

Pengaruh Pembebanan Transformator Distribusi 3 Fasa 250 kVA Type Core Terhadap Distribusi Termal Menggunakan Perangkat Lunak Ansys Maxwell

Ida Bagus Aditya Laksamana Dharma¹, Agung Budi Muljono², Ida Bagus Fery

ARTICLE INFO

Article history:

Received August 17, 2025
Revised August 30, 2025
Accepted August 31, 2025

Keywords:

Distribution transformer;
Ansys maxwell;
Finite element method;
Thermal field;
Stranded loss;

ABSTRACT

Distribution transformers have an important role in the distribution of electrical power. In order for the transformer to operate properly, installation and maintenance must be in accordance with established standards. One of the things that affects the condition of the transformer is the heat that arises as a result of loading. This study performs calculations manually to determine the dimensions of the transformer, make a model of the transformer core and coil in 3D visual form then analyze the output of voltage, current, and loss waves and analyze the distribution of the transformer's thermal field using Ansys Maxwell software with the Finite Element Method (FEM) method. This research refers to a catalog that contains specification data from transformers. For the simulation results obtained, the conditions of thermal distribution in the transformer core when the transformer was not given a load obtained an average temperature of 29.74 °C. Whereas when given the load, the temperature increases to 71°C. The thermal distribution spreads evenly throughout the transformer core. For the value of loss—the loss generated in a no-load transformer is 756.617 W and, in a transformer, when given a load of 1.014 W.

Corresponding Author:

Ida Bagus Aditya Laksamana Dharma; aditlaksamana04@gmail.com; Program Studi Teknik Elektro, Universitas Mataram, Mataram, Indonesia.

1. PENDAHULUAN

Listrik merupakan salah satu kebutuhan masyarakat yang sangat penting dan sebagai sumber daya ekonomis yang paling utama yang dibutuhkan dalam kehidupan sehari-hari. Dengan seiring berjalannya waktu kebutuhan listrik akan terus meningkat baik dengan adanya peningkatan jumlah penduduk, jumlah investasi yang semakin meningkat sehingga memunculkan berbagai industri-industri baru, dll.

Trafo adalah mesin listrik khusus yang digunakan untuk menaikkan atau menurunkan level tegangan untuk mengurangi kerugian dalam transmisi energi listrik [1]. Transformator distribusi dapat dibedakan menjadi dua jenis menurut konstruksinya yaitu transformator tipe inti (*core*) yang dimana pada tipe core ini lilitan digulung mengelilingi 3 lengan sebuah inti magnetic persegi. Terdiri dari kumparan primer dan sekunder. Sedangkan untuk tipe cangkang, ditumpuk atau dibungkus di sekitar gulungan dengan sisi bertumpuk gulungan tegangan tinggi dan rendah yang berdampingan [2].

Transformator distribusi mempunyai peranan penting dalam penyaluran daya listrik dalam suatu sistem distribusi. Agar transformator dapat beroperasi dengan baik dan dapat digunakan sesuai dalam jangka waktu yang diharapkan maka pemasangan dan pemeliharaan transformator harus sesuai dengan standar yang ditetapkan. Salah satu yang mempengaruhi kondisi transformator adalah panas yang timbul akibat pembebanan. Jika transformator dibebani 100% atau dibebani pada daya pengenalnya (*rated power*), suhu lilitan mencapai 98°C dengan kondisi suhu sekitar (*ambient temperature*) 20°C-40°C maka umur transformator bisa mencapai 20 tahun atau 7300 hari dengan susut umur normal 0,0137% per hari [3]-[4].

Dalam transformator, belitan memiliki insulasi pada kertas halus dan minyak mineral yang sangat halus yang merupakan media isolasi dan pendinginan untuk seluruh transformator. Inti, belitan, dan isolasi semuanya memiliki kemampuan termal tertentu. Kerugian pada belitan dan inti menyebabkan kenaikan suhu di transformator, yang ditransfer ke minyak isolasi. Kenaikan panas tidak dapat dihindari dan ada batas

standar yang diberikan kepada transformator tertentu sehubungan dengan kenaikan panas. Faktor kegagalan utama transformator adalah tingginya suhu yang dihasilkan oleh transformator kerugian selama operasi, yang meningkatkan kemungkinan kerusakan isolasi itu sangat mempengaruhi masa manfaat transformator [5].

