JIUBJ

Jurnal Ilmiah Universitas Batanghari Jambi, 22(3), Oktober 2022, 1486-1489
Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat universitas Batanghari Jambi
ISSN 1411-8939 (Online), ISSN 2549-4236 (Print)
DOI 10.33087/jiubj.v22i3.2416

Sistem Pendingin *Wire &Tube* Transformator Frekuanesi 50-60 Hz pada Prototipe *Electric Arc Furnace* (EAF)

Angga Tegar Setiawan, Ahmadi, Fahrul, Jumaddil Hair
Politeknik Industri Logam Morowali
Correspondence email: angga@pilm.ac.id

Abstrak. Prototipe *Electric Arc Furnace* (EAF) di Politeknik Industri Logam Morowali memiliki komponen utama berupa transformator yang menghasilkan panas secara aktif. Kenaikan temperatur yang terjadi pada transformator di akibatkan oleh pembebanan yang terjadi secara kontinu. Selain itu, kenaikan temperatur yang signifikan dan relatif tinggi pada transformator, dapat mengurangi kinerja transformator. penelitian ini akan merancang sistem pendingin transformator pada prototipe EAF. Transformator akan dijaga temperaturnya pada suhu tertentu hingga tidak lagi terjadi kenaikan suhu akibat pembebanan. Sistem pendingin *wire-tube* pada transformator menggunakan komponen air dan minyak transformator sebagai media pendingin. Mengatur laju aliran fluida air didalam pipa tembaga diharapkan mampu lebih mengoptimalkan proses pendinginan pada transformator. Hasil penelitian menujukkan bahwa rancang bangun sistem pendingin *wire-tube* mampu melepaskan temperatur minyak transformator dengan laju perpindahan panas yang bervariasi sesuai dengan laju aliran fluida air pendingin. Ujicoba yang dilakukan selama 30 menit menghasilkan nilai laju perpindahan panas berturut-turut Qu 760.5 kJ/s dengan laju aliran air 2,5 liter/menit, Qu 1661.2 kJ/s dengan laju aliran air 5 liter/menit, Qu 2558.5 kJ/kg dengan laju aliran air 7,5 liter/menit dan Qu 3213.9 kJ/kg dengan laju aliran air 9,20 liter/menit, hal ini menunjukkan bahwa semakin tinggi laju aliran air maka semakin tinggi laju perpindahan panasnya.

Kata kunci: Transformator; Wire and Tube; Electric Arc Furnace; Perpindahan Panas

Abstract. *The Electric Arc Furnace (EAF) prototype at the Morowali Metal Industry Polytechnic has the main component in the form of a transformer that generates heat actively. The increase in temperature that occurs in the transformer is caused by continuous loading. In addition, a significant and relatively high temperature rise in the transformer, can reduce the performance of the transformer. This research will design a transformer cooling system on the EAF prototype. The temperature of the transformer will be maintained at a certain temperature until there is no longer an increase in temperature due to loading. The wire-tube cooling system in the transformer uses water and transformer oil as the cooling medium. Regulating the flow rate of the water fluid in the copper pipe is expected to be able to further optimize the cooling process in the transformer. The results show that the design of the wire-tube cooling system is able to release the temperature of the transformer oil with a heat transfer rate that varies according to the flow rate of the cooling water fluid. Experiments carried out for 30 minutes resulted in a heat transfer rate of Qu 760.5 kJ/s with a water flow rate of 2.5 liters/minute, Qu 1661.2 kJ/s with a water flow rate of 5 liters/minute, Qu 2558.5 kJ/kg with a water flow rate of 5 liters/minute. the water flow rate is 7.5 liters/minute and Qu 3213.9 kJ/kg with a water flow rate of 9.20 liters/minute, this shows that the higher the water flow rate, the higher the heat transfer.*

Keywords**:** *Transformer; Wires and Tubes; Electric Arc Furnace; Heat Transfer*

