

Eliminasi Arus *Inrush* Transformator Pada Beban Motor Induksi 3 Fasa Menggunakan Metode *Pre-Insertion Resistor*

Wahyuni Martiningsih¹, Herudin², Ponco Windianto³

¹Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Cilegon, Banten.

Informasi Artikel

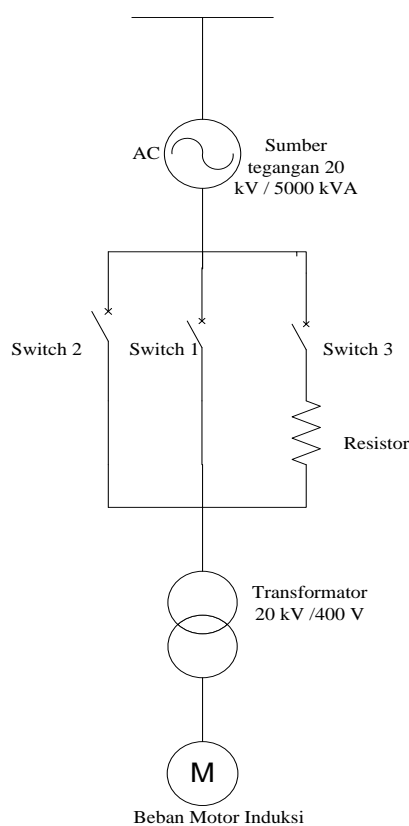
Naskah Diterima : 11 Mei 2018

Direvisi : 20 Juni 2018

Disetujui : 26 Juni 2018

*Korespondensi Penulis :
y_martiningsih@untirta.ac.id

Graphical abstract



Abstract

Transformer is the most widely used electromagnetic induction equipment in the electrical system. When the transformer is connected to a voltage source it will happen an undesirable phenomenon that is inrush current. The incidence of inrush current in the transformer can reduce the life of the transformer because large currents will enhance the performance of the transformer. One method to reduce inrush current is to use pre-insertion resistor method. This research uses pre-insertion resistor method which is a method with insert resistor on the primary side of transformer with time 0.18 second. The resistor used in the pre-insertion resistor method serves as a current buffer when the process of energizing the transformer. This research uses Matlab Rb2014a software to know the inrush current of transformer. The result of the transformer simulation test using pre-insertion resistor method, the inrush current is reduced by 29% for the 710 kW motor load capacity, with the motor load capacity of 1420 kW reduced inrush current of 30%. Furthermore, with a load capacity of 2130 kW motor, the inrush current is reduced by 28% and for the motor load capacity 3550 kW reduces the current by 27%.

Keywords: Inrush Current, Transformer, Pre-Insertion Resistor

Abstrak

Transformator merupakan peralatan induksi elektromagnetik yang paling banyak digunakan pada sistem kelistrikan. Saat transformator dihubungkan pada sumber tegangan maka akan terjadi suatu fenomena yang tidak diinginkan yaitu arus inrush. Timbulnya arus inrush pada transformator dapat mengurangi umur transformator karena arus yang besar akan mempengaruhi kinerja transformator. Salah satu metode untuk mereduksi arus inrush adalah menggunakan metode pre-insertion resistor. Penelitian ini menggunakan metode pre-insertion resistor yang merupakan metode dengan menyisipkan resistor pada sisi primer transformator dengan waktu 0,18 detik. Resistor yang digunakan pada metode pre-insertion resistor berfungsi sebagai penahan arus saat proses energize transformator. Penelitian ini menggunakan software Matlab Rb2014a untuk mengetahui besar arus inrush transformator. Hasil pengujian simulasi transformator menggunakan metode pre-insertion resistor, arus inrush direduksi sebesar 29% untuk kapasitas beban motor 710 kW, dengan kapasitas beban motor 1420 kW arus inrush tereduksi sebesar 30%. Selanjutnya dengan kapasitas beban motor 2130 kW arus inrush tereduksi sebesar 28 % dan untuk kapasitas beban motor 3550 kW arus tereduksi sebesar 27%.

Kata kunci: arus inrush, transformator, pre-insertion resistor

© 2018 Penerbit Jurusan Teknik Elektro UNTIRTA Press. All rights reserved

1. PENDAHULUAN

Transformator merupakan suatu peralatan listrik yang dapat memindahkan dan mengubah energi listrik dari satu atau lebih, rangkaian listrik ke rangkaian listrik lain melalui suatu gandingan magnet dan berdasarkan prinsip induksi-elektromagnet. Transformator digunakan secara luas, baik dalam bidang sistem tenaga listrik maupun elektronika. Penggunaan dalam sistem tenaga memungkinkan dipilihnya tegangan yang sesuai dan ekonomis untuk tiap-tiap keperluan[1]. Salah

satu fenomena transformator yang tidak diinginkan adalah tingginya arus *inrush* yang dapat mengurangi umur transformator karena arus yang tinggi akan melewati belitan transformator.

