

Monitoring *Loss of Life* Transformator Distribusi Menggunakan Internet of Things

Osea Zebua¹, Endah Komalasari¹, Syaiful Alam¹

¹Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Lampung, Jl. Prof. S. Brojonegoro No.1, Bandar Lampung 35145, Indonesia.

ARTICLE INFO

Article history :

Received Desember 2, 2021

Revised Januari 28, 2022

Accepted February 28, 2022

Keywords :

Monitoring *Loss of Life*;
Transformator Distribusi;
Internet of Things;
Mikrokontroler;
Thingspeak.

ABSTRACT

Various operating characteristics and disturbances which occur in the distribution network can reduce the lifetime service of the distribution transformer. Excessive loading, load imbalance, and short circuit faults can cause the transformer insulation temperature to rise and may cause damage to the distribution transformer insulation. Monitoring the condition of the distribution transformer is constrained by the location and installation position of the distribution transformer and the limited number of monitoring personnel. The aim of this research is to make equipment based on a microcontroller and internet of things (IoT) to monitor the prediction of loss of life (reduced service life) of distribution transformers. The results show that the equipment made was able to display predictions of loss of life, electricity quantities, and distribution transformer temperatures online which could be monitored through equipment connected to the internet network.

Berbagai karakteristik operasi dan gangguan yang terjadi pada jaringan distribusi dapat mengurangi umur pelayanan transformator distribusi. Pembebanan yang berlebihan, ketidakseimbangan beban dan gangguan hubungsingkat dapat mengakibatkan temperatur isolasi transformator naik dan mengakibatkan kerusakan isolasi transformator distribusi. Monitoring kondisi transformator distribusi terkendala dengan letak dan posisi pemasangan transformator distribusi serta jumlah tenaga pemantau yang terbatas. Tujuan dari penelitian ini adalah membuat peralatan berbasis mikrokontroler dan internet of things (IoT) untuk memonitoring prediksi *loss of life* (berkurangnya umur pelayanan) transformator distribusi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peralatan yang dibuat mampu menampilkan prediksi *loss of life*, besaran-besaran listrik dan temperatur transformator distribusi secara online yang dapat dipantau melalui peralatan yang terhubung ke jaringan internet.

Corresponding Author:

Osea Zebua, Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Lampung, Jl. Prof. S. Brojonegoro No.1, Bandar Lampung 35145, Indonesia.
Email: osea.zebua@eng.unila.ac.id

1. PENDAHULUAN

Transformator distribusi adalah salah satu peralatan yang penting pada jaringan distribusi tenaga listrik. Oleh karena itu, monitoring dan pemeliharaan secara periodik perlu dilakukan secara berkala untuk memastikan kondisi kesehatan transformator distribusi tetap baik. Jumlah transformator distribusi yang sangat banyak pada jaringan distribusi dengan lokasi yang tersebar membuat upaya pemeliharaan dan monitoring semakin sulit.

Pembebanan yang berlebihan, ketidakseimbangan beban dan berbagai gangguan lainnya dapat menaikkan temperatur isolasi belitan dan temperatur minyak [1]. Hal ini dapat mengurangi kemampuan isolasi dan mengakibatkan penuaan isolasi. Kemampuan isolasi belitan menjadi hal yang penting dalam penentuan umur pelayanan transformator distribusi. Temperatur belitan (*hot-spot*) menjadi parameter yang penting dalam penentuan kehilangan umur pelayanan (*loss of life* atau LOL) dari transformator distribusi. Kebanyakan transformator distribusi tidak memiliki peralatan yang mengukur temperatur isolasi belitan dan juga peralatan pengukuran besaran listrik lainnya. Hal ini tentu saja membuat upaya monitoring dan

pemeliharaan menjadi sulit. Estimasi LOL umumnya dilakukan dengan menggunakan model termal transformator distribusi.