2. METODOLOGI PENELITIAN

A. Ansys Maxwell

Ansys adalah sebuah perangkat lunak analisis elemen hingga dengan kemampuan menganalisa dengan cakupan yang luas untuk berbagai jenis masalah. Ansys mampu memecahkan persamaan differensial dengan cara memecahkan menjadi elemen-elemen yang lebih kecil. Pada awalnya program ini bernama STASY (*Structural Analysis System*), kemudian berganti nama menjadi ANSYS yang ditemukan pertama kali oleh Dr. John Swanson pada tahun 1970.

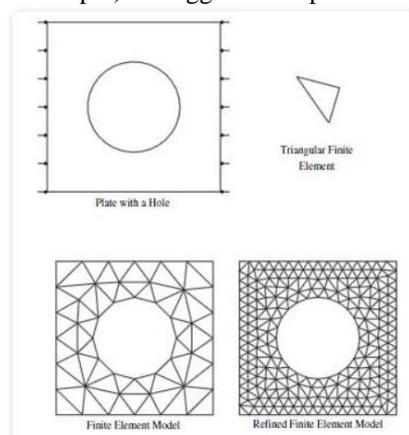


Gambar 1. Ansys Maxwell

Perangkat lunak Ansys adalah paket paling canggih untuk simulasi tunggal dan multifisika, menawarkan alat dan kemampuan yang disempurnakan yang memungkinkan para insinyur untuk menyelesaikan pekerjaan mereka dengan cara yang efisien. Ansys mencakup kemampuan yang signifikan, memperluas fungsionalitas, dan integrasi dengan hampir semua perangkat lunak seperti AutoCad, Solid Edge, dll. Selain itu, Ansys memiliki teknologi pemecah kelas terbaik, fisika gabungan terintegrasi untuk simulasi kompleks, teknologi meshing terintegrasi yang dapat disesuaikan, dan dinamika fluida komputasi (CFD). Ansys banyak digunakan dalam dunia desain oleh para pemimpin industri di Amerika Serikat dan di seluruh dunia. Selain itu, Ansys tersedia di laboratorium komputer di sebagian besar universitas dan lembaga terkenal di seluruh dunia. Khusus seperti desain, pemodelan, dan simulasi semuanya memanfaatkan Ansys [6].

B. Finite Element Method (FEM)

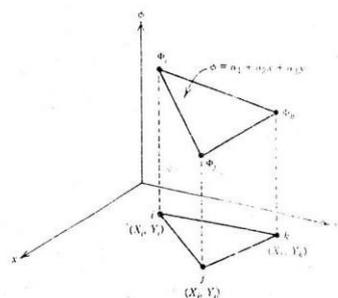
Pada software Ansys ini, adapun metode yang digunakan adalah FEM (*Finite Element Method*). Metode elemen ini merupakan pendekatan numerik yang digunakan untuk memperoleh solusi dari suatu permasalahan teknik. Metode ini merupakan prosedur numerik yang dapat diterapkan untuk memperoleh solusi dari berbagai masalah dalam bidang keteknikan. Dan juga metode ini merupakan proses pendekatan numerik dengan membagi geometri menjadi beberapa elemen-elemen untuk menghitung beberapa nilai perpindahan pada tiap-tiap nodal (titik simpul) sehingga akan diperoleh solusi yang diinginkan [7].



Gambar 2. Meshing pada plate

Metode Elemen Hingga (FEM), yang merupakan metode paling populer untuk memecahkan masalah medan elektromagnetik, lebih disukai diantara berbagai metode solusi numerik. Metode Elemen Hingga (FEM) dapat menawarkan solusi persamaan diferensial dalam berbagai disiplin ilmu seperti elektromagnetik, magneto statis, perpindahan panas, mekanika struktural, dinamika fluida, dan gelombang akustik. Keuntungan terbesar dari FEM adalah kemampuannya untuk menganalisis model yang kompleks. [8]

Pada metode elemen hingga, terdapat dua jenis elemen yang digunakan yaitu elemen segitiga dan elemen segi empat. Elemen segitiga dan segi empat merupakan elemen dua dimensi. Elemen segitiga dan segi empat banyak dipergunakan pada program – program dikarenakan elemen – elemen tersebut mempunyai formulasi persamaan yang sederhana. Pada penelitian ini, yang digunakan adalah elemen segitiga saja.