Arus *inrush* adalah fenomena arus yang memiliki nilai tinggi dan bersifat sementara saat *energize* transformator. Jika kumparan primer dihubungkan dengan tegangan bolak-balik maka akan mengalir arus yang tinggi beberapa detik sebelum kondisi *steady state*. Besarnya arus *inrush* ini bisa mencapai 8-10 kali arus normal. Penurunan arus *inrush* menjadi perhatian khusus yang harus diatasi agar tidak terjadi kerusakan pada sistem kelistrikan dan dapat mengurangi umur transformator[2]. Beberapa metode yang digunakan untuk meminimalisir arus *inrush* yang timbul pada saat *energize* transformator yaitu metode *Sequential Phase Energization* (SPE) dengan prinsip kerjanya yaitu menutup CB pada tiap fasa secara berurutan dan menunjukkan tahanan netral pada sisi primer transformator, selain itu dengan cara menunjukkan kapasitor pada sisi primer transformator agar fluks sisa mengalir pada kapasitor tersebut. Menggunakan metode *auxiliary load* yang merupakan metode dengan cara menunjukkan beban sesaat sebelum *energize* transformator agar arus *inrush* berkurang. Cara kerja metode *auxiliary load* hampir sama dengan metode penambahan kapasitor, dimana beban tambahan ini akan dilepas dari sisi primer transformator setelah kondisi arus *inrush* sudah mulai berkurang atau setelah mencapai keadaan *steady state*. Penelitian ini menggunakan metode *pre-insertion resistor* untuk meminimalisir arus *inrush*. Metode *pre-insertion resistor* merupakan metode dengan cara menunjukkan tahanan seri pada sisi primer transformator yang dihubungkan hanya beberapa detik sebelum proses energisasi kemudian resistor ditutup saat arus *inrush* mencapai keadaan *steady state*. Pada metode *pre-insertion resistor* pemilihan nilai tahanan yang tepat dapat mengurangi puncak arus *inrush* transformator[3].

Suatu medan magnet yang berubah-ubah terhadap waktu, akibat arus bolak-balik akan menimbulkan suatu medan listrik hal ini biasa disebut dengan gaya gerak listrik. Gaya gerak listrik ini dinyatakan dalam hukum Faraday, berikut persamaan gaya gerak listrik.

$$e = - N \frac{d\phi}{dt} \tag{1}$$

Keterangan :

- e = gaya gerak listrik (Volt)
- N = jumlah lilitan (Turn)
- $\frac{d\phi}{dt}$ = perubahan fluks magnet (Weber)

Untuk dapat membangkitkan tenaga listrik pada kumparan sekunder, fluks magnet yang dibangkitkan oleh kumparan primer harus berubah-ubah. Untuk memenuhi hal ini, aliran listrik yang mengalir melalui kumparan primer yaitu arus bolak-balik. Apabila kumparan sekunder dihubungkan dengan beban Z_L , I_2 mengalir pada kumparan sekunder. Maka dengan persamaan berikut :

$$I_2 = \frac{V_2}{Z_L} \tag{2}$$

Keterangan :

- I_2 = Arus pada kumparan sekunder (A)
- V_2 = Tegangan pada sisi sekunder (Volt)
- Z_L = Beban (Ohm)

dengan θ_2 = faktor kerja beban. Arus beban I_2 ini akan menimbulkan gaya gerak magnet (ggm) $N_2 I_2$ yang cenderung menentang fluks Φ bersama yang telah ada akibat arus magnetisasi.

Agar fluks bersama yang tidak berubah nilainya, maka kumparan primer harus mengalir I_2 yang cenderung menentang fluks yang dibangkitkan oleh arus beban I_2 hingga keseluruhan arus mengalir pada kumparan primer[4].

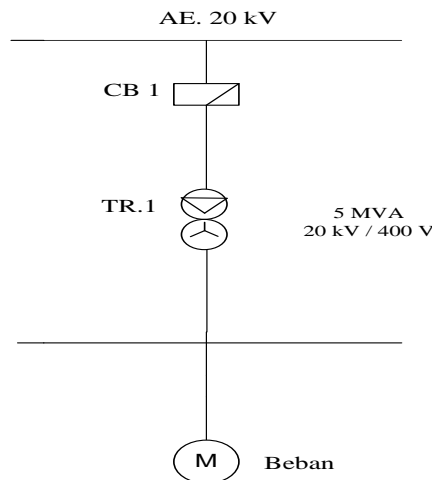
Pada saat transformator dihubungkan dengan suatu sumber tegangan (*energize*) akan mengalir arus yang cukup besar dengan periode waktu yang sangat singkat sampai tercapai kondisi *steady state* (tunak). Arus awal ini dinamakan arus *inrush* dan besarnya mencapai 8-10 kali dari arus nominal. Arus ini sangat besar pengaruhnya pada pengaman alat yang dapat mengganggu sistem operasi sistem relai. Faktor-faktor yang mempengaruhi besar dan lamanya arus *inrush* ini antara lain adalah magnitude tegangan saat *energize*, fluks sisa pada inti transformator, impedansi sumber dan impedansi sistem.[3].

