

Studi Pengaruh Pembebanan sebagai Dasar *Scheduling Maintenance* untuk Meminimalisir Susut Umur Transformator 1 GI Blimbing

Ahmad Hermawan^{a)}, Rachmat Sutjipto^{a)}, Shafira Irmadhani Hidayat^{*a)}, Florentina

Berlian Suryaningtyas^{a)}

(Artikel diterima: September 2020, direvisi: September 2020)

Abstract: Transformer 1's load in Blimbing Substation has increased significantly each year. In 2016 until 2018 the load on Transformer 1 was 33.81%, 43.53%, and 71.75%. The amount of this transformer's load will affect the hot spot temperature. Hot spot temperature is also affected by environmental temperature. In this study, load curve method was used then followed by calculate the loss life of transformer. From the calculation, known that the higher of hot spot temperature, the higher impact to loss life of transformer too. In 2018, the highest loading data was on November and it was obtained loss life of transformers by 0.649% per month, so it is estimated that this Transformer 1 at Blimbing Substation has a lifespan of 30 years 9 months. According to IEC 60076-7 normal life of transformers with loading under nominal is 20.55 years or 180000 hours. To minimize loss life of transformer or in other words extend the life time of transformer can be done by scheduling maintenance. Scheduling maintenance is the activity which monitoring the main transmission material on scheduled and provided a treatment based on the monitoring results. It can be concluded that the lifespan of Transformer 1 at Blimbing Substation can exceed the specified standard. The one of factors that affect this, is scheduling maintenance.

Keywords: loss of life, scheduling maintenance, load.

1. Pendahuluan

Peranan dan kebutuhan listrik dalam kehidupan sehari-hari masyarakat terus mengalami perkembangan. Dengan tingginya perkembangan akan kebutuhan tenaga listrik, maka kualitas dan kontinuitas tenaga listrik perlu diperhatikan. Salah satu komponen peralatan yang sangat penting dalam penyaluran energi listrik yaitu transformator. Maka dari itu transformator harus diusahakan berumur panjang sesuai dengan standar yang ada. Berdasarkan Publikasi IEC 60076-7, 2005, menetapkan bahwa umur transformator selama 20.55 tahun atau 180000 jam [3]. Namun pada kenyataannya, banyak faktor yang dapat mempengaruhi umur transformator sehingga umur transformator tidak sesuai dengan standar yang ada. Salah satunya yaitu pembebanan, suhu lingkungan, dan *scheduling maintenance*.

Salah satu transformator di Gardu Induk Blimbing yang memiliki pembebanan cukup tinggi adalah transformator 1. Perubahan pembebanan dapat dilihat dari metode *Load Curve*. Dengan metode *Load Curve* dapat diketahui pembebanan setiap waktu yang diinginkan [8]. Agar transformator ini berusia panjang dan penyaluran energi listrik tidak terhambat, maka harus dilaksanakan *scheduling maintenance* dengan memperhatikan sistem pembebanan yang sesuai standar IEC 60354, 1991 [2].

Berdasarkan permasalahan tersebut, diperlukan studi lebih lanjut mengenai susut umur transformator 1 di Gardu Induk Blimbing. Maka dalam hal ini penulis akan membahas mengenai pengaruh pembebanan berbasis *load curve* yang dijadikan sebagai dasar *scheduling maintenance* dimana diketahui kegiatan *scheduling maintenance* dapat meminimalisir susut umur transformator. Berikut beberapa permasalahan berdasarkan latar belakang di atas :

- Bagaimana pengaruh pembebanan terhadap susut umur transformator 1 20 MVA 70 kV/20 kV pada Gardu Induk Blimbing dengan analisa berbasis *load curve* ?
- Bagaimana pengaruh suhu terhadap susut umur transformator 1 20 MVA 70 kV/20 kV pada Gardu Induk Blimbing ?
- Bagaimana pengaruh pembebanan terhadap *scheduling maintenance* transformator 1 20 MVA 70 kV/20 kV pada Gardu Induk Blimbing ?
- Bagaimana pengaruh *scheduling maintenance* transformator terhadap susut umur transformator 1 20 MVA 70 kV/20 kV pada Gardu Induk Blimbing ?