Gambar 3. Parameter elemen segitiga linier

C. Dimensi Konstruksi Transformator [9]

1. Menentukan Diameter Lingkaran

Untuk menentukan diameter lingkaran dapat menggunakan rumus sebagai berikut

$$d = \sqrt{\frac{A_i}{K_i}} \quad (1)$$

2. Menentukan Tinggi dan Lebar Jendela

Untuk menentukan tinggi dan lebar jendela dapat menggunakan rumus sebagai berikut:

$$L = \frac{A_w}{D-d} \quad (2)$$

$$N = D - d \quad (3)$$

3. Menentukan Tinggi dan Lebar Yoke

Untuk menentukan tinggi dan lebar yoke dapat menggunakan rumus sebagai berikut:

$$h_y = \frac{A_y}{0,906 \times d} \quad (4)$$

4. Menentukan Tinggi dan Tebal Total dari KTR

Karena tinggi satu lilitan hampir 2 kali tinggi kawat, sehingga tinggi total dari kumparan tegangan rendah dapat ditentukan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$h_t = (T_2 +) \times \text{tinggi satu kawat KTR} \quad (5)$$

5. Menentukan Tebal KTT

Untuk menentukan tebal KTT dapat menggunakan rumus sebagai berikut:

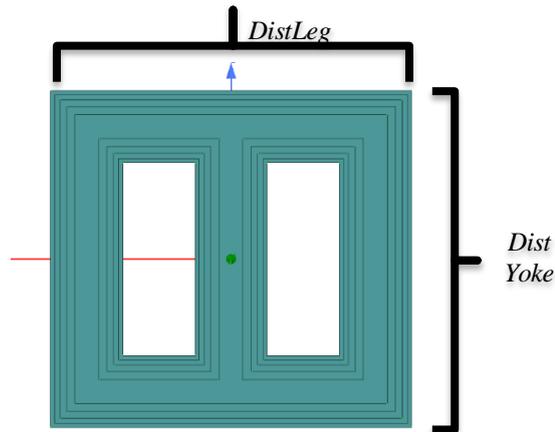
$$N = 2C_{1k} + 2T_s + 2C_{sp} + 2t_p + I_t \quad (6)$$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

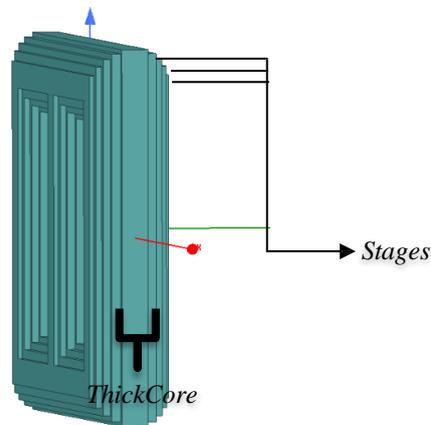
A. Hasil Desain 3D Dari Inti Transformator dan Kumparan Transformator

1. Core (Inti) Transformator

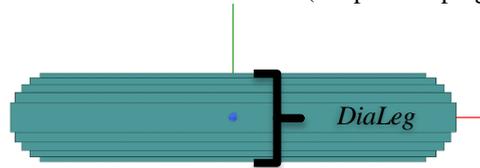
Pada penelitian ini, berdasarkan hasil dari perhitungan maka diperoleh bentuk desain dari core (inti) transformator dengan visual 3D yang dirancang menggunakan perangkat lunak Ansys Maxwell.