Saat transformator belum dihubungkan, arus eksitasi mengalir dari gelombang histerisis ke nol. Sedangkan kerapatan fluks (B_r) akan ada nilainya dan ini merupakan fluks sisa. Untuk setiap harga fluks, menghasilkan karakteristik arus yang dihasilkan dari gelombang B-H. Besar fluks maksimum hanya dua kali nilai normalnya, setelah itu arus melonjak sampai beberapa kali arus eksitasi normal. Nilai arus tersebut akan dicapai akibat tingginya tingkat kejenuhan sudut dari sirkuit magnet transformator yang digunakan. Bentuk gelombang fluksi adalah integral dari bentuk gelombang tegangan dalam transformator yang terus menerus beroperasi. Untuk kenaikan tegangan yang dimulai dari nol, maka fluks magnetik akan mencapai kira-kira dua kali lipatnya puncak normal. Dari karakteristik nonlinier ini gelombang magnetisasi bisa menyebabkan kejenuhan transformator. Selama proses kejenuhan jumlah mmf yang tidak proporsional maka menghasilkan fluks magnet. Kinerja kualitas daya transformator dalam sistem distribusi merupakan indikator utama dalam kelistrikan. Saat merancang sistem proteksi transformator nilai arus *inrush* merupakan faktor penting yang dapat mempengaruhi sistem kerja proteksi transformator[5].

Arus transient mempunyai penurunan yang sangat cepat selama beberapa *cycle* dan setelah itu lebih lambat. Selama beberapa arus puncak yang pertama, derajat dari kejenuhan inti besi sangat tinggi, membuat komponen L menjadi rendah. Siklus awal, dari karakteristik transient terlihat pada gambar bahwa arus akan turun drastis. Hal ini disebabkan karena konstanta waktu R/L pada rangkaian tersebut tidak konstan dan bervariasi sebagai fungsi dari karakteristik saturasi transformator. Perubahan fluks sesaat dalam inti transformator sebanding dengan penurunan voltase sesaat pada gulungan primer[1].

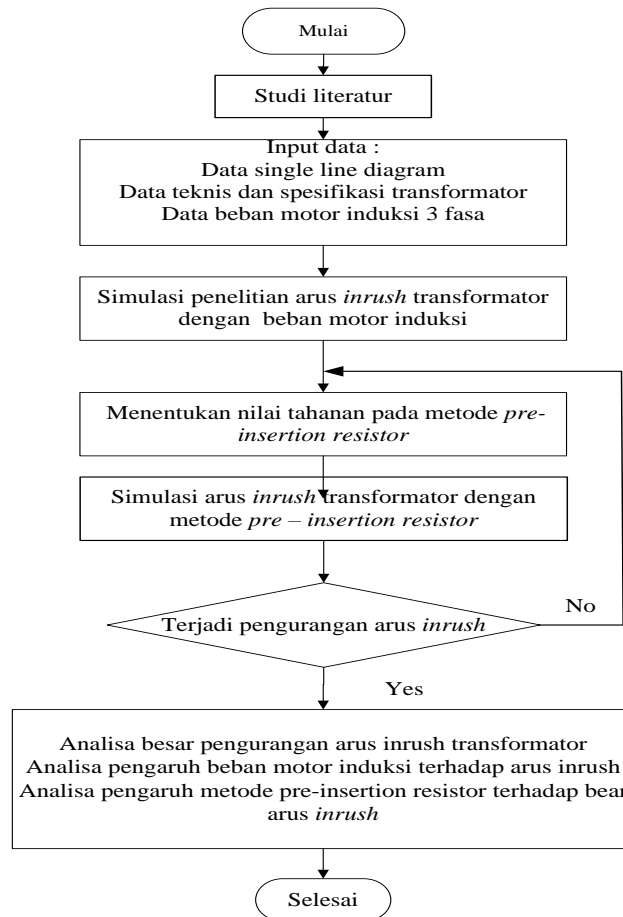
2. METODE PENELITIAN

Simulasi pengurangan arus *inrush* transformator menggunakan *single line diagram* sebagai dasar perancangan pada sistem distribusi listrik. *Single line diagram* digunakan dengan menganalogikan tegangan suplai dari bus 20 kV sebagai sumber tegangan pada sisi primer transformator dan sisi sekunder 400 V dengan daya 5000 kVA.