Perkembangan teknologi digital, komunikasi jarak jauh dan internet of things (IoT) semakin mempermudah keperluan monitoring transformator distribusi secara *online* dari jarak jauh. Teknologi IoT memungkinkan data yang terkirim untuk disimpan dan ditampilkan oleh peralatan yang terhubung ke jaringan internet secara online [2].

Berbagai penelitian telah membuat peralatan berbasis teknologi IoT untuk memonitoring kondisi dan memprediksi gangguan transformator daya serta memprediksi sisa umur pelayanan dari transformator distribusi dengan mengirimkan data ke jaringan internet sehingga dapat dimonitor dari jarak jauh [3-8].

Makalah ini bertujuan untuk memonitoring LOL transformator distribusi menggunakan teknologi IoT. Peralatan yang dibuat, dirancang untuk dapat mengukur besaran-besaran listrik, temperatur sekitar transformator distribusi, dan memproses data hasil pengukuran untuk menghitung prediksi LOL dan mengirimkan seluruh data ke platform IoT pada jaringan internet. Data yang dikirim dapat diakses melalui peralatan yang terhubung ke jaringan internet secara *online*.

2. METODE

2.1. Perhitungan LOL

Model termal transien dari suatu transformator distribusi dengan isolasi minyak biasanya dinyatakan dengan model termal *top-oil* dan model termal *hot-spot* [9]. Perilaku termal selama pembebanan, khususnya kondisi beban lebih dan ketidakseimbangan beban dapat diprediksi dengan model ini. Kenaikan temperatur *hot spot* adalah parameter yang sangat penting dalam penentuan umur pelayanan dari transformator distribusi. Temperatur *hot-spot* adalah jumlah dari temperatur ambien, kenaikan temperatur *top-oil* dan kenaikan temperatur *hot-spot*, yang ditunjukkan dengan persamaan:

$$T_{HS} = \Delta T_{HS} + \Delta T_{T0} + T_A \quad (1)$$

dimana T_A adalah temperatur ambien dalam $^{\circ}\text{C}$, ΔT_{T0} adalah kenaikan temperatur *top-oil* terhadap temperatur ambien dalam $^{\circ}\text{K}$, dan ΔT_{HS} adalah kenaikan temperatur *hot-spot* terhadap temperatur *top-oil* dalam $^{\circ}\text{K}$.

Temperatur *hot-spot* dan temperatur *top-oil* bervariasi terhadap pembebanan transformator distribusi. Tingkat respon kedua temperatur ini berbeda karena kapasitas dan resistansi termal dari konduktor belitan dan minyak. Kapasitas termal dan resistansi termal menentukan langsung konstanta waktu dari parameter tersebut. Oleh karena itu, perhitungan temperatur hot-spot dan perhitungan *loss of life* diulang untuk setiap periode pengukuran beban.

Transfer panas dapat ditentukan dengan persamaan diferensial dan digunakan untuk faktor beban variasi waktu (per unit) dan temperatur ambien. Berdasarkan model yang diusulkan oleh Swift dkk. [10], maka temperatur *top-oil*, T_{T0} , dapat ditentukan sebagai berikut:

$$\frac{I^2\beta+1}{\beta+1} (\Delta T_{TOR})^{1/n} = \tau_{oil} \frac{dT_{T0}}{dt} (T_{T0} - T_A)^{1/n} \quad (2)$$

dimana I adalah arus beban dalam per unit, T_A adalah temperatur ambien dalam $^{\circ}\text{C}$, T_{T0} adalah temperatur *top-oil* dalam $^{\circ}\text{C}$, τ_{oil} adalah konstanta waktu *top-oil* dalam menit, ΔT_{TOR} adalah kenaikan temperatur *top-oil* terhadap temperatur ambien dalam $^{\circ}\text{K}$, n adalah eksponen yang menyatakan linearitas ($n = 0,8$), dan β adalah rasio rugi-rugi beban penuh terhadap rugi-rugi tanpa beban. Konstanta waktu *top-oil* dihitung dengan:

$$\tau_{oil} = \frac{C_{th-oil} \times \Delta T_{TOR}}{q_{tot, rated}} \times 50 \quad (3)$$