Gambar 4. Inti transformator (tampak depan)



Gambar 5. Inti transformator (tampak samping)



Gambar 6. Inti transformator (tampak atas)

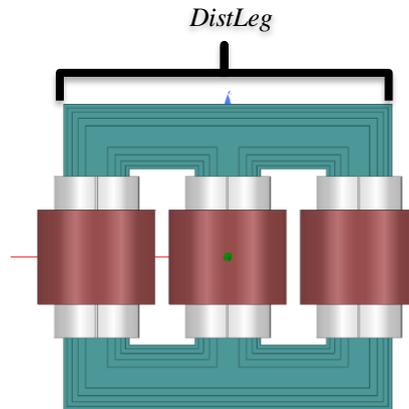
Dari desain inti transformator pada Gambar 4 sampai dengan Gambar 6, adapun untuk nilai nilai pada dimensi inti transformator yang diperoleh dari hasil perhitungan sebelumnya dapat dilihat pada Tabel 1 sebagai berikut:

Tabel 1. Nilai – nilai dimensi dari inti transformator

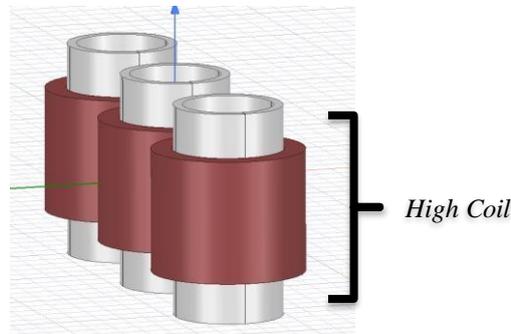
Nama	Nilai	Satuan	Keterangan
<i>DiaLeg</i>	195	mm	Diameter luar dari inti transformator
<i>DistLeg</i>	371	mm	Jarak antara kaki bagian tengah dengan kaki bagian samping kiri dan kanan
<i>DistYoke</i>	686	mm	Tinggi dari inti transformator
<i>Stages</i>	9		Jumlah tahapan penampang kaki
<i>Thick Core</i>	20	mm	Ketebalan dari inti transformator

2. Kumparan Transformator

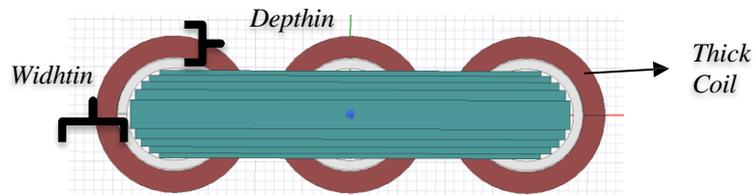
Untuk desain 3D kumparan transformator yaitu kumparan primer dan kumparan sekunder, berdasarkan perhitungan sebelumnya maka diperoleh bentuk desain dari kumparan primer dan sekunder menggunakan perangkat lunak Ansys Maxwell.



Gambar 7. Kumparan transformator (tampak depan)



Gambar 8. Kumparan transformator (tampak samping)



Gambar 9. Kumparan transformator (tampak atas)

Dari desain kumparan primer dan sekunder pada Gambar 7 sampai dengan Gambar 9, adapun untuk nilai-nilai dimensi kumparan yang diperoleh dari perhitungan sebelumnya dapat dilihat pada Tabel 2 dan Tabel 3 sebagai berikut:

Tabel 2. Nilai-nilai dimensi dari kumparan primer

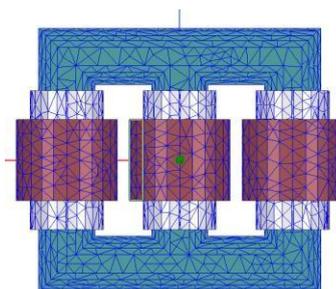
Nama	Nilai	Satuan	Keterangan
<i>DistLeg</i>	371	mm	Jarak antara kaki bagian tengah dengan kaki bagian samping kiri dan kanan
<i>Widhtin</i>	270	mm	Lebar kumparan diantara kedua sisi bagian dalam
<i>Depthin</i>	274	mm	Kedalaman kumparan diantara kedua sisi bagian dalam
<i>Radiusin</i>	162	mm	Radius kumparan
<i>Thick Coil</i>	40	mm	Ketebalan dari kumparan
<i>High Coil</i>	267	mm	Tinggi kumparan
<i>Layers</i>	1	bh	Lapisan kumparan