PENDAHULUAN

Salah satu komponen utama dalam proses produksi pada *Electric Arc Furnace* adalah transformator daya. Transformator berfungsi untuk menurunkan tegangan sumber sehingga diperoleh arus dengan nilai yang besar untuk menyuplai kebutuhan daya elektroda peleburan. Gangguan yang muncul akibat dari meningkatnya temperatur pada trafo *Electric Arc Furnace* mengganggu proses produksi baja. (Irwanto, 2020). Transformator adalah unit peralatan listrik yang berfungsi untuk mengkonversikan dan mentransfer energi listrik dari suatu sirkuit ke sirkuit lainnya dengan menggunakan prinsip induktansi elektromagnetik. Suatu trafo pada saat beroperasi, dapat mengalami rugi-rugi daya. Rugi-rugi daya terdiri dari rugi tembaga yang besarnya berubah-ubah saat terjadi perubahan beban, dan rugi inti yang besarnya tetap walaupun beban berubah-ubah. Rugi daya tersebut diubah dalam bentuk panas, sehingga dapat menyebabkan peningkatan temperatur dari trafo. Semakin besar beban yang diterima oleh trafo, maka rugi-rugi daya menjadi semakin besar. Hal ini dapat menyebabkan kenaikan temperatur yang tinggi dan dapat melampaui batas kenaikan temperatur yang diijinkan, sehingga dapat mengakibatkan kerusakan serta umur dari trafo menjadi pendek. Untuk menjaga agar kondisi trafo tidak terlalu panas Ketika memikul beban yang tinggi maka diperlukan sebuah sistem pendingin transformator. Salah satu sistem pendinginana pada transformator yaitu sistem pendingin dengan sirkulasi natural dari minyak dan udara, dan sistem pendinginan dengan sirkulasi minyak natural, ventilasi udara dengan paksaan. Sistem pendingin dengan sirkulasi natural dari minyak dan udara ini menggunakan sirkulasi minyak dan sirkulasi udara secara alamiah, Sirkulasi minyak yang terjadi pada radiator disebkan oleh perbedaan berat jenis antara minyak yang dingin dengan minyak yang panas. Sistem pendingin dengan sirkulasi minyak natural, ventilasi udara dengan paksaan, sistem

pendingin ini menggunakan sirkulasi minyak secara alami sedangkan sirkulasi udaranya secara buatan yang menggunakan hembusan kipas angin yang digerakkan oleh motor listrik, pada umumnya operasi trafo dimulai dengan ONAN atau dengan ONAF tetapi hanya Sebagian kipas angin yang berputar, apabila suhu trafo meningkat maka kipas angin lainnya akan berputar secara bertahap (Nurhidayat, dkk., 2014).

Pemakaian pada kondisi pembebanan yang sangat besar secara terus menerus, maka pada transformator akan menimbulkan panas pada daerah/bagian internal dari transformator atau bisa disebut sebagai temperatur *hot-spot* yang bila dibiarkan akan menyebabkan degradasi pada isolasi transformator. Minyak trafo termasuk jenis bahan dielektrik cair berupa minyak. Mempunyai kerapatan 1000 kali lebih besar dari pada dielektrik gas sehingga kekuatan dielektriknya/ kemampuan tegangan tembusnya lebih tinggi dari pada dielektrik gas (Roza, dkk., 2019). Soewono dkk. (2017) telah melakukan analisis pengaruh penambahan air pada transformator daya untuk pembebanan, dari hasil penelitian menunjukkan bahwa dengan menggunakan air sebanyak 114 liter/jam, temperatur kumparan dan minyak tertinggi dapat diturunkan sebesar 3 ^{o}C, yang dapat menambah pembebanan transformator sebesar 2,51 MW. Sedangkan laju hilangnya panas rata-rata per jam adalah 6,47 kW/m^2. Penambahan pendingin air pada transformator daya yang berguna untuk meredam efek dari pengaruh temperatur lingkungan yang tinggi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa ketika temperatur kumparan dan minyak didalam transformator akan terpengaruh, berbanding lurus dengan naik turunnya beban. Ketika temperatur air diatas batas yang direkomendasikan yaitu 25 ^{o}C, laju hilngnya panas lebih rendah dari pada nilai dibawah batas yang direkomendasikan.