dimana C_{th-oil} adalah kapasitansi termal ekuivalen dari minyak transformator ($\text{Wh}^{\circ}\text{C}$), $q_{tot, rated}$ adalah rugi-rugi total pada beban penuh (dalam Watt) dan W_{oil} adalah berat minyak dalam kg. Temperatur *hot-spot* dapat dihitung dengan persamaan:

$$I^2 (\Delta T_{HSR})^{1/m} = \tau_H \frac{dT_{HS}}{dt} + (T_{HS} - T_{T0})^{1/m} \quad (4)$$

$$\tau_H = 2,75 \times \frac{\Delta T_{HSR}}{(1+P_e) \times S^2} \quad (5)$$

dimana T_{HS} adalah temperatur *hot-spot* dalam $^{\circ}\text{C}$, ΔT_{HSR} adalah rating kenaikan temperatur *hot-spot* terhadap temperatur *top-oil* dalam $^{\circ}\text{K}$, τ_H adalah konstanta waktu *hot-spot* (belitan) dalam menit, m adalah eksponen yang menentukan linearitas ($m = 0,8$), P_e adalah rugi-rugi arus Eddy dalam Watt dan S adalah kerapatan arus pada beban penuh (A/mm^2).

Estimasi umur pelayanan dari suatu transformator daya adalah sekitar 180.000 jam atau 20,83 tahun [11]. Dengan asumsi kerusakan isolasi dapat dimodelkan sebagai kuantitas per unit untuk temperatur referensi 110°C , maka persamaan berikut dapat digunakan untuk prediksi FAA (penuaan isolasi yang dipercepat), yakni [12-14]:

$$F_{AA} = e^{\left(\frac{15000}{383} - \frac{15000}{T_{HS}+273} \right)} \quad (7)$$

LOL isolasi pada interval waktu yang kecil dapat ditentukan dengan persamaan:

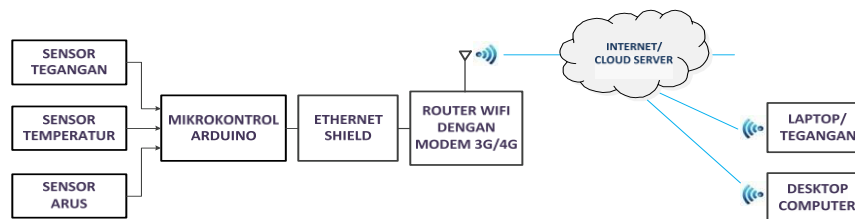
$$dLOL = F_{AA} dt \quad (8)$$

Sehingga, LOL transformator distribusi selama siklus beban dapat dihitung dengan:

$$LOL = \frac{1}{T} \int_0^T F_{AA} dt \quad (9)$$

2.2. Perancangan dan Pembuatan Alat Monitoring

Secara umum alat monitoring LOL transformator distribusi dirancang untuk dapat memonitor besaran-besaran listrik dan menghitung LOL transformator distribusi secara *online* dan dinamis serta mengirimkan data hasil monitoring ke penerima jarak jauh melalui jaringan internet. Blok diagram perancangan alat monitoring LOL transformator distribusi dengan pengiriman data ke jaringan internet ditunjukkan pada **Gambar 1**.



Gambar 1. Blok Diagram Perancangan Alat

Komponen-komponen peralatan utama yang digunakan antara lain adalah mikrokontroler Arduino Mega 2560, sensor tegangan ZMPT101B untuk mengukur tegangan rms satu fasa ke netral, sensor arus SCT019 untuk mengukur arus rms dan sensor temperatur DHT11 untuk mengukur temperatur, ethernet shield W510, router dan modem internet untuk mengirimkan data ke platform IoT *Thingspeak* [15]. Pemrograman komputer berbasis bahasa pemrograman C digunakan untuk mengaktifkan peralatan, memproses data dan mengirimkan data ke platform IoT.