Tabel 3. Nilai-nilai dimensi dari kumparan sekunder

Nama	Nilai	Satuan	Keterangan
<i>DistLeg</i>	371	mm	Jarak antara kaki bagian tengah dengan kaki bagian samping kiri dan kanan
<i>Widhtin</i>	210	mm	Lebar kumparan diantara kedua sisi bagian dalam
<i>Depthin</i>	210	mm	Kedalaman kumparan diantara kedua sisi bagian dalam
<i>Radiusin</i>	113	mm	Radius kumparan
<i>Thick Coil</i>	20	mm	Ketebalan dari kumparan
<i>High Coil</i>	457	mm	Tinggi kumparan
<i>Layers</i>	1		Lapisan kumparan

B. Hasil Simulasi

Sebelum transformator dapat disimulasikan, dapat dilihat pada Gambar 10 yaitu transformator yang terdiri dari sub region atau disebut dengan mesh. Pada Gambar 10 menunjukkan mesh yang dibuat dalam analisis ini. Sub region dapat dibagi menjadi sub region yang lebih kecil atau area mesh yang lebih kecil. Solusi dapat menjadi lebih tepat dikarenakan elemen mesh yang dibuat lebih kecil halus (*smooth*). Kemudian untuk akurasi dan waktu tergantung pada jumlah elemen mesh. Jika semakin meningkat jumlah elemen mesh maka semakin tinggi juga akurasinya. Dan juga untuk waktu simulasi akan semakin lama jika jumlah elemen mesh semakin banyak.



Gambar 10. Transformator dalam keadaan mesh

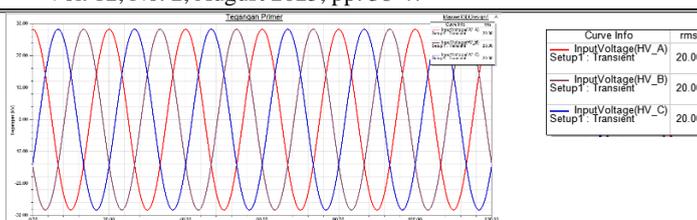
Kemudian setelah transformator dibuat dalam keadaan *mesh*, maka selanjutnya adalah hasil simulasi dari transformator 250 kVA:

1. Kondisi Transformator Tanpa Beban

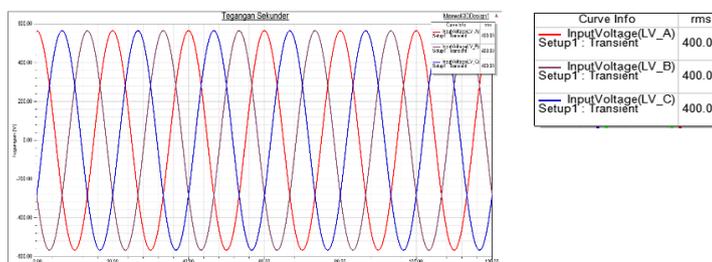
Pada kondisi transformator tanpa beban, adapun untuk nilai-nilai yang diinputkan pada kumparan primer dan sekunder adalah sebagai berikut:

- **Kumparan Primer (*HV Winding*)**
 - Tegangan : 20000 V
 - Resistansi : 2,6 Ω
 - Induktansi : 0,17 mH
 - *Number of Turns* : 2974
- **Kumparan Sekunder (*LV Winding*)**
 - Tegangan : 400 V
 - Resistansi : 4,4 Ω
 - Induktansi : 0,2 mH
 - *Number of Turns* : 64

Kemudian untuk output yang dihasilkan dalam bentuk gelombang berdasarkan hasil dari perhitungan sebelumnya adalah sebagai seperti pada Gambar 11 dan Gambar 12.