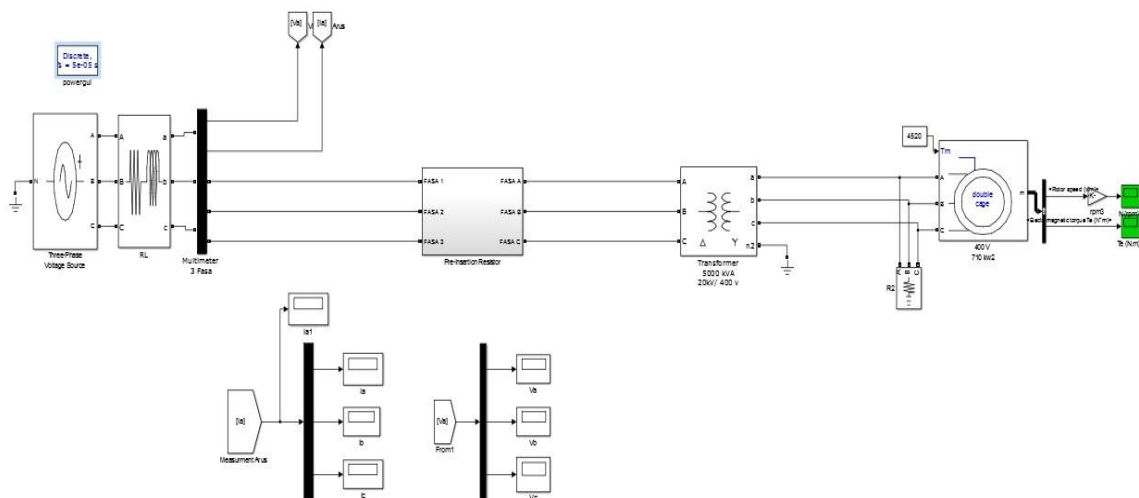
Gambar 1. Pemodelan *Single Line Diagram* Sistem Distribusi

Secara keseluruhan tahapan dalam pengerjaan penelitian ini diperlihatkan dalam diagram alir pada gambar 2 berikut ini:



Gambar 2. Flowchart Penelitian

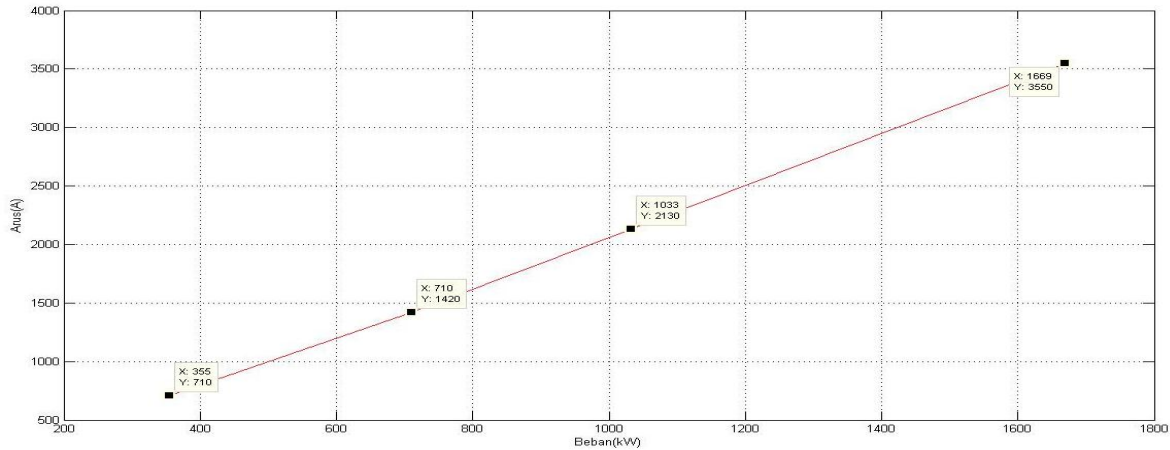
Penelitian ini digunakan data teknis transformator dengan daya 5000 kVA, 20 kV/400V. Data beban motor induksi 3 fasa merupakan data untuk beban pengujian pada pemodelan *simulink* Matlab. Data teknis motor induksi 3 fasa didapat dari pengambilan data sekunder. Beban motor induksi dipasang untuk mengetahui pengaruh yang terjadi pada transformator baik pengaruh dari tegangan maupun arus. Motor induksi yang digunakan dalam simulasi menggunakan tipe motor *squierel cage* dengan kapasitas daya 710 kW, 1420 kW, 2130 kW dan 3550 kW dengan tegangan 400 V sebagai beban transformator.



Gambar 3. Blok Simulasi Pengurangan Arus *Inrush* Transformator dengan Beban Motor Induksi 3 Fasa menggunakan metode *pre-insertion resistor*