2.3. Pengujian

Pengujian dilakukan pada sisi sekunder transformator distribusi yakni pada panel hubung bagi transformator (PHBT). Spesifikasi transformator distribusi yang diuji ditunjukkan pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Karakteristik Transformator Distribusi

Jenis Informasi	
Pembuat	SINTRA
Tipe transformator	Hermetically Sealed Totally Oil Filled
Kondisi servis	Outdoor
Tipe minyak	Minyak mineral
Jumlah fasa	3 Fasa
Frekuensi	50 Hz
Kapasitas (S)	200 kVA
Tegangan Primer (V_p)	20 kV (Primer); 0,4 kV (Sekunder)
Grup Vektor	Dyn5
Sistem Pendingin	ONAN
Kenaikan Temperatur	50 °C (Minyak); 55 °C (Belitan)
Rugi-rugi tanpa beban (P_{NL})	480 Watt
Rugi-rugi berbeban (P_{FL})	2500 Watt
Tegangan impedansi (%Z)	4 %
Arus tanpa beban	2,2 %
Kelas isolasi temperatur	A
Berat minyak	282 kg
Berat inti dan belitan	550 kg
Total berat	1115 kg

Dari karakteristik transformator distribusi, maka dapat diperoleh beberapa kuantitas untuk kebutuhan perhitungan temperatur *hot-spot* dan temperatur *top-oil*, seperti yang ditunjukkan pada **Tabel 2**.

Tabel 2. Perhitungan Parameter Transformator Distribusi

Parameter	Nilai
Karakteristik Listrik	
Arus sisi primer (I_p)	5,773503 A
Arus sisi sekunder (I_s)	288,6751 A
Rugi-rugi tembaga (P_{cu}) total	2020 Watt
Rasio rugi-rugi beban penuh terhadap rugi-rugi tanpa beban (β)	5,208333
Top-oil	
Kapasitansi termal ekuivalen (C_{th})	135,36 Wh ⁰ C
Kenaikan temperatur <i>top-oil</i> terhadap temperatur ambien (ΔT_{TOR})	50 ⁰ K
Konstanta waktu rated <i>top-oil</i> (τ_{oil})	162,432 menit
Hot-spot	
Rugi-rugi arus Eddy pada kondisi rating (P_e)	0,7 p.u.
Kenaikan temperatur hot-spot terhadap temperatur <i>top-oil</i> pada kondisi rating (ΔT_{HSR})	38 ⁰ K
Konstanta waktu belitan (τ_H)	5 menit

Arus pada sisi primer (I_p) dan arus sisi sekunder (I_s) dihitung dengan persamaan:

$$I_p = \frac{S}{\sqrt{3} \times V_p} \quad (10)$$

$$I_s = \frac{S}{\sqrt{3} \times V_s} \quad (11)$$

Rugi-rugi tembaga total (P_{cu}) dan rasio β dihitung dengan persamaan:

$$P_{cu} = P_{FL} - P_{NL} \quad (12)$$

$$\beta = \frac{P_{FL}}{P_{NL}} \quad (13)$$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Hasil Perancangan Alat

Alat monitoring LOL transformator distribusi yang dibuat ditunjukkan pada **Gambar 2**. Alat monitoring ini mengirimkan data hasil pengukuran dan data hasil perhitungan. Data hasil pengukuran yang dikirim antara lain tegangan setiap fasa, arus setiap fasa, dan temperatur ambien. Data hasil perhitungan yang dikirim antara lain adalah temperatur *top-oil* dan kenaikan temperatur *top-oil*, temperatur *hot-spot* dan kenaikan temperatur *hot-spot*, persentase pembebanan, faktor percepatan penuaan (FAA) dan estimasi LOL. Semua data pengukuran dan perhitungan dikirim ke platform IoT *open source Thingspeak* dengan protokol HTTP setiap periode waktu 10 detik.



