal simulasi dilakukan menggunakan nilai parameter waktu 0,005s.
3. **Simulasi Operasi**: setelah memasukkan parameter transformator maka pada simulasi rangkaian akan dilakukan *running* pada ATP-EMTP. Dimana simulasi yang dijalankan sesuai dengan perintah *t.stop* (waktu berhenti) pada *running* simulasi.
4. **t = 2,5s ?**: simbol persamaan pada bagian *flowchart* pembuatan keputusan ini menyatakan keputusan pengulangan. Dimana pada saat simulasi dijalankan telah mencapai waktu arus 2,5s maka simulasi dinyatakan selesai, apabila simulasi yang dijalankan belum mencapai waktu arus 2,5s maka akan dilakukan pengulangan kembali ke penentuan waktu panjang siklus.
5. **t = t + 0,02s** : simbol persamaan pada bagan proses ini merupakan lanjutan dari bagian pembuatan keputusan. Dimana ketika simulasi belum mencapai waktu arus 2,5s maka dilakukan penambahan 0,2s pada data *input* waktu siklus. Dan akan berkelanjutan disetiap kenaikannya.

6. **Selesai:** pada tahap ini sistem telah selesai disimulasikan. Keluaran dari simulasi berada pada plotXY dan merupakan besaran gelombang transformator tiga fasa dari tegangan fasa 1-3 dan nilai arus tiga fasa 1-3.

3.2.1 Pemodelan Transformator di ATP-EMTP

1. Transformator

Model transformator yang digunakan untuk simulasi adalah BCTRAN 3 fasa dengan 2 belitan. Data yang digunakan sebagai parameter transformator : frekuensi, daya, tegangan sisi primer, tegangan sisi sekunder, dan hubung singkat diantaranya rugi – rugi, arus, tegangan.

2. Induktor *nonlinier*

Model *inductor nonlinier* digunakan untuk melengkapi simulasi transformator dikarenakan sifat *nonlinier* belum dimasukkan dalam model transformator. Data yang dimasukkan dalam *inductor nonlinier* adalah perubahan fluks terhadap arus.

3. *Switch* 3 fasa

Model penggunaan *switch* 3 fasa ini digunakan untuk mengatur waktu buka dan tutup *switch* disetiap fasanya.

4. *Probe* tegangan

Model ini digunakan untuk mengukur besaran tegangan yang melaluinya.

5. AC 3 fasa *type* 14

Model ini digunakan untuk menjadi sumber utama tegangan AC. Data yang dimasukan adalah besar tegangan, frekuensi, waktu saat *energize*.

3.3 Analisis Kinerja Pemodelan

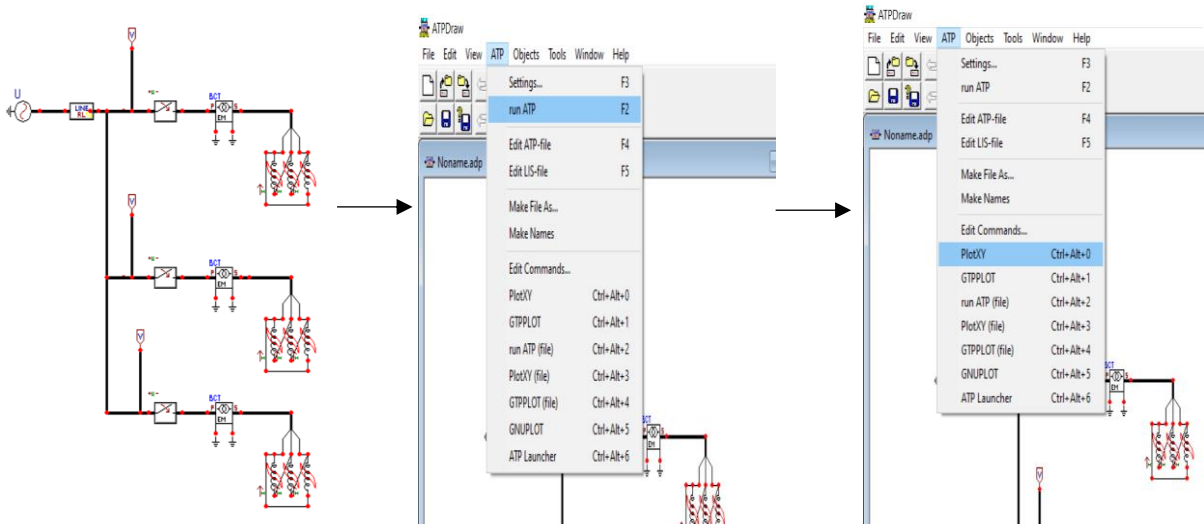
Pada kinerja pemodelan yang dibuat berdasarkan pada dasar teori penelitian yang pernah dilakukan peneliti sebelumnya, dimana parameter dari masukan haruslah mempresentasikan nilai sirkuit yang ada pada transformator tiga fasa yaitu :

1. Nilai tegangan sesuai dengan spesifikasi dari transformator tiga fasa yang dibuat.
2. Rangkaian transformator yang terhubung paralel dengan sumber tenaga memiliki spesifikasi yang sama[8].