2. Tinjauan Pustaka

2.1 Pembebanan

Sebagai akibat dari pembebanan, maka pada belitan transformator akan terjadi kenaikan suhu yang ditimbulkan oleh panas yang terjadi. Hal ini dikarenakan arus listrik yang mengalir pada belitan dan induksi pada inti besi.

Bila keadaan ini berlangsung terus menerus lama kelamaan minyak transformator akan menjadi panas karena dapat menyebabkan komposisi minyak transformator akan mengalami perubahan melalui reaksi kimia yang akan mengubah sifat dari minyak transformator. Perubahan ini antara lain:

- Warna coklat (hitam)
- Kadar asam tinggi
- Mengandung endapan (kotor)
- Viskositas rendah

Dengan demikian, jika transformator dioperasikan dengan beban penuh secara kontinu dan tidak terputus, dan suhu lingkungan (*ambient temperature*) diluar standar baik melebihi ataupun tidak maka beban maksimum transformator tersebut harus disesuaikan dengan menggunakan tabel dan grafik K₂₄.

* Korespondensi: shafirairmadhani24@gmail.com

a) Prodi Teknik Listrik, Jurusan Teknik Elektro, Polinema.
Jalan Soekarno-Hatta No. 9 Malang 65141

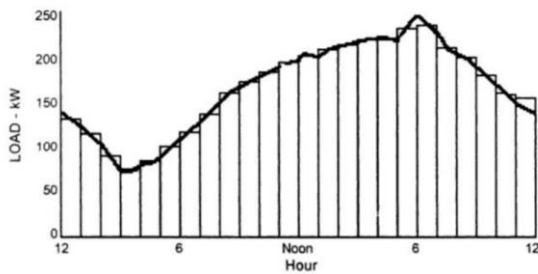
Tabel 2.1 Faktor Pembebanan yang Diperbolehkan Terhadap Suhu Lingkungan yang Berbeda dengan pemakaian kontinu 24 jam

Ambient Temperature °C		0	10	20	30	40	
Hot spot temperature rise K		98	88	78	68	58	
K ₂₄	Distribusi	ONAN	1,17	1,09	1,00	0,91	0,81
	Trafo Daya	ON	1,15	1,08	1,00	0,92	0,82
		OF	1,14	1,08	1,00	0,92	0,83
		OD	1,11	1,06	1,00	0,94	0,87

Berdasarkan tabel di atas transformator daya menggunakan pendinginan tipe ON (*oil natural*) untuk pemakaian kontinu selama 24 jam dengan menyesuaikan suhu lingkungan di Indonesia ±40°C maka batas beban maksimum yang diperbolehkan adalah sebesar 82% [2].

2.2 Load Curve

Kurva pembebanan (*load curve*) menggambarkan daya sebagai fungsi waktu.



Gambar 2.1 Contoh Daily Load Curve

Secara singkat *load curve* menjelaskan fungsi beban terhadap waktu. Sangat sering *load curve* diukur setiap jam seperti yang ditunjukkan pada gambar diatas, tetapi selain itu dapat juga diukur pada setiap interval lainnya seperti contoh tujuh detik, satu menit, 30 menit, harian, dan bulanan [8].

2.3 Scheduling Maintenance

Scheduling maintenance adalah suatu kegiatan yang meliputi pekerjaan pengujian, penggantian, dan perbaikan pada peralatan yang bertujuan untuk keamanan sistem operasi tenaga listrik dan *lifetime* dari peralatan listrik yang dipelihara secara terjadwal. *Scheduling maintenance* yang dilakukan pada transformator dibagi menjadi dua yaitu *in service measurement* dan *shutdown measurement* [7].

- a. *In Service Measurement*
 - Thermovisi
 - Pengujian karakteristik minyak transformator, meliputi:
 - 1) Pengujian tegangan tembus
 - 2) Pengujian kadar air
 - 3) Pengujian kadar asam
 - 4) Pengujian IFT
 - 5) Pengujian warna
- b. *Shutdown Measurement*
 - Pengujian indeks polarisasi
 - Pengujian tangen delta
 - Pengujian tahanan pentanahan

2.4 Susut Umur Transformator

Berdasarkan referensi IEC 60076-7 susut umur transformator berkaitan dengan degradasi termal dari kertas isolasi. Untuk kertas isolasi, the end of life didefinisikan pada titik degradasi dimana kertas telah kehilangan setengah dari kekuatan mekanis. Sehingga, umur isolasi kertas hanya 7,42 tahun pada suhu titik berliku terus menerus pada suhu 110°C dan penjelasan yang lain dapat dilihat melalui tabel 2.2 berikut [3].