Gambar 2. Alat Monitoring LOL

3.2. Hasil Pengujian

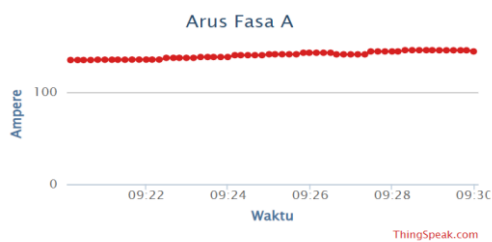
Rangkaian pengujian alat monitoring LOL pada transformator distribusi ditunjukkan pada **Gambar**



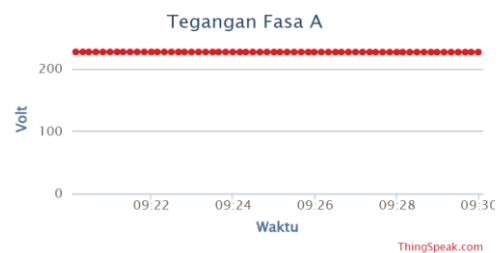
Gambar 3. Rangkaian Pengujian di Transformator Distribusi

Pengujian dilakukan selama kurang lebih setengah jam dan data-data hasil pengujian dikirimkan ke platform IoT *Thingspeak*. Rentang waktu pengambilan sampel data adalah 10 detik. Hasil pengujian arus dan tegangan setiap fasa, persentase pembebanan, temperatur ambien, temperatur *top-oil* dan perubahan temperatur *top-oil*, temperatur *hot-spot* dan perubahan temperatur *hot-spot*, FAA dan LOL diakses melalui laman *Thingspeak*.

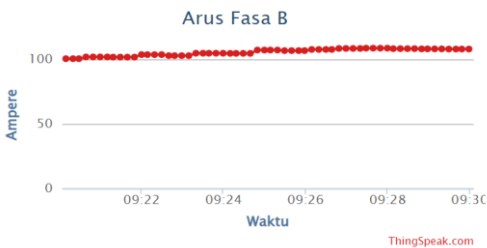
Hasil pengukuran arus dan tegangan setiap fasa masing-masing ditunjukkan pada **Gambar 4** dan **Gambar 5**, **Gambar 6** dan **Gambar 7**, serta **Gambar 8** dan **Gambar 9**.



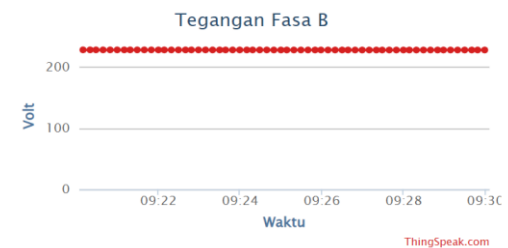
Gambar 4. Hasil pengukuran arus pada fasa A



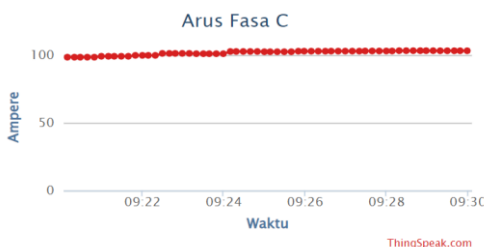
Gambar 5. Hasil pengukuran tegangan pada fasa A



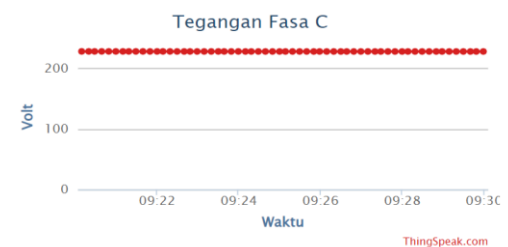
Gambar 6. Hasil pengukuran arus pada fasa B



Gambar 7. Hasil pengukuran tegangan pada fasa B



Gambar 8. Hasil pengukuran arus pada fasa C



Gambar 9. Hasil pengukuran tegangan pada fasa C

Dari **Gambar 4** sampai **Gambar 9** terlihat bahwa bila arus hasil pengukuran pada setiap fasa mengalami kenaikan, maka nilai tegangan pada fasa yang bersesuaian mengalami penurunan. Kenaikan arus pada setiap fasa menunjukkan bahwa beban yang digunakan semakin besar selama rentang waktu pengujian.