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Tahap pengujian *Inrush Sympathetic*



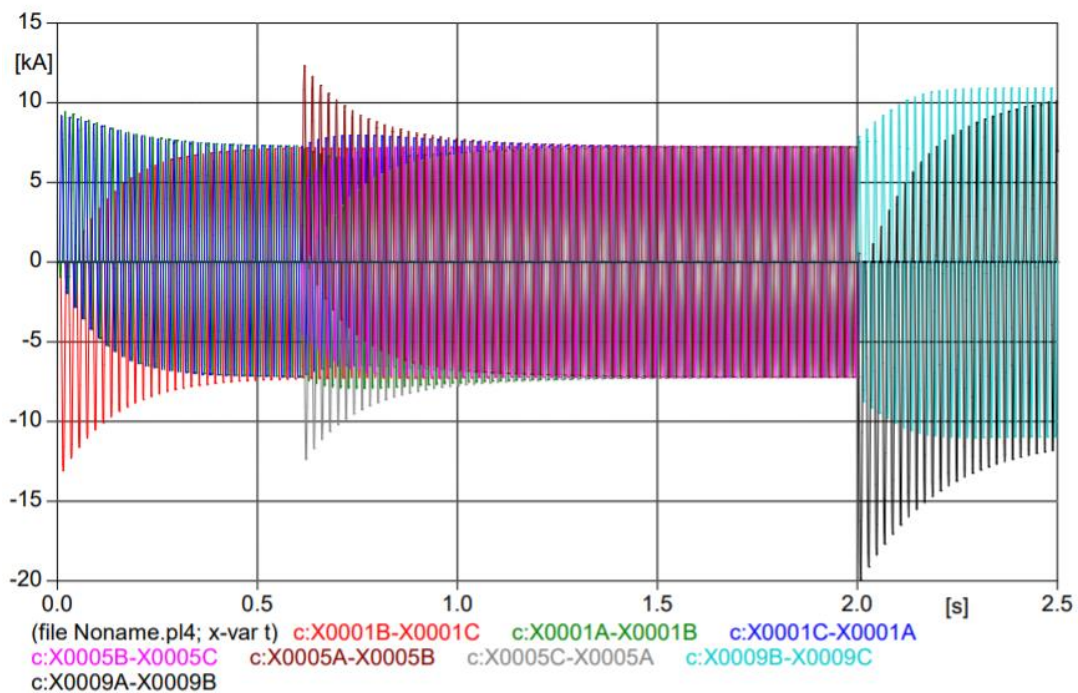
Gambar 4.1 Skema pengujian *software* ATP-EMTP

Pada Gambar 4.1 diatas dilakukan dengan merangkai transformator yang terhubung paralel dengan parameter *datasheet* yang sama, dimana dalam pengujian ini ketiga transformator tidak menggunakan beban dalam proses simulasi. *Running* simulasi akan melakukan pencarian nilai arus disetiap fasa transformator yang terubung paralel. *Running* simulasi ini dilakukan agar tercapainya nilai arus fasa tegangan yang menggambarkan timbulnya efek dari *inrush sympathetic*. Yang mana diperlukan pengulangan – pengulangan *running* simulasi dengan mengatur waktu yang diinginkan agar tercapainya hasil yang maksimal. PlotXY digunakan untuk mengamati hasil keluaran arus dari setiap transformator tiga fasa, nilai hasil *output* arus tiga fasa tegangan transformator dalam bentuk grafik dan run akan dianalisis dengan perbandingan fenomena *inrush sympathetic*.

4.2 Hasil simulasi ketiga transformator yang terhubung paralel

Pada kasus arus *inrush sympathetic* yang disimulasikan, peneliti akan menjalankan simulasi plotXY untuk melihat hasil arus *inrush* dan *inrush sympathetic* dikarenakan hasil tersebut menjadi bahan utama yang mana berkaitan dengan lonjakan arus awal dan efek jenjang waktu transformator yang terhubung paralel yang menyebabkan efek lonjakan arus *inrush sympathetic*.

Gambar 4.2 dibawah merupakan gambar arus *inrush current* dan *inrush sympathetic* yang mana dapat mempengaruhi kestabilan dan reduksi arus disetiap fasa untuk menghasilkan *steady-state*.

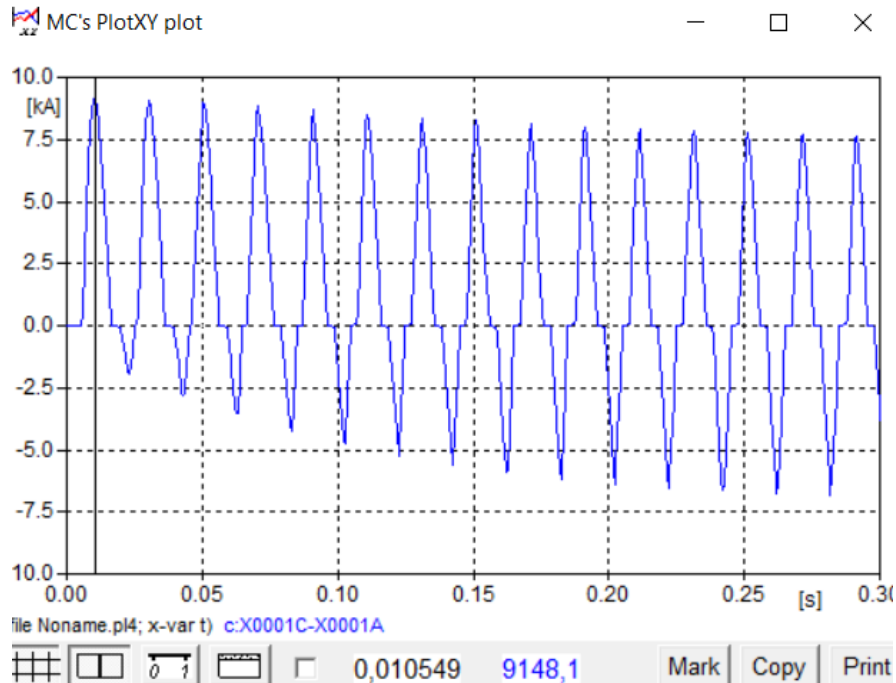


Gambar 4.2 Hasil dari tiga *transformator* terhubung paralel

Pada gambar 4.2 diatas adalah gambar hasil keseluruhan fasa tegangan transformator yang dihubungkan menggunakan simulasi *software* ATP-EMTP. Dari hasil grafik gambar keseluruhan diatas akan dibagi menjadi 3 bagian yang mana akan dibahas setiap grafik fasa tegangan dari ketiga transformator untuk dapat dilakukannya analisis pada fasa tegangan tersebut.