Tabel 2.2 Normal Insulation Life at the Reference Temperature of 110°C

Basis	Normal insulation life	
	Hours	Years
50% retained tensile strength of insulation	65000	7.42
25% retained tensile strength of insulation	135000	15.41
200 retained degree of polymerization in insulation	150000	17.12
Interpretation of distribution transformer functional life test data	180000	20.55

Dari penjabaran di atas maka dapat disimpulkan bahwa umur suatu transformator dapat dikategorikan menurut pembebanannya, karena hal tersebut akan mempengaruhi isolasi pada transformator itu sendiri. Dimana isolasi transformator dapat dikategorikan sebagai pedoman umur normal transformator.

3. Metodologi

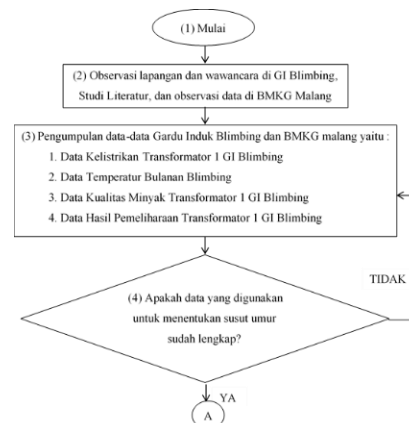
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

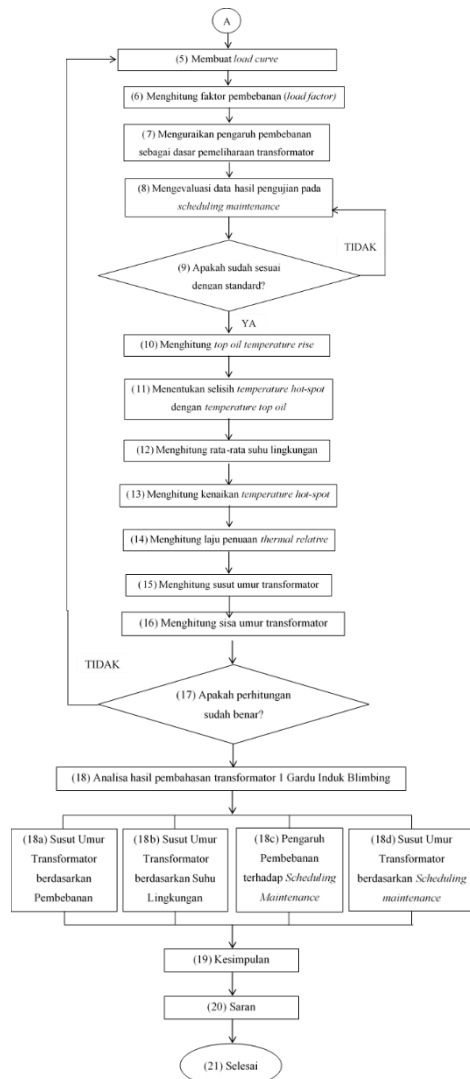
Tempat penelitian berada di PT PLN (Persero) Gardu Induk Blimbing. Waktu penelitian berlangsung pada September 2019 sampai Juli 2020.

3.2 Objek Penelitian

Pada proses pengerjaan Laporan Akhir ini, yang menjadi objek penelitian yaitu transformator 1 GI Blimbing dengan data pembebanan yang diaplikasikan menggunakan load curve dan hasil dari scheduling maintenance pada tahun 2016 sampai dengan tahun 2018.

3.3 Diagram Alir Penelitian





Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

Gambar 3.1 menunjukkan diagram alir penelitian, adapun penjelasan dari diagram alir penelitian adalah sebagai berikut.