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

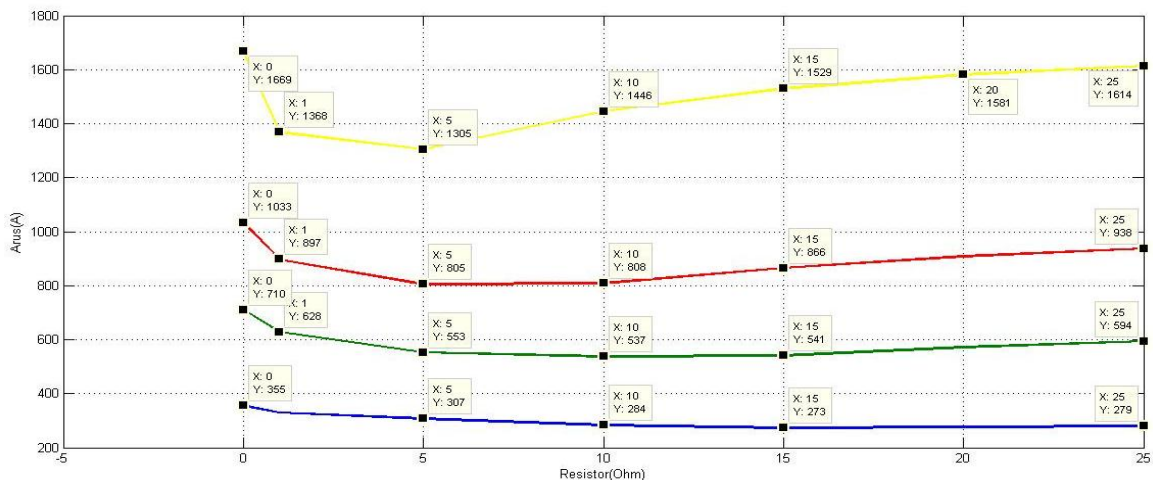
Beban motor induksi digunakan untuk mengetahui pengaruh yang terjadi dengan transformator keadaan berbeban. Terutama pengaruh pada arus awal saat transformator dihubungkan ke sumber. Saat transformator dihubungkan pada beban maka akan menimbulkan arus pada sisi sekunder yang menyebabkan timbulnya arus mengalir pada inti besi pada transformator. Arus yang mengalir akan menimbulkan fluks pada inti dan menyebabkan adanya sisa-sisa fluks. Sisa fluks pada tranformator yang menyebabkan timbulnya arus *inrush* transformator. Untuk melihat hasil grafik arus *inrush* terhadap kapasitas beban motor induksi yang berbeda pada transformator ditunjukkan pada Gambar berikut.



Gambar 4. Grafik Arus *Inrush* Transformator Terhadap Kapasitas Beban Motor Induksi

Pada Gambar 4 merupakan hasil simulasi tranformator dengan kapasitas motor induksi tiga fasa. Hasil pengujian menunjukkan bahwa kapasitas daya motor induksi mempengaruhi arus *inrush* transformator. Pengaruh kapasitas dari beban transformator menimbulkan semakin besarnya arus *inrush* transformator. Arus *inrush* transformator dengan kapasitas motor 710 kW mengalami kenaikan mencapai 355 A dari kondisi normal 73 A. Selanjutnya dengan beban motor 1420 kW arus *inrush* transformator mencapai 710 A dari kondisi normal 146 A. Hasil perbedaan kapasitas beban motor terlihat terjadi arus *inrush* pada sisi primer transformator yang berbeda. Selanjutnya hasil pengujian transformator dengan kapasitas beban motor induksi 2130 kW arus *inrush* timbul mencapai 1033 A dari kondisi normal 219 A, dan pengujian dengan kapasitas beban motor 3550 kW arus *inrush* timbul mencapai 1669 A dari kondisi normal 366 A.

Pengujian selanjutnya adalah simulasi transformator dengan kapasitas beban motor induksi menggunakan metode *pre-insertion resistor* dan penyisipan nilai tahanan dapat dilihat pada gambar berikut.



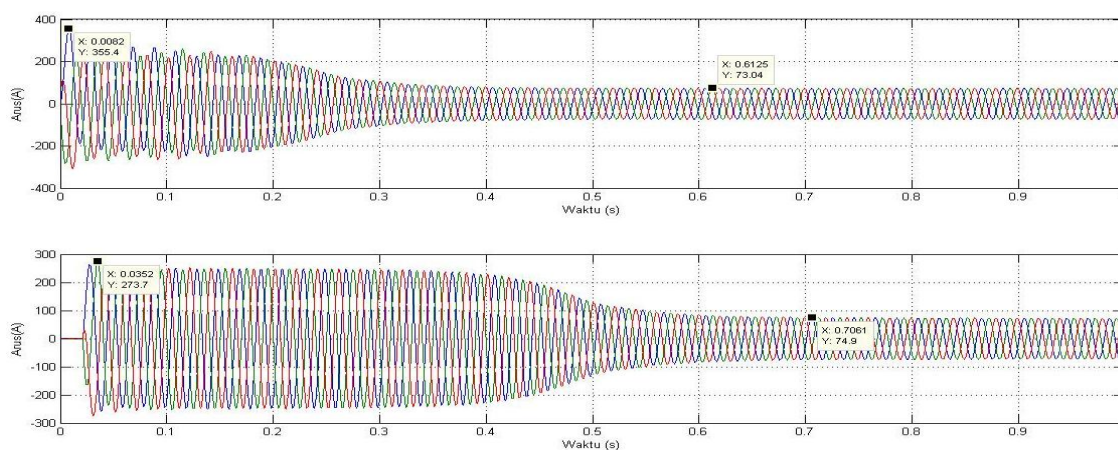
Gambar 5. Grafik Arus *Inrush* Transformator Menggunakan Metode *Pre-Insertion Resistor*