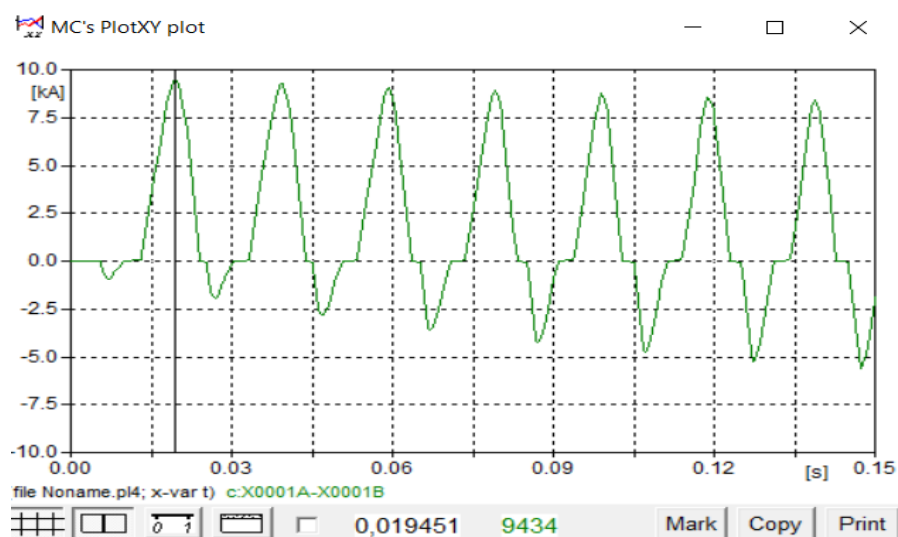
Dari hasil grafik Gambar 4.2 diatas akan dilakukannya analisis dengan melakukan pembagian disetiap transformator dan fasa tegangan transformator, agar mudah dalam mencari arus *inrush sympathetic* ini maka dibutuhkannya sebuah grafik yang akan menampilkan waktu dan nilai semua fasa tegangan transformator dan diharapkan dapat mempermudah dalam melakukan perbandingan fasa tegangan transformator disetiap fasanya.

4.2.1 Data hasil nilai fasa simulasi transformator 1



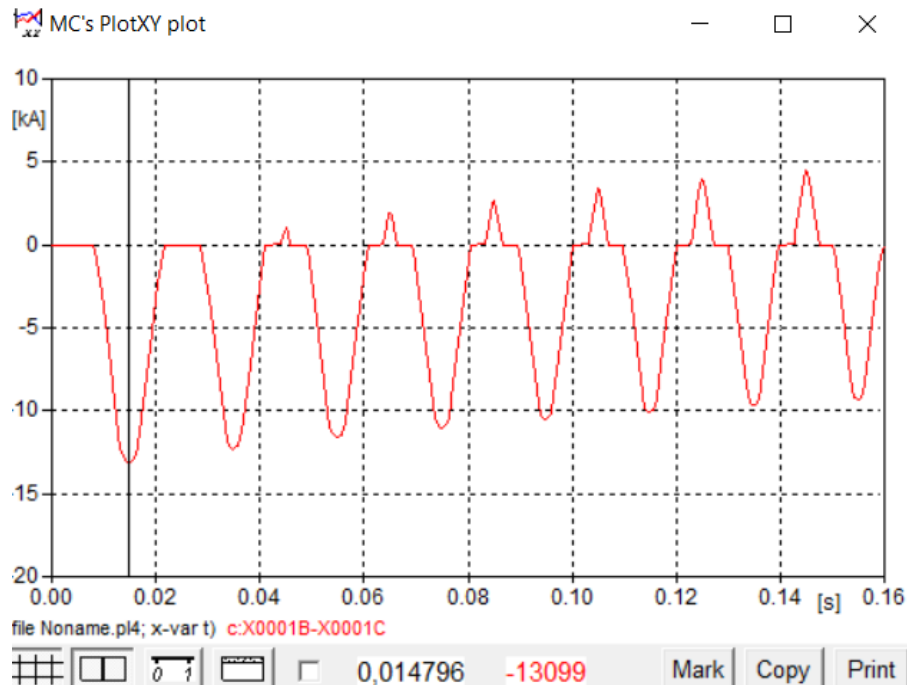
Gambar 4.3 grafik arus fasa A transformator 1

Pada gambar 4.3 diatas menggambarkan grafik pada arus fasa A mengalami arus *inrush* yang bernilai 9148.1 A pada detik 0,005s pada saat transformator itu di *energize*. *Inrush* tersebut memiliki nilai 8,3 kali lebih besar yang dimana nilai arus *nominal* dari data transformator pada Tabel 3.1 bernilai 1093.4 A. Hasil dari satu transformator itu sendiri akan menjadi titik pacu dalam analisis pada saat ditambahkan transformator dua dan tiga yang dihubungkan secara paralel untuk didapatkan pengaruh diantara 2 interaksi transformator pada fasa tegangan transformator yang terhubung paralel.



Gambar 4.4 grafik arus fasa B transformator 1

Pada Gambar 4.4 diatas arus fasa B mengalami *inrush* yang bernilai 9434 A pada detik 0,005s. Yang mana penggunaan *t.close* masih bernilai sama dengan fasa A dan mengalami *inrush* sebesar 8,6 kali lebih besar dibandingkan dengan arus *nominal* dari data transformator pada Tabel 3.1 yang bernilai 1093.4 A.