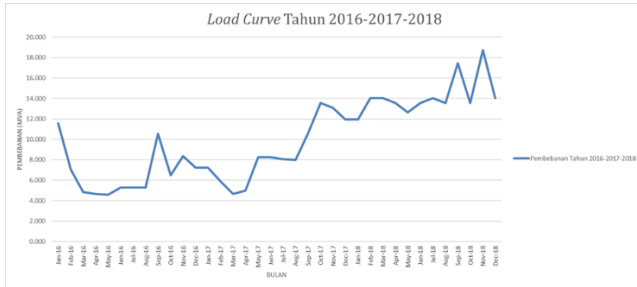
1. Pengerjaan Laporan Akhir dimulai dengan melakukan konsultasi yang akan diangkat sebagai bahasan Lapran Akhir.
2. Melakukan observasi langsung, dengan mendatangi lokasi tersebut yang ditunjang dengan dua metode, yaitu :
 - a. Studi Literatur yang menjadi dasar untuk memilih bahasan yang akan diangkat pada laporan akhir ini.
 - b. Wawancara yang dilakukan langsung pada pihak yang bersangkutan dengan tujuan untuk memperoleh data yang valid untuk pekerjaan laporan akhir ini.
3. Langkah ketiga yaitu pengumpulan data yang terkait dengan subjek pembahasan Laporan Akhir ini, yaitu :
 - a. Data Kelistrikan Transformator 1 GI Blimbing, yang meliputi :
 - Single line Diagram GI Blimbing
 - Nameplate Transformator 1
 - Daya Aktif dan Daya Reaktif
 - b. Data Temperatur Bulanan Blimbing
 - Temperatur maksimal
 - Temperatur minimal

- Temperatur rata-rata
- c. Data Kualitas Minyak Transformator 1 GI Blimbing
 - Tegangan tembus
 - Kadar air
 - Kadar asam
 - IFT
 - Warna
 - d. Data Hasil Pemeliharaan Transformator 1 GI Blimbing
 - Tahanan isolasi
 - Tangen delta
 - Tahanan pentanahan
4. Langkah keempat yaitu mengecek kembali apakah data yang dibutuhkan sudah lengkap atau belu. Jika sudah dapat melanjutkan kelangkah selanjutnya, jika belum mengulang kembali ke langkah empat sampai data yang diperlukan untuk menghitung susut umur transformator lengkap.
 5. Membuat Load Curve sebagai data penunjang pembebanan dengan dasar beban setiap bulan terhadap waktu.
 6. Langkah keenam yaitu menghitung faktor pembebanan (load factor)
 7. Menguraikan pengaruh pembebanan sebagai dasar pemeliharaan transformator.
 8. Mengevaluasi data hasil pengujian pada scheduling maintenance dengan data yang telah diperoleh dari pengumpulan data.
 9. Selanjutnya mengecek kembali apakah hasil pengujian pada scheduling maintenance sudah sesuai standar. Jika sudah sesuai maka dapat melanjutkan ke langkah berikutnya, jika belum maka kembali ke langkah ke delapan.
 10. Kemudian dilanjutkan dengan menghitung top oil temperature rise
 11. Menentukan selisih temperature hot spot dengan temperature top oil (at rated)
 12. Lalu menghitung rata-rata suhu lingkungan dengan menjumlahkan semua perkiraan suhu per hari mulai bulan Januari hingga Desember kemudian dibagi dengan 365 (jumlah hari dalam setahun) kemudian didapatkan rata-rata suhu lingkungan (θ_a)
 13. Kemudian menghitung kenaikan temperature hot
 14. Langkah keempatbelas adalah menghitung laju penuaan thermal relatif
 15. Langkah selanjutnya yaitu menghitung susut umur transformator dengan tujuan untuk memberikan saran interval pergantian transformator
 16. Menghitung perkiraan umur transformator
 17. Kemudian didapatkan sisa umur transformator.
 18. Memastikan jika perhitungan yang telah dilakukan sudah benar yang dapat dibandingkan dengan standar IEC 60076-7.
 19. Menganalisis susut umur transformator dari perhitungan yang telah diperoleh, yang meliputi:
 - a. Pembebanan terhadap susut umur transformator
 - b. Suhu lingkungan terhadap susut umur transformator
 - c. Scheduling maintenance terhadap susut umur
 20. Membuat kesimpulan dari analisa yang telah didapatkan.
 21. Selesai

4. Hasil dan Pembahasan

4.1 Pengaruh Pembebanan terhadap Susut Umur Berbasis Load Curve

Berdasarkan data persentase beban pada tabel dan *load curve* diatas dapat kita ketahui bahwa transformator 1 70/20kV 20MVA Gardu Induk Blimbing mengalami perubahan yang signifikan pada setiap tahunnya yang diperoleh dari data pembebanan perbulan [8].