Hasil simulasi menunjukkan bahwa arus *inrush* timbul pada sisi primer transformator dengan kapasitas beban motor 710 kW arus *inrush* sebesar 355 A. Hal ini disebabkan karena beban motor induksi yang bersifat induktif menyebabkan timbulnya arus *inrush* transformator. Selain disebabkan karena jenis beban pada transformator arus *inrush* yang timbul juga dikarenakan kapasitas beban yang besar pada motor induksi. Pada Gambar 5 menunjukkan bahwa arus *inrush* transformator mengalami pengurangan arus *inrush* menjadi 284 A ketika nilai resistor yang disisipkan sebesar 10 ohm. Hasil arus *inrush* transformator dengan nilai resistor yang disisipkan sebesar 15 ohm mengalami penurunan arus *inrush* transformator menjadi 273 A. Selanjutnya hasil arus *inrush* transformator ketika nilai resistor yang disisipkan sebesar 20 ohm arus *inrush* transformator mengalami kenaikan menjadi 276 A.

Hasil pada Gambar 5 menunjukkan bahwa arus *inrush* timbul saat *energize* transformator dengan kapasitas beban motor 1420 kW mencapai 710 A dari kondisi normal 146 A. Hasil simulasi yang dilakukan ketika menyisipkan resistor sebesar 5 ohm arus *inrush* transformator berkurang menjadi 553 A. Pada Gambar 5 menunjukkan penurunan arus *inrush* transformator saat nilai resistor yang disisipkan sebesar 10 ohm mengalami penurunan yang signifikan arus *inrush* transformator berkurang menjadi 537 A. Namun ketika menyisipkan resistor sebesar 15 ohm arus *inrush* berkurang menjadi 541 A. Hasil arus *inrush* transformator menunjukkan bahwa nilai yang disisipkan pada resistor mempengaruhi hasil penurunan arus *inrush* transformator. Hal ini menunjukkan bahwa komponen resistif mampu mereduksi arus *inrush* transformator dengan tegangan 20 kV resistor yang efektif sebesar 10 ohm.

Hasil simulasi transformator dengan kapasitas beban motor sebesar 2130 kW bahwa arus *inrush* transformator dengan menyisipkan nilai resistor sebesar 1 ohm arus *inrush* mengalami penurunan menjadi 897 A. Selanjutnya hasil arus *inrush* transformator ketika menyisipkan resistor sebesar 5 ohm arus *inrush* berkurang menjadi 805 A. Hasil arus *inrush* transformator yang terjadi ketika menyisipkan resistor sebesar 10 ohm arus *inrush* berkurang menjadi 808 A dengan menyisipkan resistor pada sisi primer transformator selama 0,18 detik. Pada Gambar 5 menunjukkan bahwa arus *inrush* transformator mengalami penurunan menjadi 1368 A ketika menyisipkan resistor sebesar 1 ohm. Namun ketika nilai resistor yang disisipkan 5 ohm arus *inrush* berkurang lebih besar mencapai 1305 A. Selanjutnya ketika pengujian dilakukan dengan menyisipkan nilai resistor sebesar 10 ohm nilai arus *inrush* transformator berkurang menjadi 1446 A. Simulasi ini dilakukan saat CB 2 dihubungkan pada detik 0,021 sampai dengan detik ke 0,2 dan dilanjutkan pada CB 3 detik 0,2 sampai dengan waktu 1 detik.

Hasil gelombang arus dengan metode *pre-insertion resistor* yang dipasang pada sisi primer transformator dapat berkurang ketika memasang resistor dengan waktu 0,18 detik. Hasil arus *inrush* transformator tanpa dan menggunakan metode *pre-insertion resistor* dapat dilihat sebagai berikut.

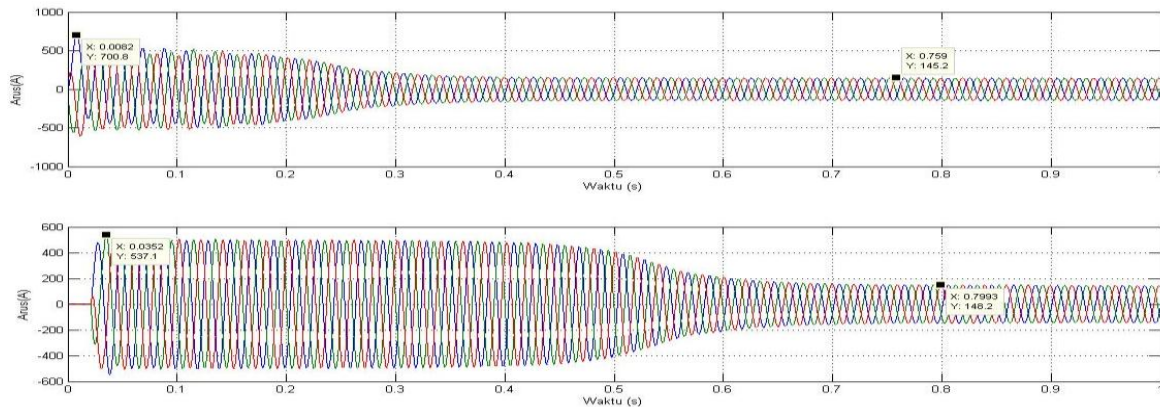


Gambar 6 Arus *Inrush* Transformator dengan Beban 710 kW Tanpa dan Menggunakan Metode *Pre-Insertion Resistor*