Gambar 4.5 grafik arus fasa C transformator 1

Pada Gambar 4.5 arus fasa C arus pada waktu 0,1 detik mengalami arus *inrush* (-) dibandingkan dengan fasa A dan B, untuk fasa C mengeluarkan nilai arus bernilai -13099 A yang mana pada fasa C ini mengalami *inrush* (-) dibandingkan dengan fase lainnya. *Inrush* tersebut memiliki nilai 11,9 kali lebih besar yang mana nilai arus *nominal* dari data transformator pada Tabel 3.1 bernilai 1093.4 A.

Pada saat melakukan perbandingan diantara nilai fasa tegangan transformator yang terhubung dengan sumber tenaga, pada saat itu juga pengambilan data fasa tegangan transformator dilakukan disetiap detiknya seperti pada Tabel 4.1 yang tertera dibawah ini.

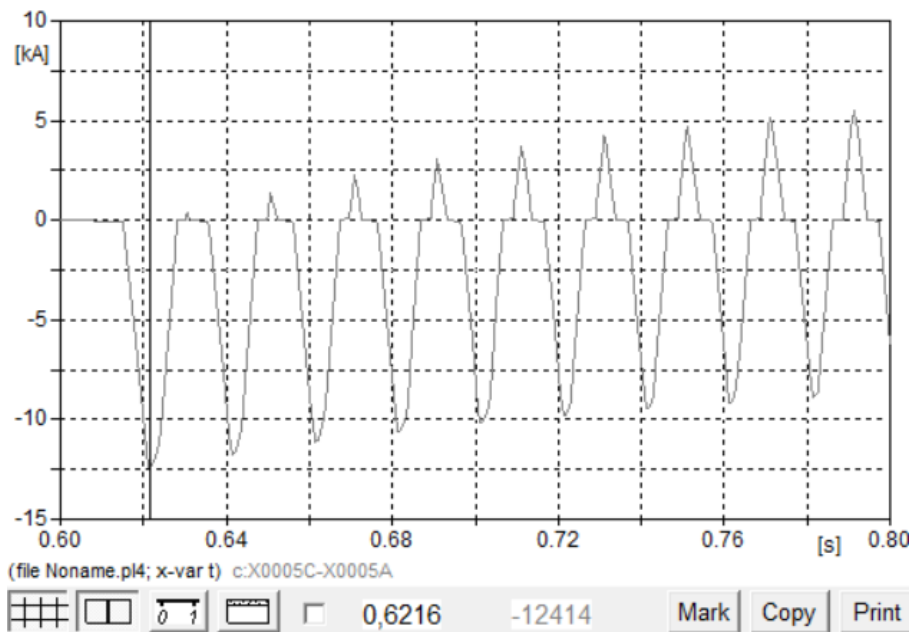
Tabel 4.1 Data hasil arus Transformator 1

Detik (Second)	Fasa A (Ampere)	Fasa B (Ampere)	Fasa C (Ampere)
0,005	9148.1	9434	-13099
0,025	9073.8	9198.1	-12310

0,045	8951	9093.5	-11623
0,065	8817	8892.9	-11035
0,85	8643.3	8688.8	-10526
0,11	8503	8511.7	-10083

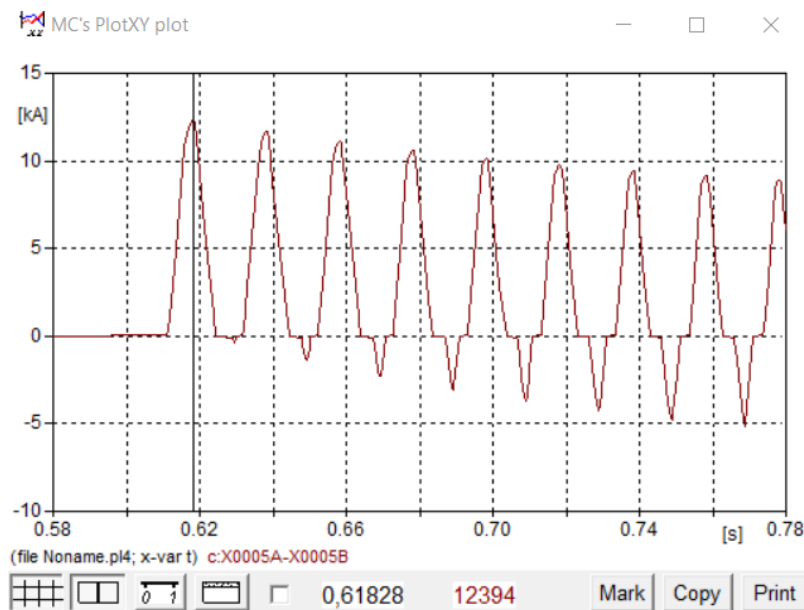
Dari data hasil diatas efek arus *inrush sympathetic* pada transformator 1 belum dapat terlihat dikarenakan belum adanya transformator 2 yang di *energize*. Efek arus *inrush sympathetic* ini dapat terlihat pada saat transformator 2 dan 3 dihubungkan, dimana akan berefek pada transformator 2 dan 3.