Sebuah transformator terdapat dua komponen yang secara aktif membangkitkan energi panas, yaitu besi (inti) dan tembaga (kumparan). Bila energi panas tidak dialirkan melalui sistem pendingin maka akan mengakibatkan besi ataupun tembaga akan mencapai temperature yang sangan tinggi, yang akan merusak nilai isolasinya (Irwanto 2020). Untuk menjaga kestabilan temperatur transfor-mator diperlukan sebuah sistem yang akan menjaga temperatur minyak trafo karena semakin meningkatnya temperatur maka akan semakin meningkat pula nilai tegangan (Junaidi, 2008). Sehingga, untuk mempertahankan temperatur dari transformator tetap terjaga maka dibuatkanlah sistem pendingin *wire-tube* pada transformator menggunakan pipa tembaga yang dilairi air pendingin yang mengelilingi transformator.

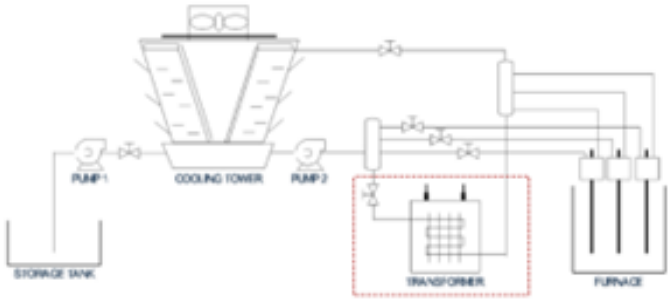
METODE

Transformator

Tabel 1
Daya Transformator Terhadap Kapasitas Tungku

Kapasitas (kg)	10-30	100-300	300-400	1000
Daya trafo (kVA)	35	200	400	1000

Sumber: Bowman (2009)



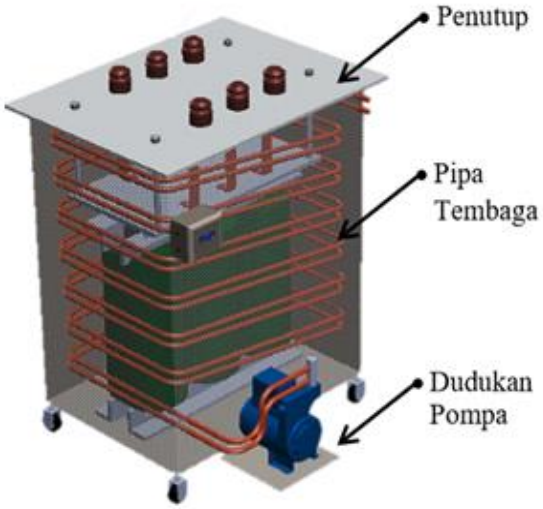
Sumber: data olahan

Gambar 1
Skema transformator pada EAF

Transformator pada prototype EAF berfu-ngsi untuk mengatur kebutuhan tegangan, arus, dan sebagai isolasi sistem kelistrikan. Transformator juga umum digunakan pada EAF, yang berfungsi sebagai sumber energi listrik. Transformator yang digunakan pada EAF bersifat sebagai penurun tegangan *(step-down)*, karena EAF membutuhkan arus listrik yang cukup besar (sampai orde kA) pada saat proses peleburan (Pirez dkk 2018). Transformator yang digunakan pada EAF. Daya listrik yang diperoleh dari transformator, dihantarkan melalui elektroda. Sistem daya meliputi daya suplai, tegangan operasi sekunder dari tegangan jaringan atau tegangan primer yang diperoleh dari transfor-mator (tegangan tap) dan distribusi energi. (Supriyatna, dkk., 2014).

Desain Sistem Pendingin Transformator

Panas yang timbul pada belitan maupun inti transformator pada saat transformator dibebani tidak boleh berlebihan karena dapat merusak dan menurunkan tahanan isolasi belitan. Untuk mengatasi agar panas yang timbul tidak berlebihan maka digunakan minyak pendingin transformator. Selain pendingin, minyak pendingin transformator juga berfungsi sebagai isolator (Wuwung, 2010). Selain itu, pendinginan transformator juga terjadi dengan menggunakan sistem penukar kalor mengguna-kan fluida air yang dialirkan didalam tabung yang digunakan sebagai media pendinginan pada minyak. Menurut jenis pendinginnya, transfor-mator dapat dibedakan menjadi dua jenis yaitu *Dry Type Transformer* dan *Oil-Immersed Transformer*.