Hasil simulasi menunjukkan bahwa arus *inrush* timbul pada sisi primer transformator dengan kapasitas beban motor 710 kW arus *inrush* sebesar 355 A dan arus *inrush* transformator dapat berkurang menjadi 273 A ketika nilai tahanan yang disisipkan sebesar 15 ohm. Hal ini disebabkan

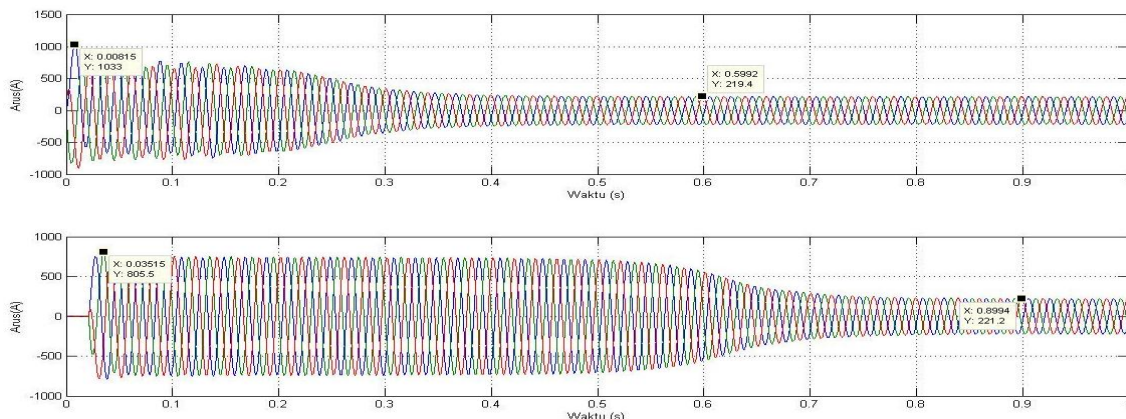
karena beban motor induksi yang bersifat induktif menyebabkan timbulnya arus *inrush* transformator. Pada penelitian ini dilakukan pengujian dengan beberapa nilai tahanan yang disisipkan untuk mengurangi arus *inrush* transformator dengan beban motor induksi 3 fasa. Pemilihan nilai resistor yang baik dalam metode *pre-insertion resistor* dapat mempengaruhi berkurangnya arus *inrush* transformator. Perhitungan persentase pengurangan arus *inrush* transformator dengan nilai tahanan maksimal yang disisipkan sebesar 15 ohm menunjukkan bahwa metode *pre-insertion restor* mampu mereduksi arus *inrush* transformator sebesar 29 %.

Selanjutnya simulasi transformator dengan kapasitas beban motor induksi sebesar 1420 kW menunjukkan bahwa arus *inrush* dapat berkurang dengan menyisipkan nilai tahanan yang efektif sebesar 10 ohm. Berikut hasil arus *inrush* transformator dengan kapasitas beban motor induksi 1420 kW.



Gambar 7. Arus *Inrush* Transformator dengan Beban 1420 kW Tanpa dan Menggunakan Metode *Pre-Insertion Resistor*

Hasil grafik pada gambar 7 menunjukkan bahwa suatu beban motor induksi yang bersifat non linier mempengaruhi besarnya arus *inrush* transformator yang terjadi. Arus *inrush* timbul saat *energize* transformator dengan kapasitas beban motor 1420 arus *inrush* timbul mencapai 710 A dari kondisi normal 146 A. Kenaikan arus akibat adanya beban transformator yang bersifat induksi yang mengakibatkan timbulnya arus *inrush* pada sisi primer transformator. Hasil simulasi menunjukkan bahwa arus *inrush* transformator dapat berkurang menjadi 537 A ketika nilai tahanan yang disisipkan sebesar 10 ohm. Hasil perhitungan persentase pengurangan arus *inrush* transformator dengan nilai resistor maksimal yang disisipkan sebesar 10 ohm mampu mereduksi arus *inrush* transformator sebesar 30 %. Hasil gelombang arus *inrush* tanpa dan menggunakan metode *pre-insertion resistor* ditunjukkan pada Gambar berikut.