4.2.2 Data hasil nilai fasa simulasi transformator 2



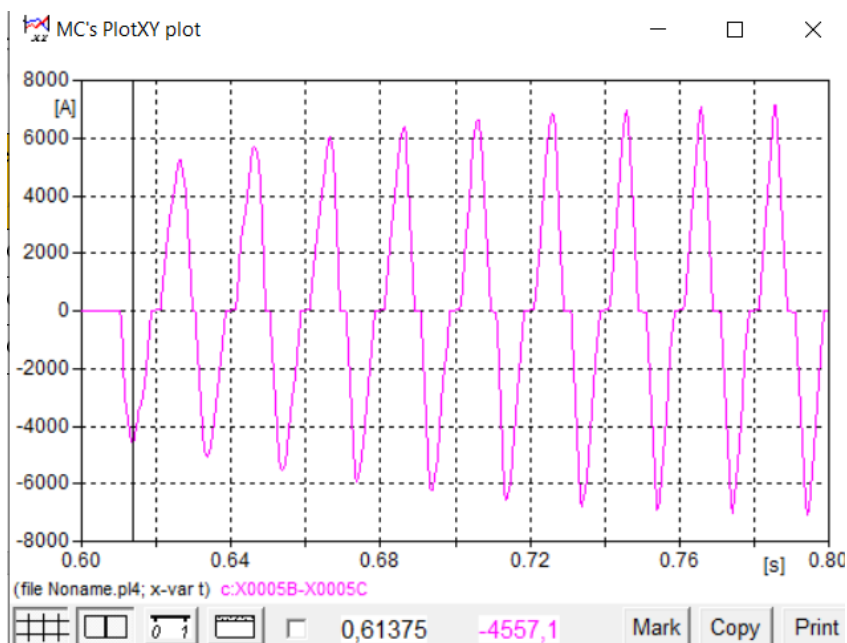
Gambar 4.6 grafik arus fasa A *transformator 2*

Pada Gambar 4.6 diatas arus fasa tegangan A transformator 2 dapat dianalisis adanya perbedaan nilai yang sangat signifikan dibandingkan dengan transformator 1. Yang mana fasa A transformator 2 menimbulkan arus yang bernilai -12414 A pada saat *t.close* 0,61s dan mengalami kenaikan arus fasa 11,4 kali lebih besar dibanding arus nominalnya, yang mana nilai arus *nominal* dari data transformator pada Tabel 3.1 bernilai 1093.4 A.



Gambar 4.7 grafik arus fasa B transformator 2

Pada gambar 4.7 arus fasa tegangan B transformator 2 dapat dianalisis ada perbedaan nilai pada saat transformator terhubung paralel dengan transformator 1 pada fasa tegangan B dimana nilai arus fasa B menghasilkan nilai keluaran *inrush* yang bernilai 12398 A. Dimana mengalami kenaikan arus fasa 11,3 kali lebih besar dibanding arus nominalnya, yang mana nilai arus *nominal* dari data transformator pada Tabel 3.1 bernilai 1093.4 A.



Gambar 4.8 grafik arus fasa C transformator 2

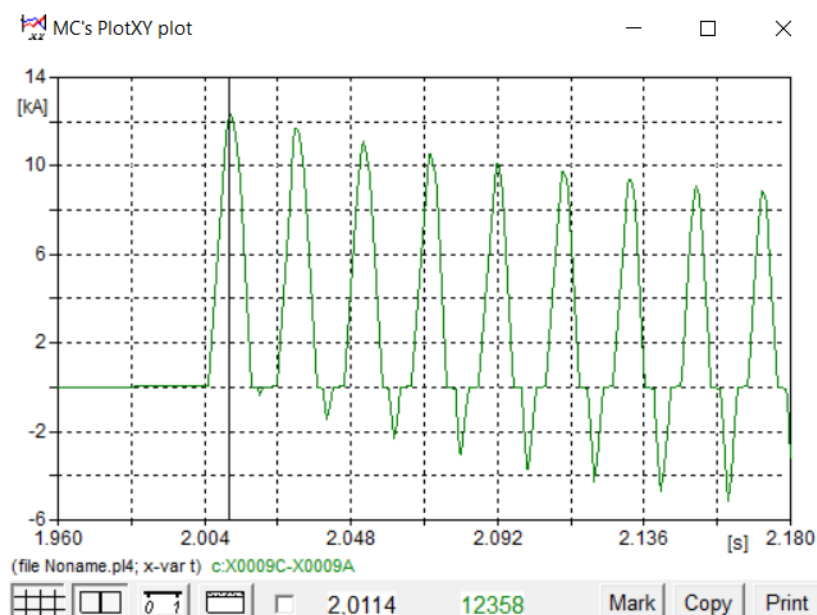
Pada Gambar 4.8 diatas arus fasa C transformator 2 dapat diperhatikan memiliki nilai arus *inrush* yang bernilai -4577.1 A yang mengalami lonjakan arus *inrush* sebesar 4,1 kali lebih besar dari arus nominal data transformator pada Tabel 3.1 dan memiliki nilai fasa tegangan yang lebih kecil dengan nilai fasa C transformator 1.

Pada saat melakukan perbandingan diantara nilai fasa tegangan transformator yang terhubung dengan sumber tenaga, pada saat itu juga pengambilan data fasa tegangan transformator dilakukan disetiap detiknya seperti pada Tabel 4.2 yang tertera di bawah ini.