Sumber: data olahan

Gambar 2
Desain sistem pendingin transformator pada EAF

Transformator ditempatkan pada sebuah wadah yang berisikan minyak transformator, merendam seluruh permukaan transformator. Panas yang dihasilkan dari transformator didinginkan oleh minyak. Sedangkan panas yang dipindahkan dari tranformator ke minyak selanjutnya didinginkan oleh air yang mengalir pada pipa tembaga yang dililitkan disekitar transformator. Aliran air didalam pipa selanjutnya dialirkan dengan laju aliran air yang bervariasi.

Analisa Perpindahan Panas

Perpindahan panas yang terjadi pada sistem pendinginan transformator dapat didefinisikan sebagai perpindahan energi dari suatu daerah ke daerah lainnya sebagai akibat dari perbedaan temperatur antara daerah tersebut. Persamaan yang digunakan untuk menunjukan besarnya laju perpindahan panas dari aliran fluida adalah $Q_u = \dot{m}\ Cp\ (\Delta T)$. Dimana: Q_u merupakan laju perpindahan panas (kJ/s), $\dot{m}$ adalah laju aliran massa (kg/s), Cp adalah panas spesifik (kJ/kg.^{o}C).

Untuk laju aliran massa yang mengalir didalam pipa tembaga dapat dihitung menggunakan persamaan $\dot{m} = \rho\ Q$. Dimana ρ merupakan massa jenis fluida (kg/m^3) dan Q adalah debit fluida (m^3/s). Sehingga energi yang diserap oleh fluida yang bersirkulasi didalam pipa tembaga dituliskan menjadi $Q_u = \rho\ Q\ Cp\ (\Delta T)$. Dengan demikian persamaan diatas akan digunakan untuk menentukan laju perpindahan panas yang terjadi pada fluida air yang mengalir didalam pipa tembaga.

HASIL

Penelitian yang dilakukan, telah menghasilkan rancangan sistem pendinginan *wire-tube* pada transformator. Rancangan yang dihasilkan dapat ditunjukkan pada gambar 3. Pengujian alat dilakukan dengan mengukur temperatur masuk dan keluar pada fluida air yang mengalir didalam pipa tembaga. Data temperatur tersebut yang selanjutnya diolah untuk menentukan laju perpindahan panas yang terjadi dari variasi laju aliran fluida yang telah ditentukan.



Sumber: data olahan

Gambar 3
Rancangan sistem pendingin transformator

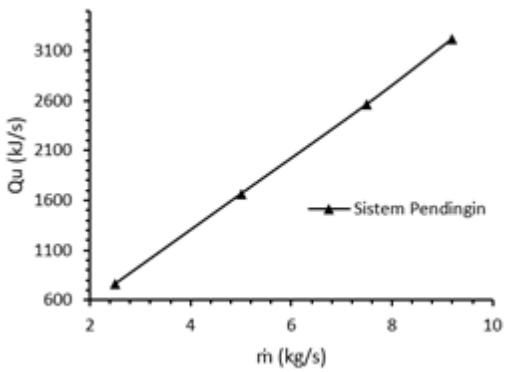
Hasil pengujian menunjukkan bahwa pada laju aliran fluida 2,5 liter/menit yang dijalankan selama 30 menit menunjukkan selisih temper-atur yang terjadi sebesar 4,45^{o}C. Pada laju aliran fluida 5 liter/menit selisih temperatur yang terjadi sebesar 4,86 ^{o}C. Pada laju aliran fluida 7,5 liter/menit selisih temperatur yang terjadi sebesar 4,99 ^{o}C. Sedangkan, pada laju aliran fluida 9,2 liter/menit (laju maksimal) selisih temperatur yang terjadi sebesar 5,11 ^{o}C.