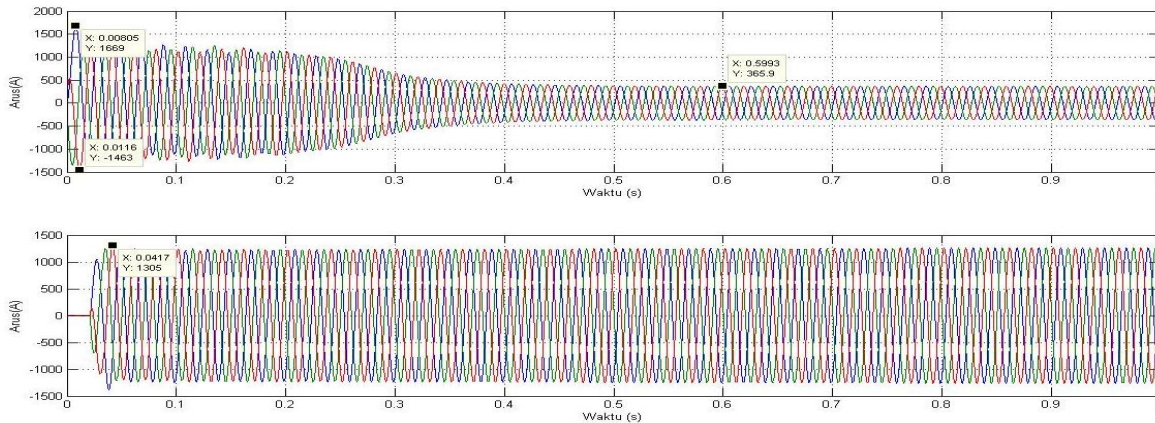


Gambar 8. Arus *Inrush* Transformator dengan Beban 2130 kW Tanpa dan Menggunakan Metode *Pre-Insertion Resistor*

Pada saat *energize* transformator menunjukkan bahwa arus *inrush* timbul saat *switch* dihubungkan ke sumber detik 0,033 sampai detik ke 1. Arus *inrush* transformator dengan kapasitas

beban motor 2130 kW mencapai 1033 A dari kondisi normal 219 A. Hasil simulasi dengan menyisipkan nilai tahanan sebesar 5 ohm menunjukkan bahwa arus *inrush* berkurang menjadi 805 A. Arus *inrush* transformator dapat direduksi dengan menyisipkan tahanan pada sisi primer transformator selama 0,18 detik. Pengujian dengan nilai tahanan yang disisipkan sebesar 5 ohm mampu mereduksi arus *inrush* transformator dengan beban berkapasitas 2130 kW sebesar 28 %.

Selanjutnya Hasil arus *inrush* transformator dengan kapasitas beban motor sebesar 3550 kW terjadi pengurangan dengan dan tanpa metode *pre-insertion resistor* . Berikut hasil simulasi arus *inrush* transformator.



Gambar 9. Arus *Inrush* Transformator dengan Beban 3550 kW Tanpa dan Menggunakan Metode *Pre-Insertion Resistor*

Pengujian selanjutnya transformator dengan kapasitas 3550 kW berdasarkan hasil nilai tahanan yang disisipkan 5 ohm arus *inrush* berkurang menjadi 432,8 A. Pengujian ini dilakukan untuk mereduksi arus *inrush* pada transformator dengan hasil pengujian yang efektif , maka nilai tahanan yang disisipkan sebesar 5 ohm. Hasil simulasi yang dilakukan dengan kapasitas beban motor 3550 kW menunjukkan bahwa arus *inrush* transformator tereduksi sebesar 27%.

4. Kesimpulan

Hasil analisis dan simulasi transformator dengan beban motor induksi 3 fasa menggunakan metode *pre-insertion resistor* menunjukkan bahwa maksimal arus *inrush* transformator yang tereduksi dengan menyisipkan resistor selama 0.18 detik. Arus *inrush* transformator dengan kapasitas beban motor sebesar 710 kW dapat direduksi mencapai 29 %. Selanjutnya dengan kapasitas beban motor 1420 kW arus *inrush* transformator berkurang mencapai 30 %. Pengujian selanjutnya dengan menggunakan kapasitas beban motor sebesar 2130 kW arus tereduksi mencapai 28 %, dan dengan kapasitas beban motor sebesar 3550 kW arus tereduksi mencapai 27%. Hasil penelitian menunjukkan bahwa arus *inrush transformator* dengan beban motor induksi 3 fasa dapat diminimalisir menggunakan metode *pre-insertion resistor*.

REFERENSI

- [1] Soebagio, *Transformator*. Surabaya: ITS PRESS, 2012.
- [2] Z. Abidin, “Metode analisis reduksi arus *inrush* pada transformator,” ISSN 2085 - 0859, Univ. Islam Lamongan, vol. 2, no. 1, pp. 1–6, 2010.
- [3] I. S. H. Mokhamad Firmansyah, “Studi perbandingan metode pengurangan arus *inrush* pada transformator daya 500 kv gilet krian,” *Tek. POMITS, (ITS), Surabaya*, vol. 1, no. 1, pp. 1–6, 2014.
- [4] Zuhail, *Dasar Tenaga Listrik*. Bandung: ITB, 1991.
- [5] Edison Sitorus, “Studi Pengaruh Arus *Inrush* Dan Arus Hubung Singkat Terhadap Pengaman Transformator Universitas Sumatera Utara,” 2010.