Gambar 4.1 Load Curve Transformator 1 GI Blimbing Tahun 2016-2018

Diketahui dari grafik tersebut pembebanan tertinggi terjadi pada bulan November 2018 yaitu sebesar 18,72 MVA. Maka dari itu terbukti bahwa transformator 1 pada GI Blimbing mengalami peningkatan dari tahun 2016 sampai 2018.

4.1.1 Perhitungan Load Factor Transformator

Berdasarkan data grafik pembebanan pada gambar 4.1 di atas, tahun 2018 mengalami kenaikan beban puncak tertinggi. Maka dari itu diambil sebagai sampel perhitungan dalam laporan akhir ini.

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

$$= \sqrt{17.7^2 + 6.1^2}$$

$$= 18.72 \text{ MVA}$$

Berdasarkan nilai S yang telah dihitung maka didapat nilai *load factor* sebagai berikut [6] :

$$K = \frac{S}{S_r}$$

$$= \frac{18.72}{20}$$

$$= 0.936$$

Untuk mendapatkan nilai *load factor* yang lain dapat digunakan cara yang sama seperti di atas dengan data yang berbeda. Data perhitungan *load factor* dengan data lainnya.

4.1.2 Pembebanan sebagai Dasar Scheduling Maintenance

Transformator yang dibebani secara terus menerus akan menyebabkan kumparan pada transformator menjadi panas sehingga suhu pada minyak transformator juga ikut menjadi panas. Yang dapat mengakibatkan isolasi menjadi rusak dan kenaikan temperatur minyak akan mengubah sifat serta komposisi minyak trafo. Apabila perubahan-perubahan tersebut dibiarkan akan mengakibatkan nilai isolasi dari minyak menurun. Maka perlu diadakan *scheduling maintenance* agar dapat mengetahui kondisi transformator.

4.2 Scheduling Maintenance Transformator 1 Gardu Induk Blimbing

4.2.1 Evaluasi Pemeliharaan Karakteristik Minyak

Salah satu cara agar minyak tersebut dapat berfungsi dengan baik dan kualitasnya terjaga, maka pemeliharaan transformator 1 GI Blimbing rutin dilaksanakan setiap 1 tahun sekali [2] seperti tegangan tembus, kadar air, kadar asam, IFT, dan warna pada minyak. Dari pengujian tersebut hasil harus mengacu pada standar SKDIR 520 [7].

4.2.2 Evaluasi Pemeliharaan Transformator

Pemeliharaan perlu dilakukan secara rutin untuk menjamin transformator selalu berada dalam kondisi yang baik. Pemeliharaan *shutdown measurement* ini dilakukan 2 tahun sekali oleh tim pemeliharaan gardu induk. Pengujiannya antara lain yaitu pengujian tahanan isolasi, tangen delta, dan tahanan pentanahan dimana hasil dari pengujian tersebut harus memenuhi standar SKDIR 520 [7].

4.3 Susut Umur Transformator 1 Gardu Induk Blimbing

4.3.1 Perhitungan Kenaikan Top Oil

Melanjutkan perhitungan yang sebelumnya maka didapat hasil perhitungan kenaikan temperatur *top oil* sebagai berikut [2] :

$$\begin{aligned} \Delta\theta_{oo} &= \Delta\theta_{or} \left(\frac{1+RK^2}{1+R} \right)^x \\ &= 52 \left(\frac{1+6 \times 0.936^2}{1+6} \right)^{0.8} \\ &= 47.538^{\circ}\text{C} \end{aligned}$$