Tabel 4.2 Data hasil arus *Transformator 2*

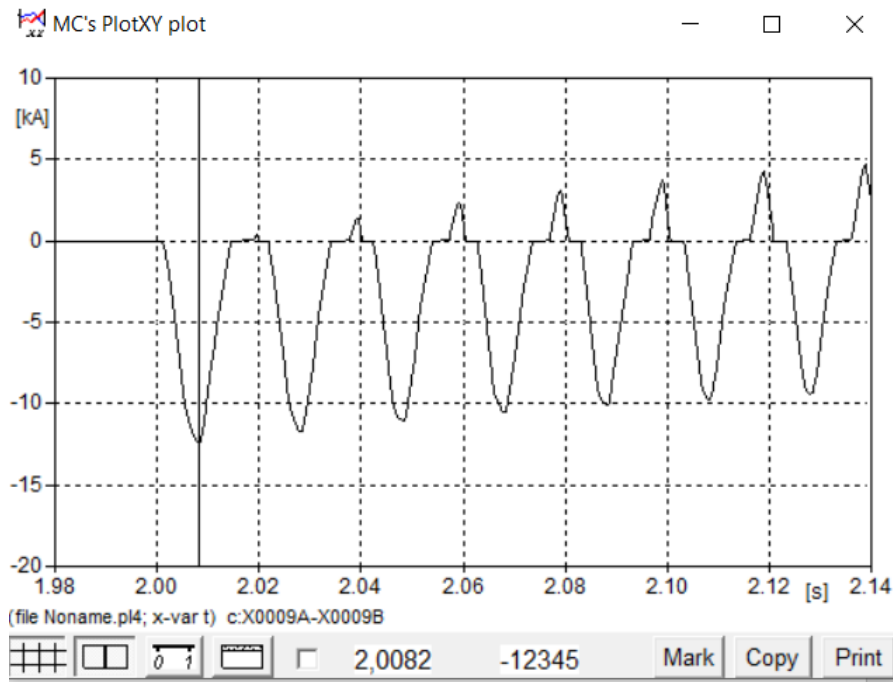
Detik (Second)	Fasa A (Ampere)	Fasa B (Ampere)	Fasa C (Ampere)
0,61	-12414	12394	-4557.1
0,63	-11725	11704	-5072.6
0,65	-11113	11112	-5523.2
0,67	-10606	10587	-5912.4
0,69	-10156	10146	-6247.3
0,71	-9756.3	9748.8	-6524.2

4.2.3 Data hasil nilai fasa simulasi *transformator 3*



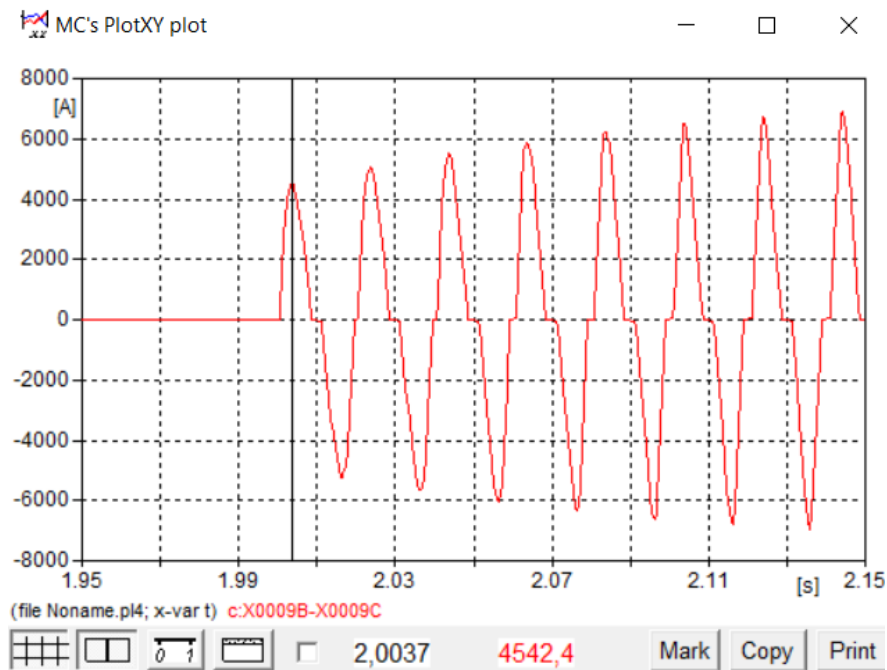
Gambar 4.9 grafik arus fasa A transformator 3

Pada Gambar 4.9 diatas arus fasa A transformator 3 dapat dilihat analisis dari hasil grafik yang dihasilkan mengalami *inrush* yang lebih besar dibandingkan dengan transformator 1, yang mana hasil dari transformator 3 bernilai 12358 A. Nilai arus tersebut dilakukan pada saat *t.close* 2s dan mengalami kenaikan 18,3 kali lebih besar dibandingkan dengan arus nominal dari data transformator pada Tabel 3.1 tersebut.



Gambar 4.10 grafik arus fasa B transformator 3

Pada Gambar 4.10 diatas arus fasa tegangan B transformator 3 menampilkan nilai arus -19918 A dimana pada transformator 3 ini mengalami penurunan nilai arus yang lebih besar pada saat di *energize* saat waktu 2s. Dari hasil nilai fasa tegangan ini bernilai 18,2 kali lebih besar dibandingkan arus nominal data transformator pada Tabel 3.1.



Gambar 4.11 grafik arus fasa C transformator 3

Pada Gambar 4.11 diatas menampilkan arus fasa tegangan C transformator 3, Dapat kita perhatikan pada Gambar 4.11 nilai arus fasa C transformator 3 bernilai 4542.4 A. Yang mana arus fasa C transformator 3 mengalami 4,1 kali lebih besar dibandingkan arus nominal data transformator pada Tabel.3.1.

Tabel 4.3 Data hasil arus *transformator 3*

Detik (Second)	Fasa A (Ampere)	Fasa B (Ampere)	Fasa C (Ampere)
2,01	12358	-12345	4542
2,03	11677	-11661	5055
2,05	11062	-11065	5502.7
2,07	10559	-10538	5889
2,09	10114	-10097	6220.2
2,11	9711.3	-9714	6493.1