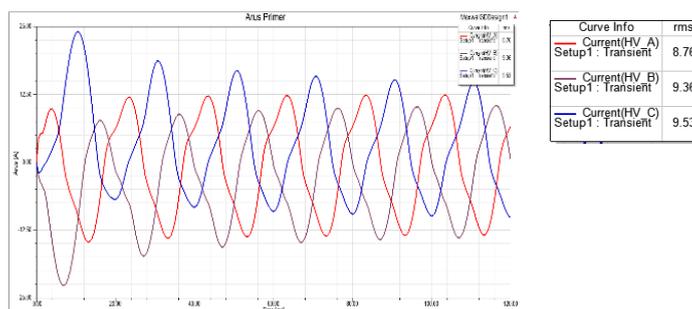


Gambar 11. Output gelombang dari tegangan primer

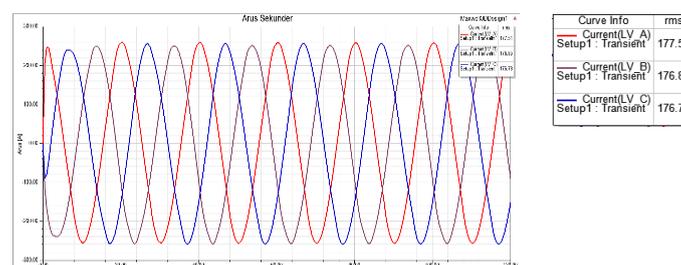


Gambar 12. Output gelombang dari tegangan sekunder

Pada Gambar 11 dapat dilihat bentuk gelombang sinusoidal dari tegangan primer pada setiap fasa R, S, T yang menghasilkan nilai efektif (RMS) sebesar 20 kV yang merupakan nilai dari tegangan fasa. Dengan settingan waktu yaitu stop time 120 ms dan time step sebesar 0,5 ms. Set up waktu yang diberikan akan mempengaruhi nilai dan gelombang. Sedangkan pada Gambar 12 dapat dilihat bentuk gelombang dari tegangan sekunder pada setiap fasa R, S, T yang menghasilkan nilai efektif (RMS) yaitu sebesar 400 V yang merupakan nilai dari tegangan fasa. Dengan stop time 120 ms dan time step sebesar 0,5 ms. Jika semakin banyak waktu yang diberikan, maka nilai dan gelombang sinusoidal yang diperoleh akan semakin baik.

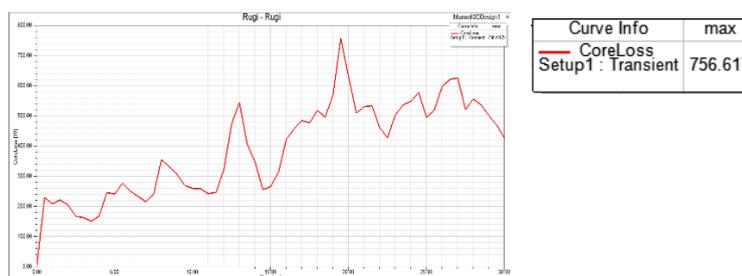


Gambar 13. Output gelombang dari arus primer



Gambar 14. Output gelombang dari arus sekunder

Pada Gambar 13 dapat dilihat bentuk gelombang dari arus pada sisi primer dengan nilai sebesar 9,21 A. Kemudian untuk settingan waktu yang digunakan yaitu dengan stop time 120 ms dan time step 0,5 ms. Sedangkan pada Gambar 14 dapat dilihat bentuk gelombang dari arus pada sisi sekunder dengan nilai sebesar 177,04 A. Kemudian untuk settingan waktu yang digunakan yaitu dengan stop time 120 ms dan time step 0,5 ms. Set up waktu yang diberikan akan mempengaruhi nilai dan gelombang. Jika semakin banyak waktu yang diberikan, maka nilai dan gelombang sinusoidal yang diperoleh akan semakin baik.



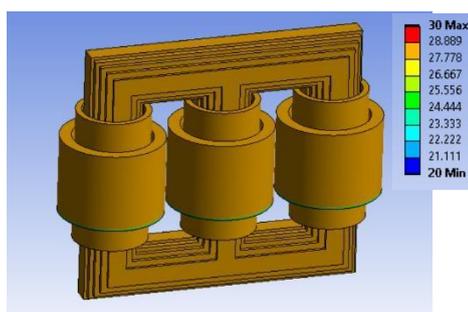
Gambar 15. Output gelombang dari rugi-rugi tanpa beban