4.3.2 Perhitungan Kenaikan Temperatur Hotspot

$$\begin{aligned} \Delta\theta_h - \Delta\theta_{oo} &= \left(\frac{1+RK^2}{1+R} \right)^x + Hg, K^r \\ &= 52 \left(\frac{1+6 \times 0.936^2}{1+6} \right)^{0.8} + 26 \times 0.936^{1.3} \\ &= 71.399^{\circ}\text{C} \end{aligned}$$

4.3.3 Perhitungan Temperatur Hotspot

$$\begin{aligned} \theta_h &= \theta_a + \Delta\theta_h \\ &= 24.7 + 71.399 \\ &= 96.099^{\circ}\text{C} \end{aligned}$$

4.3.4 Perhitungan Laju Penuaan Thermal Relative

$$\begin{aligned} V &= 2^{(\theta_h - \theta_{hr})/6} \\ &= 2^{(96.099 - 98)/6} \\ &= 1.601 \end{aligned}$$

4.3.5 Perhitungan Susut Umur Transformator

Perhitungan nilai susut umur transformator atau (*loss of life*) menggunakan data pembebanan transformator pada tahun 2018 sebagai berikut [4].

$$L = \frac{V \times t \times 100\%}{\text{normalinsulationlife(mounth)}}$$

$$L = \frac{0.603 \times 100\%}{246.58}$$

$$= 0.649 \% \text{ per bulan}$$

4.3.6 Perkiraan Susut Umur

Setelah mendapatkan nilai rata-rata yang digunakan sebagai pembagi untuk menentukan perkiraan sisa umur transformator, dapat dilanjutkan menggunakan perhitungan di bawah ini [5].

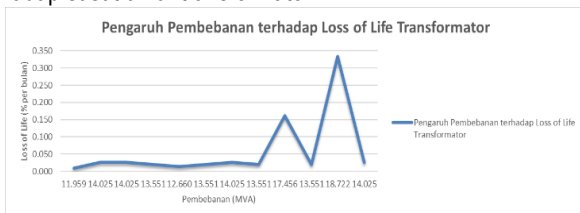
$$n = \frac{20.55 - 2}{V \times t}$$

$$= \frac{20.55 - 2}{0.603}$$

$$= 30.72$$

$$= 30 \text{ tahun } 9 \text{ bulan}$$

Berikut grafik yang menunjukkan pengaruh pembebanan terhadap susut umur transformator.



Gambar 4.2 Grafik Pengaruh Pembebanan Terhadap Loss of Life Transformator

4.4 Pengaruh Suhu Lingkungan terhadap Susut Umur Berbasis Load Curve

Untuk menganalisa susut umur transformator terhadap suhu lingkungan maka suhu lingkungan dalam analisa ini digunakan sebagai variabel karena dalam hal ini ingin mengetahui pengaruh suhu terhadap susut umur transformator.

Tabel 4.1 Hasil Pengaruh Perubahan Suhu Lingkungan terhadap Susut Umur Transformator (Loss of life) pada Tahun 2018

Suhu (°C)	Beban Tertinggi (MVA)	V	Loss of life (% per bulan)
21	18.7	0.523	0.212%
22	18.7	0.587	0.238%
23	18.7	0.659	0.267%
24	18.7	0.740	0.300%
25	18.7	0.831	0.337%



Gambar 4.3 Grafik Pengaruh Perubahan Suhu Lingkungan terhadap Susut Umur Transformator (Loss of life) pada Tahun 2018

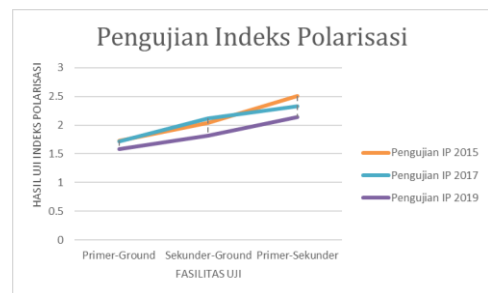
Berdasarkan grafik di atas terbukti bahwa suhu lingkungan mempengaruhi susut umur transformator (*loss of life*).