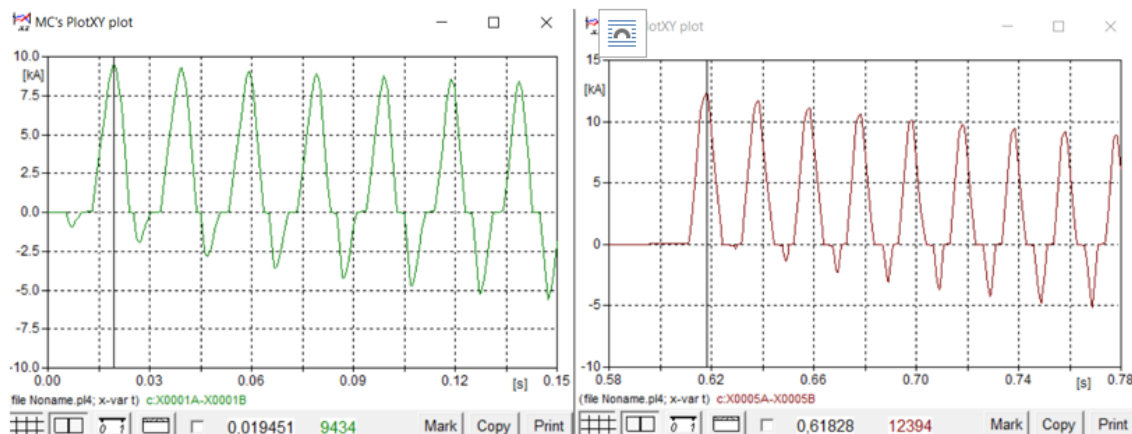
4.3 Perbandingan hasil nilai arus fasa tegangan ketiga *transformator* terhubung paralel

Dari hasil yang ditemukan akan dilakukannya analisis dengan melakukan perbandingan pada setiap fasa tegangan transformator. Untuk itu dalam simulasi menggunakan ATP-EMTP ini

dengan memparalelkan 3 buah transformator akan menimbulkan efek *inrush sympathetic* pada fasa tegangan tertentu, dimana perubahan yang dialami pada setiap transformator memiliki nilai fasa yang berbeda disetiap detikanya.

Tabel 4.4 Hasil perbandingan *inrush sympathetic current* fasa B transformator 1 dan 2

Detik (Second)	Fasa B Transformator 1 (Ampere)	Detik (Second)	Fasa B Transformator 2 (Ampere)
0,005	9434	0,61	12394
0,025	9198.1	0,63	11704



Gambar 4.12 perbandingan fasa tegangan B transformator 1 dan 2

Dari hasil Tabel 4.4 data hasil arus transformator dan pada Gambar 4.12 yang mana akan dilakukannya analisis dengan hasil arus fasa transformator 1 terlebih dahulu, dapat diketahui bahwa dalam arus fasa B tegangan transformator 2 mengalami *inrush sympathetic*. Yang mana dapat diuraikan sebagai berikut :

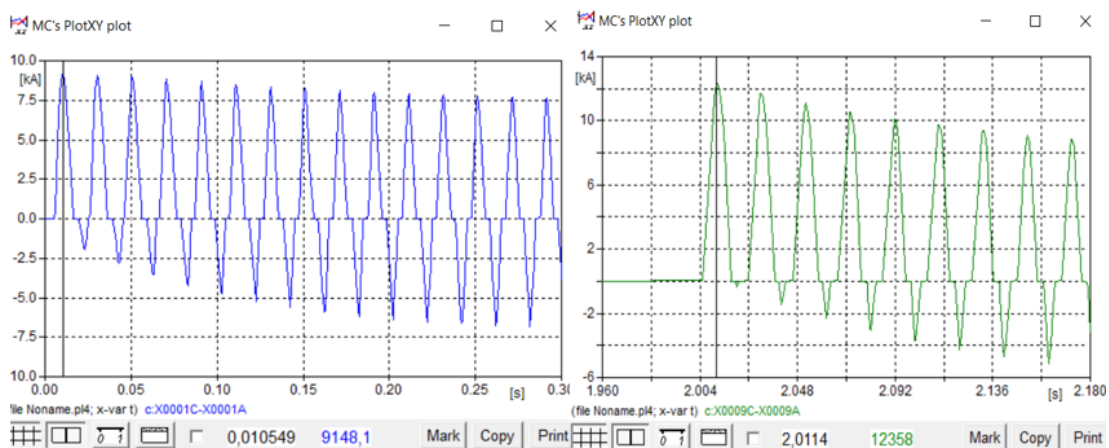
1. Pada transformator 2 pada detik 0,61s arus yang dihasilkan bernilai 12394 A yang mana mengalami lonjakan *inrush sympathetic* bernilai 2960 A untuk fasa tegangan B dari perbandingan transformator 1 dan transformator 2. Dimana pada transformator 1 itu sendiri memiliki nilai fasa tegangan A bernilai 9434 A
2. Pada transformator 2 pada detik 0,63s arus yang dihasilkan bernilai 11704 A yang mana mengalami lonjakan *inrush sympathetic* bernilai 2505.9 A untuk fasa tegangan B dari perbandingan hasil transformator 1 dan transformator 2. Untuk hasil arus pada transformator 1 itu sendiri memiliki nilai fasa tegangan fasa B bernilai 9052 A[3].

Dari hasil uraian diatas dapat disimpulkan bahwa, seberapa besarnya pengaruh nilai arus fasa tegangan diantara transformator 1 dan transformator 2. Hasil ini didasarkan oleh teori arus

inrush sympathetic yang dapat dilihat dengan jelas arus yang masuk pada transformator dengan asumsi bahwa dengan paralelisasi transformator 2 menghasilkan nilai arus *inrush sympathetic*[3].