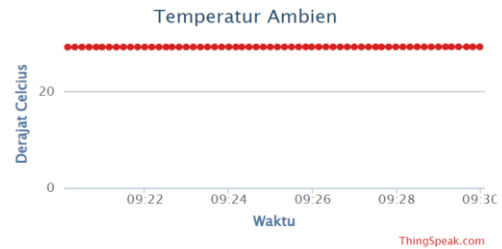
Persentase pembebanan transformator distribusi mengalami kenaikan seiring dengan naiknya arus pada setiap fasa, seperti ditunjukkan pada **Gambar 10**. Persentase pembebanan dinyatakan dengan persamaan:

$$\text{Persentase pembebanan} = \frac{I_A + I_B + I_C}{I_{FL}} \times 100\% \quad (14)$$

Hasil pengukuran temperatur ambien atau temperatur di lingkungan transformator distribusi ditunjukkan pada **Gambar 11**. Selama rentang waktu pengujian, temperatur ambien mengalami kenaikan. Hal ini disebabkan kondisi matahari pada rentang waktu pengujian bersinar penuh, sehingga mempengaruhi temperatur di sekitar transformator distribusi.

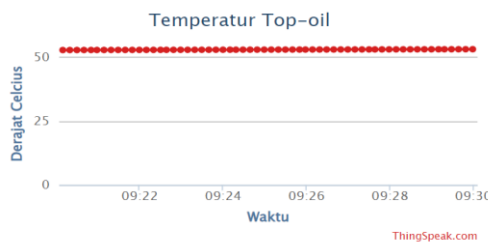


Gambar 10. Persentase pembebanan transformator distribusi

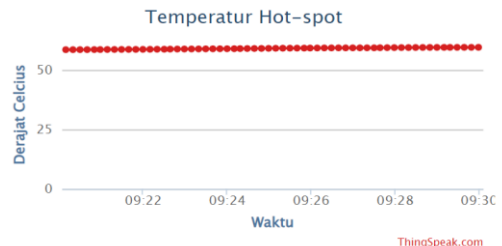


Gambar 11. Hasil pengukuran temperatur ambien

Kenaikan temperatur ambien dan kenaikan arus beban pada setiap fasa turut memberikan andil pada kenaikan temperatur *top-oil* (minyak isolasi transformator distribusi) dan temperatur *hot-spot* (temperatur belitan transformator distribusi). Hasil perhitungan temperatur *top-oil* dan temperatur *hot-spot* masing-masing ditunjukkan pada **Gambar 12** dan **Gambar 13**.

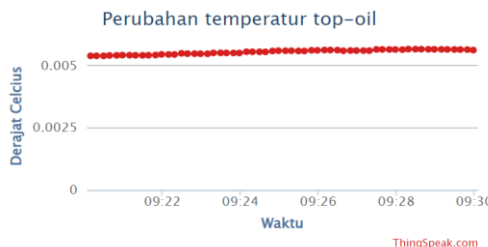


Gambar 12. Hasil Perhitungan Temperatur *Top-oil*

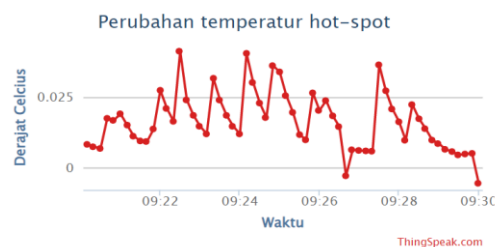


Gambar 13. Hasil Perhitungan Temperatur *Hot-spot*

Perubahan temperatur *top-oil* ΔT_{TO} dan perubahan temperatur *hot-spot* ΔT_{HS} sangat bervariasi. Besar perubahan mengalami kenaikan dan penurunan dan hal ini sangat dipengaruhi oleh perubahan arus beban, ketidakseimbangan beban dan konstanta waktu *top-oil* dan *hot-spot*, seperti ditunjukkan pada **Gambar 14** dan **Gambar 15**.