Pada Gambar 15 dapat dilihat bentuk gelombang yang dihasilkan dari rugi-rugi inti (*Core loss*) pada kondisi transformator tanpa beban. Untuk nilai maximum yang dihasilkan dari rugi-rugi pada kondisi transformator tanpa beban adalah sebesar 756,617 W. Dapat dilihat pada gelombang diatas, rugi-rugi puncak berada ketika mendekati waktu 20 ms. Untuk settingan waktu yang digunakan yaitu dengan stop time 30 ms dan time step 0,5 ms. Jika semakin banyak waktu yang diberikan, maka nilai dan gelombang sinusoidal yang diperoleh akan semakin baik. Nilai rugi-rugi yang dihasilkan bergantung pada jenis material yang digunakan pada inti transformator. Kemudian untuk nilai rugi-rugi hasil dari perhitungan dapat di dapatkan sebagai berikut:

$$P_I = (1 + 0,075) \times (527,79 + 101,15)$$

$$P_I = 676,110 \text{ watt}$$

$$\%P_I = \frac{676,110}{250} \times 100\% = 2,70\%$$

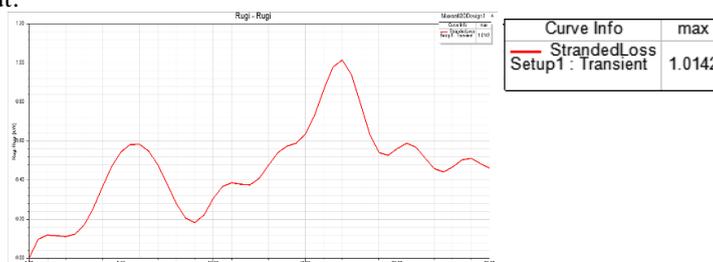


Gambar 16. Distribusi termal pada waktu 16 s

Pada Gambar 16, kondisi dari distribusi termal pada inti transformator ketika tranformator tidak diberikan beban. Pada waktu 16 s, diperoleh suhu rata-rata 29,74°C. Dengan nilai maksimum diperoleh 30°C dan minimum adalah 20°C. Pada simulasi ini, suhu yang dihasilkan mengalami peningkatan dan perubahan warna pada inti transformator seiring dengan bertambahnya waktu hingga suhu mencapai nilai maksimum. Distribusi dari medan termal meyebar secara merata ke seluruh inti transformator.

2. Kondisi Transformator Berbeban

Untuk kondisi transformator ketika diberikan beban, adapun untuk hasil dari rugi – rugi dan suhu yang diperoleh adalah sebagai berikut:



Gambar 17. Output gelombang dari rugi – rugi berbeban

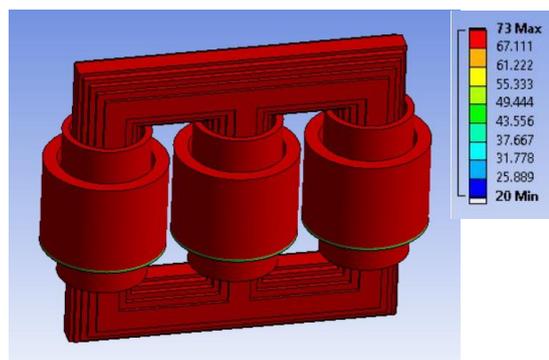
Pada Gambar 17 dapat dilihat bentuk gelombang sinusoidal yang dihasilkan dari rugi-rugi berbeban (*stranded loss*) menghasilkan nilai rata-rata sebesar 1.014 kW dengan kondisi menggunakan beban R dan L

sebesar $0,64 \Omega$ dan $0,64 \text{ mH}$. Untuk settingan waktu yang digunakan yaitu dengan stop time 25 ms dan time step 0,5 ms. Jika semakin banyak waktu yang diberikan, maka nilai dan gelombang sinusoidal yang diperoleh akan semakin baik. Nilai loss yang dihasilkan bergantung pada jenis material yang digunakan pada inti transformator dan kumparan transformator. Kemudian untuk persen dari rugi-rugi dapat dihitung sebagai berikut:

$$P_{t(75^\circ\text{C})} = 52,355 + 207,026 + 491,049$$

$$P_{t(75^\circ\text{C})} = 750,43 \text{ watt}$$

$$\%P_l = \frac{1,014}{250} \times 100\% = 4,05\%$$



Gambar 18. Distribusi termal pada waktu 17 s

Ketika transformator diberikan beban, transformator cenderung menghasilkan jumlah panas. Panas yang dihasilkan tergantung pada beban yang digunakan. Pada simulasi ini, dapat dilihat Dan pada Gambar 18, dengan waktu 17 s, kondisi dari suhu transformator ketika diberikan beban mencapai nilai rata-rata sebesar 71°C . Terjadi peningkatan suhu dan perubahan warna pada inti transformator seiring dengan bertambahnya waktu. Penyebaran dari distribusi suhu pada inti transformator menyebar secara merata ke seluruh inti transformator. Dari kondisi transformator tidak dibebani dengan suhu rata-rata sebesar $29,74^\circ\text{C}$ meningkat menjadi suhu rata-rata sebesar 71°C ketika transformator diberikan beban R dan L. Kemudian untuk settingan waktu (*stop time*) yang digunakan pada simulasi yaitu 20 s.

4. KESIMPULAN

Dari hasil simulasi, untuk distribusi termal transformator dengan kondisi tanpa beban menghasilkan suhu rata-rata sebesar $29,74^\circ\text{C}$. Dengan settingan waktu yaitu stop time 20s. Sedangkan pada kondisi transformator ketika diberikan beban R dan L dengan settingan waktu yaitu stop time 20s, suhu mengalami peningkatan menjadi 71°C batas nilai temperatur yang diijinkan 98°C . Nilai rata-rata dari rugi-rugi yang dihasilkan yaitu Core loss sebesar $756,617 \text{ W}$, ketika transformator tidak dibebani. Dengan settingan waktu yaitu stop time 30 ms dan step size 0,5 ms. Sedangkan untuk kondisi transformator yang telah diberikan beban, nilai rata-rata yang dihasilkan dari rugi-rugi berbeban (*stranded loss*) adalah sebesar $1,014 \text{ W}$.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Novera Rega, M. S, 2018, Analisis Medan Elektromagnetik Pada Kaki Transformator Tiga Fasa Asimetris Dengan Finite-Element Method, Tugas Akhir Departemen Teknik Elektro ITS, Surabaya.
- [2] Novi Gusti Pahiyanti & Sigit Sukmajati, 2016, Pengujian Transformator Distribusi Tiga Fasa, Jurnal Ilmiah SUTET, Vol. 6 No. 2, pp. 54-60.
- [3] Adhie Satrya Gianto, Chairul Gagarin Irianto & Darto Gianto, 2015, Perhitungan Penurunan Umur Transformator akibat Pengaruh Suhu Lingkungan, Jurnal Ilmiah Teknik Elektro, Universitas Trisakti, pp. 15-36.
- [4] Muhammad Aidil Muzar, Syahrizal & Mahdi Syukri, 2018, Analisis Pengaruh Suhu Akibat Pembebanan Terhadap Susut Umur Transformator Daya Di Gardu Induk Lambaro, Jurnal Komputer, Informasi Teknologi, dan Elektro, Vol.3 No.2 2018, pp. 1-8.
- [5] Emir YUKSELEN & Ires ISKENDER, 2023, Case Study On Thermal Optimization Of Oil Immersed Transformer Used In Solar Power Plant Based On Genetic Algorithm And Computational, Fluid Dynamics, Thermal Science Journal, Published by the Vinča Institute of Nuclear Sciences, Belgrade,

- Serbia, pp. 4077-4089.
- [6] Alawadhi, E. M. 2010, Finite Element Simulation Using Ansys. In <https://medium.com/@arifwicaksanaa/pengertian-use-case-a7e576e1b6bf>. Taylor & Francis Group.
- [7] Hidayat, 2020, Finite Element Analysis, Universitas Muhammadiyah Gresik, https://www.researchgate.net/publication/341879488_Finite_Element_Analysis.
- [8] Ariani, H. A., Iskender, I., & Karakaya, M. (2020). Performance analysis of a distribution transformer using ansys maxwell. *International Journal on Technical and Physical Problems of Engineering*, 12(4), 57–62.
- [9] Sibal, M.K., 1970, Electrical Machine Design And Machine Drawing, Khana Publisher, New-Delhi.