4.5 Pengaruh Pembebanan terhadap Scheduling Maintenance

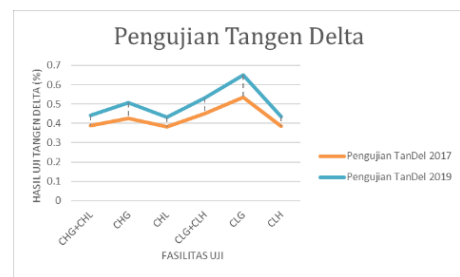
Transformator yang dibebani secara terus menerus akan menyebabkan kumparan pada transformator menjadi panas sehingga suhu pada minyak transformator juga ikut menjadi panas. Pemanasan pada belitan trafo dapat mengakibatkan isolasi menjadi rusak dan kenaikan temperatur minyak akan mengubah sifat serta komposisi minyak trafo. Apabila perubahan-perubahan tersebut dibiarkan akan mengakibatkan nilai isolasi dari minyak menurun. Maka perlu diadakan *scheduling maintenance* agar dapat mengetahui kondisi transformator seperti karakteristik minyak dan nilai isolasi pada transformator. Selain itu *scheduling maintenance* berfungsi untuk menjaga transformator agar dapat bekerja secara optimal [1].

4.6 Pengaruh Scheduling Maintenance terhadap Susut Umur

Berikut contoh beberapa pengujian yang digunakan untuk memonitor kondisi suatu transformator dan bertujuan untuk meminimalisir susut umur transformator.

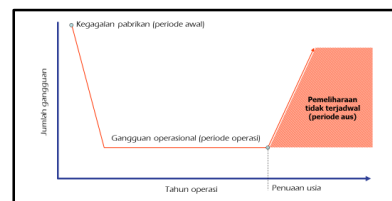


Gambar 4.4 Grafik rangkuman pengujian indeks polarisasi



Gambar 4.5 Grafik Rangkuman Pengujian Tangen Delta Tahun 2017 dan 2019

Dalam setiap material transmisi utama (MTU) memiliki 3 siklus periode yaitu periode awal, periode operasi dan periode aus. Ketiga hal ini berhubungan dengan dilakukannya pemeliharaan yang dapat digambarkan dalam kurva *bathub* berikut [1].



Gambar 4.6 Kurva Bathub

Dari kurva di atas dapat diketahui bahwa dengan adanya pemeliharaan yang baik dan sesuai jadwal, maka kemungkinan terjadi kerusakan material transmisi utama (MTU) kecil. Jika tidak dilakukan *scheduling maintenance* maka dapat menyebabkan terjadinya gangguan yang beragam. Dengan dilakukannya *scheduling maintenance* diharapkan memiliki umur yang lebih panjang [1].

5. Kesimpulan

Berdasarkan proses perhitungan dan analisa yang telah dilakukan pada laporan akhir ini, dapat disimpulkan beberapa hal antara lain :

1. Pembebanan adalah salah satu faktor yang mempengaruhi susut umur transformator. Untuk mengetahui pembebanan pada setiap waktunya maka dapat menggunakan *load curve* dan besarnya pembebanan akan mempengaruhi besarnya *load factor*. Besarnya *load factor* ini akan mempengaruhi nilai temperatur *hot spot*. Semakin tinggi nilai temperatur *hot spot* maka akan semakin tinggi pula susut umur pada transformator. Dibuktikan dengan analisa pengaruh pembebanan terhadap susut umur diatas dengan menggunakan suhu lingkungan tertinggi sebagai variabel tetap dan data pembebanan sebagai variabel yang diubah. Data pembebanan terendah pada 2018 yaitu bulan Januari sebesar 11,959 MVA yang akan mempengaruhi nilai temperatur *hot spot* menjadi sebesar 65,642°C yang berpengaruh pada susut umur transformator sebesar 0,010% per bulan. Dibandingkan dengan beban tertinggi yang terjadi pada bulan November 2018. Tercatat pada bulan tersebut beban pada transformator 1 GI Blimbing sebesar 18,72 MVA. Dari hasil perhitungan diperoleh nilai temperatur *hot spot* sebesar 96,29°C yang berpengaruh susut umur transformator yaitu sebesar 0,333% per bulan. Maka dapat disimpulkan bahwa pembebanan dapat mempengaruhi susut umur transformator.
2. Suhu lingkungan merupakan faktor eksternal yang dapat mempengaruhi susut umur karena mempengaruhi besar kecilnya nilai temperature *hot spot*. Sesuai dengan analisa pengaruh suhu lingkungan terhadap susut umur transformator di atas yaitu dengan pembebanan sebagai variabel tetap dan suhu lingkungan sebagai variabel yang diubah. Data suhu terendah pada *range* data yang dibuat yaitu pada suhu 21°C didapatkan hasil temperatur *hot spot* sebesar 92,39°C dan susut umur pada bulan tersebut sebesar 0,212% per bulan. Dibandingkan dengan *range* suhu tertinggi pada bulan November 2018 yaitu sebesar 25°C didapatkan nilai perhitungan susut umur transformator sebesar 0,337% per bulan. Maka diketahui semakin tinggi suhu lingkungan maka susut umur pada transformator akan semakin tinggi dengan kata lain umur transformator menjadi berkurang.
3. Pembebanan yang tinggi pada transformator yaitu melebihi standar IEC 60354-1, 1991 sebesar 82% yang berlangsung secara terus menerus akan menyebabkan