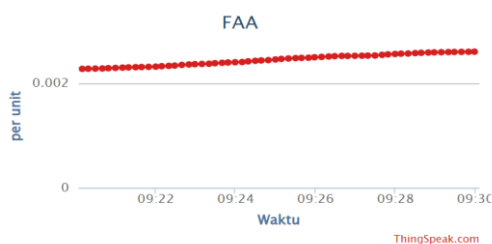
Gambar 14. Hasil Perhitungan Perubahan Temperatur *Top-oil*



Gambar 15. Hasil Perhitungan Perubahan Temperatur *Hot-spot*

Hasil perhitungan FAA dan prediksi LOL transformator distribusi selama rentang waktu pengujian masing-masing ditunjukkan pada **Gambar 16** dan **Gambar 17**. Nilai FAA semakin naik seiring dengan naiknya temperatur *hot-spot*. Sementara nilai prediksi LOL bervariasi dan hal ini bergantung pada kondisi pembebanan dan temperatur *hot-spot*. Dari **Gambar 17** dapat dilihat bahwa prediksi LOL dari transformator distribusi menaik dan menurun untuk setiap periode waktu pengukuran 10 detik, dan tetap menghasilkan

penuaan umur isolasi. Penuaan isolasi atau berkurangnya umur isolasi yang terjadi berada dalam rentang 0,000001 menit sampai 0,0001 menit untuk setiap periode 10 detik.



Gambar 16. Hasil Perhitungan FAA



Gambar 17. Hasil Perhitungan Prediksi LOL

Dengan peralatan monitoring besaran-besaran listrik dan LOL dari transformator distribusi ini, sisa umur pelayanan dari transformator distribusi juga dapat diprediksi bila informasi umur pelayanan total transformator distribusi juga diketahui.

4. KESIMPULAN

Peralatan monitoring yang dibuat mampu mengirimkan data hasil pengukuran besaran listrik dan temperatur ambien serta data perhitungan temperatur *top-oil*, temperatur *hot-spot*, FAA dan prediksi LOL transformator distribusi ke platform IoT *Thingspeak*, sehingga seluruh data termasuk prediksi LOL transformator distribusi dapat dimonitor secara online dengan mengakses laman *Thingspeak* menggunakan perangkat yang terhubung ke jaringan internet.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat Universitas Lampung atas dukungan dana untuk Penelitian DIPA BLU Skema Dasar tahun pelaksanaan 2021.

REFERENSI

- [1] R. Salustiano, E. Neto, and M. Martinez, "The Unbalanced Load Cost on Transformer Losses at A Distribution System," *22nd International Conference and Exhibition on Electricity Distribution*, pp.1-3, 2013, doi: 10.1049/cp.2013.0988.
- [2] K. Wang, Y. Jun, Y. Yan, Q. Yirou, Z. Deze, G. Song, X. Yong, and W. Jinsong, "A Survey on Energy Internet: Architecture, Approach, and Emerging Technologies," *IEEE System Journal*, vol.12, no.3, 2018, doi: 10.1109/JSYST.2016.2639820.
- [3] X. H. Cheng, and Y. Wang, "The Remote Monitoring System of Transformer Fault Based on The Internet of Things," *Proceedings of 2011 International Conference on Computer Science and Network Technology*, December 24-26, pp.84-87, 2011, doi: 10.1109/ICCSNT.2011.6181914.
- [4] A. H. M. Auday, S. M. Yaqeen, and F. A. Seevan, "Computerized Power Transformer Monitoring Based on Internet of Things," *International Journal of Engineering & Technology*, vol.7, no.4, 2773-2778, 2018, doi: 10.14419/ijet.v7i4.16280.
- [5] R. R. Pawar, and S. B. Deosarkar, "Health Condition Monitoring System For Distribution Transformer Using Internet of Things (IoT)," *Proceedings of the IEEE 2017 International Conference on Computing Methodologies and Communication (ICCMC)*, pp.117-122, 2017, doi: 10.1109/ICCMC.2017.8282650.
- [6] O. Zebua, E. Komalasari dan S. Alam, "Rancang Bangun Alat Monitoring Ketidakseimbangan Beban Transformator Distribusi Berbasis Teknologi Internet of Things," *Electrician – Jurnal Rekayasa dan Teknologi Elektro*, vol.15, no.2, pp.146-152, 2021, doi: 10.23960/elc.v15n2.2203.
- [7] O. Zebua, E. Komalasari dan S. Alam, "Monitoring Ketidakseimbangan Beban Transformator Distribusi Menggunakan Internet of Things," *Jurnal Dielektrika*, vol.8, no.2, pp.103-110, 2021, doi: 10.29303/dielektrika.v8i2.268.
- [8] O. Yaman, and Y. Bicen, "An Internet of Things (IoT) Based Monitoring System for Oil-immersed Transformer," *Balkan Journal of Electrical and Computer Engineering*, vol.7, no.3, pp.226-234, 2019, doi: 10.17694/bajece.524921.
- [9] "IEEE Guide for Loading Mineral Oil-Immersed Transformers and Step-Voltage Regulators," *IEEE Standard C57.91 2011*, doi: 10.1109/IEEESTD.2012.6166928.