Tabel 4.5 Hasil perbandingan *inrush sympathetic current* fasa A transformator 1 dan 3

Detik (Second)	Fasa A Transformator 1 (Ampere)	Detik (Second)	Fasa A Transformator 3 (Ampere)
0,005	9148.1	2,01	12358
0,025	9073.8	2,03	11677



Gambar 4.13 perbandingan fasa tegangan A transformator 1 dan 3

Dari hasil Tabel 4.5 diatas data hasil arus transformator dan pada Gambar 4.13 yang mana dilakukannya analisis perbandingan dengan hasil arus fasa transformator 3, dapat diketahui bahwa dalam arus fasa A tegangan transformator 3 mengalami *inrush sympathetic*. Dari hasil analisis perbandingan dapat diuraikan sebagai berikut :

1. Pada transformator 3 pada detik 2,01s arus yang dihasilkan bernilai 12358 A yang mana mengalami lonjakan *inrush sympathetic* bernilai 3209.9 A untuk fasa tegangan A dari perbandingan transformator 1 dan transformator 3. Dimana pada transformator 1 itu sendiri memiliki nilai tegangan fasa A yang bernilai 9148.1 A
2. Pada transformator 3 pada detik 2,03s arus yang dihasilkan bernilai 11677 A yang mana mengalami lonjakan *inrush sympathetic* bernilai 2603.2 A untuk fasa tegangan A dari perbandingan hasil transformator 1 dan transformator 3. Untuk itu pada transformator 1 itu sendiri memiliki nilai fasa tegangan fasa A yang bernilai 9073.8 A[3].

Pada hasil analisis diatas, didasari dengan teori dimana transformator yang terhubung sumber tenaga akan mengalami kejenuhan dan dibentuk oleh penurunan tegangan pada transformator yang mana menimbulkan arus magnetisasi yang berlebih pada transformator yang terhubung paralel[2].

Dari hasil analisis pada Tabel 4.4 dan 4.5 diatas dari semua transformator yang diparalelkan peneliti menganalisis hasil nilai arus transformator :

1. Pada fasa B untuk transformator 2 mengalami *inrush sympathetic current*, dimana untuk transformator 2 memiliki nilai fase tegangan *inrush sympathetic current* bernilai 2960 A yang lebih besar dibandingkan dengan transformator 1 dan pada fasa tegangan transformator 1 memiliki nilai fase bernilai 9434 A. Dari hasil analisis maka dapat diketahui pengaruh *inrush sympathetic* pada transformator 2, dimana fasa tegangan transformator 1 lebih kecil dan lebih dibandingkan dengan transformator 2.
2. Pada fasa A untuk transformator 1 dan 3 mengalami *inrush sympathetic current* dimana untuk fasa tegangan transformator 3 yang bernilai 12358 A dalam perbandingan fasa A transformator 1 yang memiliki nilai fasa tegangan bernilai 9148.1 A. Dari hasil perbandingan dapat di temukan *inrush sympathetic* bernilai 3209.9 A dengan dilakukannya perbandingan dengan transformator 3.

Pada transformator 1 dan 3 ini hanya pada fasa A dari kedua transformator yang mengalami efek *inrush sympathetic*. Dari interaksi hasil analisis fasa tegangan, dimana arus magnetisasi yang masuk kepada transformator terhubung paralel akan meningkat secara bertahap[3].

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Setelah melakukan penelitian ini dapat disimpulkan bahwa :

1. Metode transformator terhubung paralel ini menimbulkan pengurangan nilai fasa pada transformator tertentu.
2. Hasil dari pengujian pada ketiga fasa tegangan transformator, pada fasa A transformator 1 bernilai 12358 A, dan *inrush sympathetic* pada fasa A transformator 3 bernilai 3209.9 A dibandingkan dengan transformator 1 dengan fasa tegangan 9148.1 A.
3. Hasil pengujian *inrush sympathetic* yang didapatkan melalui *software* ATP-EMTP pada fasa B transformator 2 bernilai 2960 A yang mana pada fasa tegangan B transformator 2 bernilai 12394 A dan fasa tegangan B transformator 1 bernilai 9434 A.
4. *Inrush sympathetic* ini akan terjadi pada saat transformator yang terhubung paralel dan dengan parameter yang sama dapat menghasilkan nilai keluaran *inrush sympathetic current* pada fasa tertentu.

5.2 Saran

1. Saran untuk penelitian selanjutnya yaitu dengan membandingkan dengan *software* lainnya dengan metode yang sama agar bertujuan mengetahui metode ini menghasilkan keluaran yang sama atau tidak dengan *software* ATP-EMTP.
2. Pada penelitian selanjutnya memungkinkan menggunakan komponen tertentu agar dapat mereduksi arus *inrush* pada kedua *transformator* agar mendapatkan hasil yang tidak lama.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] K. Gohil, J. Patel, and C. Parekh, "Sequential Switching Method," pp. 3942–3948, 2016.
- [2] T. P. Purohit and P. K. Bhavsar, "SYMPATHETIC INRUSH PHENOMENA IN PARALLEL AND SERIES CONNECTED TRANSFORMERS USING PSCAD," no. c, pp. 10–15, 2017.
- [3] R. Yacamini, "Phenomenon of sympathetic interaction between transformers caused by inrush transients," vol. 142, no. March, 1995.
- [4] U. Rudez and R. Mihalic, "Sympathetic inrush current phenomenon with loaded transformers," *Electr. Power Syst. Res.*, vol. 138, pp. 3–10, 2016.
- [5] U. Aribowo, J. T. Elektro, F. T. Industri, and U. I. Indonesia, "DENGAN METODE SEQUENTIAL PHASE ENERGIZATION TANPA BEBAN MENGGUNAKAN SOFTWARE ATP-EMTP," 2019.
- [6] M. Sengül, B. Alboyaci, S. Öztürk, and H. B. Cetinkaya, "Case Study Of Sympathetic Interaction Between Transformers Caused By Inrush Transients," 2005.
- [7] M. H. Sadeghi, Y. Damchi, and H. Shirani, "Improvement of operation of power transformer protection system during sympathetic inrush current phenomena using fault current limiter," 2018.
- [8] G. B. Kumbhar and S. V. Kulkarni, "Analysis of sympathetic inrush phenomena in transformers using coupled field-circuit approach," *2007 IEEE Power Eng. Soc. Gen. Meet. PES*, 2007.