Tabel 2
Laju perpindahan panas pada sistem pendingin

Laju aliran (lit/min)	ΔT (^{o}C)	Cp (kJ/kg.^{o}C)	ρ (kg/m^3)	Qu (kJ/s)
2.5	4.45	4117.3	996.23	760.5
5,0	4.86	4117.3	996.23	1661.2
7.5	4.99	4117.3	996.23	2558.5
9.2	5.11	4117.3	996.23	3213.9

Sumber: data olahan

Hasil perhitungan tabel diatas menunjukkan terjadinya kenaikan laju perpindahan panas pada kenaikan laju aliran fluida.



Sumber: data olahan

Gambar 4
Grafik laju perpindahan panas pada sistem pendingin transformator

Gambar 4 menujukkan bahwa semakin tinggi laju aliran fluida air maka semakin tinggi laju perpindahan panas selama percobaan yang dilakukan selama 30 menit. Hal ini menunjukkan bahwa makin tinggi laju aliran fluida yang terjadi maka semakin banyak kalor yang dapat ditransfer dari minyak trafo keluar melalui fluida air yang mengalir melalui pipa tembaga. Sehingga, berdasarkan data tersebut diperoleh hasil bahwa penambahan pendingin dengan menggunakan media pendingin air yang dialirkan melalui pipa tembaga yang mengelilingi trafo berhasil menurunkan temperatur dengan laju aliran fluida tertentu.

SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian diperoleh kesimpulan bahwa rancang bangun sistem pendingin *wire-tube* pada transformator frekuensi 50-60 Hz prototipe EAF berhasil dibuat dan mampu menurunkan temperatur media pendingin transformator dengan laju perpindahan panas yang bervariasi sesuai dengan laju aliran fluida pendingin. Semakin tinggi laju aliran fluida air maka semakin tinggi nilai laju perpindahan panasnya. Sehingga, peningkatan temperatur yang besar akibat pembebanan transformator dapat direduksi oleh minyak transformator yang didinginkan kembali oleh fluida air yang dialirkan didalam pipa tembaga yang dililitkan disekitar transformator dengan laju aliran fluida tertentu.

DAFTAR PUSTAKA

Bowman, Ben, 2009. *Textbook of arc furnace physic*, Graftech International Holding Inc, Parma-Ohio.

Irwanto, 2020. Sistem Maintenance Transfor-mator 60 Mva Pada Electric Arc Furnace (EAF) 7 Slab Steel Plant 1. *Journal Of Mechanical Engineering And Mechatronics*, 5(2), 75-89.

Junaidi, Alfian. 2008). Pengaruh Perubahan Suhu Terhadap Tegangan Tembus Pada Bahan Isolasi Cair. *Teknion*. 13(2), 1-5

Nurhidayat, A., Satriyadi, I. G. N., & Anam, S. 2014. Analisis Penggunaan Sistem Pendingin Onan/Onaf Untuk Meningkatkan Efisiensi Trafo Pada Beban Lebih Di Plta Sutami-Malang. 1(1), 1–6.

Pirez I.A., Machado A.A.P., Filho B.D.J.C. 2018. Mitigation of Electric Arc Furnace Transformer Inrush Current using Soft-Starter-Based Controlled Energization. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 54(4), 3909 – 3918.

Roza, I, Nasution, A, A, Setiawan, H. 2019. Analisis Umur Minyak Terhadap Temperatur Transformator 150kv Akibat Penurunan Tegangan Tembus Pada Pembangkit Listrik Tenaga Gas. *JESCE (Journal of Electrical and System Control Engineering)*. 3(1), 1-12.

Soewono, S., 2017. Pengaruh Penambahan Pendingin Air Pada Transformator Daya Untuk Pembebanan. *Jurnal Energi & kelistrikan*. 9(1), 8-14.

Supriyatna, Y.I., Ristiana R., Nurjaman, F., & Shofi A., 2014. Rancang Bangun Tungku Busur Listrik Satu Fase Untuk Peleburan Konsentrat Mangan Dan Besi Menjadi Feromangan, *Jurnal Teknologi Mineral dan Batubara*, 10(3), 165 – 173.

Wuwung, J.O. 2010. Pengaruh Pembebanan Terhadap Kenaikan Suhu Pada Belitan Transformator Daya Jenis Terendam Minyak. *Tekno*, 7(52), 29-38.