- [10] G. Swift, T. S. Molinski, and W. Lehn, "A Fundamental Approach to Transformer Modeling Part I: Theory and Equivalent Circuit," *IEEE Transaction on Power Delivery*, vol.16, no.2, pp.171-175, 2001, doi:
- [11] "IEEE Guide for Loading Mineral Oil-Immersed Transformers," *IEEE Standard C57.91*, 1995, doi: 10.1109/IEEESTD.1995.8684643.
- [12] K. Najdenkoski, G. Rafajlovski, and V. Dimcev, "Thermal Aging of Distribution Transformers According to IEEE and IEC Standards," *IEEE Power Eng. Soc. General Meeting*, pp. 1-5, 2007, doi: 10.1109/PES.2007.385642.
- [13] P. K. Sen and P. Sarunpong, "Overloading and Loss-of-Life Assessment Guidelines of Oil-Cooled Transformers," *Rural Electric Power Conferences*, pp. 1-8, 2001, doi:
- [14] Y. Bicen, F. Aras, and H. Kirkici, "Lifetime Estimation and Monitoring of Power Transformer Considering Annual Load Factors," *IEEE Transaction on Dielectrics and Electrical Insulation*, vol.21, no.3, pp.1360-1367, 2014, doi: 10.1109/TDEI.2014.6832284.
- [15] "Thingspeak: Open Source Platform for Internet of Things," <https://thingspeak.com>.

BIOGRAPHY OF AUTHORS



Osea Zebua memperoleh gelar Sarjana Teknik dari Universitas Sumatera Utara tahun 1995 dan Magister Teknik dari Universitas Gadjah Mada tahun 2001. Sekarang bekerja sebagai staf pengajar di Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Lampung. Bidang penelitian yang ditekuni adalah optimisasi sistem tenaga listrik, operasi dan perencanaan sistem tenaga listrik, stabilitas dan monitoring sistem tenaga listrik.



Endah Komalasari memperoleh gelar Sarjana Teknik dari Universitas Sriwijaya tahun 1997, Magister Teknik dari Institut Teknologi Bandung pada tahun 2002 dan Doctor of Engineering dari Kyushu University tahun 2012. Sekarang bekerja sebagai staf pengajar di Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Lampung. Bidang penelitian yang ditekuni adalah elektronika daya, kualitas daya dan konversi energi listrik.



Syaiful Alam memperoleh gelar Sarjana Teknik dari Universitas Hasanuddin tahun 1996, dan Magister Teknik dari Institut Teknologi Bandung pada tahun 1999. Sekarang bekerja sebagai staf pengajar di Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Lampung. Bidang penelitian yang ditekuni adalah mikroelektronika dan aplikasi elektronika digital.