pemanasan pada belitan trafo yang dapat mengakibatkan isolasi menjadi rusak dan kenaikan temperatur minyak akan mengubah sifat serta komposisi minyak trafo. Untuk menghindari nilai isolasi dari minyak menurun maka perlu diadakan *scheduling maintenance* agar dapat mengetahui kondisi transformator. Selain itu *scheduling maintenance* berfungsi untuk menjaga transformator agar dapat bekerja secara optimal dan diharapkan dapat berumur 20,55 tahun sesuai standar IEC 60354-1, 1991.

4. *Scheduling maintenance* dapat diaplikasikan menggunakan kurva *bathtub* yang menjelaskan bahwa *scheduling maintenance* dapat meminimalisir susut umur transformator. Diketahui apabila tidak dilakukan *scheduling maintenance* maka dikhawatirkan terjadi peningkatan jumlah gangguan. Seperti contoh minyak transformator yang sudah mengalami penurunan fungsi sehingga tidak dapat meminimalisir gangguan yang berada di dalam transformator. Hal tersebut dapat menyebabkan gangguan lainnya. Maka dari itu untuk menjaga kualitas minyak tersebut perlu diadakan *scheduling maintenance*. Di mana diharapkan transformator dapat berumur panjang yaitu sesuai standar yang telah ditentukan oleh IEC 60354-1, 1991 yaitu berumur 20,55 tahun. Pada transformator 1 GI Blimbing ini membuktikan dengan pemeliharaan yang baik dan terjadwal dapat memperkecil susut umur transformator. Transformator ini terhitung sejak awal beroperasi yaitu pada tahun 1994 hingga 2018 sudah berumur 24 tahun. Nilai tersebut sudah memenuhi standar umur transformator yang diharapkan.

Daftar Pustaka

- [1] Arsyad, Muhammad dan Ahmad Zubair Sultan. 2018. *Manajemen Perawatan*. Yogyakarta : Deepublish.
- [2] IEC 60354-1. 1991. *Loading Guide for Oil-Immersed Power Transformer*. Geneva : International Electrotechnical Commission (IEC).
- [3] IEC 60076-7. 2005. *Loading Guide for Oil-Immersed Power Transformer*. Geneva : International Electrotechnical Commission (IEC).
- [4] IEEE C57.91. 2011. *IEEE Guide for Loading Mineral-Oil-Immersed Transformers n Step-Voltage Regulators*. New York : The Institute of Electrical n Electronics Enjineers, Inc.
- [5] Elberta, Ange. 2017. Studi Pengaruh Pembebanan terhadap Susut Umur Transformator 2 150 kV / 20 kV 60 MVA di GI Probolinggo. Malang : Politeknik Negeri Malang.
- [6] Johnson and Philips. 1998. *A Pratical Technology of The Power Transformer*. Oxford : Reed Educational and Professional.
- [7] Rusdjaja, T, dkk, 2014. Buku Pedoman Pemeliharaan Transformator Tenaga. Jakarta : PT PLN (Persero).
- [8] Willis, H. Lee & Scott, Walter G. 2000. *Distributed Power Generation*. New York : Marcel Dekker, Inc.